



ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

999902 4. vydání	ZKOUŠKY ODOLNOSTI VOJENSKÉ TECHNIKY VŮČI MECHANICKÝM VLIVŮM PROSTŘEDÍ
-----------------------------------	--

ZAVÁDÍ	STANAG 4370, Ed. 7 ENVIRONMENTAL TESTING Zkoušky vlivu prostředí AECTP-400(D)(1) MECHANICAL ENVIRONMENTAL TESTS Zkoušky vlivu mechanického prostředí
NAHRAZUJE	ČOS 999902, 3. vydání ZKOUŠKY ODOLNOSTI VOJENSKÉ TECHNIKY VŮČI MECHANICKÝM VLIVŮM PROSTŘEDÍ

(VOLNÁ STRANA)

ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

ZKOUŠKY ODOLNOSTI VOJENSKÉ TECHNIKY VŮČI MECHANICKÝM VLIVŮM PROSTŘEDÍ

Základem pro tvorbu tohoto standardu byly originály následujících dokumentů:

STANAG 4370, Ed. 7	ENVIRONMENTAL TESTING Zkoušky vlivu prostředí
AECTP-400(D)(1)	MECHANICAL ENVIRONMENTAL TESTS Zkoušky vlivu mechanického prostředí

© Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti

Praha 2022

OBSAH

1	Předmět standardu.....	5
2	Nahrazení standardů (norem)	5
3	Související dokumenty	5
	3.1 České obranné standardy	5
	3.2 Standardizační dokumenty	6
4	Zpracovatel ČOS.....	7
5	Použité zkratky, značky a definice	7
6	METODA 400 – ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLIVŮ PROSTŘEDÍ.....	12
7	METODA 401 – VIBRACE	30
8	METODA 402 – AKUSTICKÝ ŠUM.....	139
9	METODA 403 – RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ.....	157
10	METODA 404 – KONSTANTNÍ ZRYCHLENÍ.....	255
11	METODA 405 – STŘELBA ZE STŘELNÝCH ZBRANÍ	265
12	METODA 406 – VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD	328
13	METODA 408 – PŘEPRAVA ROZMĚRNÝCH KOMPLETŮ	340
14	METODA 413 – AKUSTICKÝ ŠUM KOMBINOVANÝ S TEPLOTOU A VIBRACEMI.....	348
15	METODA 415 – VÝBUCHOVÝ RÁZ	366
16	METODA 416 – RÁZ V ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVĚ	405
17	METODA 418 – POHYBLIVÁ PLATFORMA.....	411
18	METODA 419 – HODNOCENÍ A ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ.....	417
19	METODA 420 – VIBRAČNÍ TŘEPÁNÍ ZA LETU	477
20	METODA 421 – VIBRAČNÍ A RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ S VÍCE BUDIČI	505
21	METODA 422 – BALISTICKÝ RÁZ	597
22	METODA 423 – REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY.....	619
23	METODA 424 – SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVA MATERIÁLU	691

1 Předmět standardu

ČOS 999902, 4. vydání, zavádí do prostředí ČR standardizační dokument NATO AECTP-400(D)(1) „Mechanical Environmental Tests“ (Zkoušky vlivu mechanického prostředí). AECTP-400 je přejímána STANAG 4370, Ed. 7, k němuž se ČR rozhodla přistoupit a zavést s výhradou. Výhrada se týká zákazu použití, vývoje, výroby, skladování a převodu kazetové munice a jejího zničení v souladu se zákonem č. 213/2011 Sb. Tato výhrada se nepromítne v textu tohoto ČOS. ČOS 999902 neřeší odolnost kazetové munice vůči mechanickým vlivům prostředí.

V tomto ČOS se stanovují metody zkoušení odolnosti vojenské techniky a materiálu vůči vlivům různých druhů a kombinací mechanických prostředí.

2 Nahrazení standardů (norem)

Tento ČOS nahrazuje ČOS 999902, 3. vydání.

3 Související dokumenty

V tomto ČOS jsou normativní odkazy na následující citované dokumenty (celé nebo jejich části), které jsou nezbytné pro jejich použití. U odkazů na datované citované dokumenty platí tento dokument bez ohledu na to, zda existují novější vydání/edice tohoto dokumentu. U odkazů na nedatované citované dokumenty se používá pouze nejnovější vydání/edice dokumentu (včetně všech změn).

3.1 České obranné standardy

ČOS 051627	ZKOUŠKY VOJENSKÉ TECHNIKY V ELEKTRICKÉM A ELEKTROMAGNETICKÉM PROSTŘEDÍ
ČOS 130003	POSTUPY TESTOVÁNÍ MUNICE PÁDOVOU ZKOUŠKOU
ČOS 399007	METODA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI VOJENSKÉHO MATERIÁLU SPLNIT POŽADAVKY NA PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI
ČOS 999905	ZKOUŠKY ODOLNOSTI VOJENSKÉ TECHNIKY VŮČI KLIMATICKÝM VLIVŮM PROSTŘEDÍ
ČOS 999933	VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU. KLIMATICKÉ PODMÍNKY
ČOS 999935	VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU. PODMÍNKY ELEKTRICKÉHO A ELEKTROMAGNETICKÉHO PROSTŘEDÍ
ČOS 999936	VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU. MECHANICKÉ PODMÍNKY
ČOS 999937	SMĚRNICE KE VLIVU PROSTŘEDÍ NA VOJENSKÝ MATERIÁL

3.2 Standardizační dokumenty

AECTP-100	ENVIRONMENTAL GUIDELINES FOR DEFENCE MATERIEL Směrnice ke vlivu prostředí na vojenský materiál Zavedeno: ČOS 999937 „Směrnice ke vlivu prostředí na vojenský materiál“
AECTP-200	ENVIRONMENTAL CONDITIONS Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku
AECTP-230	CLIMATIC CONDITIONS Klimatické podmínky Zavedeno: ČOS 999933 „Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku. Klimatické podmínky“
AECTP-240	MECHANICAL CONDITIONS Mechanické podmínky Zavedeno: ČOS 999936 „Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku. Mechanické podmínky“
AECTP-250	ELECTRICAL AND ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL CONDITIONS Podmínky elektrického a elektromagnetického prostředí Zavedeno: ČOS 999935 „Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku. Podmínky elektrického a elektromagnetického prostředí“
AECTP-300	CLIMATIC ENVIRONMENTAL TESTS Zkoušky vlivu klimatického prostředí Zavedeno: ČOS 999905 „Zkoušky odolnosti vojenské techniky vůči klimatickým vlivům prostředí“
AECTP-400	MECHANICAL ENVIRONMENTAL TESTS Zkoušky vlivu mechanického prostředí Zavedeno: ČOS 999902 „Zkoušky odolnosti vojenské techniky vůči mechanickým vlivům prostředí“
AECTP-500	ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL EFFECTS TESTS AND VERIFICATION Zkoušky a ověřování vlivu elektromagnetického prostředí Zavedeno: ČOS 051627 „Zkoušky vojenské techniky v elektrickém a elektromagnetickém prostředí“
AECTP-600	THE TEN STEP METHOD FOR EVALUATING THE ABILITY OF MATERIEL TO MEET EXTENDED LIFE REQUIREMENTS AND ROLE AND DEPLOYMENT CHANGES Desetistupňová metoda hodnocení způsobilosti materiálu vyhovět požadavkům prodloužené doby životnosti a změnám funkce a nasazení Zavedeno: ČOS 399007 „Metoda hodnocení způsobilosti vojenského materiálu splnit požadavky na prodloužení životnosti“

STANAG 4370 ENVIRONMENTAL TESTING

Zkoušky vlivu prostředí

STANAG 4375 SAFETY DROP, MUNITION TEST PROCEDURE

Postupy zkoušení bezpečnosti munice při pádu

POZNÁMKA

Ostatní odkazy a související dokumentace uvedené v jednotlivých kapitolách (zkušebních metodách) mají informativní charakter a nevztahuje se na ně úvodní odstavec v kapitole 3. Jsou ponechány v textu podle originálního dokumentu jako možné zdroje dalších informací a vysvětlení různých postupů a vývoje zkušební metody.

4 Zpracovatel ČOS

Vojenský technický ústav, s.p., odštěpný závod VTÚPV, Ing. Jan Janošťák, CSc.

5 Použité zkratky, značky a definice

Zkratka	Název v originálu	Český název
a	Acceleration	zrychlení
a_{ef}	g_{rms}	efektivní hodnota zrychlení
a_m, a_s	G_s	mezní (vrcholové) zrychlení
ABAQUS		modulární systém pro řešení statistických problémů a frekvenčních analýz metodou konečných prvků
AC	Alternating Current	střídavý
ADC	Analog to Digital Converter	analogově digitální převodník
AECTP	Allied Environmental Conditions and Test Publication	spojenecká publikace o podmínkách a zkouškách v prostředí
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	tak nízké, jak je rozumné a možné (analýza efektivnosti nákladů)
ANSI	American National Standards Institute	Americký národní standardizační institut
AOP	Allied Ordnance Publication	spojenecká výzbrojní publikace (NATO)
AR	Aspect Ratio	štíhlostní poměr
ASAS	All Source Analysis System	systém hodnocení údajů ze všech zdrojů
ASD	Acceleration Spectral Density; Auto Spectral Density	spektrální hustota zrychlení; autospektrální hustota

ASTM	American Society for Testing and Materials	Americká společnost pro testování a materiály
BHaT	Ballistic Hull and Turret	balistická korba a věž
BPF	Blade Passing Frequency	frekvence průchodů listů (vrtule/rotoru)
CONEX	Container Express	expresní kontejner
COTS	Commercial Off The Shelf	komerčně dostupný
CSD	Cross Spectral Density	křížová spektrální hustota
DAA	Doubly Asymptotic Approximation	dvojitá asymptotická aproximace
dB	Decibel	decibel (jednotka pro měření hladiny intenzity zvuku; obecně logaritmus podílu dvou hodnot)
DC	Direct Current	stejnoseměrný
Def Stan	Defence Standard	obranný standard (V. Británie)
<i>DFL</i>	Distribution Free Limit	mez tolerance bez rozdělení
DOF	Degree Of Freedom	stupeň volnosti
DYNA		počítačový program pro nelineární analýzu metodou konečných prvků
ECM	Electronic Countermeasures	elektronická protiopatření
EMC	Electromagnetic Compatibility	elektromagnetická kompatibilita
EMI	Electromagnetic Interference	elektromagnetická interference
EMP	Electromagnetic Pulse	elektromagnetický impulz
EN		evropská norma
<i>ENV</i>	Envelope (Upper Limit)	obálka (horní mez)
ESD	Energy Spectral Density	spektrální hustota energie
ESS	Environmental Stress Screening	zatížení vlivem prostředí
<i>ETL</i>	Empirical Tolerance Limit	empirická mez tolerance
EU	Engineering Units	technické jednotky
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment	Evropská organizace pro vybavení civilního letectví
FEM	Finite Element Method	metoda konečných prvků
FFT	Fast Fourier Transform	rychlá Fourierova transformace
FLSC	Flexible Linear Shaped Charge	pružná lineární kumulativní nálož

FMEA	Failure Modes and Effects Analysis	analýza druhů a následků poruch
FS	Fourier Spectrum	Fourierovo spektrum
ft	Foot	stopa (jednotka délky); 1 ft = 30,5 cm
g, G	Acceleration of Gravity	gravitační zrychlení
g_{ef}	Acceleration of Gravity rms (g_{rms})	efektivní hodnota gravitačního zrychlení
$grms$, $Grms$	Root Mean Square of Acceleration	efektivní hodnota zrychlení
HSC	High Speed Craft	vysokorychlostní plavidla
Hz	Hertz	hertz (jednotka frekvence (kmitočtu))
IEC	International Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
IEST	Institute of Environmental Sciences and Technology	Institut environmentálních věd a technologií
IH	The inverse frequency response function	inverzní funkce kmitočtové odezvy
in	Inch	palec (jednotka délky); 1 in = 25,4 mm
ISA	International Standard Atmosphere	mezinárodní standardní atmosféra
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
ITOP	International Test Operations Procedure	mezinárodní provozní postup zkoušení
lb (lbs)	Pound (pounds)	anglická libra (jednotka hmotnosti); 1 lb = 453,6 gramů
LSBSS	Large Scale Ballistic Shock Simulator	balistický rázový simulátor velkého rozsahu
LCEP	Life Cycle Environmental Profile	profil prostředí životního cyklu
LRU	Line Replaceable Unit	jednotka vyměnitelná na místě
LWSM	Light Weight Shock Machine	lehký rázový stroj
MDF	Mild Detonating Fuse	pomalou detonující bleskovice
MDOF	Multiple Degree Of Freedom	více stupňů volnosti
MEMA	Multi-Exciter / Multi-Axis	více budičů / více os
MESA	Multi-Exciter / Single Axis	více budičů / jedna osa

MET	Multi-Exciter Test	zkouška s více budiči
MIL-DTL	Military Detail specification	vojenská detailní specifikace (USA)
MIL-HDBK	Military Handbook	vojenská příručka (USA)
MIL-STD	Military Standard	vojenský standard (USA)
MIMO	Multi-Input / Multi-Output	více vstupů / více výstupů
MISO	Multi-Input / Single-Output	více vstupů / jeden výstup
mph	Miles Per Hour	míle za hodinu (jednotka rychlosti)
MWSM	Medium Weight Shock Machine	rázový stroj střední hmotnosti
NASTRAN		počítačový program pro modelování a analýzy metodou konečných prvků
NATO	North Atlantic Treaty Organization	Organizace Severoatlantické smlouvy
NBROR	Narrowband Random On Random	úzkopásmová náhodná na náhodné
<i>NPL</i>	Normal Prediction Limit	mez normální předpovědi (horní)
<i>NTL</i>	Normal one-sided Tolerance Limit	mez normální jednostranné tolerance (horní)
OASPL	Overall Sound Pressure Level	celková úroveň akustického tlaku
oz	Ounce	unce (jednotka hmotnosti); 1 oz = 28,4 gramů
PC	Personal Computer	osobní počítač
PEM	Power Energy Methods	energetické metody
pk	Peak	vrcholová hodnota
PSD	Power Spectral Density	výkonová spektrální hustota
psf	Pound per Square Foot	libra na čtvereční stopu (jednotka tlaku); 1 psf = 47,88 pascalů
RAF	Royal Air Force	Královské letectvo (V. Británie)
RLDS	Response Location Distance Scaling	lokační distanční modelování odezvy
RMS (rms)	Root Mean Square	efektivní hodnota; střední kvadratická hodnota
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	Radiotechnická komise pro letectví
SaL	Straight and Level flight	přímý a vodorovný let

SD	Sigma Delta	Sigma Delta (analogově digitální převodník)
SDOF	Single Degree Of Freedom	jeden stupeň volnosti
SES	Source Energy Scaling	modelování zdrojové energie
SET	Single-Exciter Test	zkouška s jedním budičem
SNR	Signal to Noise Ratio	poměr signálu k šumu
SOR	Sine On Random	sinusová na náhodné
SPL	Sound Pressure Level	úroveň akustického tlaku
SRS	Shock Response Spectrum	spektrum rázové odezvy
STANAG	NATO Standardization Agreement	standardizační dohoda NATO
STTR	Specialized Test Tolerance Requirements	zvláštní požadavky na tolerance zkoušky
TDM	Time Domain Moments	momenty v časové oblasti
TWR	Time Waveform Replication	reprodukce časového průběhu tvaru vlny
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	bezpilotní vzdušný prostředek
UNDEX	Underwater Explosion	podvodní výbuch
UUT	Unit Under Test	zkoušená jednotka
VTÚPV		Vojenský technický ústav pozemního vojska
WUT	Wind Up Turn	výkrut

6 METODA 400 – ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLIVŮ PROSTŘEDÍ

OBSAH

6.1	ROZSAH PLATNOSTI	13
6.1.1	Účel	13
6.1.2	Použití	13
6.1.3	Omezení	13
6.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	14
6.2.1	Použití naměřených údajů	14
6.2.2	Posloupnost	15
6.2.3	Vlivy prostředí	15
6.2.4	Provoz materiálu	16
6.2.5	Klimatické kondicionování	16
6.3	INFORMACE O ZKOUŠENÍ	17
6.3.1	Podrobné programy zkoušek vlivu prostředí	17
6.3.2	Informace, které má poskytovat Směrnice pro zkoušku	18
6.3.3	Informace před zkouškou	19
6.3.4	Informace v průběhu zkoušky	20
6.3.5	Informace po zkoušce	20
6.3.6	Protokoly o zkoušce vlivu prostředí	20
6.4	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	21
6.4.1	Příprava zkoušky	21
6.4.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	22
6.4.3	Tolerance	23
6.4.4	Přerušování zkoušky	26
6.5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK	28
6.5.1	Ověřování	28
6.5.2	Fyzika poruchy	28
6.6	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	28

6.1 ROZSAH PLATNOSTI

6.1.1 Účel

AECTP-400 je jedním z pěti dokumentů, které přejímá STANAG 4370. Je důležité, aby se pro uplatnění procesu přizpůsobení projektů vnějšímu prostředí nepoužíval AECTP-400 samostatně, ale ve spojení s dalšími AECTP (100 až 500). Tento proces zajišťuje, že materiál je navržen, konstruován, vyvíjen a zkoušen podle požadavků, které jsou přímo odvozeny od očekávaných podmínek skutečného použití. Zvláště důležité je používat dokument AECTP-400 spolu s dokumentem AECTP-100, který obsahuje strategii, plánování a realizaci úkolů v oblasti působení vlivů vnějšího prostředí a s dokumentem AECTP-200 (230, 240 a 250), který podává informace o charakteristikách vnějšího prostředí a poskytuje návod pro volbu zkušebních metod.

Zkušební metody, obsažené v tomto dokumentu spolu s dalšími poznatky, by měly zabezpečit základní úroveň poznání, která poslouží k přiměřenému návrhu a ověření odolnosti materiálu vůči specifickým účinkům mechanického prostředí. Je nutno vzít v úvahu, že zkušební metody vždy pouze imitují účinky závažných vlivů vnějšího prostředí a nemohou být přesnou kopií skutečných vnějších podmínek. Pokud je to možné, používají se pro zamýšlené aplikace omezení. Kde jsou dostupné naměřené údaje, je doporučeno pro stanovení náročnosti zkoušek používat tyto údaje.

6.1.2 Použití

Zkušební metody AECTP-400 zahrnují mechanické vlivy vnějšího prostředí, a to jak samostatně, tak v kombinaci s ostatními vlivy, např. s klimatickými vlivy prostředí, obsaženými v dokumentu AECTP-300. Použití kombinovaných vlivů prostředí je závažná a často nezbytná působící oblast vlivů vnějšího prostředí, ve které lze předpokládat poruchy vlivem možných vzájemně působících účinků.

Při vypracovávání programu zkoušek je třeba brát v úvahu předpokládaný životní cyklus materiálu a změny v odolnosti materiálu, způsobené dlouhotrvajícím vystavením materiálu různým mechanickým prostředím. Podmínky vlivu vnějšího prostředí mají být rovněž přizpůsobeny platformě, na které je materiál uložen. Návod pro použití těchto hledisek a informace o charakteristikách prostředí jsou uvedeny v dokumentu AECTP-200. Směrnice pro plánování a realizaci úkolů v oblasti působení vlivů vnějšího prostředí jsou stanoveny v dokumentu AECTP-100.

Seznam zkušebních metod AECTP-400 v tabulce 6.1 odráží ty, které jsou v současné době vypracovány a dokončeny. Není vyčerpávající v tom smyslu, že bude revidován, když budou vyvinuty další metody. Uvedené metody se nepoužívají bez rozdílu, nýbrž jsou voleny pro použití podle potřeby.

6.1.3 Omezení

Publikace AECTP-400 nebyla zpracována výslovně k tomu, aby pokryla následující aplikace, ale v některých případech se mohou použít:

- a) Účinky na výzbroj jiné než elektromagnetický impulz (EMP).
- b) Zkoušky bezpečnosti munice zahrnující neobvyklá prostředí.
- c) Zkoušky balení.
- d) Vhodnost oděvů nebo dílů z tkanin určených pro vojenské použití.
- e) Metody a postupy vyhodnocování zatížení vlivem prostředí (ESS).

TABULKA 6.1 – Seznam metod mechanických zkoušek

Metoda	Název
400	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLIVŮ PROSTŘEDÍ
401	VIBRACE
402	AKUSTICKÝ ŠUM
403	RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ
404	KONSTANTNÍ ZRYCHLENÍ
405	STŘELBA ZE STŘELNÝCH ZBRANÍ
406	VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD
407	UPEVNĚNÍ MATERIÁLU (Nahrazeno Metodou 424)
408	PŘEPRAVA ROZMĚRNÝCH KOMPLETŮ
409	ZVEDÁNÍ MATERIÁLU (Nahrazeno Metodou 424)
410	STOHOVÁNÍ MATERIÁLU (Nahrazeno Metodou 424)
411	OHYB MATERIÁLU (Nahrazeno Metodou 424)
412	UKLÁDÁNÍ MATERIÁLU DO REGÁLŮ (Nahrazeno Metodou 424)
413	AKUSTICKÝ ŠUM KOMBINOVANÝ S TEPLOTOU A VIBRACEMI
414	MANIPULACE S MATERIÁLEM (Nahrazeno Metodou 403)
415	VÝBUCHOVÝ RÁZ
416	RÁZ V ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVĚ
417	RÁZ SRS (Nahrazeno Metodou 403)
418	POHYBLIVÁ PLATFORMA
419	HODNOCENÍ A ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ
420	VIBRAČNÍ TŘEPÁNÍ ZA LETU
421	VIBRAČNÍ A RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ S VÍCE BUDIČI
422	BALISTICKÝ RÁZ
423	REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY
424	SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVA MATERIÁLU

6.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

6.2.1 Použití naměřených údajů

Konkrétní úrovně, rozsahy, rychlosti a trvání zkoušek se vyvozují z údajů, které se vyskytují na identicky odpovídajícím vhodném materiálu, který je umístěn na platformách za podobných přírodních podmínek prostředí (viz AECTP-240). Pokud údaje ze skutečných situací nejsou k dispozici, nebo je nelze snadno získat ani odhadnout, charakteristiky zkoušky se upravují pomocí informací uvedených ve specifických metodách.

6.2.2 Posloupnost

Jako obecný návod na posloupnost zkoušek se používá předpokládaný sled situací v průběhu životního cyklu (viz AECTP-100). Vychází se z konkrétní posloupnosti u zkoušeného předmětu, jeho předpokládaného použití v závislosti na situaci, dostupných programových prostředcích a očekávaných vzájemně působících účincích jednotlivých zkušebních prostředí. Při definování sledu vlivů v průběhu životního cyklu je potřeba zvážit opakované vystavení vlivům prostředí, které by se mohly přiměřeně vyskytnout během používání v provozu. Ve většině případů neexistuje jediná definovaná posloupnost. Další informace viz AECTP-100 a AECTP-240.

- a) Jako obecný návod na posloupnost zkoušek se používá předpokládaný sled událostí životního cyklu. Zkušenosti však prokázaly určité výhody při provádění určitých zkoušek bezprostředně před jinými zkouškami, v kombinaci s nimi nebo bezprostředně po nich. Pokud byly tyto výhody zjištěny v informacích ve zkušebních metodách, dodržuje se takový sled zkoušek. S přiměřeným přizpůsobením praktických zkušeností a se souhlasem akvizičního úřadu se může použít jiná posloupnost a kombinace zkoušek. S výjimkou informací uvedených v jednotlivých metodách nelze měnit sled zkoušek za účelem zmírnění účinků zkoušek.
- b) Je potřeba porovnat kumulativní účinky na výkon a životnost položky materiálu s posloupností zkoušek, které způsobí zátěž materiálu ve správném pořadí podle profilu jeho úkolu. Vypracování takového sledu zkoušek vyžaduje včasnou a častou komunikaci mezi zadavatelem zkoušky, zkušebním orgánem, hodnotitelem a konečným uživatelem, aby byl zajištěn sledovatelný, spolehlivý a realistický program zkoušek.

6.2.3 Vlivy prostředí

Interpretace účinků zkoušky vlivu vnějšího prostředí závisí na účelu zkoušky v kontextu konkrétního programu na pořízení materiálu. Konstrukční znehodnocení a odchylky ve funkčních vlastnostech mohou být považovány za užitečné informace v průběhu zkoušek technického vývoje, ale jako poruchy při oficiálních zkouškách pro splnění smlouvy. Níže jsou uvedeny některé z nejčastějších podmínek, které by mohly představovat poruchu materiálu v závislosti na konkrétních požadavcích smlouvy.

- a) Odchylka monitorovaných úrovní funkčních parametrů nad přijatelné meze stanovené v záznamu o výkonu před zkouškou a upřesněné v dokumentu s požadavky na zkoušku.

POZNÁMKA

U některých typů materiálu (např. pohonných hmot a elektricky poháněných zařízení) se často očekává, že budou vykazovat snížený výkon při extrémních podmínkách prostředí, zejména při nízké teplotě. Porucha by nastala pouze v případě, že znehodnocení je větší než přípustné nebo materiál zůstane degradován i po odstranění zatížení prostředím.

- b) Nesplnění bezpečnostních požadavků nebo nevypracování bezpečnostních rizik.
- c) Nesplnění specifických požadavků na materiál.

- d) Změny zkoušených předmětů, které by mohly zabránit, aby materiál odpovídal jeho předpokládané životnosti nebo požadavkům na údržbu (např. zkorodované součástky nelze odstranit pomocí určených nástrojů).
- e) Odchyłka od stanovených požadavků na životní prostředí (např. úrovně emisí výfukových plynů nad stanovené limity nebo poruchy těsnění, které umožňují únik oleje).
- f) Další kritéria poruch stanovená ve specifikaci materiálu.

Následující seznam nelze chápat jako všezahrnující, ale uvádí příklady problémů, které by mohly nastat, když je materiál vystaven působení dynamického prostředí.

- a) únava konstrukce a konstrukčních prvků;
- b) vychýlení optické a senzorů;
- c) zborcení, zlomy a praskliny;
- d) odírání kabelů (vodičů);
- e) uvolnění spojovacích a upevňovacích prvků;
- f) přerušené elektrické kontakty;
- g) vzájemný kontakt a zkratování elektrických součástí;
- h) deformace těsnění;
- i) uvolnění částic nebo částí, které se mohou usadit v obvodech nebo mechanismech;
- j) nadměrný elektrický šum.

6.2.4 Provoz materiálu

Pokud je ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí uvedeno, že by materiál měl být v průběhu zkoušek v provozu, pak by to mělo být provedeno ve vhodně určených časech. Provozní vlastnosti materiálu, který neodvádí teplo lze hodnotit kdykoli po ustálení vyvolaných podmínek zkoušek v rámci zkušebních tolerancí. Charakteristika provozu vzorku odvádějícího teplo by měla být provedena po stabilizaci jak teploty, tak zkušebních podmínek. Obecně platí jeden z následujících postupů:

- a) Materiál by měl být v provozu nepřetržitě s hodnocením výkonu v době stanovené ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí.
- b) Materiál by měl být v provozu přerušovaně a mělo by se umožnit ustálení podmínek před provedením hodnocení provozních charakteristik.

U zkoušek provedených za účelem prokázání životnosti materiálu, které vyžaduje vyhodnocení provozních vlastností, by měl být materiál na konci zkoušky uveden do provozu a vyhodnocen.

6.2.5 Klimatické kondicionování

Pokud se ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí vyžaduje, měl by se materiál před zkouškou upravit (kondicionovat) na stanovené podmínky teploty a vlhkosti. Vyžadovaná zkouška by měla být zahájena až poté, co materiál dosáhne stálé teplotní podmínky. Proto musí být před zahájením zkoušky poskytnut dostatečný čas, aby se materiál mohl stabilizovat na požadované počáteční teplotě. To bude záviset na tepelných charakteristikách materiálu, jako je tepelná kapacita, fyzická velikost a přenos tepla. Přestože Směrnice pro zkoušku vlivu prostředí nestanoví teplotu předběžného kondicionování, požadované zkoušky by měly být zahájeny až poté,

kdy materiál bude stabilizován na standardní atmosférické podmínky definované v publikaci AECTP-300, aby byla zajištěna opakovatelnost zkoušky.

V situacích, kdy se zkoušky provádí v průběhu kondicionování konstantní teploty, počáteční stabilizace teploty se považuje za dosaženou, když část zkoušeného materiálu, která se považuje za část s nejdelší tepelnou prodlevou, dosáhne požadovanou teplotu v rámci stanovených zkušebních tolerancí.

V situacích, kdy se zkoušky provádějí v průběhu cyklu kondicionování teploty, by zkoušky měly být zahájeny až poté, co materiál dosáhne stálého teplotního cyklu. Stabilního cyklu se dosáhne, jakmile všechny určené body cyklu se neliší o víc než 2 °C od předchozího cyklu v té části zkoušeného předmětu, která má nejdelší tepelnou prodlevu. To může trvat několik cyklů. Proto je obvykle nezbytné podrobit předmět alespoň jednomu cyklu, aby se stabilizace teploty dosáhla. U malého zkoušeného předmětu může být stabilního cyklu dosaženo již po pouze jednom cyklu, zatímco u zařízení o velikosti vozidla to může trvat čtyři nebo více cyklů. Větší předměty se mohou temperovat předem při konstantní teplotě, aby se snížil počet cyklů, kterých bude zapotřebí k dosažení stabilizace. V ideálním případě by tato teplota měla být na průměrné teplotě cyklu, protože to pravděpodobně povede k nejkratšímu času stabilizace.

Zkoušky vysoké teploty mohou urychlit chemické stárnutí určitých materiálů. Jsou-li teplotní zkušební podmínky rovnocenné nejpřísnějším přírodním podmínkám, existuje možnost, že dojde k urychlenému zhoršení vlastností, pokud budou provedeny dlouhodobé vibrační zkoušky. To může být zvláštním problémem při hodnocení materiálu, který obsahuje energetické materiály a při použití vibračních zkoušek napodobujících extrémní provozní nebo letové podmínky. V takových případech může být nezbytné použít spíše zkušební cyklus s proměnnou teplotou než zkoušky se stálou teplotou.

Každá klimatická komora má užitečný pracovní objem, který je menší než skutečný objem komory. Velikost pracovního objemu bude záviset na druhu prováděné zkoušky, a zda materiál může změnit teplotu a průtok vzduchu uvnitř komory. Poměr mezi velikostí komory a velikostí materiálu může vytvořit značnou proměnlivost teploty a vlhkosti uvnitř pracovního objemu komory. Pokud je materiál příliš velký pro pracovní objem komory, nemusí být možné přiměřené řízení teploty v pracovním objemu, protože zkoušený předmět pohlcuje nebo vyzařuje příliš mnoho tepla. Návod na výpočet nejistoty podmínek v klimatických zkušebních komorách je uveden v IEC 60068-3-11.

V situaci, kdy zkoušený předmět vytváří teplo, musí Směrnice pro zkoušku vlivu prostředí zohlednit průtok vzduchu přes zkoušený předmět, velikost zkušební komory a rozsah, v jakém může být teplota upravena ve vztahu k provoznímu prostředí. Při zkouškách materiálu, který pozměňuje teplotu, může být výhodné nepoužívání nucené cirkulace vzduchu. Pokud je však jediným možným postupem použití nucené cirkulace vzduchu, mohou být použity dvě metody, jejichž podrobné provedení je uvedeno v AECTP-300.

6.3 INFORMACE O ZKOUŠENÍ

6.3.1 Podrobné programy zkoušek vlivu prostředí

Podrobné programy zkoušek pro provádění zkoušek vlivu prostředí jsou nezbytné, aby se rozhodlo, zda jsou splněna kritéria vlivu prostředí a zda jsou splněny

související kritické problémy, a aby se určily kritické prahové hodnoty pro účinnost systému, které se mohou prokázat v průběhu zkoušek. Programy zkoušek vlivu prostředí připravují vývojoví inženýři materiálu, hodnotitelé, odhadci a pracovníci zkušeben na různých úrovních hodnocení konkrétních problémů v průběhu akvizičního cyklu. Vývojoví inženýři a provozní pracovníci zkušeben připravují plány pro zkoušení v laboratořích i v přírodních prostředích (polní podmínky / vozový park).

Pro určení potřeby laboratorních zkoušek, specifických hodnot kritérií (seřizovacích hodnot) pro jednotlivé metody zkoušek vlivu vnějšího prostředí a typů a načasování vývoje nebo provozních zkoušek v přírodních prostředích se používají rozhodnutí a údaje získané v procesu přizpůsobení. Včasná koordinace s odbornou veřejností pro vývojové a provozní zkoušky je nezbytná pro usnadnění přípravy podrobných plánů zkoušek vlivu prostředí a pro zabránění nákladným opomenutím nebo duplicitě při plánování zkoušek vlivu prostředí. Je potřeba zvážit následující okolnosti:

- a) Pravděpodobnost výskytu specifických funkcí vlivu vnějšího prostředí, samostatně nebo v kombinaci.
- b) Výskyt podobných zátěží vnějšího prostředí ve více než jedné fázi životního profilu.
- c) Zkušenosti z jiného materiálu nasazeného/zkoušeného v podobných podmínkách.
- d) Předpokládané vlivy vnějšího prostředí a způsoby poruch materiálu.
- e) Předpokládané účinky na výkon přístrojového vybavení a na úspěch splnění úkolu.
- f) Pravděpodobnost odhalení problému specifickou laboratorní zkušební metodou s použitím specifické posloupnosti zkoušky / nastavení komory nebo umístění / zkušební metody v přírodním prostředí.

6.3.2 Informace, které má poskytovat Směrnice pro zkoušku

Kromě jakýchkoliv jiných informací požadovaných v jednotlivých zkušebních metodách, poskytují se přiměřeně zkušebnímu specialistovi následující informace:

- a) Zkušební zařízení a přístrojové vybavení.
- b) Požadované zkušební postupy.
- c) Umístění přístrojů/senzorů (snímačů), např. termočlánků, převodníků.
- d) Identifikace zkoušeného předmětu.
- e) Určení osy zkoušeného předmětu.
- f) Určení, zda je zkouška předvedením výkonu nebo přežití nebo obojího.
- g) Sestava a způsob upevnění vzorku a případných potřebných kabelů, trubek atd., společně s osou, podél které se má průběh použít.
- h) Náročnost zkoušky a typ tvaru vlny, který má být použit.
- i) Celková doba trvání zkoušky nebo počet opakování, včetně všech příslušných dob přestávek.
- j) Požadovaný rozsah kmitočtu zkušebního zařízení a kmitočtový rozsah specifikovaného tvaru vlny.
- k) Strategie řízení, která má být uplatněna, včetně referenčních, řídicích a monitorovacích bodů nebo postupu pro jejich volbu. To by rovněž mělo zahrnovat jakoukoli kontrolu mezních hodnot, které mají být použity.

- l) Podmínky teploty a vlhkosti a případně tepelné zkušební cykly, za kterých má být zkouška provedena, pokud nejsou jiné než standardní laboratorní podmínky.
- m) Zda je důležitý pohyb napříč osami, a pokud ano, přijatelné meze pro tento pohyb a opatření, která mají být přijata, pokud jsou meze překročeny.
- n) Tolerance, které mají být použity, a ověřovací parametry, na které se vztahují.
- o) Mají-li být posouzeny funkční vlastnosti, musí se zkoušet fáze zkoušky, kdy má být vzorek v provozu a kdy se má posuzovat, a požadované úrovně funkčních vlastností.
- p) Zda jsou vyžadovány nějaké vizuální nebo jiné zkoušky, a pokud ano, v jakých fázích zkoušky mají být provedeny.
- q) Zda je vyžadována dynamická charakterizace před zkouškou a po zkoušce, přístup, který se má použít, a vhodný postup.
- r) Další parametry, které mají být zaznamenány, kritéria pro ověření, která mají být přijata, údaje, které mají být shromážděny a metoda analýzy.
- s) Přípustné odchylky od zkušebního postupu. Zda je třeba zvážit účinky zemské přitažlivosti.
- t) Je-li důležitý vliv bludných magnetických polí, přijatelné meze a opatření, která mají být přijata, jsou-li tyto meze překročeny.
- u) Zda má být vzorek zkoušen s/bez namontovaných upevňovacích úchytů, je-li třeba.
- v) Důležité součástky, pokud jsou použity.
- w) Ustanovení o chlazení, je-li třeba.
- x) Standardní sestava balení (konfigurace) a činnost při opotřebení obalového materiálu.

6.3.3 Informace před zkouškou

Před vystavením vlivům prostředí se zkoušený předmět uvede do provozu za standardních okolních podmínek, aby se zajistila správná funkce zkoušeného předmětu a byly získány základní údaje o jeho charakteristikách. Do dokumentace před zkouškou se uvedou následující informace:

- a) Základní údaje o každém zkoušeném předmětu:
 - (1) názvosloví položky, model, sériové číslo, výrobce atd.;
 - (2) celkový vzhled/stav;
 - (3) specifické fyzické odchylky;
 - (4) historie zkoušek vlivu vnějšího prostředí konkrétního předmětu.
- b) Před provozní zkouškou se shromáždí údaje o funkčních parametrech, které budou monitorovány v průběhu a po každé zkoušce vlivu prostředí. Použijí se funkční parametry a provozní limity stanovené ve specifikaci materiálu nebo v dokumentu s požadavky. Pokud takové specifikace nejsou dostupné, je potřeba je stanovit a využít vhodné parametry/meze pro předběžnou zkoušku, hlavní zkoušku a následnou zkoušku.
- c) Podle potřeby se pořizuje fotodokumentace zkoušeného předmětu k vyhodnocení výsledků po zkoušce.

6.3.4 Informace v průběhu zkoušky

V průběhu vystavení materiálu působení okolního prostředí, případně pro zahrnutí do protokolu o zkoušce by měly být shromážděny následující informace:

- a) Kontrola výkonu. Před a po ukončení všech zkoušek je nutné monitorovat a zaznamenávat důležité parametry výkonu zkoušeného předmětu. Monitorování parametrů funkčních vlastností se nevyžaduje v průběhu neprovozních zkoušek, jako je skladování a přeprava. Důrazně se doporučuje monitorování parametrů funkčních vlastností v průběhu provozních zkoušek. Pokud obavy o náklady znemožňují monitorování v průběhu provozní zkoušky, je třeba zvážit důsledky nezjištěných a občasných poruch.
- b) Zkušební zařízení. Záznamy o podmínkách prostředí použitých pro zkoušený předmět se uchovávají.
- c) Odezva zkoušeného předmětu. Záznam o odezvě zkoušeného předmětu na použité funkce vnuceného prostředí se uchovávají.
- d) Přerušování zkoušky. Viz pokyny týkající se konkrétních zkušebních metod.

6.3.5 Informace po zkoušce

Po dokončení každé zkoušky vlivu prostředí se zkoušený předmět překontroluje v souladu se specifikacemi materiálu. Je-li to vhodné, použije se zkoušený předmět pro získání údajů po zkoušce. Výsledky se porovnají s údaji získanými před zkouškou v souladu s článkem 6.3.2. Do záznamu a protokolu po zkoušce se uvádějí následující informace:

- a) Označení zkoušené položky (výrobce, model / sériové číslo atd.).
- b) Označení zkušebního zařízení, včetně příslušenství.
- c) Skutečný použitý sled (program) zkoušek.
- d) Odchylka od plánovaného zkušebního programu (včetně vysvětlení).
- e) Údaje o výkonu shromážděné při stejných parametrech na stejných provozních úrovních jako před zkouškou (včetně výsledků vizuálních prohlídek a fotodokumentace, je-li třeba).
- f) Zaznamenávají se pravidelně okolní zkušební podmínky v místnosti v průběhu zkušebního období.
- g) Další údaje uvedené v jednotlivých dokumentech o metodách nebo o požadavcích.
- h) Počáteční analýzy poruch, pokud existují.
- i) Blok podpisu a data pro zkušební technika / technika pro ověření zkušebních údajů.

6.3.6 Protokoly o zkoušce vlivu prostředí

Do závěrečného protokolu pro každou zkoušku se podle potřeby uvádějí následující informace:

- a) Účel zkoušky (tj. technický vývoj, způsobilost, zátěž okolního prostředí atd.).
- b) Seznam kritérií a otázek týkajících se zkoušky.
- c) Popis zkoušeného předmětu, včetně označení sestavy zkušebního přístrojového vybavení a případně fotodokumentace.
- d) Popis parametrů zkoušky, trvání zkoušky a všechny zvláštní podmínky zahrnuté ve zkoušce.

- e) Popis zkušební metody, zařízení a zkušebního postupu. Uvádí se podrobný popis toho, jak byl zkoušený předmět provozován v průběhu každé zkoušky a jakýchkoli kontrolovaných podmínek.
- f) Schéma nastavení / fotodokumentace zkoušky. Zobrazuje se uspořádání zkoušené položky vzhledem k použitému zkušebnímu zařízení.
- g) Seznam všech zkušebních zařízení použitých při zkoušce. U každé uvedené položky zkušebního zařízení se uvádí výrobce, model, stav kalibrace a sériové číslo.
- h) Umístění snímačů vlivů prostředí, jako jsou akcelerometry, mikrofony, termočlánky atd., vztahující se ke zkoušenému předmětu. Využívají se podle potřeby schémata, diagramy a fotografie.
- i) Popis systému zkušebních přístrojů se zvláštním důrazem na srovnání snímačů (senzorů).
- j) Výsledky zkoušek, včetně metrických konverzních tabulek, pokud existují.
- k) Odchytky od původního programu zkoušek.
- l) Analýza výsledků vztahujících se k údajům, včetně technik a postupů snižování údajů, které ukazují, jak údaje souvisejí s kritérii, a prohlášení o splnění/nesplnění každého kritéria.
- m) Záznam důležitých hodnot. V situacích, kdy podmínky prostředí omezují nebo výrazně zhoršují výkon systému (např. omezování účinnosti systému infračerveného senzoru mlhou atd.), popíše se omezení a označí se v závěrečném protokolu o zkoušce jako kritická prahová hodnota.

6.4 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

6.4.1 Příprava zkoušky

6.4.1.1 Volba zkušebního zařízení / přístrojového vybavení

Volba zkušebního zařízení / přístrojového vybavení bude vyžadovat posouzení základních zkušebních parametrů (např. posun, rychlost, zrychlení, síla) a měl by zohledňovat příslušné povinné informace uvedené níže, jakož i požadavky specifické pro konkrétní postup. Analýza zařízení pro rázovou zkoušku ve vztahu k těmto zkušebním parametrům by měla brát v úvahu časové, amplitudové a kmitočtové rozsahy, v nichž jsou přístroje schopny poskytnout požadovaný rázový vstup, a že přístrojové vybavení, sběr dat a řídicí systémy jsou schopny řádně zpracovat zkušební údaje.

6.4.1.2 Výchozí a dynamická charakteristika

Předběžné zkoušky buď dynamicky typického příkladu materiálu, doplňkového zkoušeného předmětu nebo samotného zkoušeného předmětu poskytují jistotu, že zkoušky zkoušeného předmětu mohou být provedeny v rámci požadavků na zkoušku. Předběžné zkoušky se běžně používají k vyhodnocení zkušebních upevňovacích přípravků, ujištění, že zkoušky jsou proveditelné při plné úrovni náročnosti v požadovaném teplotním rozsahu, k potvrzení nebo určení vhodné strategie řízení a případně ověření, že zkoušky nepovedou k nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení jakékoli části materiálu. Předběžné zkoušky se mohou rovněž použít k ověření, zda lze dosáhnout požadovaných požadavků na toleranci signálu a ke stanovení úrovně pohybů příčných os.

Předběžné zkoušky by se měly považovat za nedílnou součást zkušebního postupu, zejména při zkouškách velkého celku materiálu nebo při použití buď strategie řízení odezvy, nebo vícebodového řízení. Předběžné zkoušky pomocí dynamicky typické a neutrální verze materiálu je rovněž nezbytné při zkouškách systémů obsahujících energetické materiály. Předběžné zkoušky zahrnují většinou relativně krátkodobou zkoušku. V některých případech, zejména při zkouškách systémů obsahujících energetické materiály, může být nezbytné potvrdit výsledky předběžné zkoušky pomocí skutečného zkoušeného předmětu. Čas strávený touto činností, i když na plné úrovni, se může se souhlasem zadavatele zkoušky považovat za splňující část požadované doby trvání zkoušky.

Pohyb napříč osami by měl být ověřen před vlastní realizací zkoušky provedením zkoumání sinusového nebo náhodného kmitočtu na úrovni předepsané Směrnicí pro zkoušku vlivu prostředí. U některých kmitočtů nebo u zkušebních předmětů velkého rozměru nebo velké hmotnosti může být obtížné dosáhnout požadavků na pohyb napříč osami, v takových případech by měl být ve zkušebním protokolu uveden pohyb skutečně dosažený v celém rozsahu zkušební kmitočtu.

Směrnice pro zkoušku vlivu prostředí může vyžadovat zkoumání dynamických charakteristik před a po zkoušce. Takové zkoumání vlastností může využívat modální zkoušky nebo zkoušky rezonance. Zkoumání dynamických charakteristik lze použít před a po vibrační zkoušce pro určení jakýchkoli změn ve frekvenčních nebo tlumících charakteristikách, které se mohou vyskytnout. Změna kmitočtu nebo tlumení může naznačovat, že došlo k nějaké formě konstrukčního rozkladu zkoušeného předmětu. Jakákoli opatření přijatá ke zjištění změn v kmitočtech nebo tlumících charakteristikách by neměla zásadním způsobem měnit dynamické chování zkoušeného předmětu jako celku. Při předepisování rozsahu probádání dynamických vlastností by odpovídající směrnice měla uvádět, jakou metodu a postup použít. V případě potřeby může rovněž stanovit opatření, která mají být provedena v průběhu zkoušky a po ní, kdy jsou zjištěny změny v kmitočtu nebo tlumení.

6.4.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět musí být mechanicky připojen k budičům a upevňovacím prvkům v požadované orientaci a stavu, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku vlivu prostředí. Není-li stanoveno jinak, musí se zkoušený předmět přidržovat obvyklým způsobem připevnění. Aby se stanovily odezvy ze zkoušeného předmětu, musí instalace zkoušeného předmětu podle potřeby zahrnovat všechna připojení nezbytná pro napájení, zkušební signály, monitorování výkonu a monitorování vybavení.

Pokud buzení nepochází z připojovacích bodů, může být nutné použít náhradní způsoby připojení k budiči vibrací. Konkrétní pokyny týkající se montáže zkušebních předmětů a zkušebních přípravků pro vibrační a rázové zkoušky jsou uvedeny v AECTP-240, Část 2411/1. Návod je rovněž dostupný v publikaci IEC 60068-2-47.

Montážní uspořádání by mělo být takové, aby zkoušený předmět mohl vibrovat podél jedné z určených zkušebních os. Upevňovací body zkoušeného předmětu by se měly pohybovat, pokud je to možné, ve fázi a v přímých rovnoběžných liniích s přímkou pohybu. Může být nezbytné, aby se pro každou zkušební osu použily různé zkušební přípravky.

Jakákoli připojení ke zkoušenému předmětu, jako jsou kabely, potrubí, kabely (vodiče), by měly být uspořádány tak, aby vkládaly podobná dynamická omezení

a hmotnost, jako když je materiál nainstalován v jeho provozní poloze. Je třeba se vyvarovat použití jakýchkoli dodatečných držáků nebo popruhů.

Je-li důležitá gravitační síla, nebo pokud je pochybnost o vlivu zemské přitažlivosti, měl by být zkoušený předmět namontován tak, aby gravitační síla působila ve stejném směru, jako by tomu bylo při obvyklém použití. Není-li gravitační síla důležitá, může být zkoušený předmět namontován v jakékoli poloze odpovídající ostatním požadavkům.

Zkoušené položky určené k použití v systémech pro tlumení rázů nebo vibrací by měly být zkoušeny s těmito tlumiči na svém místě. Je to proto, že je obtížné přesně opakovat chování dynamických odezev tlumičů, které mohou být významně ovlivněny teplotou. Pokud provádění vibrační zkoušky s příslušnými tlumiči není praktické, měla by být zkouška provedena bez tlumičů s upravenou náročností zkoušky, která je odvozena z měření charakteristik dynamické odezvy tlumičů. Rozšířené periody buzení mohou způsobit nerealistické zahřívání zkoušeného předmětu a/nebo tlumičů. Pokud se jedná o zvyšující se teploty, buzení by mělo být přerušeno dobami přestávek s dobou uvedenou ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí.

6.4.3 Tolerance

Pokud není ve Směrnici pro zkoušku vlivu prostředí stanoveno jinak, měly by tolerance všech náročností zkoušky odpovídat pokynům uvedeným v této části. Jakákoli odchylka od stanovených tolerancí by měla být dohodnuta se zadavatelem zkoušky a skutečně dosažené tolerance a důvody odchylky by měly být uvedené v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí.

Kromě specifikace dynamické zkoušky by Směrnice o zkoušce vlivu prostředí měla rovněž specifikovat další parametry spolu s příslušnými tolerancemi, které jsou považovány za nezbytné k zajištění vhodného tvaru vlny. Běžně přijatými dalšími parametry jsou střední kvadratická hodnota (RMS) pro konvenční vibrační zkoušky, činitel výkyvu pro vibrační zkoušky s vysokou strmostí, maximální amplituda pro zkoušky založené na spektru rázové odezvy (SRS) a dočasné časy pro zkoušky reprodukce časového průběhu tvaru vlny. Lze však přijmout i další parametry.

Obecné tolerance zkoušky, které se vztahují na dynamické zkoušky, jsou uvedeny v tabulkách 6.2 a 6.3. Zkušební tolerance specifické pro konkrétní zkoušku jsou zahrnuty do příslušných zkušebních metod.

TABULKA 6.2 – Tolerance zkoušky použitelné na všechny zkoušky

Tolerance zkoušky (pokud není ve Specifikaci prostředí zkoušky uvedeno jinak)	
Chyba měření (včetně snímačů)	±5 % v celém rozsahu zkušebního kmitočtu
Pohyby příčné osy	Maximální amplituda příčné osy v řídicím bodě nesmí překročit 50 % specifikace roviny
Doba trvání zkoušky	±2 % specifikovaného požadavku

TABULKA 6.3 – Orientační tolerance zkoušky pro různé parametry ověření tvaru vlny

Tolerance zkoušky (skutečné hodnoty musí být specifikovány ve Směrnici pro zkoušku vlivu prostředí)	
Tolerance pro rázové komponenty	
Úroveň vrcholu tvaru rázové vlny	Do 20 % od stanovené amplitudy tvaru vlny pro nejméně 90 % vrcholů
Změna rychlosti	Změna rychlosti musí být v rozmezí ± 15 % hodnoty odpovídající specifikovanému rázovému tvaru vlny
Efektivní doba trvání	± 20 % specifikovaného cílového tvaru vlny
Hustota pravděpodobnosti amplitudy	Do 20 % z těch, které byly vypočteny ze stanoveného časového průběhu
Rychlost rozpadu	Doba, po kterou se rázový impulz rozpadne na bod -60 dB, by měl být v rozmezí 20 % stanovené hodnoty
Počty cyklů a úrovní překročení	Do 10 % z těch, které byly vypočteny ze zadaného časového průběhu
Spektrum rázové odezvy	V rámci $\pm 1,5$ dB, ve specifikovaném kmitočtovém rozsahu spektra vypočítaného ze specifikovaného časového průběhu, s použitím Q 10 (tlumení 5 %) a alespoň rozlišení šířky pásma jedné dvanáctiny oktávy. Třebaže to může být uvolněno na ± 3 dB až pro 20 % specifikovaného kmitočtového rozsahu SRS
Spektrum únavového poškození	Do ± 6 dB od hodnoty vypočítané ze stanoveného časového průběhu
Tolerance pro vibrační komponenty	
Výkonová spektrální hustota	± 3 dB stanovené hodnoty měřené v referenčním bodě
Statistická chyba náhodného vzorkování	Lepší než 10 % (což odpovídá součinu šířky pásma / doby vzorkování (BT) 60 nebo ekvivalentu 120 stupňů volnosti)
Střední kvadratická hodnota (RMS)	± 10 % stanovené hodnoty, měřeno v referenčním bodě v rozsahu zkušební kmitočtu

Tolerance zkoušky (skutečné hodnoty musí být specifikovány ve Směrnici pro zkoušku vlivu prostředí)	
Tolerance pro vibrační komponenty	
Kmitočtová šířka pásma analyzátoru	Nesmí být větší než 20 % polovičního výkonového bodu vztaženého ke konstrukční rezonanci nebo nejužší úzkopásmové složce a nesmí překročit 5 Hz. To je nejužší rezonance, která by měla být definována minimálně pěti spektrálními čarami mezi polovičními výkonovými body
Odezvy mimo rozsah zkušebních kmitočtů	Méně než 20 %
Gradient poklesu	Spektrální gradient pod nejnižším zkušebním kmitočtem nesmí být menší než +6 dB/oktáva
Gradient stoupání	Spektrální gradient nad nejvyšším zkušebním kmitočtem musí být větší než -24 dB/oktáva
Rozdělení amplitudy	Rozdělení okamžitých hodnot aplikované náhodné vibrace by mělo být nominálně Gaussovo a musí obsahovat všechny výskyty až do 2,7 směrodatných odchylek, zatímco výskyty větší než 3 směrodatné odchylky by měly být udržovány na minimu. (u zkoušek s vysokou strmostí by měly být standardní požadavky na rozdělení amplitudy nahrazeny specifickými požadavky na strmost nebo na rozdělení)
Vibrační tvar vlny	Do 20 % od stanovené amplitudy tvaru vlny po dobu nejméně 90 % časového průběhu
Hustota pravděpodobnosti amplitudy	Do 20 % z těch, které byly vypočteny ze zadaného časového průběhu
Okamžité úrovně vrcholu	Do 10 % zadaných hodnot
Střední kvadratická hodnota (RMS)	Do 1 % z těch, které byly vypočteny ze zadaného časového průběhu
Počty cyklů a úrovně překročení	Do 10 % z těch, které se počítají ze zadaného časového průběhu.
Spektrum maximální odezvy	Do 20 % z těch, které se počítají ze zadaného časového průběhu
Porovnání amplitudové oblasti	Do 10 % zadané amplitudy tvaru vlny

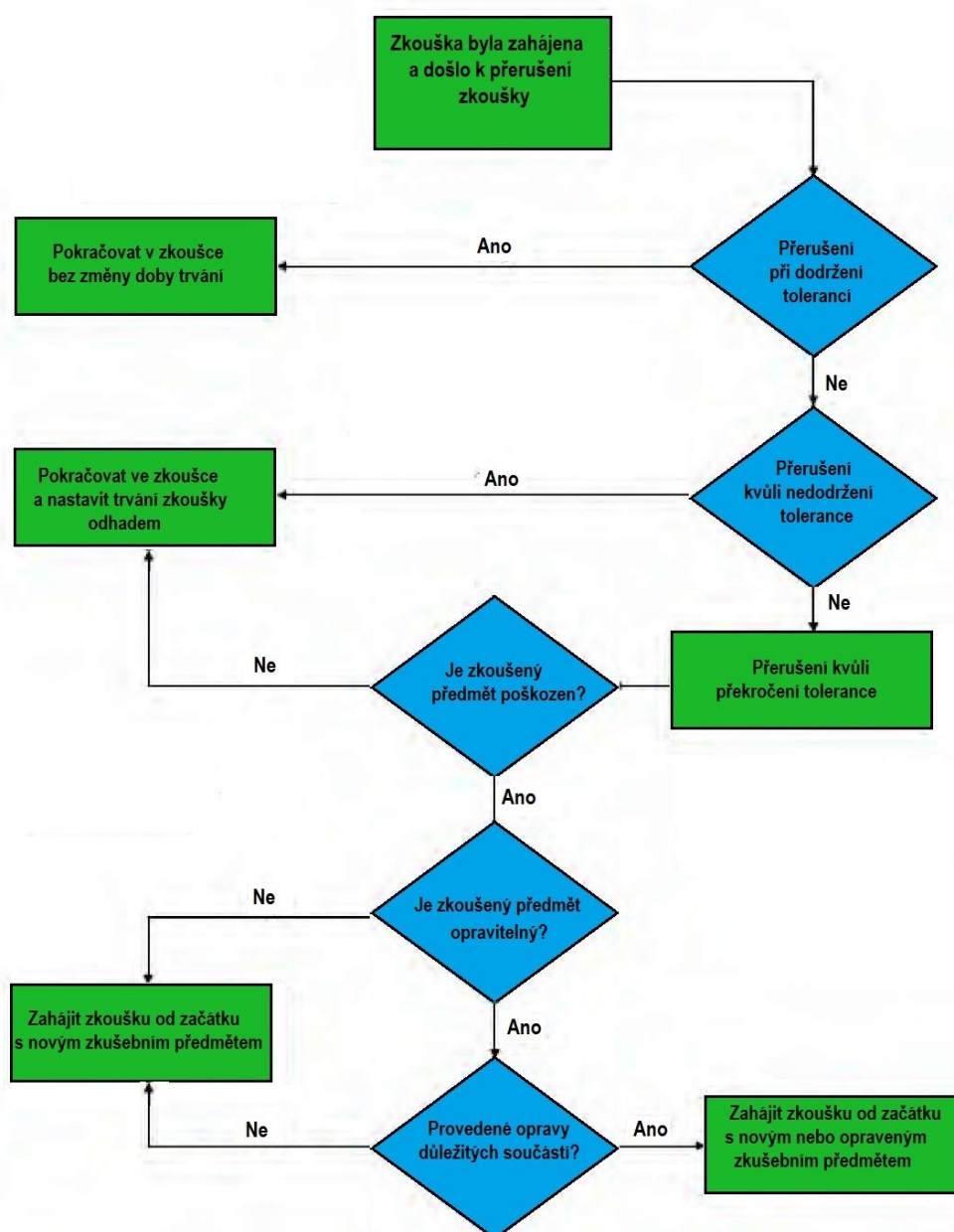
6.4.4 Přerušení zkoušky

Pro účely standardizace a platných zkoušek, a není-li v jednotlivých metodách stanoveno jinak, se použijí při přerušení dynamické zkoušky následující postupy. Přerušení zkoušky a jakákoli odchylka od následujících informací se vysvětlí v Protokolu o zkoušce. Jakékoliv zjištění, které může naznačovat bezpečnostní problém, by mělo být vzhledem k povaze zkoušek okamžitě vyřešeno.

- a) **Přerušení zkoušky při dodržení tolerancí.** Období přerušení, během nichž se před zastavením zkoušky ověřuje, že předepsané podmínky mechanické zkoušky jsou v toleranci (např. přerušení napájení, která nepříznivě neovlivňují zkoušený předmět), nepředstavují přerušení zkoušky. Proto, pokud ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí není náhradní postup, měly by zkoušky pokračovat od okamžiku, kdy byly zastaveny. Pokud však během mechanické zkoušky dojde k přerušení kondicionování teploty, je nezbytné před zahájením zkoušky provést předběžné kondicionování a stabilizaci teploty podle článku 6.2.5.
- b) **Přerušení zkoušky při nedodržení tolerancí.** Logické schéma této podmínky je na obrázku 6.1.
 - (1) Podlimitní zkoušení. Pokud tolerance zkušebních podmínek klesnou pod minimální hodnotu tolerance (tj. zátěž prostředí je méně náročná, než je uvedeno) a výsledkem je podlimitní zkoušení, může se ve zkoušce pokračovat (po znovuoobnovení předepsaných podmínek, výjimek uvedených v jednotlivých metodách) od okamžiku, kdy podmínka zkoušky klesla pod nižší úroveň tolerance. Aby byla dosažena předepsána doba trvání zkušebního cyklu, je nezbytné zkoušku prodloužit.
 - (2) Nadlimitní zkoušení. Dojde-li k nadlimitnímu zkoušení, je preferovaným postupem zkoušku zastavit a začít znovu s novým zkoušeným předmětem. Pokud lze prokázat, že nadlimitní zkoušení nemělo na zkoušený předmět zjevný účinek, ve zkoušce se pokračuje. Nadlimitní zkoušení může poškodit zkoušený předmět a způsobit následné poruchy, které by jinak nemusely nastat, čímž dojde k selhání zkoušeného předmětu kvůli neplatné zkoušce. Pokud však dojde ke zjevnému poškození přímo způsobenému nadlimitním zkoušením u součásti zkoušeného předmětu, která nemá naprosto žádný dopad na shromážděné údaje a je známo, že takové poškození je jediným poškozením způsobeným nadlimitním zkoušením (např. gumové nožičky na dně zkoušeného předmětu roztavené vysokou teplotou, kde tyto nožičky nemají žádný vliv na funkci zkoušeného předmětu), může být zkoušený předmět opraven a zkouška obnovena a prodloužena jako u podlimitního zkoušení. Před opravou a před dalším pokračováním ve zkouškách předmětu po nadlimitním zkoušení, by vedoucí provádějící zkoušku měli spolupracovat s uživatelem. Tato spolupráce má za cíl zabránit námitkám zákazníka, pokud zkoušený předmět selže během zbývajících částí programu zkoušky (reklamuje, že zkouška byla neplatná za bodem nadlimitního zkoušení, protože nadlimitní zkoušení způsobilo neodhalené poškození na důležité součásti).
- c) **Přerušení zkoušky z důvodu poruchy funkce zkoušeného předmětu.** Každá metoda obsahuje informace pro činnost při přerušení zkoušky kvůli poruše zkoušeného předmětu. Každé takové přerušení se musí pečlivě

analyzovat. Porucha zkoušeného předmětu může být způsobena souhrnným zatížením několika následných zkoušek, a ne pouze závěrečnou zkouškou, kdy zkoušený předmět selhal.

- d) **Plánovaná přerušení.** Mohou nastat situace, kdy je nutné zkoušky přerušit. Může se jednat o provedení údržby zkoušeného předmětu nebo o provedení kontroly. Taková přerušení musí být naplánována před zahájením zkoušky, aby se minimalizovalo narušení zkoušky. Nelze dovolit, aby tato přerušení ovlivnila výsledek zkoušky. Kromě toho by neměly být tak časté, aby se zkušební podmínky mezi přerušením nemohly stabilizovat. Všechna plánovaná přerušení by měla být zdokumentována před zahájením zkoušek. Odůvodnění jakékoli odchylky nebo neplánovaného přerušení musí být zdokumentováno v okamžiku, kdy k němu dojde.



OBRÁZEK 6.1 – Logické schéma přerušení zkušebního cyklu

6.5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

6.5.1 Ověřování

Dosažení specifikované náročnosti zkoušky v požadovaných pásmech tolerance se musí ověřovat. Ověření musí poskytnout:

- a) Změřené a zaznamenané informace pro každý z parametrů a vlastností tvaru vlny specifikované ve Směrnici pro zkoušku vlivu prostředí.
- b) U dlouhodobých zkoušek by mělo být ověření provedeno na začátku, v průběhu a na konci zkoušky. Pro krátkodobé zkoušky by měla být použita celá délka záznamu.
- c) Měření prováděná pro účely ověřování musí používat přístrojový řetězec schopný měřit v kmitočtovém rozsahu od poloviny nejnižší zkušební kmitočtu až po nejméně dvojnásobek nejvyššího zkušební kmitočtu.
- d) Musí se změřit a nahlásit chyba přístrojového vybavení, pohyby napříč osami ve všech řídicích bodech a doba trvání zkoušky / průběh tvaru vlny.
- e) Musí se vykazovat fotodokumentace o provedené zkoušce a měřicí a řídicí přístrojové vybavení a jeho umístění.
- f) Zaznamenává se teplota a vlhkost vzduchu v dostatečném počtu bodů, které charakterizují proměnlivost v pracovním prostoru komory. Teplota a vlhkost se zaznamenávají ve vhodných intervalech ne menších než 10 minut nebo setina celkové doby a jakéhokoli předběžného kondicionování, podle toho, který interval je menší.
- g) Formát použitý při prezentaci výsledků ověřovacího procesu musí být stejný jako formát použitý ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí. Ověřovací údaje by se měly předkládat v dohodnutém digitálním formátu.

6.5.2 Fyzika poruchy

Analýza poruch musí dávat do souvislosti mechanismus poruchy, dynamiku selhaného předmětu a dynamické prostředí. Nestačí určit, že se něco zlomilo kvůli vysokocyklové únavě nebo opotřebením. Poruchu je nutné spojit s dynamickou odezvou materiálu na dynamické prostředí. Rozsah a podrobnosti analýzy by měly být koordinovány a schváleny příslušným zkušebním orgánem. Kromě obvyklých vlastností materiálů, míst vzniku trhlin atd. se doporučuje do analýzy poruch zahrnout stanovení rezonančních vlastních tvarů, kmitočtů, hodnot tlumení a rozložení dynamických deformací. Další pokyny k fyzice techniky poruchy jsou uvedeny v AECTP-600, Část 604.

6.6 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) Def Stan 00-035, Část 3, Kapitola 1-03, Příručka pro obranný materiál, Zkoušky vlivů vnějšího prostředí, Všeobecné podmínky a tolerance pro zkoušky vlivu prostředí (Environmental Handbook for Defence Materiel, Environmental Testing, General Environmental Test Conditions and Tolerances).
- b) Def Stan 00-035, Část 3, Kapitola 1-04, Příručka pro obranný materiál, Zkoušky vlivů prostředí, Zkušební přístroje / přípravky / upevňovací prostředky a řízení zkoušek (Environmental Handbook for Defence Materiel, Environmental Testing, Test Apparatus / Jigs / Fixtures and Test Control).

- c) MIL-STD-810, Aspekty inženýrství pro vliv prostředí a laboratorní zkoušky, Laboratorní zkoušky (Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Laboratory Tests).
- d) IEC 60068-3-11, Zkoušky vlivu vnějšího prostředí – Část 3-11: Pomocná dokumentace a návody – Výpočet nejistoty podmínek v klimatických zkušebních komorách (Environmental testing – Part 3-11: Supporting documentation and guidance – Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers).
- e) IEC 60068-2-47, Zkoušky vlivu prostředí – Část 2-47: Zkoušky – Montáž vzorků pro vibrační, rázové a podobné dynamické zkoušky (Environmental testing – Part 2-47: Tests – Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests).

7 METODA 401 – VIBRACE

OBSAH

7.1	ROZSAH PLATNOSTI	31
7.1.1	Účel	31
7.1.2	Použití	31
7.1.3	Omezení	31
7.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	31
7.2.1	Použití naměřených údajů	31
7.2.2	Posloupnost	31
7.2.3	Vlivy prostředí	32
7.2.4	Výběr zkušebních postupů	32
7.3	NÁROČNOSTI ZKOUŠKY	34
7.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	34
7.4.1	Povinné	34
7.4.2	Jsou-li požadované	35
7.4.3	Zkušební zařízení	36
7.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	36
7.5.1	Příprava zkoušky	36
7.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	37
7.5.3	Postup	38
7.5.4	Tolerance	39
7.5.5	Řízení	42
7.5.6	Přerušování zkoušky	45
7.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK	45
7.6.1	Ověřování	45
7.6.2	Hodnocení provozních charakteristik	46
7.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	47
 Přílohy		
Příloha 7A	VÝCHOZÍ NÁROČNOSTI VIBRACÍ	50
Příloha 7B	OVĚŘOVACÍ INFORMACE PRO RŮZNÉ DRUHY VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK	131
Příloha 7C	INFORMACE, KTERÉ SE MUSÍ DOKUMENTOVAT, KDYŽ NELZE SPLNIT POŽADAVKY NA VIBRAČNÍ ZKOUŠKY	135

7.1 ROZSAH PLATNOSTI

7.1.1 Účel

Účelem této metody je zjistit účinky vibračních prostředí na materiál, které by se mohly vyskytnout v průběhu jeho životnosti. Tato zkušební metoda je navržena tak, aby byla obecně použitelná. Zahrnuje základní náhodné a sinusové vibrační buzení a komplikovanější složené formy vibrací. Tato metoda vyhovuje strategiím jak pro řízené vstupy, tak pro zkoušky řízené odezvy.

7.1.2 Použití

Tato metoda se používá tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost, aby odolával předepsaným vibračním podmínkám bez nepřijatelného znehodnocení funkčních nebo konstrukčních charakteristik.

7.1.3 Omezení

Tuto obecnou metodu vibračních zkoušek lze přizpůsobit většině aplikací, je však rovněž dostupná řada speciálních zkušebních metod. Pro vibrační zkoušky pomocí více budičů je vhodnějším postupem Metoda 421 „Vibrační a rázové zkoušení s více budiči“. Pro vibrační zkoušky, které používají distribuovaná akustická buzení lze uplatnit zkušební Metodu 402 „Akustický šum“ a Metodu 413 „Akustický šum kombinovaný s teplotou a vibracemi“. Tam, kde se požaduje opakování konkrétního průběhu nebo tvaru vlny vibrací, lze použít postup podle Metody 423 „Reprodukce časového průběhu tvaru vlny“. U nevázaného materiálu by se měla zvážet Metoda 406 „Volně ložený náklad“.

Tato zkušební metoda je určena k použití ve spojení s pokyny v příručce AECTP-240, Část 2411/1 „Zkušební přístroje / přípravky / upevňovací prostředky a řízení zkoušek“. Tato část poskytuje konkrétní návody k používání zkušebních přípravků pro vibrační a rázové zkoušky a uplatňování vhodných strategií řízení vibrací a rázů a souvisejících zásad ověřování.

7.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

7.2.1 Použití naměřených údajů

Tato metoda obsahuje obecné náročnosti určené k simulaci mnoha provozních podmínek a lze ji použít v případech, kdy není nutná přesná simulace a kde lze tolerovat určitý stupeň nadlimitního zkoušení. Náročnosti a další parametry pro tuto zkušební metodu by měly být založeny na účelu, pro který je prováděna, a na podmínkách, ve kterých je pravděpodobné, že jim bude materiál v průběhu provozu vystaven. V ideálním případě by zkoušky měly vycházet z naměřených údajů odvozených z provozních podmínek a použití. Postupy pro odvozování náročnosti zkoušek z naměřených údajů, které jsou odvozeny z provozních podmínek a použití jsou uvedeny v AECTP-240, Část 2410.

7.2.2 Posloupnost

Posloupnost zkoušek by měla normálně odrážet sled prostředí, ve kterých se předpokládá, že jim bude materiál vystaven v průběhu jeho životního cyklu. Praktická omezení, jako je čas, plánování a zdroje, však mohou vyžadovat úpravu tohoto přístupu. Pokud existují pochybnosti o vhodném pořadí zkoušek, měly by být vibrační zkoušky provedeny před klimatickými zkouškami souvisejícími se stejnými fázemi životního cyklu.

Účinky vibrací mohou ovlivnit funkci, když je materiál zkoušen za jiných podmínek prostředí, jako je teplota, vlhkost, tlak, elektromagnetismus atd. Je tedy nezbytné, aby byl materiál, který bude pravděpodobně citlivý na kombinaci různých prostředí, zkoušen současně v příslušných kombinacích. Pokud se však má za to, že kombinovaná zkouška není nezbytná, nebo pokud je nepraktické provádět kombinovanou zkoušku, a pokud existuje požadavek na vyhodnocení účinků vibrací společně s jinými prostředími, měl by být zkoušený předmět vystaven postupně všem relevantním podmínkám prostředí.

7.2.3 Vlivy prostředí

Vibrace má potenciál vyvolat různé fyzikální účinky na materiál. Vibrace mohou vyvolat poškození, které může být zhoršeno následným uplatněním jiných podmínek prostředí. Naopak vibrace mohou zhoršit poškození způsobené dříve aplikovanými podmínkami prostředí. Některé z těchto účinků lze pozorovat až po dostatečné době. Typické účinky vibrací zahrnují:

- a) odírání kabelů (vodičů);
- b) uvolňování upevňovacích prvků;
- c) přerušené elektrické spoje;
- d) vzájemný kontakt a krátké spojení elektrických součástí;
- e) deformace těsnění;
- f) únava materiálu (konstrukce a součástí);
- g) optické vychýlení;
- h) tvorba trhlin a prasklin;
- i) uvolňování částic nebo dílů, které se mohou usazovat v obvodech nebo mechanismech;
- j) nadměrný elektrický šum.

7.2.4 Výběr zkušebních postupů

Tato metoda obsahuje pouze jeden zkušební postup, který je uveden v článku 7.5.3, zahrnuje však řadu běžně používaných druhů vibračního buzení včetně vibračních zkoušek se sinusovým kmitočtem, jako je sinusová vibrace se stálým kmitočtem, s rozmítanými kmitočty a krokovými kmitočty; základní zkoušky s náhodnými vibracemi, jako jsou širokopásmové, stálé úzkopásmové a rozmítané úzkopásmové; stejně jako tzv. složené druhy zkoušek. U složených druhů zkoušek se obvykle na pozadí širokopásmových náhodných vibrací překrývají stálé kmitočty nebo rozmítaná, sinusová nebo náhodná úzká pásma.

Další postupy týkající se používání víceosých budičích systémů a systémů s více budiči jsou uvedeny v Metodě 421 „Vibrační a rázové zkoušení s více budiči“. Použití víceosých budičích systémů nebo systémů s více budiči může být výhodné, zejména při zkoušení velkých konstrukcí a zejména municí a raket určených pro použití ve vysoce výkonných proudových letadlech. V těchto případech je záměrem reprodukovat vibrace vznikající z distribuovaných buzení vyskytujících se na celém povrchu rámu. Použití generátorů s více budiči má potenciál vytvořit realističtější rozložení vibračních odezev v munici, než by bylo možné dosáhnout z jediného zdroje.

Metoda 421 řeší situace, ve kterých velikost zkoušeného předmětu vyžaduje použití více než jednoho budiče, nebo přesnost zkoušky vyžaduje více než jeden

mechanický stupeň volnosti. Obecně platí, že pokud má zkušební zařízení schopnost zabývat se více než jedním mechanickým stupněm volnosti a pokud lze takové zkoušky provádět časově a nákladově efektivním způsobem, mělo by se za zkušební variantu považovat zkoušení více os. Pokud jsou výchozí křivky poskytnuté v různých kategoriích Metody 401 použity jako referenční křivky ve zkoušce s více osami, mělo by být uznáno, že prvky křížové spektrální hustoty (CSD) nebudou definovány. Metoda 421 doporučuje, aby byly koherenční podmínky blízké nule. Některé snížení hladin (např. nižší faktory konzervatismu) může být odůvodněné, pokud lze prokázat, že zkouška s více stupni volnosti (MDOF) vede k podstatně vyšším úrovním zátěže nebo nižší únavové životnosti než u postupných zkoušek s jediným stupněm volnosti (SDOF).

Konkrétní postupy týkající se opakování konkrétních časových průběhů nebo tvarů vln jsou uvedeny v Metodě 423 „Reprodukce časového průběhu tvaru vlny“. Tato metoda je použitelná tam, kde je nezbytné opakovat konkrétní hlediska doby v průběhu provozu. To může být nezbytné, protože průběhy jsou složitější než ty, které lze touto metodou přizpůsobit. To může nastat v případě, že tvar vlny není pevný, je negaussovský nebo obsahuje kombinaci vibrací a rázů. Zkušební metoda reprodukce časového průběhu tvaru vlny může být rovněž použita, když je třeba přesněji řídit specifické aspekty průběhu, než je možné (tj. když je důležitý fázový vztah mezi složkami).

Zkoušky s náhodnými vibracemi tradičně používaly nominálně Gaussovo rozdělení amplitud, ale maximální amplitudy byly zkráceny na přibližně tři standardní odchylky. V posledních letech se stalo komerčně dostupných několik různých technik, které umožňují dosáhnout požadovanou výkonovou spektrální hustotu, ale s rozdělením tvaru vlny modifikovanou tak, aby umožňovala vyšší amplitudy s větší pravděpodobností. To obvykle vede k rozdělení se čtvrtým statistickým momentem (strmostí), který je větší než u normálního nebo Gaussova rozdělení, proto je tento přístup někdy označován jako zkoušky s vysokou strmostí nebo negaussovské vibrační zkoušky.

Obecný postup vibračních zkoušek stanovený v této metodě může vyhovět negaussovským vibračním zkouškám za předpokladu, že příslušné další parametry strmosti jsou stanoveny ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Tyto parametry zahrnují (ale nejsou omezeny pouze na ně):

- a) Druh negaussovských zkoušek, které mají být provedeny (viz níže); bude záviset na použitém řídicím softwaru.
- b) Požadovaná strmost (nebo rozdělení pravděpodobnosti).
- c) Požadovaná šikmost.
- d) Požadovaný činitel výkyvu.
- e) Požadovaná střední kvadratická hodnota ve zkušebním kmitočtovém rozsahu.

Specifikace zkoušky vlivu prostředí by také měla jasně stanovit cíle zkoušky a zdůvodnění použití zkoušky s vysokou strmostí. Negaussovské náhodné vibrační zkoušky vyžadují vibrační regulátor, zesilovač a budicí systém vhodný pro Gaussovu náhodnou vibraci, ale se zvýšenými schopnostmi činitele výkyvu. U některých komerčně dostupných technik je možné použít tvar vlny s nenulovou šikmostí nebo se strmostí menší než u Gaussova rozdělení.

Existuje několik komerčně dostupných technik, které lze použít k úpravě Gaussovy křivky na negaussovskou. Tři z nejčastějších základních metodik jsou:

- a) Metodika amplitudové modulace.
- b) Metodika modifikace (změny) fáze.
- c) Nejednotná fázová metodika.

Je třeba poznamenat, že různé metodiky vytvářejí zřetelně odlišné průběhy. Pouhé zadání spektra, šikmosti a strmosti nevede k tvaru vlny s jedinečnými charakteristikami. Z tohoto důvodu metodiky nemusí být nutně zaměnitelné a mohou způsobit různé poruchy, i když náročnost zkoušky je nominálně totožná. Kromě toho již nejsou použitelné běžné metody komprese zkušební doby založené na Minerově zákonu. Při provádění zkoušek s vysokou strmostí je proto třeba dbát na to, aby použité parametry a splněná zkouška odpovídaly požadavkům, a to bez nadlimitního nebo podlimitního zkoušení. Je rovněž nezbytné zaznamenávat, analyzovat a ověřovat charakteristiky tvaru vlny oproti původnímu požadavku.

Přestože je většina požadavků na vibrační zkoušky stanovena pomocí zrychlení jako řídicího parametru, nejedná se o nezbytný předpoklad postupu této metody. Požadavky na vibrační zkoušky mohou používat zrychlení, rychlost, posuv nebo sílu jako řídicí parametry. Síla je nejběžnějším náhradním parametrem ke zrychlení pro řízení vibračních zkoušek. V takových případech jsou snímače síly umístěny mezi budičem / upínacím přípravkem a zkoušeným předmětem. Řízení buzení se pak děje na základě zpětné vazby od těchto snímačů, stejným způsobem jako pro zrychlení. Řízení síly může být provedeno pro realističtější opakování dynamické interakce mezi materiálem a podvozkovou plošinou v provozu. Může být rovněž použito k zabránění nadlimitního nebo podlimitního zkoušení materiálu, zejména v režimech konstrukční odezvy při nižším kmitočtu.

Elektrodynamické a servohydraulické vibrační budicí zařízení může dnes pojmut poměrně velký a těžký materiál. Pro velmi velký nebo těžký materiál však může být nutné zvážit použití náhradních přístupů, jako jsou zkušební dráhy pro pozemní vozidla. Tyto přístupy mohou být navíc nezbytné, pokud je materiál dynamicky ovlivňován platformou.

7.3 NÁROČNOSTI ZKOUŠKY

Náročnosti a další parametry pro tuto zkoušku by měly vycházet z podmínek a profilů použití, se kterými se materiál pravděpodobně setká v provozu. V ideálním případě by měly být náročnosti zkoušky odvozeny z naměřených údajů. Postupy pro odvozování náročnosti zkoušky z naměřených dat jsou stanoveny v AECTP-240, Část 2410. Obecné náročnosti pro simulaci mnoha provozních podmínek jsou stanoveny v příloze 7A. Tyto náročnosti by se měly použít v případech, kdy není nutná přesná simulace a kde lze tolerovat stupeň nadlimitního zkoušení.

7.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

7.4.1 Povinné

Specifikace zkoušky vlivu prostředí musí obsahovat:

- a) Označení zkoušeného předmětu.
- b) Název/číslo zkoušeného předmětu.
- c) Druh zkoušky (vývojová, schvalovací atd.).

- d) Zda je zkouška předvedením funkčních vlastností, životnosti nebo obojí.
- e) Určení náročnosti zkoušky.
- f) Způsob montáže zkoušeného předmětu a případných potřebných kabelů, trubek atd., orientace předmětu vzhledem k osám a snímačům, podél nichž mají vibrace působit.
- g) Zda se mají vzít v úvahu účinky zemské přitažlivosti.
- h) Zda má být zkoušený předmět zkoušen s namontovanými nebo bez namontovaných montážních úchytlů.
- i) Strategie a požadavky na předběžné zkoušky, včetně parametrů, které mají být stanoveny, a kritérií pro ověření zkoušky, která se mají přijmout.
- j) Druh vibrační zkoušky, náročnosti vibrační zkoušky, osy, snímače a pořadí, ve kterém se mají vibrace použít a rovněž doba trvání zkoušky.
- k) Podmínky teploty a vlhkosti a případně tepelné zkušební cykly, za nichž má být zkouška provedena, pokud jsou jiné než standardní laboratorní podmínky a související doba předběžného kondicionování.
- l) Strategie řízení zkoušky, která se má použít, včetně referenčních, řídicích a monitorovacích bodů nebo postupu pro jejich výběr.
- m) Minimální rozlišení kmitočtů, které mají být použity pro účely řízení, monitorování a ověřování.
- n) Maximální přípustná odchylka mezi odezvami naměřenými v řídicích bodech a činnosti, které se mají provést, jsou-li tyto meze překročeny (použitelné pouze pro vícebodové řízení).
- o) Zda je důležitý pohyb napříč osami, a pokud ano, přijatelné meze pro tento pohyb a opatření, která mají být přijata, pokud jsou meze překročeny.
- p) Zda se má posoudit výkon funkce, musí se stanovit fáze zkoušky, kdy má být zkoušený předmět hodnocen v provozu a požadované úrovně funkčních vlastností.
- q) Zda jsou vyžadovány nějaké vizuální nebo jiné zkoušky, a pokud ano, v jakých fázích zkoušky mají být provedeny.
- r) Zda je vyžadován popis dynamických charakteristik před zkouškou a po zkoušce, přístup, který má být použit, a vhodný postup.

7.4.2 Jsou-li požadované

- a) Zda je důležitý vliv bludných magnetických polí, přijatelné meze a opatření, která mají být přijata, pokud jsou tyto meze překročeny.
- b) Pokud v důsledku vibrační zkoušky může dojít k vnitřnímu ohřevu a je to nežádoucí, přijatelné meze a opatření, která mají být přijata, pokud jsou tyto meze překročeny.
- c) Tolerance, které se použijí, pokud se liší od tolerancí uvedených v článku 7.5.4.
- d) Další parametry, které mají být zaznamenány, údaje, které se mají shromáždit a metoda analýzy.
- e) Další kritéria pro ověření zkoušky, která mají být přijata.
- f) Přípustné odchylky od zkušebního postupu.

7.4.3 Zkušební zařízení

Přípustné je použití jakéhokoli zařízení vyvolávajícího vibrace, které je způsobilé splnit požadavky zkoušky uvedené v této metodě. Před provedením zkoušky by měla být ověřena způsobilost vibračního zkušebního zařízení a řídicího systému k provedení zkoušky, jak je uvedeno ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí.

7.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

7.5.1 Příprava zkoušky

7.5.1.1 Předběžné zkoušky a zjištění dynamických charakteristik

Předběžné zkoušky buď dynamicky typického příkladu materiálu, dalšího zkoušeného předmětu, nebo samotného zkoušeného předmětu, poskytují důvěru v to, že zkoušky zkoušeného předmětu mohou být provedeny v rámci požadavků zkoušek. Předběžné zkoušky by se měly považovat za nedílnou součást zkušebního postupu, zejména při zkouškách velkých celků materiálu nebo při použití buď řízené odezvy, nebo vícebodové strategie řízení zkoušky.

Předběžné zkoušky se obecně používají k vyhodnocení zkušebních upínacích přípravků; k prokázání, že zkoušky jsou proveditelné při úplné úrovni náročnosti, v požadovaném teplotním rozsahu; k potvrzení nebo určení vhodné strategie řízení zkoušky; k případnému ověření, že zkoušky nepovedou k nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení jakékoli části materiálu. Předběžné zkoušky lze rovněž použít k ověření, že pohyby napříč osami jsou v rámci požadované tolerance, že lze dosáhnout požadované tolerance signálu nebo požadavků na odezvy mimo frekvenční rozsah a stanovení, že je použito správné rozdělení amplitudy.

U zkoušek systémů, které obsahují energetické materiály, jsou obvykle nezbytné předběžné zkoušky pomocí dynamicky typických a neutrálních verzí materiálu. V některých případech může být nutné potvrdit výsledky předběžné zkoušky pomocí skutečného (ostrého) zkoušeného předmětu. Čas strávený touto činností může být se souhlasem zadavatele zkoušky považován v plném rozsahu za splňující část požadované doby trvání zkoušky.

Specifikace zkoušky vlivu prostředí může vyžadovat zjištění dynamických charakteristik před a po zkoušce. Taková zjišťování charakteristik mohou využívat rezonanční nebo modální zkoušky. Zjištění dynamických charakteristik lze použít před a po vibrační zkoušce pro určení jakýchkoli změn ve frekvenčních nebo tlumicích charakteristikách, které se mohou vyskytnout. Změna frekvence nebo tlumení může naznačovat, že došlo k nějaké formě konstrukčního znehodnocení zkoušeného předmětu. Jakékoli úpravy provedené za účelem zjištění změn ve frekvenci nebo charakteristikách tlumení by neměly podstatně změnit dynamické chování zkoušeného předmětu jako celku. Mělo by se rovněž pamatovat na to, že v případě nelineární rezonance může zkoušený předmět reagovat jinak na směr rozmítání. Kritické frekvence by měly být určeny na horní a dolní části cyklu rozmítání. Při předepisování zkoušek dynamických charakteristik by specifikace prostředí měla uvádět metodu a postup, který se má použít. V případě potřeby může rovněž stanovit opatření, která mají být provedena během zkoušky a po ní, pokud jsou zjištěny změny frekvence nebo tlumení.

7.5.1.2 Kondicionování a stabilizace teploty

Pokud to vyžaduje specifikace prostředí, měl by být zkoušený předmět předběžně upraven na stanovené podmínky teploty a vlhkosti. Před zahájením zkoušky by měl být poskytnut dostatečný čas, aby se zkoušený předmět mohl stabilizovat na požadované počáteční teplotě. Pokyny ohledně předběžného kondicionování a stabilizace teploty jsou uvedeny v AECTP-300, Metoda 300.

Zkoušky za vysokých teplot mohou urychlit chemické stárnutí určitých materiálů a mohou mít škodlivé účinky. V takových případech může být nezbytné zavést doby přestávek nebo použít spíše zkušební cyklus s proměnnou teplotou než stálou zkušební teplotu. Charakteristiky některých elastomerových úchytů mohou být rovněž významně pozměněny tepelnými účinky vyvolanými vibračními zkouškami. Pokud je takové zahřívání nereálné v provozních podmínkách může být potřebné ponechat zkoušený předmět v příslušných intervalech v nečinnosti. To může být zvláštním problémem u materiálů obsahujících energetické materiály zkoušené při extrémních teplotách. Tyto podmínky mohou být dále zhoršeny teplem vytvářeným v průběhu vibračních zkoušek. Konkrétně se energetické materiály mohou stát nestabilními a nebezpečnými, pokud jsou vystaveny zvýšeným teplotám po dobu, která může nastat během postupného programu zkoušek vlivu prostředí. Takové znehodnocení je kumulativní, a proto je nutné přezkoumat celý sled zkoušky k určení, zda sled zkoušek, včetně jakékoli úpravy teploty a skladování, by mohl vést k nepřijatelnému nebezpečí. To vyžaduje minimálně posouzení stability výbušného materiálu s ohledem na extrémní teplotu trvání vystavení působení. Může být nezbytné rozdělit celkovou dobu zkoušky (zejména rázy a vibrace) na menší části, aby se zabránilo hromadění tepla uvnitř zbraně a následné nezamýšlené energetické reakci. Pro každou zbraň je nezbytné a povinné mít záznam, který udává množství času, který byl stráven při extrémní teplotě po celý sled zkoušky, včetně všech období kondicionování teploty.

7.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět musí být mechanicky připojen k budičům a upevňovacím prvkům v požadované orientaci a stavu podle Specifikace zkoušky vlivu prostředí. Není-li stanoveno jinak, měl by být zkoušený předmět mechanicky připojen ke generátoru vibrací nebo k příslušnému upínacímu přípravku obvyklými prostředky připojení (včetně antivibrační vložky případně utahovacího momentu). Instalace zkoušeného předmětu musí zahrnovat všechna připojení nezbytná pro napájení, zkušební signály, monitorování výkonu a veškerá monitorovací zařízení potřebná ke stanovení odezev ze zkoušeného předmětu.

Pokud buzení vibrací nevzniká na připojovacích bodech, může být potřeba použít náhradní způsoby připojení ke zdroji vibrací. Konkrétní návody ohledně montáže zkoušených předmětů a zkušebních přípravků pro vibrační a rázové zkoušky jsou uvedeny v AECTP-240, Část 2411/1. Pokyny jsou rovněž dostupné v IEC 60068-2-47.

Pokud není stanoveno jinak, měly by být zkoušky provedeny ve třech vzájemně kolmých osách. Je-li to možné, měly by se upevňovací body zkoušeného předmětu pohybovat, ve fázi a v přímých rovnoběžných přímkách s linií pohybu. Může být nezbytné použít pro každou zkušební osu různé zkušební upevňovací přípravky.

Jakákoli připojení ke zkoušenému předmětu, jako jsou kabely, potrubí, vodiče, by měly být uspořádány tak, aby představovaly podobné dynamické omezení

a hmotnost, jako je tomu v případě, kdy je materiál nainstalován ve své provozní poloze. Je třeba se vyhnout použití jakýchkoli dalších držáků nebo popruhů.

Pokud je gravitační síla důležitá nebo pokud je pochybnost o vlivu zemské přitažlivosti, měl by být zkoušený předmět namontován tak, aby gravitační síla působila ve stejném směru jako při normálním použití. Není-li gravitační síla důležitá, může být zkoušený předmět namontován v jakékoli poloze, v souladu s jinými požadavky.

Zkoušené předměty určené k použití s antivibračními systémy by se měly zkoušet s antivibračními vložkami na svém místě. Je to proto, že je obtížné přesně opakovat chování dynamických odezev vložek, které mohou být výrazně ovlivněny teplotou. Pokud není praktické provést vibrační zkoušku s příslušnými antivibračními vložkami ve své poloze, měla by být zkouška provedena bez vložek s přizpůsobenou náročností odvozenou z měření charakteristik dynamické odezvy antivibrační vložky.

7.5.3 Postup

- Krok 1 Provést všechna nezbytná připojení napájecího a signálního vedení potřebného pro provoz a hodnocení výkonu zkoušeného předmětu. Nainstalovat a zkontrolovat veškeré tepelné a vibrační vybavení, které vyžaduje Specifikace zkoušky vlivu prostředí.
- Krok 2 Provést předběžné zkoušky, jak je stanoveno ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Předběžné zkoušky by měly zahrnovat: ověření přiměřenosti strategie řízení zkoušky, stanovení rozsahu pohybu napříč osami, stanovení zakreslení signálu nebo odezev mimo zkušebního frekvenčního rozsahu.
- Krok 3 Dynamická charakterizace před zkouškou předepsaná ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí musí být provedena a zaznamenána v souladu s uvedeným postupem.
- Krok 4 Aby se získaly základní údaje, musí se provést předběžná zkouška funkce nebo provozní zkouška podle specifikace ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí.
- Krok 5 Teplotní komora musí být seřízena tak, aby splňovala všechny požadavky na předběžné kondicionování teploty stanovené ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Pokyny pro kondicionování a stabilizaci zkušební teploty jsou uvedeny v článku 7.5.1.2 a v AECTP-300, Metoda 300.
- Krok 6 Zařízení pro řízení vibrací musí být seřízeno tak, aby bylo dosaženo požadované vyrovnání až do -6 dB stanovené úrovně RMS. Pokud není uveden ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí, musí se použít proces vyrovnávání podle článku 7.5.5.3. Čas požadovaný k dosažení vyrovnání se od doby zkoušky neodečítá.
- Krok 7 Podmínky vibrací se zvýší na stanovenou zkušební úroveň. Konečný čas potřebný ke zvýšení náročnosti vibrací na specifikovanou zkušební úroveň musí být co nejmenší a nesmí překročit 10 % doby trvání zkoušky. Tato doba se zaznamenává a neodečítá se od doby zkoušky.
- Krok 8 Požadované cykly zkušebních vibrací a teplot se použijí na zkoušený předmět pro stanovený počet zkušebních cyklů.

- Krok 9 Zkoušky funkce nebo výkonu se provádí v průběhu zkoušek, v intervalech podle Specifikace zkoušky vlivu prostředí.
- Krok 10 Pokud by předběžné vibrační zkoušky mohly způsobit nerealistické zahřívání zkoušeného předmětu nebo antivibračních vložek, může být buzení vibrací přerušeno přestávkami po dobu stanovenou ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí.
- Krok 11 Zkušební postup se opakuje, přičemž se postupně používají vibrace podél každé stanovené osy. Pokud zkušební program vyžaduje použití různých typů vibrací nebo řady různých úrovní amplitudy, trvání nebo podmínek seřízení, může být možné se souhlasem zadavatele zkoušky dokončit sled zkoušek v jedné ose před změnou na jinou osu, ale pouze v rámci jedné fáze životního cyklu.
- Krok 12 Po dokončení zkoušky se komora nechá vychladnout na standardní laboratorní podmínky rychlostí, která nepřesáhne 3 °C za minutu.
- Krok 13 Po dokončení zkoušky provést veškeré zkoušky funkce nebo výkonu, které jsou uvedené ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Dynamická charakterizace zkoušeného předmětu vyžadovaná po zkoušce musí být provedena a zaznamenána v souladu s uvedeným postupem.
- Krok 14 U zkoušeného předmětu se přezkouší, zda se neprojevíly škodlivé účinky vibrací, jak vyžaduje Specifikace zkoušky vlivu prostředí.

7.5.4 Tolerance

Pokud není ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí uvedeno jinak, nesmí se naměřené referenční vibrační odezvy lišit od stanovených požadavků o více, než jsou zkušební tolerance uvedené v tabulce 7.1. Zkušební tolerance uvedené v tabulce 7.1 jsou použitelné, ať už pomocí řízeného vstupu nebo řízené odezvy zkoušek. Tolerance zkoušky se nesmí použít k úpravě stanovených požadavků.

Pro některé podmínky materiálu a zkoušek nemusí být proveditelné zkušební tolerance z tabulky 7.1. V takových případech lze se souhlasem zadavatele zkoušky přijmout historické náhradní tolerance uvedené v příloze 7C. Kdykoli nelze požadavky na zkoušky splnit, uvedou se v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí důvody pro nesplnění těchto požadavků, spolu s doplňujícími informacemi stanovenými v příloze 7C pro příslušný druh zkoušky.

Není-li uvedeno jinak, musí být veškerý materiál podroben vibrační zkoušce ve všech třech hlavních osách. Pokud je systém osy materiálu ve vztahu k vozidlu nebo platformě neznámý, měla by se obálka vibračních profilů použít ve všech třech hlavních osách.

Pokud není ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí uvedeno jinak, měly by být tolerance pro všechny náročnosti včetně doby trvání takové, jaké jsou stanoveny v této metodě. Jakákoli odchylka od stanovených tolerancí musí být dohodnuta se zadavatelem zkoušky a dosaženými aktuálními tolerancemi a důvod odchylky musí být uveden v protokolu o zkoušce vlivu vnějšího prostředí.

TABULKA 7.1 – Tolerance zkoušky

Tolerance zkoušky (pokud není ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí uvedeno jinak)	
Specifické tolerance pro všechny zkoušky s náhodnými vibracemi (včetně širokopásmové složky smíšených zkoušek s náhodnými a sinusovými vibracemi a stálých a rozmítaných úzkopásmových složek smíšených širokopásmových a úzkopásmových zkoušek s náhodnými vibracemi)	
Počet (<i>n</i>) nezávislých statistických stupňů volnosti (DOF) pro řízení určité ASD	$n > 120$
Kompozitní řízení ¹ : Maximální odchylka kompozitní řídicí ASD ve vztahu k předepsané ASD	±3 dB pod 500 Hz ±6 dB nad 500 Hz ±10 % celkové <i>grms</i>
Vícebodové řízení: Maximální odchylka ASD jakéhokoli jednotlivého řídicího kanálu ve vztahu k předepsané ASD ²	Průměrné řízení ±6 dB pod 500 Hz ±9 dB nad 500 Hz ±25 % celkové <i>grms</i> Extremální řízení -6 dB / +3 dB pod 500 Hz -9 dB / +6 dB nad 500 Hz ±25 % celkové <i>grms</i>
Pohyb napříč osami: ASD měřená se stejným počtem DOF jako ve zkušební ose, podél vzájemně kolmých směrů, ve vztahu k ASD předepsané v ose	Méně než -3 dB pod 500 Hz Méně než 0 dB (plná úroveň) nad 500 Hz Méně než příslušná předepsaná ASD pro danou příčnou osu
Rychlost rozmítání kmitočtu	±10 % stanovené rychlosti
Doba trvání zkoušky	±5 % stanovené doby trvání
Amplitudové rozdělení okamžitých hodnot náhodných vibrací měřené na řídicím signálu	Nominálně Gaussovo (pojednání o amplitudovém rozdělení viz článek 7.2.4)
Specifické tolerance pro všechny vibrační zkoušky se sinusovým kmitočtem (včetně vibračních zkoušek se stálým, rozmítaným a krokovým sinusovým kmitočtem, jakož i stálých a rozmítaných sinusových složek smíšených zkoušek s náhodnými a sinusovými vibracemi)	
Kmitočet	±0,1 %
Kompozitní řízení ¹ : Maximální odchylka úrovně/úrovní kompozitního řídicího tónu ve vztahu k předepsané úrovni / předepsaným úrovním tónu	±10 %

Tolerance zkoušky (pokud není ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí uvedeno jinak)		
Specifické tolerance pro všechny vibrační zkoušky se sinusovým kmitočtem (včetně vibračních zkoušek se stálým, rozmítaným a krokovým sinusovým kmitočtem, jakož i stálých a rozmítaných sinusových složek smíšených zkoušek s náhodnými a sinusovými vibracemi)		
Vícebodová řízení: Maximální odchylka úrovní tónů jednotlivých řídicích kanálů ve vztahu k předepsané úrovni / předepsaným úrovním tónů ²	Průměrné řízení ±25 % pod 500 Hz ±50 % nad 500 Hz	Extremální řízení +10 % / -25 % pod 500 Hz +10 % / -50 % nad 500 Hz
Pohyb napříč osami: Úrovně tónů měřené ve vzájemně kolmých směrech, ve vztahu k úrovni/úrovním předepsané/předepsaným v ose	Méně než 50 % pod 500 Hz Méně než 100 % nad 500 Hz Méně než příslušné předepsané úrovně pro danou příčnou osu	
Rychlost rozmítání kmitočtu	±10 % stanovené rychlosti	
Doba trvání zkoušky	±5 % stanovené doby trvání	
Rozdíl mezi nefiltrovaným signálem a filtrovaným signálem zrychlení ³	±5 % z hodnot <i>grms</i> ⁴	
POZNÁMKY		
<p>1 Kompozitní řízení je definována jako: ASD (v případě náhodných vibrací) nebo Čárové spektrum (Line Spectrum, v případě sinusových vibrací) vypočítané buď jako průměr, maximum nebo minimum (v závislosti na způsobu řízení) všech kanálů zpětné vazby považovaných za řídicí kanály ve scénáři vícebodového řízení; nebo jeden řídicí kanál ve scénáři s jedním bodem řízení. Jak je uvedeno v odstavci 7.5.5.1, je podporováno vícebodové řízení.</p> <p>2 Při použití minimálního řízení, bude záporná tolerance vůči kompozitnímu řízení.</p> <p>3 Ke zkreslení sinusového signálu může dojít zejména při použití hydraulických aktuátorů. Pokud existuje podezření na zkreslení sinusového signálu, měl by se porovnat nefiltrovaný signál a filtrovaný signál zrychlení. Tolerance signálu ±5 procent odpovídá zkreslení o 32 procent při použití vzorce</p> $d = \frac{\sqrt{a_{tot}^2 - a_1^2}}{a_1} 100$ <p>kde</p> <p>a_1 = efektivní hodnota zrychlení na řídicí frekvenci; a_{tot} = celková efektivní hodnota aplikovaného zrychlení (včetně hodnoty a_1).</p> <p>4 Efektivní hodnota zrychlení (<i>grms</i>) sinusoid se rovná 0,707násobku nejvyššího <i>g</i>. Nesouvisí s „<i>grms</i>“ náhodného spektra ($g^2 \cdot Hz^{-1}$); nelze to použít k porovnání sinusových kritérií (<i>g</i>) s náhodnými kritérii ($g^2 \cdot Hz^{-1}$).</p>		

Buzení mimo specifikovaný zkušební frekvenční rozsah musí být minimalizována. Budicí kmitočty mimo zkušební kmitočty se kvantifikují následovně.

- a) **Sinusové vibrace.** Pro vibrační zkoušky se sinusovým kmitočtem (stálým, rozmítaným a krokovým) musí být tolerance signálu stanovena až do 5 000 Hz nebo 5násobku řídicí frekvence, podle toho, která hodnota je menší. Tolerance signálu se stanoví podle:

$$\text{tolerance signálu } T = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) 100 \%$$

kde

NF je hodnota RMS nefiltrovaného signálu;

F je hodnota RMS filtrovaného signálu.

POZNÁMKA

Tento parametr se používá, ať je signálem zrychlení, rychlost nebo posun.

- b) **Náhodné vibrace.** Pro zkoušky s náhodnými vibracemi, včetně všech vibračních zkoušek, které mají širokopásmové a úzkopásmové náhodné složky, se odezvy mimo kmitočtového rozsahu stanoví podle:

$$\text{odezvy mimo zkušební kmitočtového rozsahu} = \left(\frac{GF}{G} - 1 \right) 100 \%$$

kde

GF je hodnota RMS zkušební náhodného tvaru vlny až do 5 000 Hz nebo 5násobku řídicí frekvence, podle toho, která hodnota je menší;

G je hodnota RMS zkušební náhodného tvaru vlny ve zkušebním kmitočtovém rozsahu.

POZNÁMKA

Tento parametr se používá, ať je signálem zrychlení, rychlost nebo posun.

7.5.5 Řízení

7.5.5.1 Strategie řízení

Buzení vibrací je řízeno v rámci stanovených mezí, snímáním vibračních pohybů podlimitního zkoušení zkoušeného předmětu na konkrétních místech. Tato místa mohou být uvnitř nebo v těsné blízkosti upevňovacích bodů zkoušeného předmětu (řízený vstup) nebo v definovaných bodech na zkoušeném předmětu (řízená odezva). Vibrační pohyby mohou být rovněž snímány v jednom bodě (jednobodové řízení) nebo na několika místech (vícebodové řízení). Tento zkušební postup byl vytvořen tak, aby umožňoval použití jakékoli kombinace těchto řídicích strategií. Počáteční strategie řízení by měla být upřesněna ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí, ale může být změněna v důsledku předběžných vibračních zkoušek provedených na zkoušeném předmětu a příslušném upevňovacím přípravku se souhlasem zadavatele zkoušky.

Účelem zkoušek řízených vstupů je zajistit, aby buzení vibrací bylo řízeno v rámci stanovených mezí, v poloze, ve které by vibrace byly běžně uplatněny na materiálu v provozu. Obvykle se používá, když nejsou k dispozici žádné údaje o odezvě, nebo pokud složitost řízení způsobí, že zkoušky řízené odezvy nejsou praktické. Pokud nejsou známy dynamické vlastnosti zkoušeného předmětu a montážního přípravku, měla by se použít zkouška s řízeným vstupem pomocí jednobodového nebo vícebodového řízení. Tato strategie řízení by měla být použita, pokud není

ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí uveden žádný návod. Obvykle se zkoušky řízeného vstupu používají pro malé zkoušené předměty, když vibrace vznikají prostřednictvím svých běžných upevňovacích bodů. Zkoušky řízených vstupů mají výhody, když je důležitá opakovatelnost zkoušek, například pro dlouhodobé zkoušky schválení výroby.

Zkoušky řízené odezvy jsou použitelné tam, kde je požadována opakovatelnost měření v provozu na konkrétních místech zkoušeného předmětu. Zkoušky řízené odezvy lze zvážit, pokud dynamické vlastnosti zařízení a montážního přípravku jsou již známy nebo byly vyhodnoceny zkouškami charakteristik. Je třeba dbát na to, aby odezva nebyla nepřiměřeně potlačena nebo aby byly rezonance nerealisticky zvýšeny. Zkoušky řízené odezvy se běžně používají pro velká a dynamicky proměnlivá zařízení. Mohou být použity tam, kde dynamická buzení zařízení nejsou přenášena pouze přes připojovací body nebo kde nelze přiměřenou dynamickou odezvu reprodukovat řízením v připojovacích bodech.

Jednobodové řízení lze použít, když předběžné zkoumání vibrací ukáže, že vstupy do zkoušeného předmětu jsou zpravidla stejné v každém upevňovacím bodu, nebo když jeden řídicí akcelerometr přesně představuje průměr vstupů v každém upevňovacím bodě. Přestože jednobodové řízení je možné, doporučuje se volba vícebodového řízení popsaného níže, protože tento postup výrazně snižuje pravděpodobnost chyby související s problémy, jako jsou jednobodový akcelerometr, který má chybnou kalibraci, nastavení stupnic v řídicím systému nebo v systému kondicionování signálu není správné. Lepší možností je strategie redundantního řízení.

Vícebodové řízení může být použito buď se strategiemi řízeného vstupu, nebo řízené odezvy a lze ho použít, pokud je zařízení buď velké, nebo má pevně rozmístěné upevňovací body. Může se rovněž použít, pokud by jednobodové řízení vedlo k závažnému nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení částí zařízení. Řídicí parametry pro vícebodové řízení jsou buď aritmetický průměr několika míst odezvy pro řízení průměrné odezvy; nebo maximální z těchto odezev pro řízení maximální odezvy; nebo minimální z těchto odezev, pro řízení minimální odezvy. Řízení maximální nebo minimální odezvy může mít za následek, že u některých částí zkoušeného předmětu dojde k nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení. Řízení maximální odezvy, někdy označované jako extrémní řízení, má však uplatnění, pokud uvedené náročnosti představují obálku prostorových vibračních odezev v provozu.

Při použití vícebodového řízení je třeba věnovat pozornost tomu, aby nedošlo k významnému nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení, zejména na koncích zkoušeného předmětu. Každé řídicí místo by mělo být zkontrolováno jednotlivě i ve srovnání s odezvou pro dané místo v provozu, pokud je dostupná. Strategie řízení a/nebo řídicí místa by měla být optimalizována, aby se zajistilo, že nedojde k významnému nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení.

7.5.5.2 Upevňovací, monitorovací, řídicí a referenční body

Volba vhodných řídicích a referenčních bodů pro konkrétní zkoušený předmět a sestavu montážního přípravku je důležitým hlediskem pro zajištění platné vibrační zkoušky. Pro účely této zkušební metody jsou definice upevňovacích, monitorovacích, řídicích a referenčních bodů následující:

- a) Upevňovací bod je definován jako část zkoušeného předmětu v kontaktu s upevňovacím přípravkem nebo vibračním stolem v bodě, v němž je zpravidla upevněn v provozu.
- b) Monitorovací bod je poloha, ve které se provádějí měření za účelem zjištění poznatků o chování odezvy. Může to být odezva zkoušeného předmětu, zkušebního přípravku nebo zkušebního zařízení.
- c) Řídicí bod je poloha, ve které se provádějí měření, aby bylo možné v průběhu zkoušky řídit buzení vibrací v rámci stanovených mezí.
- d) Referenčním bodem je bod, ve kterém se provádějí měření vibrací, aby se potvrdilo, že jsou splněny požadavky specifikace zkoušky. Umístění referenčních bodů by mělo být uvedeno ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Mohou to být monitorovací body, řídicí body nebo „virtuální“ body vytvořené manuálním nebo automatickým zpracováním odezev z několika řídicích bodů.

Vhodné monitorovací, řídicí a referenční body by měly být upřesněny buď ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí, nebo by dokument měl obsahovat postup pro jejich volbu. Nemá-li v technické specifikaci zkoušek uvedeno jinak, je třeba ověřit použitelnost řídicích a referenčních bodů pomocí předběžných vibračních zkoušek. Kdykoli je použit postup pro volbu vhodných řídicích a referenčních bodů, nebo kdykoli je jejich umístění změněno v důsledku předběžné vibrační zkoušky, je třeba získat souhlas zadavatele zkoušky.

7.5.5.3 Korekce řízení

Aby kontrolní zařízení mohlo dosáhnout nezbytné kmitočtové korekce pro řízení v uzavřené smyčce, vyžaduje se časově omezené trvání zkoušky. Čas potřebný ke korekci může záviset na použitém řídicím zařízení, složitosti tvaru vlny a chování zkoušeného předmětu. Pokud se pro účely předběžných zkoušek používá dynamicky typický (neutrální) zkoušený předmět, lze pro korekci použít neomezenou dobu zkoušky. Pokud se však používá skutečný zkoušený předmět a pokud není stanovena ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí, měla by být doba vyrovnávací zkoušky následující:

- a) Počáteční korekce se provádí pod -12 dB stanovené úrovně efektivní hodnoty (RMS). Pro tuto fázi korekce není stanoven žádný časový limit zkoušky.
- b) Úrovně vibrací se zvyšují z -12 dB na -6 dB stanovené úrovně RMS (v nezbytných krocích). Celkové trvání na těchto úrovních by nemělo přesahovat čtvrtinu stanovené doby trvání zkoušky. Tato doba korekce by neměla být odečtena od stanovené doby zkoušky.
- c) Úrovně vibrací se zvyšují z -6 dB na 0 dB stanovené úrovně RMS. Čas strávený na těchto úrovních by měl být omezen na minimum. Celkové trvání na těchto úrovních by nemělo být vyšší než 10% stanovené doby trvání zkoušky. Tato doba korekce by neměla být odečtena od stanovené doby zkoušky.

7.5.5.4 Pohyb napříč osami, zkreslení signálu a odezvy mimo zkušební kmitočtový rozsah

Pohyb napříč osami by měl být ověřen před provedením zkoušky zkoumáním sinusových nebo náhodných vibrací na úrovni předepsané Specifikací zkoušky vlivu prostředí. U některých kmitočtů nebo u zkoušených předmětů s velkými rozměry nebo velkou hmotností může být obtížné dosáhnout požadavků na pohyb napříč

osami (uvedené v tabulce 7.1). V takových případech by měl být příčný pohyb skutečně dosažený překročením zkušební kmitočtového rozsahu dohodnut se zadavatelem zkoušky a dosažené hodnoty se musí uvést v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí.

Zkreslení signálu (pro vibrační zkoušky se sinusovým kmitočtem) nebo odezvy mimo zkušební kmitočtový rozsah (pro zkoušky s náhodnými vibracemi) by mělo být stanoveno provedením zkoumání sinusových nebo náhodných vibrací na úrovni předepsané Specifikací zkoušky vlivu prostředí. Zkreslení signálu a odezvy mimo zkušební kmitočtový rozsah lze kvantifikovat pomocí metodiky stanovené v čl. 7.5.4. Vysoké zkreslení signálu může vést k tomu, že měřicí systém bude označovat nesprávné odezvy na úroveň vibrací. Vysoké odezvy mimo zkušební frekvenční rozsah mohou naznačovat problémy s řízením zkoušky, nebo přítomnost nelinearit v rámci zkoušky. Vysoké zkreslení signálu nebo odezvy mimo zkušební kmitočtový rozsah někdy svědčí o nedostacích v montáži/upevnění zkušebního předmětu.

7.5.6 Přerušení zkoušky

Pokud jsou z jakéhokoli důvodu zkušební cykly přerušeny nebo narušeny a pokud ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí je náhradní postup, měly by se přerušené vibrační zkoušky znovu zahájit od okamžiku, kdy byly přerušeny. Před opětovným zahájením zkoušky se však vyžaduje předběžné kondicionování a stabilizace podle článku 7.5.1.2. Pokud dojde k jedinému přerušení s odchylkou teploty menší než 10 %, zkoušky mohou pokračovat od místa, kde došlo k odchylce nebo přerušení.

7.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

7.6.1 Ověřování

Aby bylo možné dokončit proces ověřování, musí se provádět níže uvedená měření, pro prokázání, že byly dosaženy požadované náročnosti zkoušek v rámci stanovených tolerančních pásem. Ověřovací informace, požadované pro každý z různých typů vibračních zkoušek, jsou uvedeny v příloze 7B. Ověřovací informace se stanovují minimálně na začátku, během a na konci zkoušky, pokud není ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí stanoveno jinak. Pro nestacionární zkoušky, tj. tam, kde jsou do náročnosti zkoušky zahrnuty rozmítané složky (buď sinusové, nebo náhodné úzkopásmové vibrace), musí ověření zahrnovat úplné rozmítané vibrace (nahoru a dolů). U některých regulátorů vibračních zkoušek nemusí být ověření úplného rozmítání (nahoru a dolů) možné; v takových případech by se měl použít samostatný analyzátor vibrací.

Ověřovací měření musí zahrnovat frekvenční rozsah od poloviny nejnižší zkušební frekvence až do nejméně dvojnásobku nejvyšší zkušební frekvence. Ověřovací měření musí umožnit zahrnutí vrcholů nejméně trojnásobku celkové efektivní hodnoty (RMS). U zkoušek s vysokou strmostí by ověřovací měření měla umožňovat měření amplitud, které zahrnují největší očekávaný činitel výkyvu.

Pohyby napříč osami se měří a zaznamenávají ve všech řídicích bodech. Obvykle to musí být stanoveno na začátku zkoušky nebo v průběhu předběžných zkoušek, pokud jsou v plném rozsahu náročnosti.

Pro vibrační zkoušky se stálým, rozmítaným a krokovým sinusovým kmitočtem se stanoví a uvedou tolerance signálu. U všech ostatních druhů zkoušek se musí stanovit a uvést odezvy mimo rozsah zkušební kmitočtu, jakož i rozdělení

amplitudy. Rozdělení amplitudy by se mělo získat z analýzy funkce hustoty pravděpodobnosti provedené na měřeních provedených v referenčním bodě (nebo každém řídicím bodě), pokud se použije vícebodové řízení po dobu nejméně 2 minut v průběhu zkoušek. Normálně to bude muset být provedeno pouze jednou v průběhu zkoušky. Avšak pro zkoušky vysoké strmosti, se hustota pravděpodobnosti strmosti, šikmosti a amplitudy musí určit nejméně třikrát v průběhu zkoušky – na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

U zkoušek s vysokou strmostí by ověřovací měření měla zahrnovat informace pro každý z parametrů a charakteristik tvaru vlny specifikovaných ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí.

Musí být pořízena fotodokumentace o nastavení provedené zkoušky, místech měření a řídicích místech.

Teplota a vlhkost vzduchu se musí zaznamenávat v dostatečném počtu bodů, které charakterizují proměnlivost v pracovním prostoru komory. Teplota a vlhkost se zaznamenávají v intervalech nejvýše 10 minut.

Formát použitý při prezentaci výsledků ověřovacího procesu musí být stejný jako formát použitý při konkrétní zkoušce. To znamená, že je-li náročnost zkoušky definována jako náhodné vibrace, musí být ověření provedeno rovněž ve formátu výkonové spektrální hustoty. Naopak, pokud jsou definovány sinusové prvky, musí být ověřeny jako sinusové amplitudy. Ověřovací údaje by měly být předkládány v dohodnutém digitálním formátu (čitelném pro PC).

7.6.2 Hodnocení provozních charakteristik

Pokud je to uvedeno ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí, měl by být zkoušený předmět v provozu v průběhu vibrační zkoušky ve stanovených časech. Funkce zkušebních předmětů, které neodvádějí teplo, může být vyhodnocena kdykoli potom, co se podmínky vibračních zkoušek ustálily v rámci zkušebních tolerancí. Funkce zkoušených předmětů, které odvádějí teplo, by měla být ověřena, jakmile se podmínky teplotní i vibrační zkoušky ustálí. Obecně platí jeden z následujících postupů:

- a) Zkoušený předmět by měl být v provozu nepřetržitě s hodnocením provozních charakteristik prováděném v době stanovené ve Specifikaci zkoušky vlivu prostředí.
- b) Zkoušený předmět by měl být provozován přerušovaně a měl by se nechat stabilizovat před provedením hodnocení provozních charakteristik.

U zkoušek provedených za účelem prokázání životnosti materiálu a vyžadujících hodnocení provozních charakteristik by měl být zkoušený předmět uveden do provozu a hodnocen na konci zkoušky.

Po provedení předepsané zkoušky vlivu vnějšího prostředí by se mělo obvykle umožnit, aby se zkoušený předmět navrátil do standardních laboratorních podmínek a stabilizoval se za těchto podmínek před provedením jakýchkoli následných zkoušek, funkčních zkoušek, výkonových zkoušek nebo jakýchkoli činností při ověřování charakteristik zkoušeného předmětu. Pokud se požaduje po zkoušce přirozené nebo vyvolané sušení zkoušeného předmětu, mělo by být provedeno v souladu s pokyny v AECTP-300, Metoda 300. Tato metoda rovněž naznačuje přístup, který se má použít, pokud je třeba, aby zkoušený předmět podstoupil řízené obnovení podmínek. Řízené obnovení podmínek může být zapotřebí, aby se

zabránilo absorpci nebo ztrátě vlhkosti u zkoušeného předmětu před provedením jakýchkoli následných zkoušek.

7.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) IEC EN 60068-2, Zkoušky vlivu prostředí, Základní postupy zkoušek vlivu prostředí. (Environmental Testing, Environmental Testing Basic Environmental Testing Procedures).
- b) Def Stan 00-035, Část 3, Příručka pro obranný materiál, Metody zkoušek vlivu prostředí (Environmental Handbook for Defence Materiel, Environmental Test Methods).
- c) Def Stan 00-035, Část 5, Příručka pro obranný materiál, Vyvolaná mechanická prostředí (Environmental Handbook for Defence Materiel, Induced Mechanical Environments).
- d) EUROCAE/ED-14 Oddíl 8, Podmínky prostředí a zkušební postupy pro zařízení přepravovaná letecky, Vibrace (Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, Vibration).
- e) MIL-STD-810, Aspekty inženýrství pro vliv prostředí a laboratorní zkoušky, Část 2 – Laboratorní zkušební metody, Metoda 514, Vibrace (Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Part 2 – Laboratory Test Methods, Method 514, Vibration).
- f) RTCA DO-160, Oddíl 8, Podmínky prostředí a zkušební postupy pro zařízení přepravovaná letecky, Vibrace (Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, Vibration).
- g) „Programy laboratorních vibrací“ (International Test Operations Procedure (ITOP) 01-2-601, “Laboratory Vibration Schedules”), DTIC AD No. B238288, 25. leden 1999.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

VÝCHOZÍ NÁROČNOSTI VIBRACÍ

7.A.1 ÚVOD

Tato příloha obsahuje výchozí nebo náhradní náročnosti zkoušky, které zahrnují širokou škálu provozních podmínek. Náročnosti a další zkušební parametry v této příloze by se měly použít v případech, kdy není nutná přesná simulace a kde stupeň nadlimitního zkoušení může být tolerován. Tato příloha obsahuje zkušební náročnosti materiálu při přepravě i při rozmístění a instalaci na různých typech platform.

Řada náročností vibračních zkoušek v této příloze by se měla používat ve spojení s odpovídajícími náročnostmi rázů. V těchto případech je třeba náročnosti pro vibrace a rázy posuzovat společně. Například vibrace silniční přepravy zahrnují často se vyskytující rázy s nízkou amplitudou, zatímco rázové zkoušky podle Metody 403 zahrnují vyšší amplitudy a občasné rázy. Z tohoto důvodu nemohou být rázové a vibrační zkoušky posuzovány izolovaně a ráz i vibrace musí být zahrnuty do programu zkoušek vlivu prostředí.

Náročnosti zkoušky, uvedené v této příloze pro materiál rozmístěný nebo instalovaný na různých platformách, nejsou určeny pro účely projektů platform, za které odpovídá orgán pro konstrukci platform. Tyto náročnosti jsou ale určeny pro umístění zařízení upevněných na těchto platformách, jako jsou komunikační zařízení atd., dodatečné vybavení, jakož i muniční a zbraňové systémy.

Pokud není uvedeno jinak, představují náročnosti uvedené v této příloze vibrační vstup do materiálu, obalů, ochranných prostředků na bojišti nebo paletizovaného nákladu. Souřadný systém používaný v této příloze se týká přepravního vozidla nebo platformy. Při použití náročnosti na materiál bude nutné zvážit převod tohoto souřadného systému do souřadného systému materiálu. Pokud není orientace materiálu v průběhu přepravy známa nebo se může měnit, pak by měla být použita náročnost zkoušky, která zahrnuje náročnost na obě příčné (transverse) osy (tj. příčná (lateral) a podélná), nebo popřípadě na všechny tři osy (tj. svislá, příčná a podélná).

V řadě případů zahrnuje náročnost zkoušky úzkopásmové složky. Specifikovaná amplituda těchto úzkých pásem je ve své podstatě spojena s frekvenční šířkou úzkého pásma. Pokud zkušební řídicí zařízení není schopno prakticky dosáhnout stanovené frekvenční šířky pásma, může být nezbytné proporcionální přizpůsobení amplitudě úzkého pásma. Případně je upřesněn přístup pro jeho dosažení. Pokud není uvedeno jinak, měla by být skutečně dosažená kmitočtová šířka pásma úzkých pásem do 10 % zadané šířky pásma.

Výchylka od vrcholu k vrcholu u zkoušek, které zahrnují náhodnou složku, předpokládají krácení 3σ a jsou uvedeny pouze pro informaci. Řídicí program může vypočítat různé posuny v důsledku frekvenčního rozlišení nebo jiných nastavení, která byla vybrána. Tyto hodnoty vypočítané řídicím programem by se měly použít při zvažování požadovaných možností budicího systému.

Hydraulické budicí systémy nejsou obecně schopny provádět vibrační zkoušky nad asi 500 Hz, a proto nebudou schopny splnit všechny zkoušky stanovené v této příloze. Pokud zkušební zařízení nemá vhodné elektrodynamické budicí systémy nebo pokud je zkoušený předmět tak velký a těžký, že zkoušky pomocí

Příloha 7A
(normativní)

hydraulického budicího systému jsou jedinou praktickou možností, bude muset zadavatel zkoušky specifikovat důsledky omezení zkoušky na šířku pásma do 500 Hz a tam, kde je to vhodné, změnit specifikaci zkoušky vlivu prostředí nebo souhlasit s ústupkem. Před provedením takové změny ve specifikaci zkoušky, by mělo být předloženo vhodné odůvodnění z hlediska možných způsobů poruch zkoušeného předmětu, a je-li třeba, měl by jej odsouhlasit zadavatel zkoušky.

7.A.2 PŘEPRAVA A MANIPULACE S MATERIÁLEM

7.A.2.1 Všeobecná ustanovení

Přeprava a manipulace se většinou týká zabaleného materiálu, i když může zahrnovat i materiál chráněný při provozu pouze svou bojovou ochranou. Materiál mohou tvořit buď jednotlivé předměty, nebo paletizovaný kusový materiál, a proto by měl být uveden odkaz na zamýšlený profil použití, aby se stanovila příslušná sestava. Předpokládá se, že materiál překoná přepravu a manipulaci, ale obvykle se neočekává, že bude za takových podmínek v provozu. Uváděné náročnosti při přepravě a manipulaci představují vibrační vstup do obalu, bojové ochrany nebo paletizovaného nákladu.

7.A.2.2 Přeprava kolovými vozidly na zpevněných komunikacích

Náročnosti zkoušky vztahující se na logistickou přepravu materiálu kolovými vozidly jsou uvedeny na obrázcích 7.A.1 až 7.A.4. Tyto náročnosti se týkají přepravy upevněného nákladu běžným dopravcem, pokud je provozován převážně na zpevněných komunikacích (tj. na cestě). Běžný dopravce zahrnuje kamiony a návěsy s konvenčním nebo vzduchovým odpružením. Zkoušky uvedené na obrázcích 7.A.1 až 7.A.3 by se měly použít pro velké předměty, které lze naložit do vozidla pouze v jedné orientaci; pokud orientace předmětu není známa nebo by se mohla měnit, měl by se použít obrázek 7.A.4. Vibrační zkoušky pro přepravu materiálu kolovými vozidly by měly být provedeny společně s příslušnými rázovými zkouškami Metody 403. Další informace o vibračních podmínkách, ke kterým dochází během přepravy materiálu v průběhu přepravy kolovými vozidly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 242/1.

7.A.2.3 Přeprava po železnici

Náročnosti zkoušky uplatněné pro přepravu materiálu po železnici jsou uvedeny na obrázku 7.A.5. Vibrační zkouška pro přepravu materiálu po železnici by měla být provedena spolu s příslušnými rázovými zkouškami Metody 403. Další informace o vibračních podmínkách, ke kterým dochází při přepravě materiálu na železničních vagoncích, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 242/2.

7.A.2.4 Přeprava po moři

Náročnosti vibrační zkoušky použitelné pro přepravu materiálu po moři jsou uvedeny na obrázku 7.A.6. Další informace o vibračních podmínkách vyskytujících se při námořní přepravě materiálu jsou uvedeny v AECTP-240, Část 242/4.

7.A.2.5 Přeprava proudovým letadlem s pevnými křídly

Náročnosti vibrační zkoušky použitelné pro přepravu materiálu pomocí proudového letadla s pevnými křídly jsou uvedeny na obrázcích 7.A.7 a 7.A.8. Náročnosti uvedené na obrázku 7.A.7 se vztahují na let letadlem po trase a hodnoty na obrázku 7.A.8 se vztahují na vzlet, který může způsobit pro náklad nejvyšší úroveň vibrací.

Příloha 7A

(normativní)

Další informace o vibračních podmínkách, ke kterým dochází při přepravě materiálu letadly s pevnými křídly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 242/3.

7.A.2.6 Přeprava vrtulovým letadlem s pevnými křídly

Náročnosti vibrační zkoušky použitelné pro přepravu materiálu pomocí vrtulových letadel s pevnými křídly jsou specifické pro konkrétní letadlo. Náročnosti zkoušky jsou uvedeny na obrázcích 7.A.9 a 7.A.10 pro materiál přepravovaný v letadle C130 se šestilistými vrtulemi. Obrázek 7.A.9 uvádí náročnost zkoušky pro svislou osu letadla a obrázek 7.A.10 uvádí náročnost zkoušky, která by měla být použita pro příčnou a podélnou osu. Náročnost zkoušek pro materiál přepravovaný v letadle C130 se čtyřlístými vrtulemi je znázorněna na obrázku 7.A.11 (svisle) a na obrázku 7.A.12 (příčně). Náročnosti zkoušek pro materiál přepravovaný v A400M nejsou v současné době k dispozici, ale obrázky 7.A.13 až 7.A.16 byly vyhrazeny pro jejich začlenění, jakmile budou k dispozici ověřené náročnosti zkoušek. Další informace o vibračních podmínkách, ke kterým dochází během přepravy materiálu letadly s pevnými křídly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 242/3.

7.A.2.7 Přeprava vrtulníkem – vnitřní a na podvěsu

Náročnosti vibrační zkoušky použitelné pro vnitřní přepravu materiálu vrtulníky jsou znázorněny na obrázcích 7.A.17 až 7.A.20. Náročnosti zkoušky jsou stanoveny následovně: obrázek 7.A.17 – Chinook; obrázek 7.A.18 – Merlin; obrázek 7.A.19 se vztahuje na přenosný materiál v Lynx/Wildcat; náročnosti zkoušek pro jiná letadla lze odvodit z obrázku 7.A.20 a tabulky 7.A.1 níže. Další informace o vibračních podmínkách, ke kterým dochází při přepravě materiálu letadly s rotačními křídly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 247/1.

Pokud se materiál přepravuje ve více než jednom typu vrtulníku, lze celkové vystavení vibracím rozdělit poměrným způsobem na různé typy vrtulníku. Například, pokud k přepravě dochází rovnoměrně pouze v letadlech Chinook a Merlin, měly by se použít náročnosti zkoušky podle obrázku 7.A.17 (Chinook) a obrázku 7.A.18 (Merlin) s celkovým rozdělením vystavení vibracím rovnoměrně mezi tyto dva. Přeprava v malých vrtulnících, jako jsou letadla Lynx/Wildcat, je obvykle nutná pouze pro přenosná zařízení.

Pokud není orientace materiálu ve vrtulníku v průběhu přepravy známa nebo se může měnit, měla by se náročnost pro svislou osu použít ve všech třech hlavních osách.

Náročnosti zkoušky použitelné pro přepravu materiálu na podvěsu na jakémkoli typu vrtulníku jsou znázorněny na obrázku 7.A.21 Náklady na podvěsu vrtulníku.

POZNÁMKA

Výběr smyček by měl vycházet z tuhosti smyčky a hmotnosti podvěsu tak, aby kmitočty podvěsu (f_s) se neshodovaly s budicími kmitočty hlavního rotoru vrtulníku (f_i); kmitočty podvěsu by neměly být v rozmezí faktoru dvou budících kmitočtů (tj. $f_s < (f_i/2)$ nebo $f_s > (2 f_i)$).

TABULKA 7.A.1 – Parametry hlavního a ocasního rotoru / listu pro různé vrtulníky

Vrtulník	Hlavní rotor			Ocasní rotor		
	Rychlost otáčení (R) (Hz)	Počet listů (n)	Frekvence průchodů listů (nR) (Hz)	Rychlost otáčení (R) (Hz)	Počet listů (n)	Frekvence průchodů listů (nR) (Hz)
AH-1 (Cobra)	5,40	2	10,80	27,70	2	55,40
AH-6J (Little Bird)	7,95	5	39,75	47,30	2	94,60
AH-6M (Little Bird)	7,92	6	47,52	44,40	4	177,60
AH-64 (dřívější Apache)	4,82	4	19,28	23,40	4	93,60
AH-64 (pozdější Apache)	4,86	4	19,44	23,60	4	94,40
CH-47D (Chinook)	3,75	3	11,25	Nevyužito		
Merlin	3,57	5	17,85	16,18	4	64,72
Gazelle SA341	6,30	3	18,90	96,20	13	1 250,6
Gazelle SA342	6,45	3	19,35	98,60	13	1 281,8
Lynx Mk 3	5,51	4	22,04	31,90	4	127,60
Lynx 7, 8 a 9	5,51	4	22,04	27,80	4	111,20
MH-6H	7,80	5	39,00	47,50	2	95,00
OH-6A (Cayuse)	8,10	4	32,40	51,80	2	103,60
OH-58A/C (Kiowa)	5,90	2	11,80	43,80	2	87,60
OH-58D (K Warrior)	6,60	4	26,40	39,70	2	79,40
Puma	4,42	4	17,68	21,30	5	106,50
Sea King / Commando	3,48	5	17,40	21,30	6	127,80
UH-1 (Huey)	5,40	2	10,80	27,70	2	55,40
UH-60 (Black Hawk)	4,30	4	17,20	19,80	4	79,20

7.A.2.8 Manipulace

Náročnosti zkoušky použitelné při manipulaci s materiálem vysokozdvihnými vozíky, trolejovými vozíky a všemi běžnými přívěsy s odpérováním i s lehkými přívěsy jsou zahrnuty podle náročnosti v článku 7.A.2.2. Všechny náročnosti vibračních zkoušek spojené s manipulací by měly být prováděny společně s přidruženými rázovými zkouškami Metody 403. Další informace o vibračních podmínkách vznikajících v průběhu manipulace a skladování materiálu jsou uvedeny v AECTP-240, Část 243/1 a 243/2.

Příloha 7A
(normativní)

7.A.3 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ NEBO ROZMÍSTĚNÝ V KOLOVÝCH VOZIDLECH NA NEZPEVNĚNÝCH CESTÁCH

Náročnosti vibrační zkoušky použitelné pro taktickou přepravu nebo rozmístění materiálu v kolových vozidlech jsou uvedeny na obrázcích 7.A.22 až 7.A.25. Náročnosti vibrační zkoušky uvedené na obrázku 7.A.22 se týkají kolových vozidel, pokud jsou provozována převážně na nezpevněných nebo vedlejších cestách (tj. v terénu). Náročnosti složené vibrační zkoušky pro přepravu upevněného nákladu kolovými vozidly z oblasti složení v přístavu do předsunuté základny jsou uvedeny na obrázku 7.A.23. Náročnosti vibrační zkoušky pro přepravu upevněného nákladu ve dvoukolových přívěsech za předsunutou základnu jsou uvedeny na obrázku 7.A.24. Pokud orientace materiálu ve vozidle není známa nebo by se mohla měnit, měla by se použít svislá zkouška ve všech třech osách pro složenou zkoušku kolového vozidla, nebo by se měla použít kombinovaná zkouška uvedená na obrázku 7.A.25 pro dvoukolový přívěs. Všechny náročnosti vibračních zkoušek spojené s rozmístěním na kolových vozidlech by měly být prováděny společně s přidruženými rázovými zkouškami Metody 403. Další informace o vibračních podmínkách, které podstupuje materiál při rozmístění nebo instalaci na kolových vozidlech, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 245/2.

Náročnosti zkoušky na obrázku 7.A.22 zahrnují nízkofrekvenční rozšíření, které zajišťuje navýšení energie mezi 5 Hz a 14 Hz, které souvisí s odezvami vozidla na režimy odpružení. Hlavní režimy odpružení jsou však obecně nižší než 5 Hz a neuvažují se pro zkoušení v tomto standardu z důvodu omezení vibračních zkušebních zařízení. Nízkofrekvenční rozšíření může způsobit významné posuny zařízení namontovaných na nízkofrekvenčních antivibračních úchytech, zejména těch, které vykazují mírně tlumivé vlastnosti. Tyto posuny mohou překročit konstrukční možnosti balíků a držáků. Pokud je pravděpodobné, že dojde k nadměrnému přemístění zařízení, nemusí být použity obecných přepravních náročností vhodné.

7.A.4 MATERIÁL ROZMÍSTĚNÝ NEBO INSTALOVANÝ NA PÁSOVÝCH VOZIDLECH

Náročnosti vibrační zkoušky materiálu rozmístěném nebo instalovaném na pásových vozidlech jsou uvedeny na obrázcích 7.A.26 až 7.A.33. Použitelnost těchto náročností zkoušky je uvedena v tabulce 7.A.2 níže.

Náročnosti vibrační zkoušky jsou uvedeny pro svislou osu vozidla i pro příčnou a podélnou osu. Pokud není osa orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by být náročnost svislé osy použita ve všech třech hlavních osách. Všechny náročnosti vibračních zkoušek spojené s rozmístěním v pásových vozidlech by měly být prováděny společně s příslušnými rázovými zkouškami Metody 403.

Vibrační zkoušky pásového vozidla mohou představovat rozmítané úzkopásmové vibrace se stálou amplitudou superponované na širokopásmové náhodné vibrace. Aby se usnadnilo používání starších systémů řízení vibrací, jsou náročnosti zkoušek rozděleny do dvou úrovní, které zahrnují nízké a vysoké rychlosti vozidla. Je rozumné předpokládat, že oba rozsahy rychlosti budou použity v podobné míře; tj. trvání zkoušky by mělo být rozděleno stejně mezi obě rychlosti. Použití systémů pro řízení vibrací, které umožňují specifikaci úzkých pásem s proměnnou amplitudou,

je přijatelné a v takových případech mohou být kombinovány obě náročnosti zkoušky.

TABULKA 7.A.2 – Použitelné náročnosti pro pásová vozidla

Způsob provedení	Náročnosti zkoušky	
	Nízké rychlosti vozidla	Vysoké rychlosti vozidla
Materiál přepravovaný jako upevněný náklad (tyto náročnosti vibrační zkoušky zahrnují materiál přepravovaný na pásovém vozidle nebo v něm jako upevněný náklad, včetně střel a munice a materiálu na podlaze vozidla)	Obrázek 7.A.26	Obrázek 7.A.27
Materiál instalovaný ve věži pásových vozidel (tyto náročnosti vibrační zkoušky zahrnují materiál instalovaný ve věži nebo rozmístěný v závěsných regálech ve věžích těžkých i lehkých pásových vozidel)	Obrázek 7.A.28	Obrázek 7.A.29
Materiál instalovaný na korbě těžkých pásových vozidel (tyto náročnosti vibrační zkoušky zahrnují materiál instalovaný nebo rozmístěný na korbě a v bočních nástavcích těžkých pásových vozidel, jako jsou hlavní bojové tanky nebo samohybná děla)	Obrázek 7.A.30	Obrázek 7.A.31
Materiál instalovaný na korbě lehkých pásových vozidel (tyto náročnosti vibrační zkoušky zahrnují materiál instalovaný nebo rozmístěný na korbě a v bočních nástavcích lehkých pásových vozidel, jako jsou obrněné transportéry, průzkumná vozidla nebo logistická vozidla)	Obrázek 7.A.32	Obrázek 7.A.33

Zkušební úrovně některých konkrétních pásových vozidel lze nalézt v Mezinárodním provozním postupu zkoušení (ITOP) 01-2-601. Další informace o vibračních podmínkách, se kterými se materiál setkává při rozmístění nebo instalaci v pásových vozidlech, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 245/1.

7.A.5 MATERIÁL ROZMÍSTĚNÝ NEBO INSTALOVANÝ NA HLADINOVÝCH PLAVIDLECH A PONORKÁCH

Amplitudy a charakteristiky vibrací, které se vyskytují u materiálu instalovaného na hladinových plavidlech a ponorkách, vykazují významné rozdíly, které vyplývají z velikosti a polohy plavidla. Kromě toho, jelikož amplitudy bývají poměrně nízké a doby trvání velmi dlouhé, uplatňuje se obvykle významný stupeň komprese trvání

Příloha 7A

(normativní)

zkoušky. Taková komprese trvání zkoušky může vést k poruchám, které se v provozu nevyskytují. V důsledku těchto problémů by náročnosti zkoušek vztahující se na bezpečnost a pro plnění úkolu důležitý materiál instalovaný na hladinových plavidlech a ponorkách, měly vycházet z měření prováděných za vhodných podmínek. Typicky by tyto náročnosti byly založeny na širokopásmových náhodných vibracích zahrnujících frekvence až 2 kHz. Další informace o vibračních podmínkách, kterým je vystaven materiál při rozmístění nebo instalaci na lodích a ponorkách, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 248/1 a Část 248/2.

Historické náročnosti zkoušek zařízení instalovaných na hladinových plavidlech a ponorkách byly ovlivněny vibracemi s převahou nízkofrekvenčního posunu. Je nepravděpodobné, že by tyto náročnosti postihly všechny možné způsoby poruch materiálu instalovaného na hladinových plavidlech a ponorkách. To může být zvláštní problém pro elektronické systémy a výzbroj. Využitelnost těchto historických náročností zkoušek je uvedena v tabulce 7.A.3.

TABULKA 7.A.3 – Historické zkušební náročnosti pro zařízení instalovaná na hladinových plavidlech a ponorkách

Typ plavidla, velikost a poloha		Náročnost
Lodě o velikosti minolovky a větší	Umístění na vrcholu stožáru	Obrázek 7.A.34
	Případně všechna ostatní místa	Obrázek 7.A.35
Lodě menší než minolovka	Umístění na zádi ¹	Obrázek 7.A.36
	Všechna ostatní místa	Obrázek 7.A.37
Ponorky ²	Všechna místa	Obrázek 7.A.38

POZNÁMKY

1 Oblast na zádi se rovná jedné osmině celkové délky lodi, měřeno od zádi.

2 S výjimkou míst vně tlakového trupu.

Historické požadavky zkoušek na materiál rozmístěný nebo instalovaný na lodích a ponorkách zahrnují dvě skupiny zkoušek: skupina vibračních zkoušek s rozmítaným sinusovým kmitočtem, následována skupinou vibračních zkoušek se stálým sinusovým kmitočtem. Pokud vibrační zkoušky s rozmítaným sinusovým kmitočtem zjistí významné rezonance ve specifikovaných frekvenčních pásmech, použije se v průběhu vibračních zkoušek se stálým sinusovým kmitočtem sinusový tón se stálým kmitočtem na kmitočtu a amplitudě vrcholové odezvy identifikované rezonance. Pokud ve specifikovaných pásmech nejsou identifikovány žádné rezonance, použije se sinusový tón zadaného výchozího kmitočtu a amplitudy. Pokud je ve specifikovaných pásmech zjištěna více než jedna rezonance, pak se všechny aplikují samostatně s časovým odstupem, který je u každého odpovídajícím

Příloha 7A
(normativní)

způsobem zkrácen, aby byly splněny požadavky na celkovou dobu zkoušky. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.

7.A.6 MATERIÁL ROZMÍSTĚNÝ NEBO INSTALOVANÝ V LETADLE (PEVNÁ KŘÍDLA A VRTULNÍK)

Amplitudy a charakteristiky vibrací, které podstupuje materiál instalovaný v letadle s pevnými křídly nebo vrtulnicích vykazují významné rozdíly vyplývající z různých typů letadel, umístění a úkolů. V důsledku toho by náročnosti zkoušky týkající se materiálu instalovaného v letadlech s pevnými křídly a vrtulnicích měl dodat výrobce pro konkrétní aplikace. To se týká zejména vysoce výkonných letadel, kde mohou nastat velmi náročné vibrační podmínky. Další informace o vibračních podmínkách, kterým je vystaven materiál, je-li rozmístěn nebo instalován v proudových a vrtulových letadlech s pevnými křídly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 246/1 a Část 246/3. Informace o vibračních podmínkách letadel s rotujícími nosnými plochami jsou uvedeny v Části 247/1.

7.A.7 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ VNĚ PROUDOVÉHO LETADLA

7.A.7.1 Všeobecná ustanovení

Amplitudy a charakteristiky vibrací, které se vyskytují u materiálu převáženého vně proudových letadel při normálním letu, vykazují významné rozdíly vyplývající z různých typů letadel, stavu letu, polohy letadla, blízkosti jiného materiálu a úkolu. V důsledku toho by náročnosti zkoušky, použitelné na materiál převážený vně proudového letadla, měly být odvozeny pro konkrétní aplikace. Náročnosti zkoušky obsažené v následujících odstavcích neplatí pro munici přepravovanou na vysoce výkonných letadlech a měly by být přijaty náročnosti zkoušek na základě naměřených údajů. Další informace o vibračních podmínkách, kterým je vystaven materiál a munice převážené vně proudových a vrtulových letadel s pevnými křídly, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 246/2.

7.A.7.2 Materiál přepravovaný vně proudového letadla – normální let

Náročnost vibračních zkoušek tradičně používaných pro materiál převážený vně proudových letadel s nízkým výkonem je znázorněna na obrázku 7.A.39. Tato náročnost zkoušky je použitelná pouze pro letové podmínky letadel, jejichž výsledkem nejsou dynamické tlaky vyšší než 76,6 kPa. Je rovněž použitelná pouze pro materiál, na který působí souvislý proud vzduchu, a nevztahuje se na materiál, na který působí narušený proud z horních konstrukčních prvků nebo z jiného materiálu. Náročnost zkoušky nezahrnuje materiál připevněný vně přímo na plášti letadla nebo materiál, který má otevřené dutiny, nebo je buď namontován v otevřené dutině, nebo shodně s letadlem.

7.A.7.3 Materiál přepravovaný vně proudového letadla – aerodynamické třepání

Působení aerodynamického třepání nebo vzdušného víru je krátkodobé vibrační prostředí, kterému je vystaven materiál namontovaný na křídle nebo na trupu. Aerodynamické třepání je vibrace s vysokou amplitudou, ke které dochází během specifických omezených letových podmínek, a nejtěžší podmínky vyplývají z kombinace aerodynamického proudu a konstrukčních vibračních odezev. Je-li to

Příloha 7A

(normativní)

vhodné, provádí se kromě náročnosti zkoušek pro normální let i zkoušky k opakování účinků aerodynamického třepání.

Zevšeobecněné náročnosti zkoušky pro podmínky aerodynamického třepání jsou uvedeny na obrázcích 7.A.40 až 7.A.43. Použitelná náročnost závisí na poměru stran materiálu a poloze nosiče, jak je uvedeno v tabulce 7.A.4 níže.

TABULKA 7.A.4 – Použitelné náročnosti pro podmínky aerodynamického třepání

Typ	Místo montáže	Použitelná náročnost zkoušky
Materiál s nízkým poměrem stran	Křídlo	Obrázek 7.A.40
	Trup letadla	Obrázek 7.A.41
Materiál s vysokým poměrem stran	Křídlo	Obrázek 7.A.42
	Trup letadla	Obrázek 7.A.43

Náročnosti zkoušky podle obrázků 7.A.40, 7.A.41 a 7.A.43 představují odezvu jediného dominantního konstrukčního režimu (křídla nebo trupu) spojeného s ohýbáním nebo kroucením. Předpokládané kmitočty pro tyto konstrukční režimy jsou 30 Hz, 15 Hz a 60 Hz pro obrázky 7.A.40, 7.A.41 a 7.A.43. Pokud je však známý kmitočet skutečného dominantního režimu, měl by být použit skutečný kmitočet režimu.

Náročnosti zkoušky na obrázku 7.A.42 představují odezvu dvou dominantních konstrukčních režimů, jednoho dominantního režimu křídla letadla a druhého režimu prvního ohybu materiálu. Předpokládané kmitočty pro tyto konstrukční režimy jsou 30 Hz, respektive 60 Hz. Pokud jsou však známy kmitočty skutečných režimů, měly by být použity skutečné kmitočty režimů. Pokud jsou oba kmitočty blíže než 10 Hz, může dojít k režimovému spojování a měla by být použita náročnost na základě naměřených údajů.

Náročnosti a četnost výskytu aerodynamického třepání bude záviset na typu letadla, druhu úkolu a sestavě materiálu atd.

7.A.8 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ VNĚ VRTULOVÉHO LETADLA

Náročnosti zkoušek použitelné na materiál přepravovaný vně vrtulového letadla jsou uvedeny na obrázku 7.A.44. Charakteristiky vibrací vznikajících u vrtulových letadel jsou specifické pro konkrétní letadlo. Náročnost na obrázku 7.A.44 předpokládá frekvence průchodů listů vrtule (nR) 102 Hz, což odpovídá šestilisté vrtuli letadla C130. U ostatních typů letadel by kmitočty pro nR , $2nR$ a $3nR$ měly být nahrazeny kmitočty pro konkrétní typ letadla.

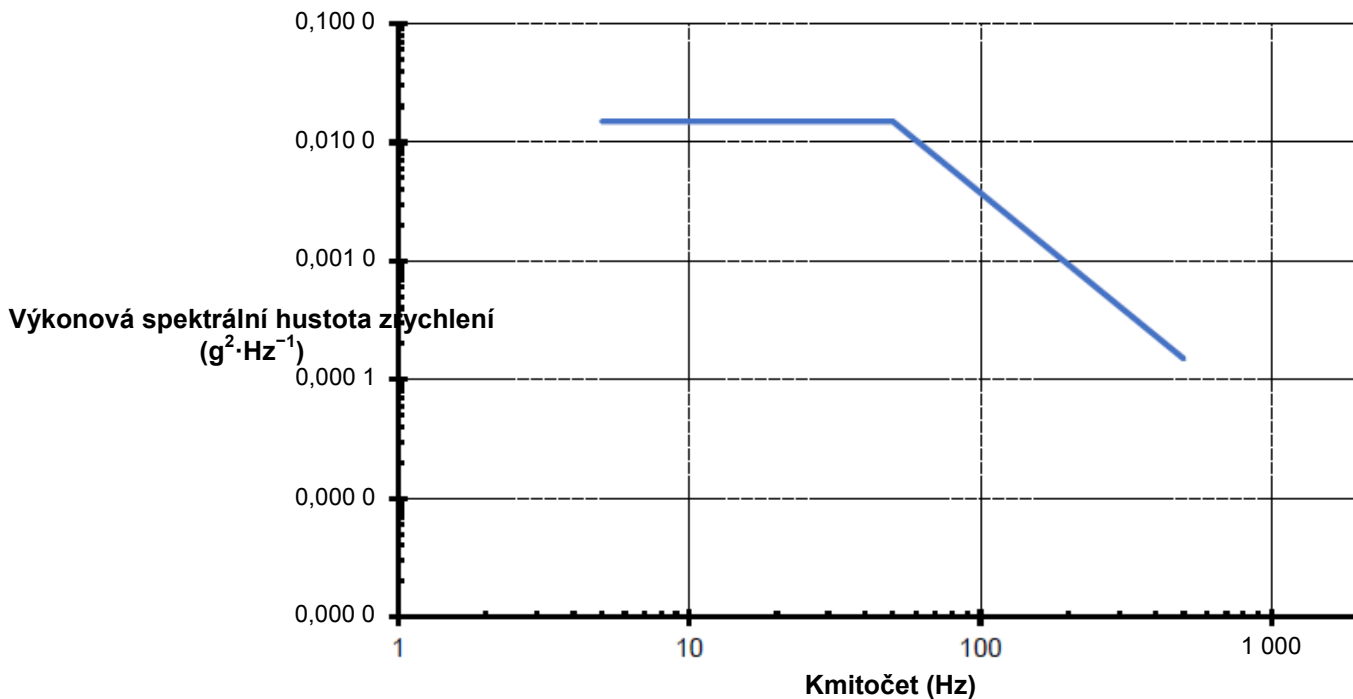
7.A.9 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ VNĚ VRTULNÍKU

Náročnosti zkoušky pro materiál přepravovaný vrtulníky by měly být odvozeny z naměřených údajů typických pro sledovanou platformu.

7.A.10 LET ŘÍZENÉ STŘELY

Náročnosti vibrační zkoušky letů střely s raketovým pohonem by měly být odvozeny z naměřených údajů typických pro provozní podmínky příslušné střely. Další informace o vibračních podmínkách, kterým je vystaven materiál, zbraně a podvěsy za letu s pohonem a bez pohonu, jsou uvedeny v AECTP-240, Část 249/1.

Příloha 7A
(normativní)



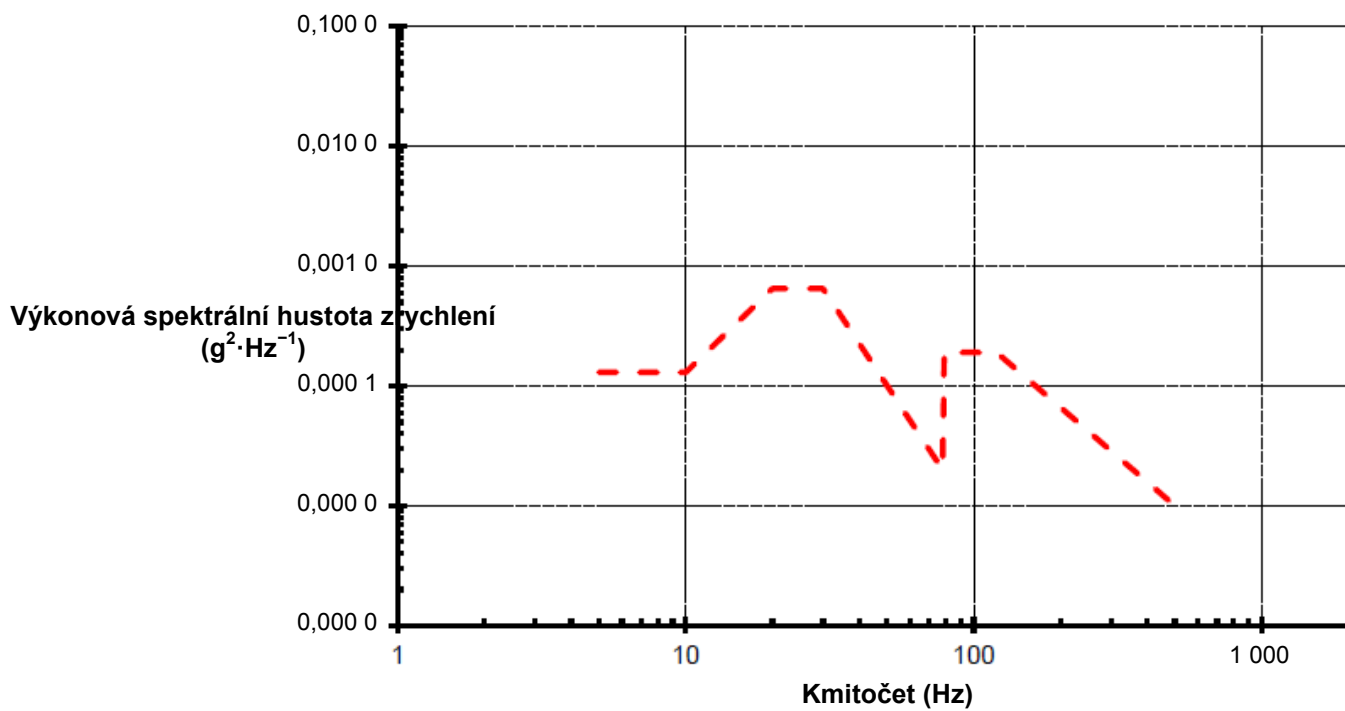
OBRÁZEK 7.A.1 – Svislá osa obecné nosné platformy

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.1

Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)
5	0,015
50	0,015
500	0,000 15
a_{ef} (g)	1,16
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	9,4
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky jedné hodiny odpovídá 1 609 km na komunikaci

POZNÁMKY

- Je-li známo, že se předpokládá významné buzení pod 5 Hz, nebo pokud je velikost přenosové funkce mezi platformou a zkoušeným předmětem větší než jedna pro kmitočet < 5 Hz, křivku je třeba prodloužit a vytvořit ji tak, aby vyhovovala dostupným údajům.
- Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měl by se použít obrázek 7.A.4.

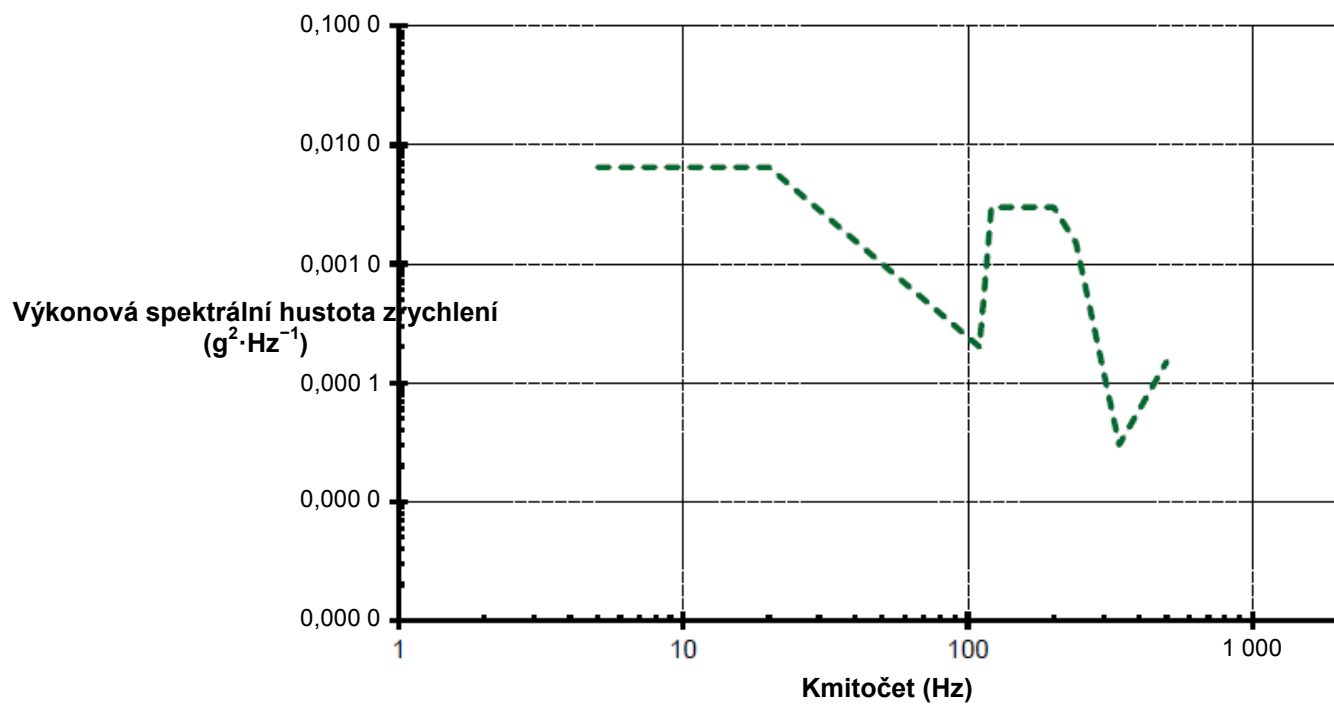


OBRÁZEK 7.A.2 – Příčná osa obecné nosné platformy

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.2

Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)
5	0,000 13
10	0,000 13
20	0,000 65
30	0,000 65
78	0,000 02
79	0,000 19
120	0,000 19
500	0,000 01
<i>a_{ef}</i> (g)	0,2
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	0,94
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky jedné hodiny odpovídá 1 609 km na komunikaci
POZNÁMKY	
1 Je-li známo, že se předpokládá významné buzení pod 5 Hz, nebo pokud je velikost přenosové funkce mezi platformou a zkoušeným předmětem větší než jedna pro kmitočet < 5 Hz, křivku je třeba prodloužit a vytvořit ji tak, aby vyhovovala dostupným údajům.	
2 Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měl by se použít obrázek 7.A.4.	

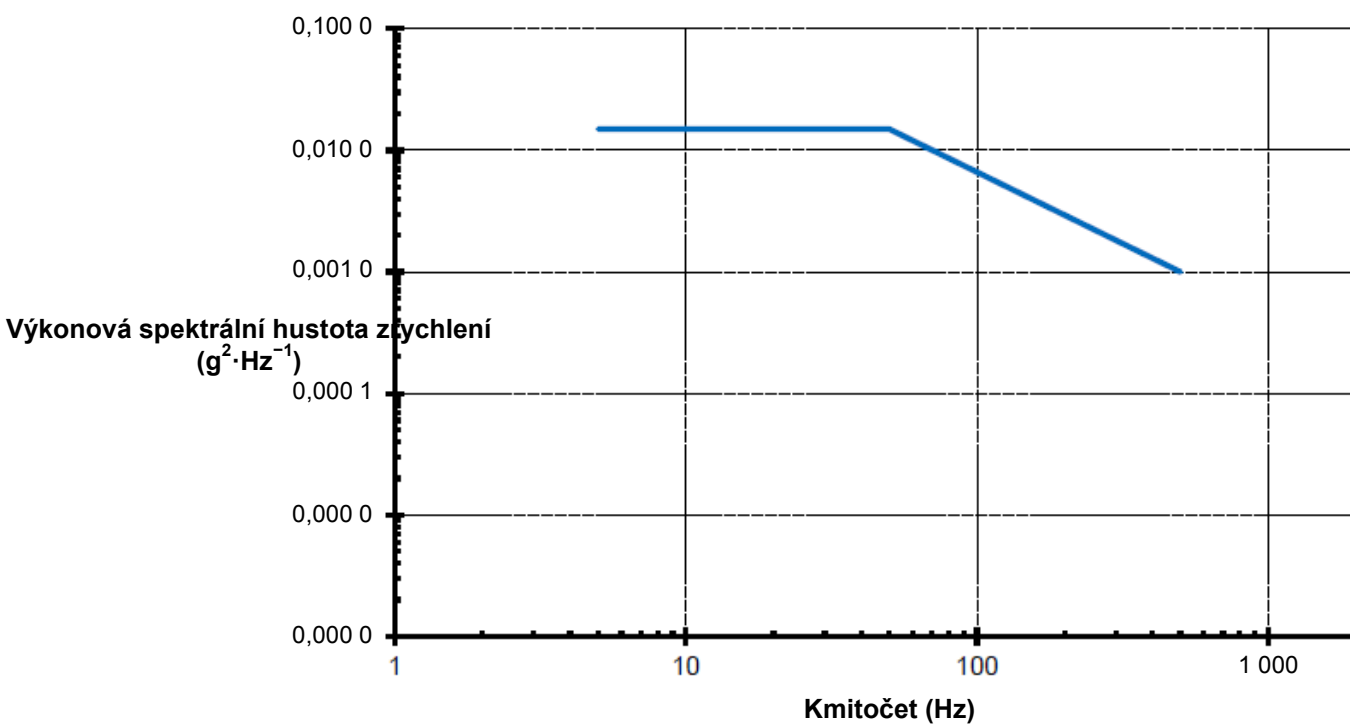


OBRÁZEK 7.A.3 – Podélná osa obecné nosné platformy

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.3

Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,006 5
20	0,006 5
110	0,000 2
121	0,003
200	0,003
240	0,001 5
340	0,000 03
500	0,000 15
a_{ef} (g)	0,76
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	6,2
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky jedné hodiny odpovídá 1 609 km na komunikaci
POZNÁMKY 1 Je-li známo, že se předpokládá významné buzení pod 5 Hz, nebo pokud je velikost přenosové funkce mezi platformou a zkoušeným předmětem větší než jedna pro kmitočty < 5 Hz, křivku je třeba prodloužit a vytvořit ji tak, aby vyhovovala dostupným údajům. 2 Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měl by se použít obrázek 7.A.4.	

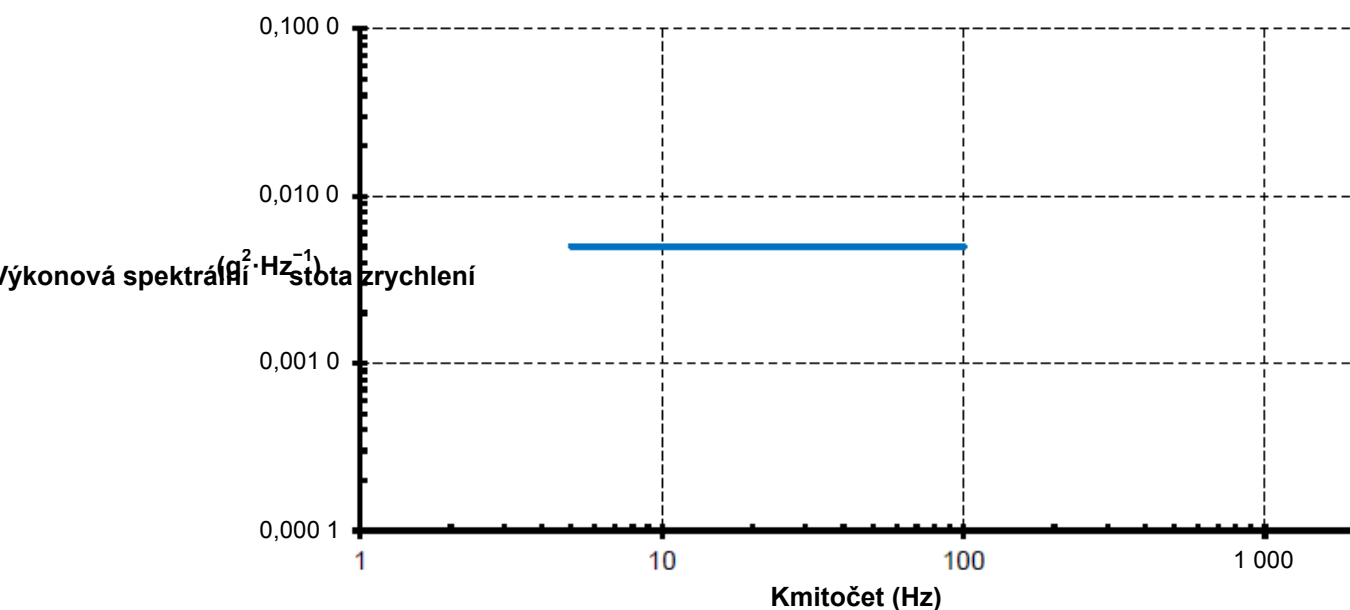


OBRÁZEK 7.A.4 – Obecná nosná platforma – kombinovaná zkouška použitelná pro všechny osy

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.4

Platí pro všechny zkušební osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)
5	0,015
50	0,015
500	0,001
<i>a_{ef}</i> (g)	1,45
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	9,4
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky jedné hodiny odpovídá 1 609 km na komunikaci
POZNÁMKY	
1 Je-li známo, že se předpokládá významné buzení pod 5 Hz, nebo pokud je velikost přenosové funkce mezi platformou a zkoušeným předmětem větší než jedna pro kmitočet < 5 Hz, křivku je třeba prodloužit a vytvořit ji tak, aby vyhovovala dostupným údajům.	
2 Tato zkouška náročnosti by se měla použít, pokud orientace materiálu ve vozidle není známa nebo se může měnit.	

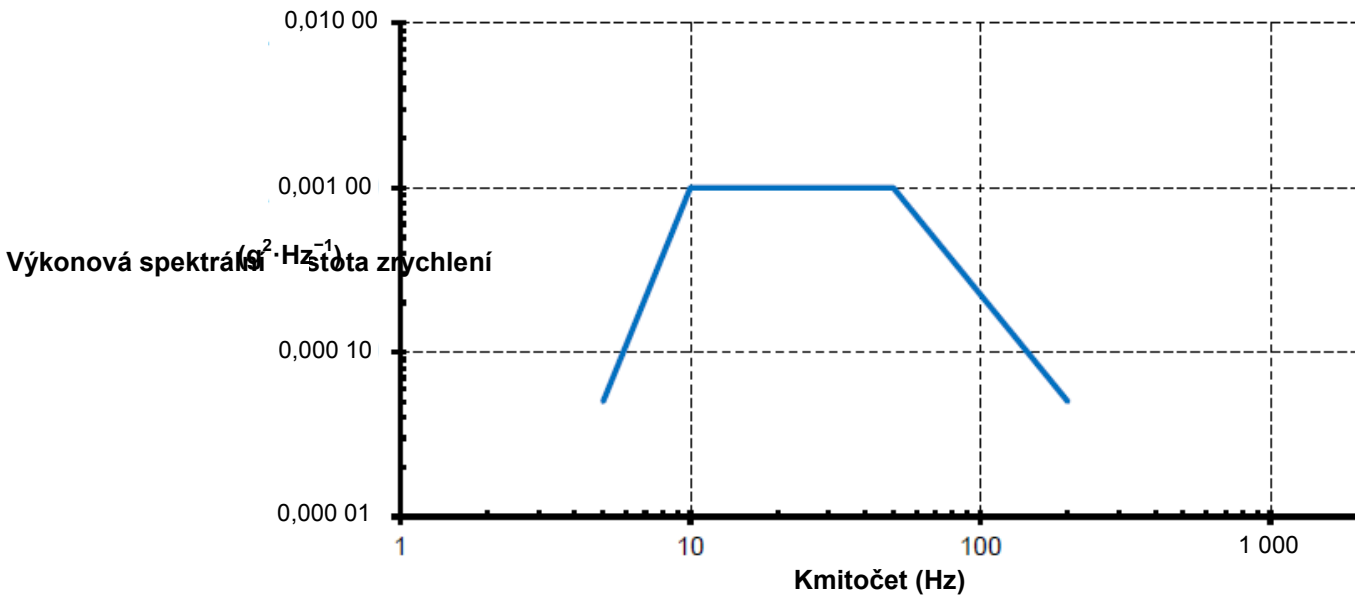


OBRÁZEK 7.A.5 – Materiál přepravovaný po železnici

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.5

Platí pro všechny osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g ² ·Hz ⁻¹)
5	0,005
100	0,005
a_{ef} (g)	0,69
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	5,4
Doba trvání zkoušky na osu	Jedna hodina zkoušení odpovídá 10 000 km

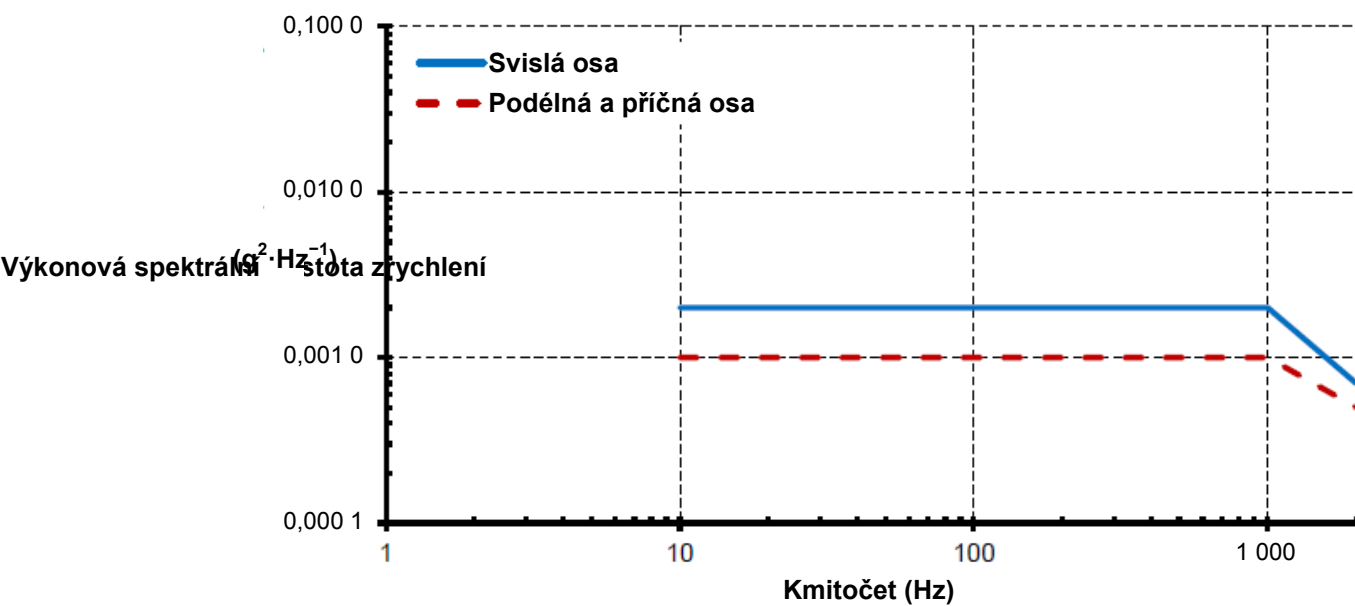
Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.6 – Materiál přepravovaný po moři

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.6

Platí pro všechny osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,000 05
10	0,001
50	0,001
200	0,000 05
a_{ef} (g)	0,28
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,3
Doba trvání zkoušky na osu	Jedna hodina zkoušení odpovídá 3 měsícům na moři

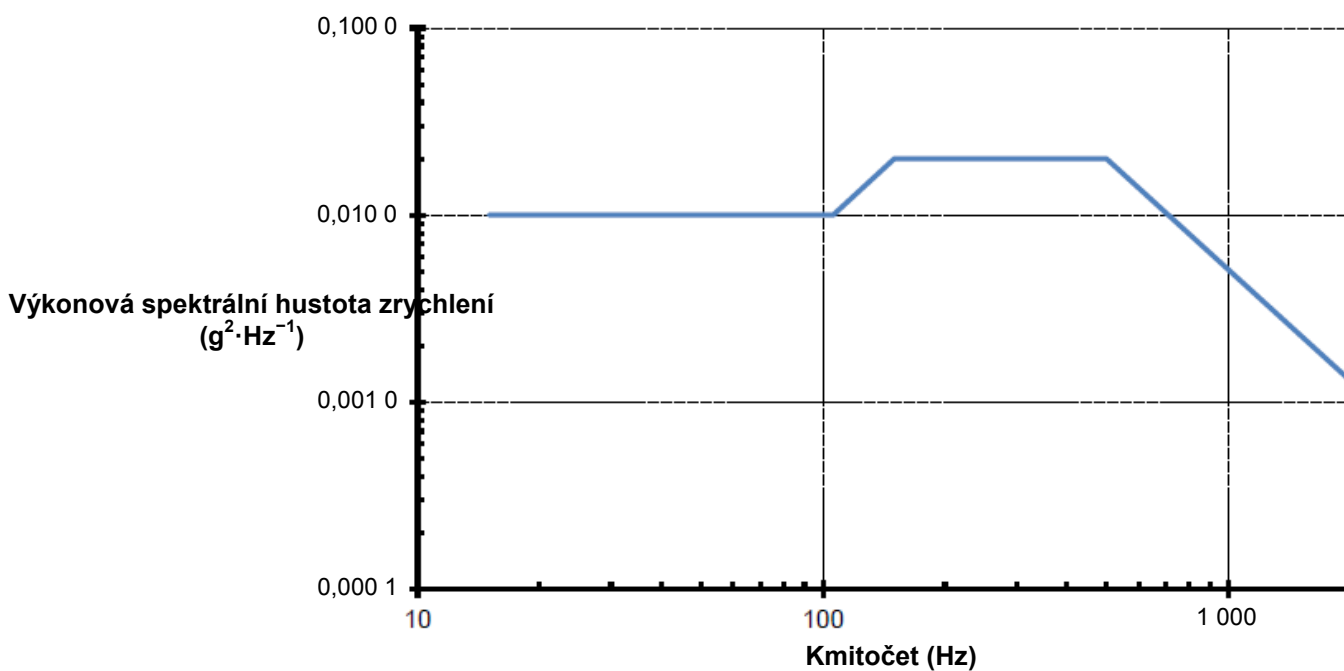


**OBRÁZEK 7.A.7 – Materiál přepravovaný v proudovém letadle s pevnými křídly
– let po trase**

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.7

Platí pro svislou osu letadla (nebo všechny osy, pokud není známa orientace materiálu v letadle nebo se může měnit)		Platí pro podélnou a příčnou osu letadla	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
10	0,002	10	0,001
1 000	0,002	1 000	0,001
2 000	0,000 7	2 000	0,000 5
a_{ef} (g)	1,77	a_{ef} (g)	1,30
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,2	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	0,9
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky na osu je jedna hodina. Jedna hodina zkoušení na osu odpovídá 100 hodinám letového času.	Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky na osu je jedna hodina. Jedna hodina zkoušení na osu odpovídá 100 hodinám letového času.

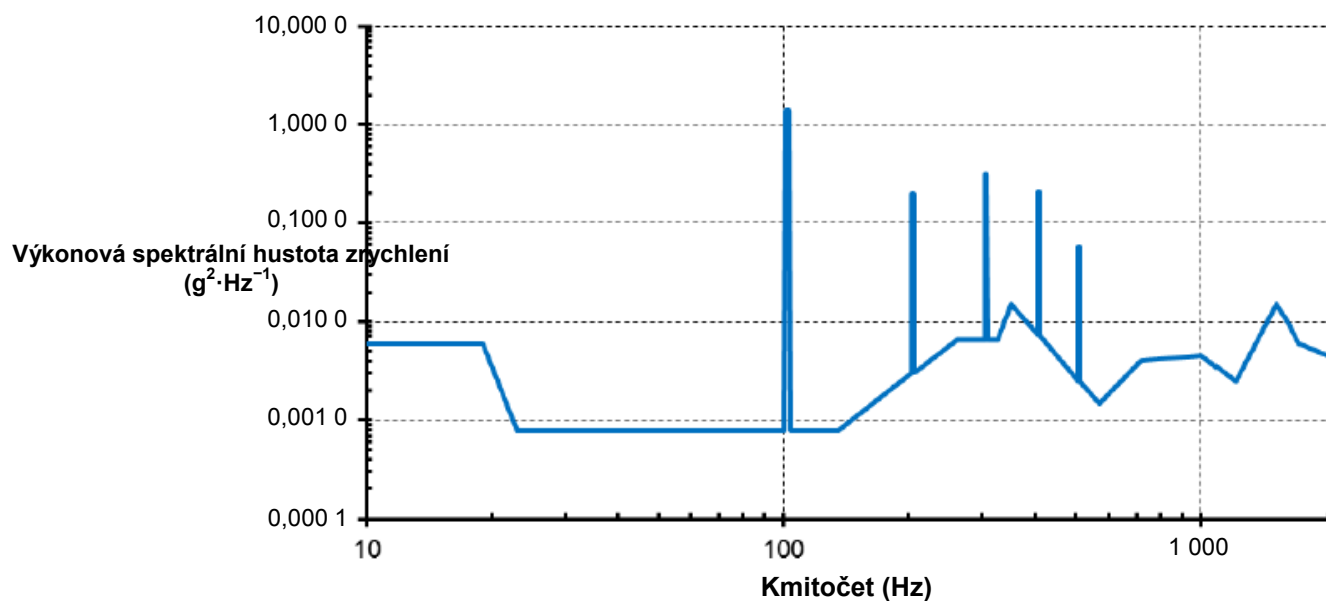


**OBRÁZEK 7.A.8 – Materiál přepravovaný v proudovém letadle s pevnými křídly
– vzlet**

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.8

Platí pro všechny osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
15	0,01
105,94	0,01
150	0,02
500	0,02
2 000	0,001 3
a_{ef} (g)	4,02
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,48
Doba trvání zkoušky na osu	Jedna minuta zkoušení odpovídá jednomu vzletu

Příloha 7A
(normativní)

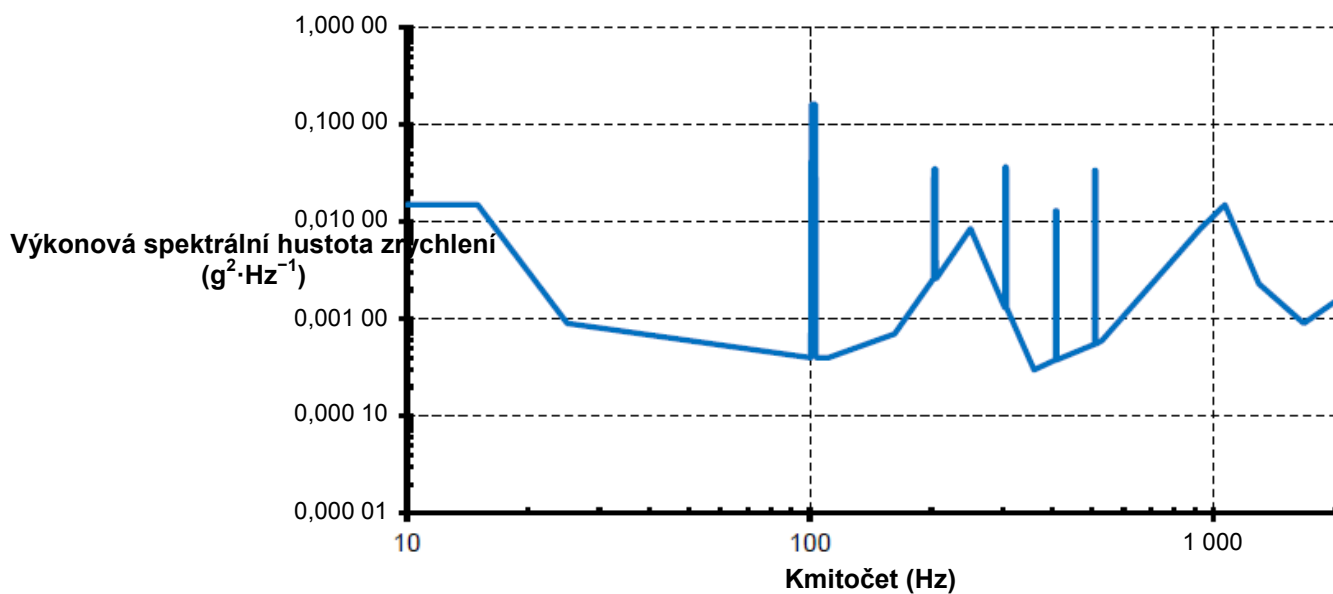


OBRÁZEK 7.A.9 – Materiál přepravovaný ve vrtulovém letadle C130 se šestilistovými vrtulemi (svislá osa)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.9

Platí pro svislou osu letadla				
Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (Ačkoli komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové, doporučuje se sinusové. Vibrace vrtulových letadel jsou spíše sinusové než úzkopásmové náhodné. Náhodná na náhodné má tendenci být větší zátěží.)		
		(Střední) Kmitočet (Hz) (pořadí listů)	Sinusové Vrcholové zrychlení (g_{pk})	Úzkopásmové ($B = 2,5$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	102 (nR)	2,62	1,373
10	0,006	204 ($2nR$)	0,99	0,196
19	0,006	306 ($3nR$)	1,25	0,313
23	0,000 8	408 ($4nR$)	1,03	0,212
135	0,000 8	510 ($5nR$)	0,54	0,058
260	0,006 5	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,5 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici $(g^2 \cdot Hz^{-1}) = (g_{pk})^2 / 2B$. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,5 Hz).</p>		
325	0,006 5			
350	0,015			
570	0,001 5			
720	0,004			
1 000	0,004 5			
1 200	0,002 5			
1 500	0,015			
1 600	0,01			
1 700	0,006			
2 000	0,004 5	Celkové zkušební parametry		
a_{ef} (g)	3,22	a_{ef} (g)	3,97	
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	2,0	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	2,0	
		Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina zkoušky odpovídá 20 hodinám letu	

Příloha 7A
(normativní)

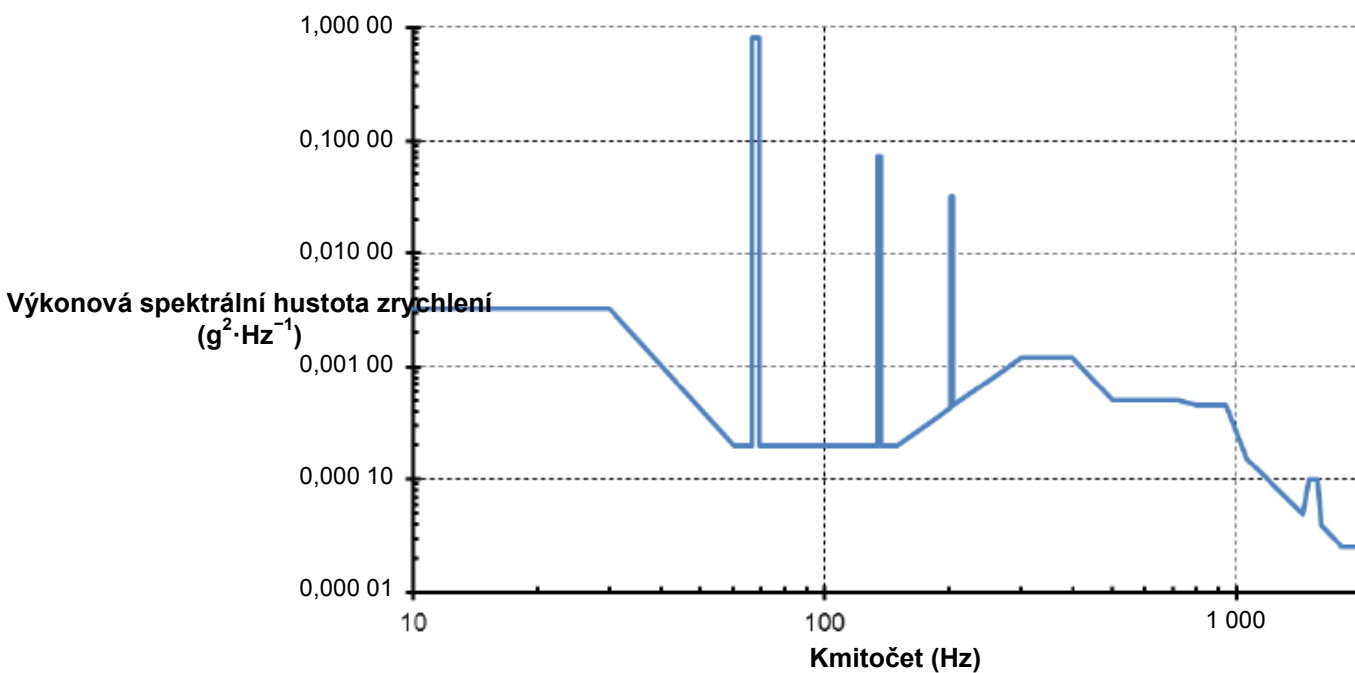


OBRÁZEK 7.A.10 – Náročnost zkoušky materiálu přepravovaného ve vrtulovém letadle C130 se šestilistovými vrtulemi (příčná a podélná osa)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.10

Platí pro příčnou i podélnou osu letadla				
Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (Ačkoli komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové, doporučuje se sinusové. Vibrace vrtulových letadel jsou spíše sinusové než úzkopásmové náhodné. Náhodná na náhodné má tendenci být větší zátěží.)		
		(Střední) Kmitočet (Hz) (pořadí listů)	Sinusové Vrcholové zrychlení (g_{pk})	Úzkopásmové ($B = 2,5$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	102 (nR)	0,90	0,162
10	0,015	204 ($2nR$)	0,42	0,035
15	0,015	306 ($3nR$)	0,43	0,037
25	0,000 9	408 ($4nR$)	0,25	0,013
111	0,000 4	510 ($5nR$)	0,41	0,033
162	0,000 7	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,5 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici $(g^2 \cdot Hz^{-1}) = (g_{pk})^2 / 2B$. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,5 Hz).</p>		
250	0,008 5			
360	0,000 3			
530	0,000 6			
930	0,008 5			
1 070	0,015			
1 300	0,002 3			
1 680	0,000 9			
2 000	0,001 5			
a_{ef} (g)	2,49			
Výchylka vrchol- vrchol (mm)		Celkové zkušební parametry		
		a_{ef} (g)		2,61
		Výchylka vrchol-vrchol (mm)		3,0
		Doba trvání zkoušky na osu		1 hodina zkoušky odpovídá 20 hodinám letu
		3,0		

Příloha 7A
(normativní)

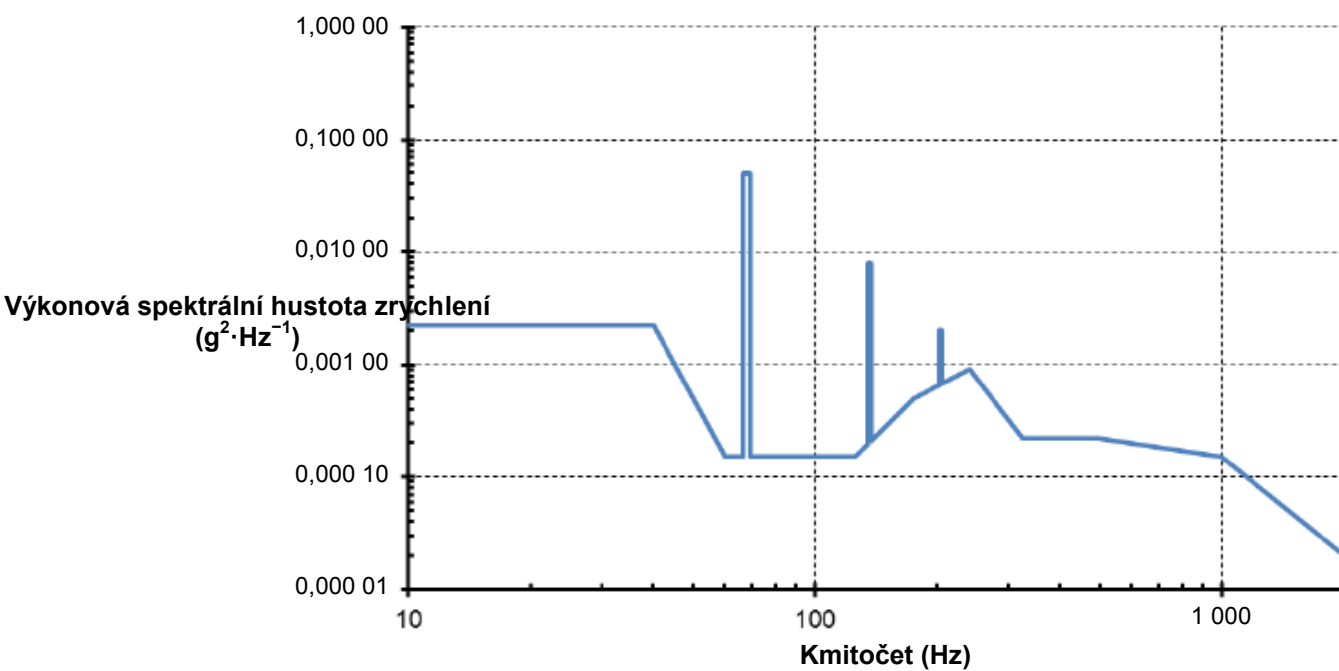


OBRÁZEK 7.A.11 – Materiál přepravovaný ve vrtulovém letadle C130 se čtyřlistovými vrtulemi (svislá osa)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.11

Platí pro svislou osu letadla				
Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (Ačkoli komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové, doporučuje se sinusové. Vibrace vrtulových letadel jsou spíše sinusové než úzkopásmové náhodné. Náhodná na náhodné má tendenci být větší zátěží.)		
		(Střední) Kmitočet (Hz) (pořadí listů)	Sinusové Vrcholové zrychlení (g_{pk})	Úzkopásmové ($B = 2,5$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	68 (nR)	2,00	0,800
10	0,003 2	136 ($2nR$)	0,60	0,072
30	0,003 2	204 ($3nR$)	0,40	0,032
60	0,000 2	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,5 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici $(g^2 \cdot Hz^{-1}) = (g_{pk})^2 / 2B$. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,5 Hz).</p>		
150	0,000 2			
300	0,001 2			
400	0,001 2			
500	0,000 5			
725	0,000 5			
800	0,000 45			
943	0,000 45			
1 061	0,000 15			
1 450	0,000 05			
1 500	0,000 1			
1 575	0,000 1			
1 610	0,000 04			
1 800	0,000 025			
2 000	0,000 025			
a_{ef} (g)	0,84			
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,52			
Celkové zkušební parametry				
a_{ef} (g)			1,76	
Výchylka vrchol-vrchol (mm)			2,62	
Doba trvání zkoušky na osu			1 hodina zkoušky odpovídá 20 hodinám letu	

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.12 – Materiál přepravovaný ve vrtulovém letadle C130 se čtyřlistovými vrtulemi (příčná a podélná osa)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.12

Platí pro příčnou i podélnou osu letadla				
Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (Ačkoli komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové, doporučuje se sinusové. Vibrace vrtulových letadel jsou spíše sinusové než úzkopásmové náhodné. Náhodná na náhodné má tendenci být větší zátěží.)		
		(Střední) Kmitočet (Hz) (pořadí listů)	Sinusové Vrcholové zrychlení (g_{pk})	Úzkopásmové ($B = 2,5$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	68 (nR)	0,50	0,050
10	0,002 2	136 ($2nR$)	0,20	0,008
40	0,002 2	204 ($3nR$)	0,10	0,002
60	0,000 15	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,5 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici $(g^2 \cdot Hz^{-1}) = (g_{pk})^2 / 2B$. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,5 Hz).</p>		
125	0,000 15			
175	0,000 5			
240	0,000 9			
325	0,000 22			
500	0,000 22			
1 000	0,000 15			
2 000	0,000 02			
a_{ef} (g)	0,61			
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	1,27			

Celkové zkušební parametry	
a_{ef} (g)	0,74
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,67
Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina zkoušky odpovídá 20 hodinám letu

ČOS 999902
4. vydání

Příloha 7A
(normativní)

Bude potvrzeno

**OBRÁZEK 7.A.13 – Náročnost zkoušky materiálu přepravovaného v A400M
(svislá osa)**

Bude potvrzeno

**OBRÁZEK 7.A.14 – Náročnost zkoušky materiálu přepravovaného v A400M
(příčná (lateral) osa)**

ČOS 999902
4. vydání

Příloha 7A
(normativní)

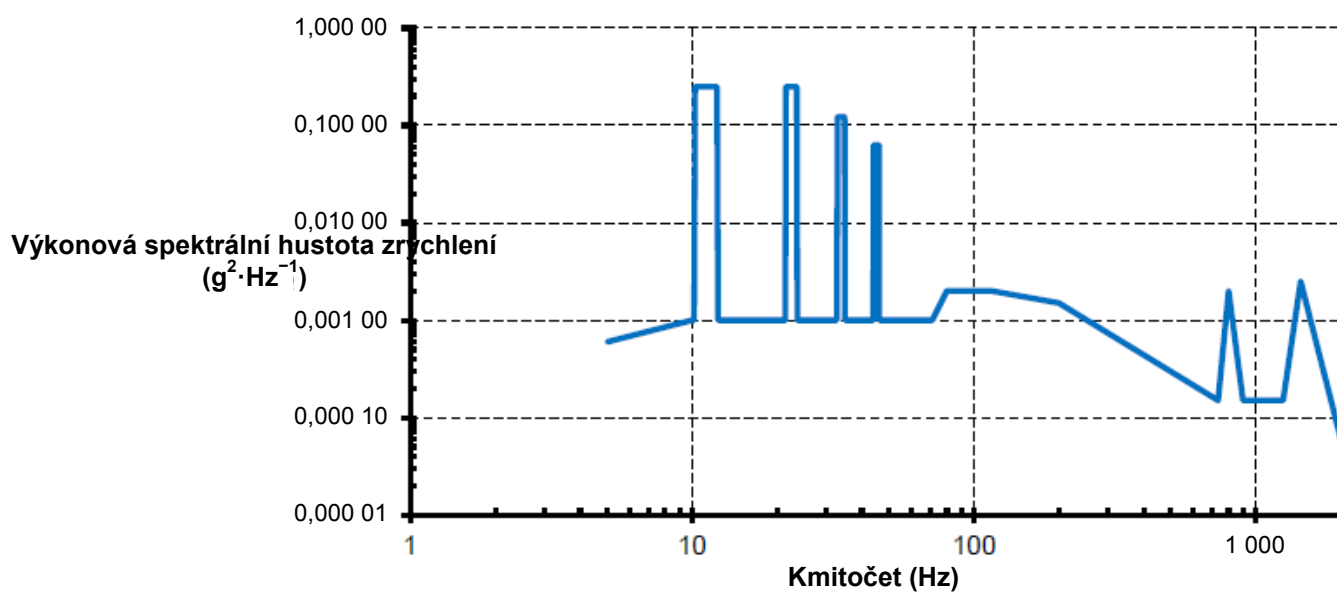
Bude potvrzeno

**OBRÁZEK 7.A.15 – Náročnost zkoušky materiálu přepravovaného v A400M
(podélná osa)**

Bude potvrzeno

**OBRÁZEK 7.A.16 – Náročnost zkoušky materiálu přepravovaného v A400M
(příčná (transverse) osa)**

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.17 – Materiál přepravovaný ve vrtulníku Chinook

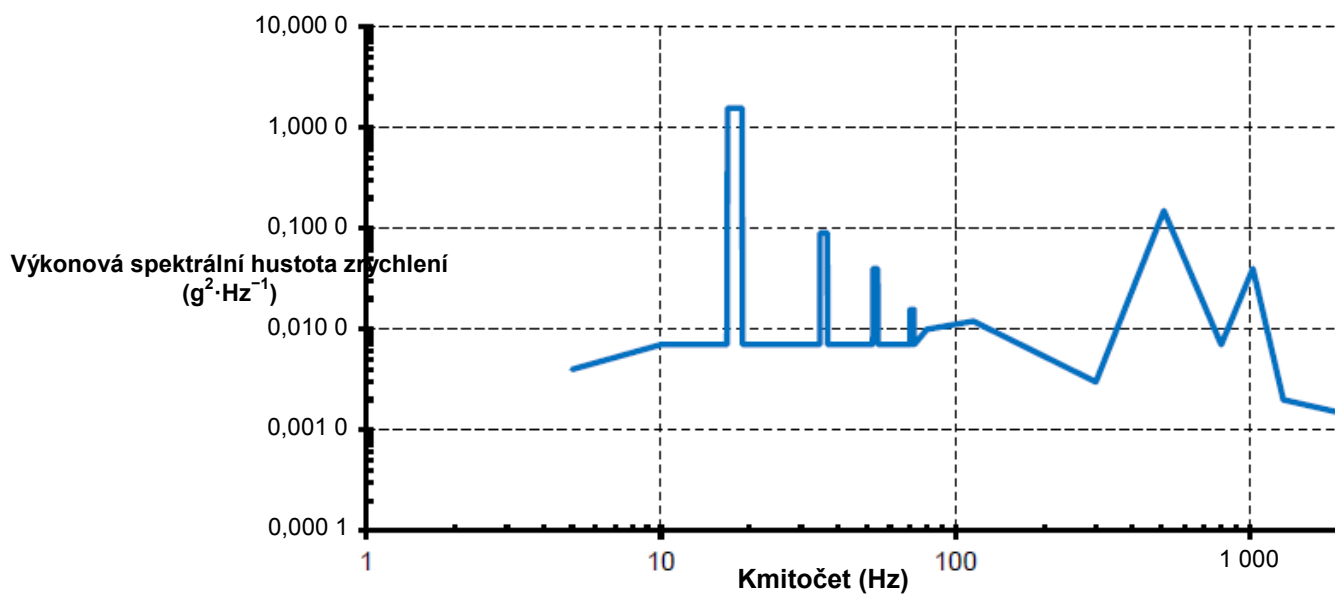
TABULKA K OBRÁZKU 7.A.17

Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové)						
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Kmitočet (Hz) Tolerance $\pm 2\%$ (pořadí listů)	Sinusové vrcholové zrychlení (g_{pk})			Úzkopásmové ($B = 2,0$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
			Svisle	Příčně	Podélně	Svisle	Příčně	Podélně
5	0,000 6	11,25 (nR)	1,00	0,50	0,35	0,25	0,063	0,031
10	0,001	22,50 ($2nR$)	1,00	0,60	0,25	0,25	0,09	0,016
71	0,001	33,75 ($3nR$)	0,70	0,20	0,20	0,123	0,01	0,01
80	0,002	45,00 ($4nR$)	0,50	0,20	0,15	0,063	0,01	0,006
115	0,002	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,0 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici ($g^2 \cdot Hz^{-1}$) = (g_{pk})²/2B. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,0 Hz).</p>						
200	0,001 5							
735	0,000 15							
800	0,002							
900	0,000 15							
1 250	0,000 15							
1 440	0,002 5							
2 000	0,000 06							
a_{ef} (g)	1,10							
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	2,1							

Celkové zkušební parametry		
Osa	a_{ef} (g)	Výchylka vrchol-vrchol (mm)
Svislá	1,60	9,0
Příčná	1,25	4,9
Podélná	1,15	3,6
Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina odpovídá 40 hodinám letu	

(Není-li orientace materiálu v letadle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.18 – Materiál přepravovaný ve vrtulníku Merlin

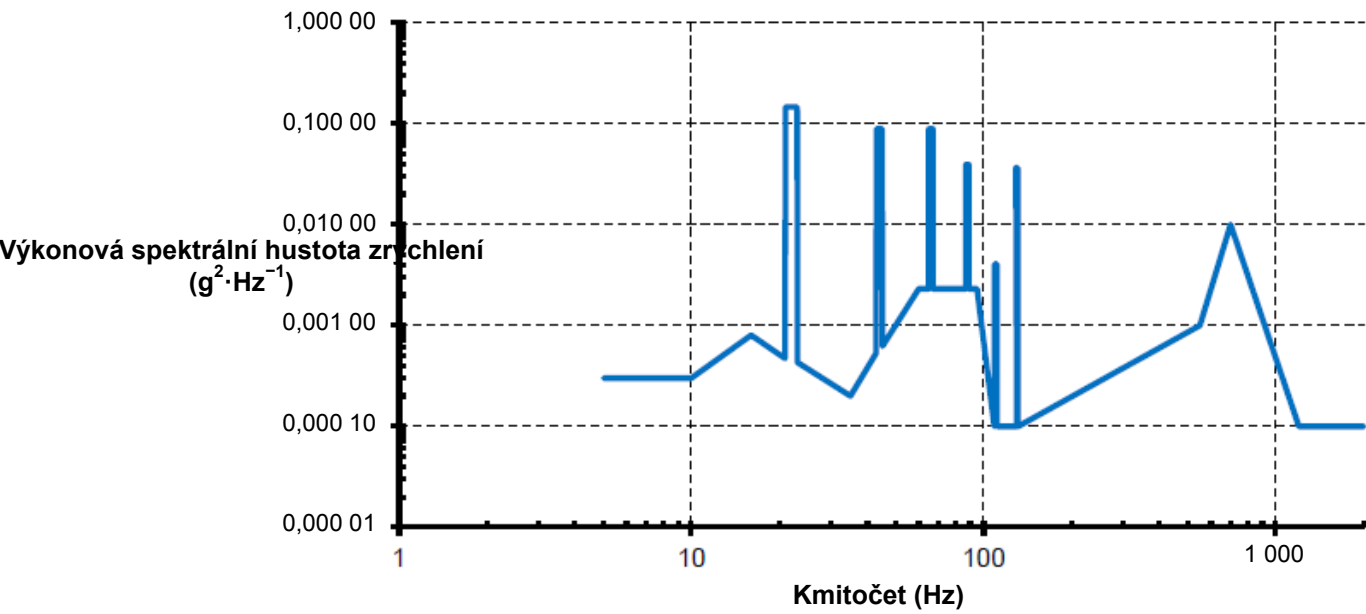
TABULKA K OBRÁZKU 7.A.18

Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové)						
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Kmitočet (Hz) Tolerance $\pm 2\%$ (pořadí listů)	Sinusové vrcholové zrychlení (g_{pk})			Úzkopásmové ($B = 2,0$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
			Svisle	Příčně	Podélně	Svisle	Příčně	Podélně
5	0,004	17,85 (nR)	2,50	1,50	0,50	1,56	0,56	0,063
10	0,007	35,70 ($2nR$)	0,60	0,25	0,10	0,09	0,02	0,003
71	0,007	53,55 ($3nR$)	0,40	0,20	-	0,04	0,01	-
80	0,01	71,40 ($4nR$)	0,25	-	-	0,02	-	-
115	0,012	<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,0 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici ($g^2 \cdot Hz^{-1}$) = (g_{pk})²/2B. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,0 Hz).</p>						
300	0,003							
510	0,15							
800	0,007							
1 025	0,04							
1 300	0,002							
2 000	0,001 5							
a_{ef} (g)	5,67							
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	5,5							

Celkové zkušební parametry		
Osa	a_{ef} (g)	Výchylka vrchol-vrchol (mm)
Svislá	5,96	10,0
Příčná	5,77	7,4
Podélná	5,69	5,8
Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina odpovídá 50 hodinám letu	

(Není-li orientace materiálu v letadle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



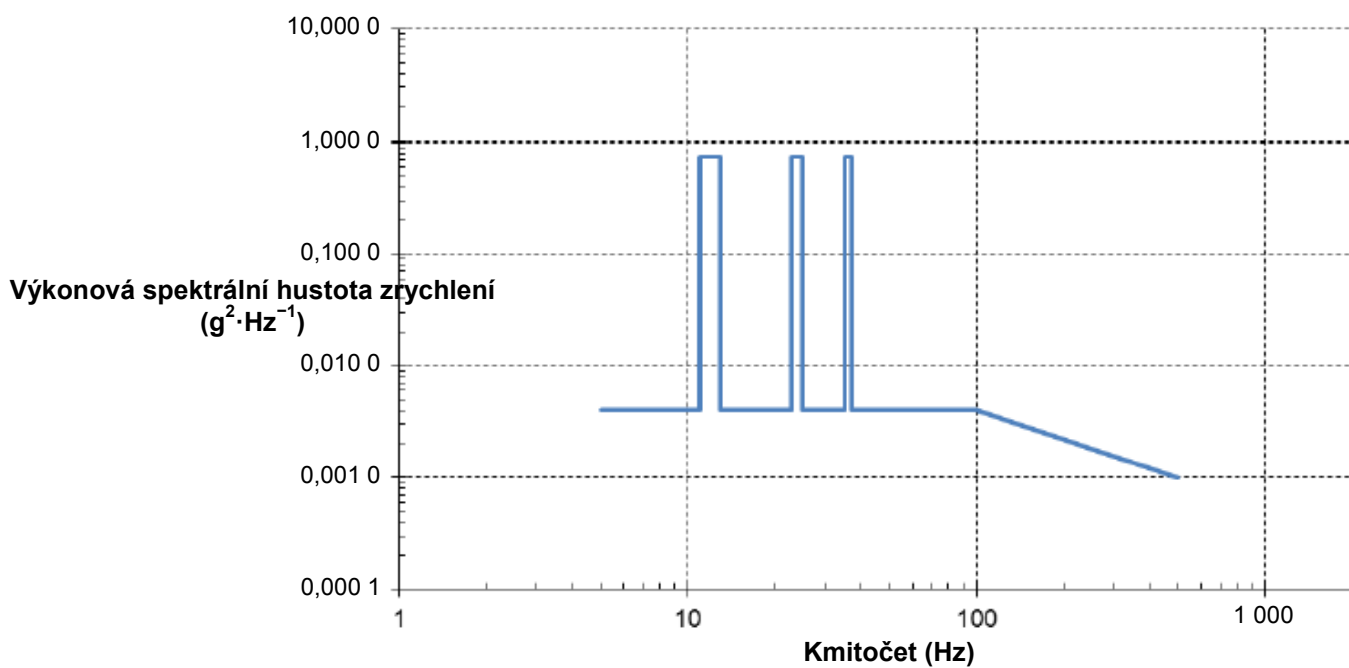
OBRÁZEK 7.A.19 – Materiál přepravovaný ve vrtulníku Lynx/Wildcat

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.19

(Přeprava v malých vrtulnicích, jako jsou prostředky Lynx/Wildcat, je obvykle nutná pouze pro přenosnou výzbroj)				
Platí pro všechny osy				
Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové)		
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Kmitočet (Hz) Tolerance $\pm 2\%$ (pořadí listů)	Sinusové vrcholové zrychlení (g_{pk})	Úzkopásmové ($B = 2,0$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,000 3	22,0 (nR)	0,76	0,146
10	0,000 3	44,0 ($2nR$)	0,59	0,088
16	0,000 8	66,0 ($3nR$)	0,59	0,088
35	0,000 2	88,0 ($4nR$)	0,40	0,039
60	0,002 3	110,0 ($5nR$)	0,13	0,004
95	0,002 3	132,0 ($6nR$)	0,38	0,036
115	0,000 1	<p>POZNÁMKA</p> <p>Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,0 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici $(g^2 \cdot Hz^{-1}) = (g_{pk})^2 / 2B$. Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,0 Hz).</p>		
550	0,001			
700	0,01			
1 200	0,000 1			
2 000	0,000 1			
a_{ef} (g)	1,40			
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,4			

Celkové zkušební parametry	
a_{ef} (g)	1,66
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	2,2
Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina odpovídá 33 hodinám letu

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.20 – Přeprava vrtulníkem

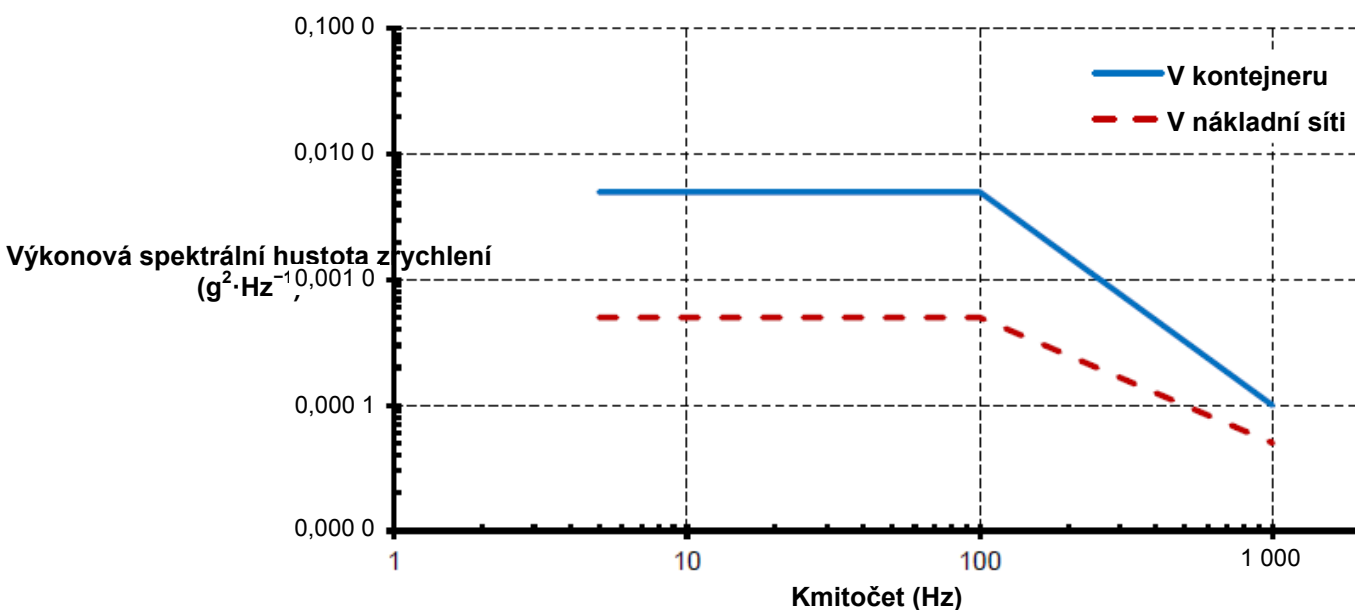
TABULKA K OBRÁZKU 7.A.20

Širokopásmové náhodné		Sinusové nebo úzkopásmové komponenty (komponenty mohou být použity jako náhodné úzkopásmové nebo sinusové)						
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Kmitočet (Hz) Tolerance $\pm 2\%$ (pořadí listů)	Sinusové vrcholové zrychlení (g_{pk})			Úzkopásmové ($B = 2,0$ Hz) Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
			Svisle	Příčně	Podélně	Svisle	Příčně	Podélně
5	0,004	nR	1,73	1,73	1,0	0,75	0,75	0,25
100	0,004	$2nR$	1,73	1,73	1,0	0,75	0,75	0,25
500	0,001	$3nR$	1,73	1,73	1,0	0,75	0,75	0,25
a_{ef} (g)	1,05	POZNÁMKA						
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	4,9	Pokud kmitočtové rozlišení řídicího zařízení pro vibrační zkoušky nedává úzké pásmo přesně 2,0 Hz, měla by být úzkopásmová amplituda znovu vypočtena ze sinusové vrcholové amplitudy pomocí skutečné hodnoty B v rovnici ($g^2 \cdot Hz^{-1}$) = (g_{pk}) ² /2 B . Skutečná hodnota B by se neměla lišit o více než 2 % od požadované hodnoty (2,0 Hz).						

Celkové zkušební parametry		
Osa	a_{ef} (g)	Výchylka vrchol-vrchol (mm)
Svislá	2,36	19,5
Příčná	2,36	19,5
Podélná	1,61	12,0
Doba trvání zkoušky na osu	1 hodina odpovídá 6 hodinám letu	

(Není-li orientace materiálu v letadle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

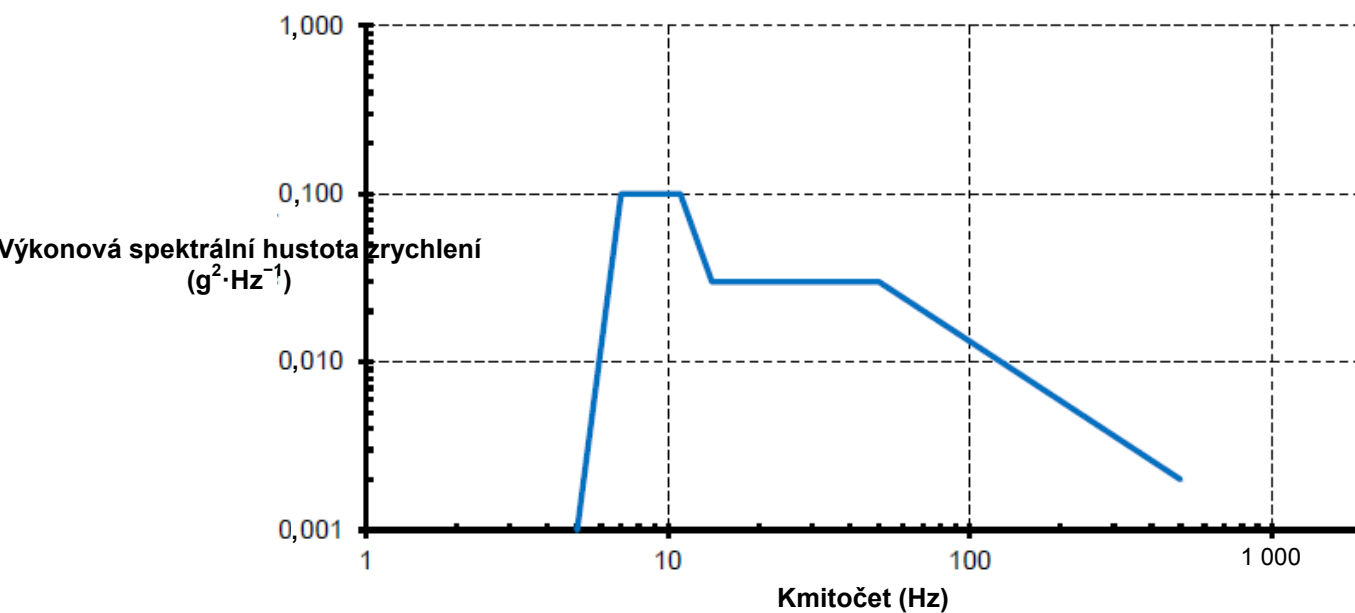
Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.21 – Náklad zavěšený pod vrtulníkem

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.21

Platí pro všechny osy			
V kontejneru		V nákladní síti	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)
5	0,005	5	0,000 5
100	0,005	100	0,000 5
1 000	0,000 1	1 000	0,000 05
a_{ef} (g)	1,02	a_{ef} (g)	0,40
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	5,4	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,7
Doba trvání zkoušky na osu	Jedna hodina zkoušení odpovídá 12 hodinám letu	Doba trvání zkoušky na osu	Jedna hodina zkoušení odpovídá 6 hodinám letu

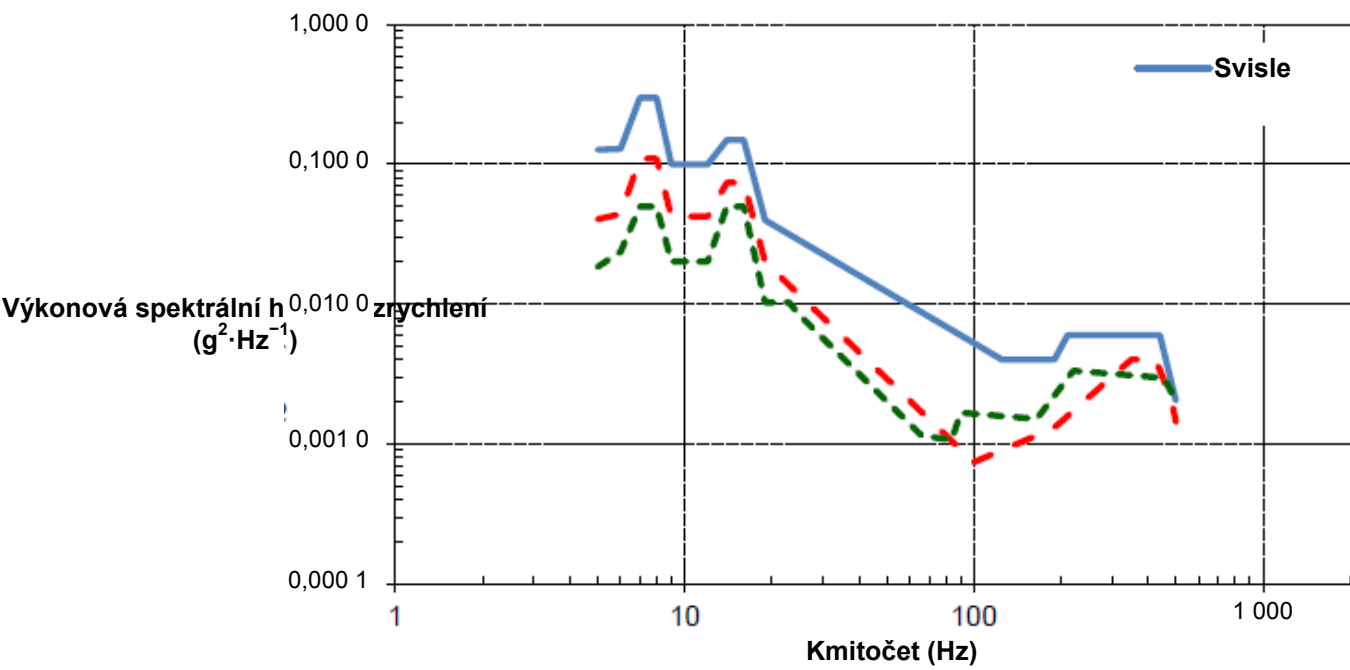


OBRÁZEK 7.A.22 – Materiál přepravovaný jako upevněný náklad nebo náklad umístěný v kolových vozidlech při jízdě v terénu nebo po špatných cestách

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.22

Platí pro všechny osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g ² ·Hz ⁻¹)
5	0,001
7	0,1
11	0,1
14	0,03
50	0,03
500	0,002
a_{ef} (g)	2,13
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	15,7
Doba trvání zkoušky na osu	Minimální doba zkoušky jedné hodiny odpovídá 1 000 km jízdy v terénu a po špatných cestách

Příloha 7A
(normativní)



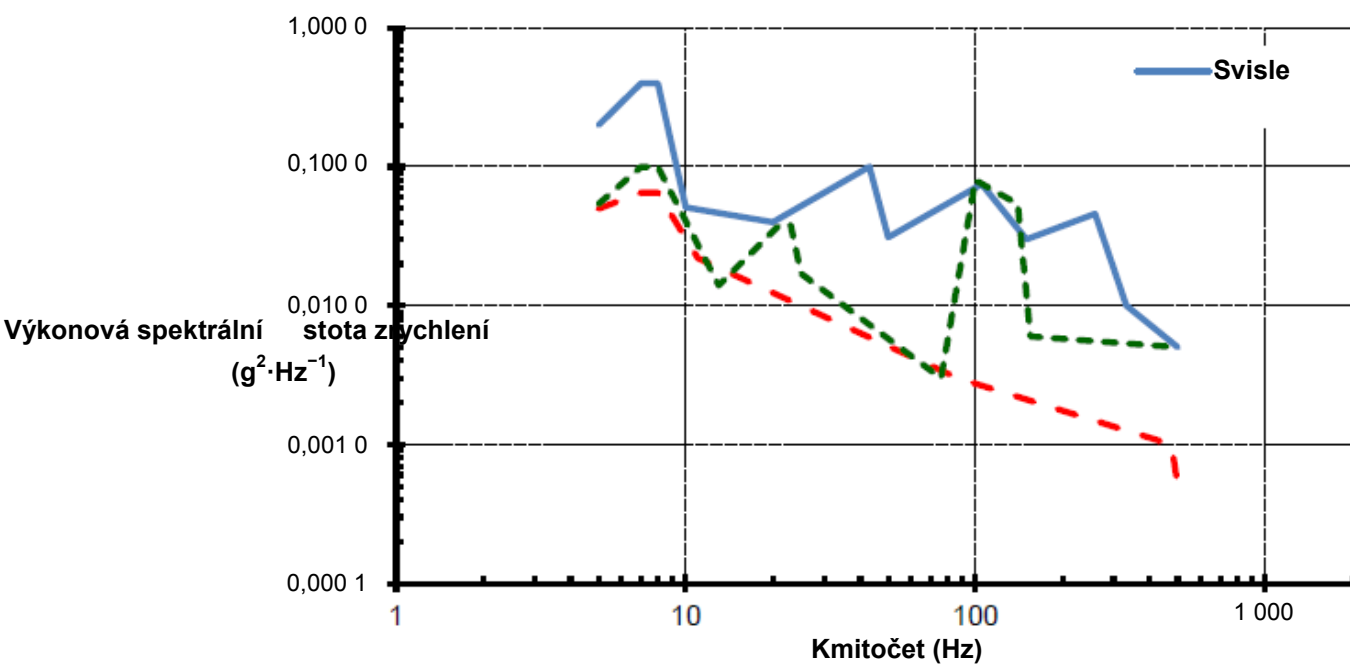
OBRÁZEK 7.A.23 – Kolové vozidlo – složená zkouška

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.23

Svisle		Příčně		Podélně	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,128	5	0,041	5	0,018
6	0,129	6	0,044	6	0,024
7	0,3	7	0,11	7	0,05
8	0,3	8	0,11	8	0,05
9	0,1	9	0,043	9	0,02
12	0,1	12	0,043	12	0,02
14	0,15	14	0,074	14	0,05
16	0,15	16	0,074	16	0,05
19	0,04	19	0,02	19	0,01
90	0,006	100	0,000 7	23	0,01
125	0,004	189	0,001	25	0,008
190	0,004	350	0,004	66	0,001
211	0,006	425	0,004	84	0,001
440	0,006	482	0,002	90	0,002
500	0,002	500	0,001	165	0,002
				221	0,003
				455	0,003
				500	0,002
a_{ef} (g)	2,24	a_{ef} (g)	1,43	a_{ef} (g)	1,32
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	31,1	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	18,7	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	13,0
Doba trvání zkoušky			Minimální doba zkoušky 40 minut na osu odpovídá 281 km na komunikaci a 523 km v terénu (celková vzdálenost 804 km)		

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



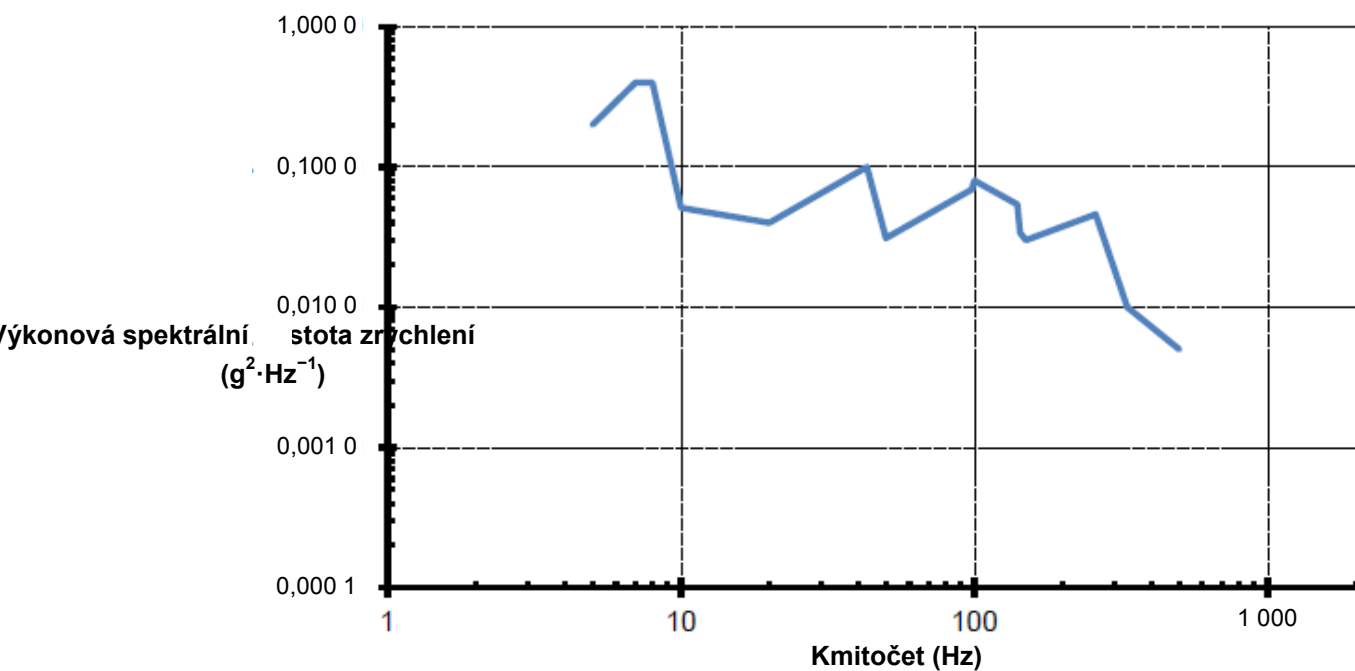
OBRÁZEK 7.A.24 – Dvoukolové přívěsy

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.24

Svisle		Příčně		Podélně	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,2	5	0,05	5	0,054
7	0,4	7	0,065	7	0,1
8	0,4	8	0,065	8	0,1
10	0,051	11	0,022	13	0,014
20	0,04	87	0,003	21	0,038
43	0,1	475	0,001	23	0,038
50	0,031	500	0,000 5	25	0,017
105	0,075			76	0,003
150	0,03			100	0,08
259	0,046			140	0,054
332	0,01			155	0,006
500	0,005			500	0,005
a_{ef} (g)	3,98			a_{ef} (g)	1,20
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	38,4	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	17,4	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	20,1
Doba trvání zkoušky			Minimální doba zkoušky 32 minut na osu odpovídá 7,7 km na komunikaci a 43,8 km v terénu (celková vzdálenost 51,5 km)		

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měl by se použít obrázek 7.A.25)

Příloha 7A
(normativní)



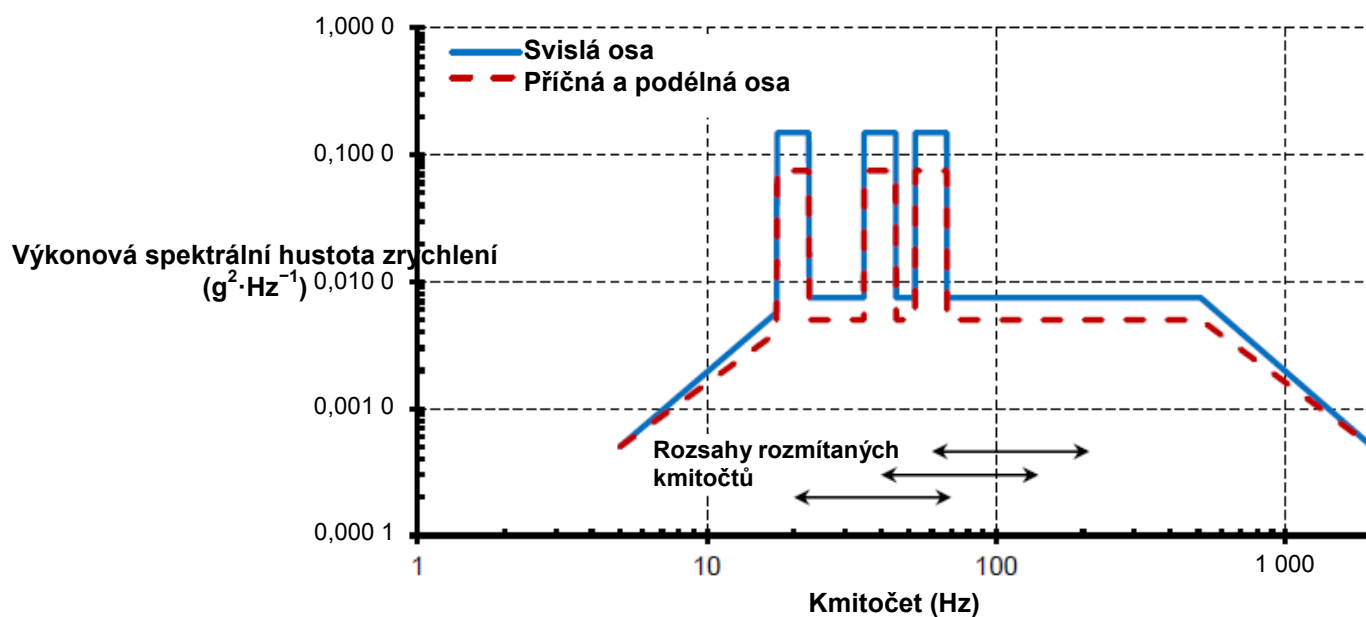
OBRÁZEK 7.A.25 – Dvoukolové přívěsy – kombinovaná zkouška použitelná pro všechny osy

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.25

Platí pro všechny osy	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení (g²·Hz⁻¹)
5	0,2
7	0,4
8	0,4
10	0,051
20	0,04
43	0,1
50	0,031
98	0,069
100	0,08
140	0,054
143	0,034
150	0,03
259	0,046
332	0,01
500	0,005
<i>a_{ef}</i> (g)	4,03
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	38,5
Doba trvání zkoušky	Minimální doba zkoušky 32 minut na osu odpovídá 7,7 km na komunikaci a 43,8 km v terénu (celková vzdálenost 51,5 km)

(Tato zkouška by se měla použít, pokud orientace materiálu ve vozidle není známa nebo se může měnit)

Příloha 7A
(normativní)



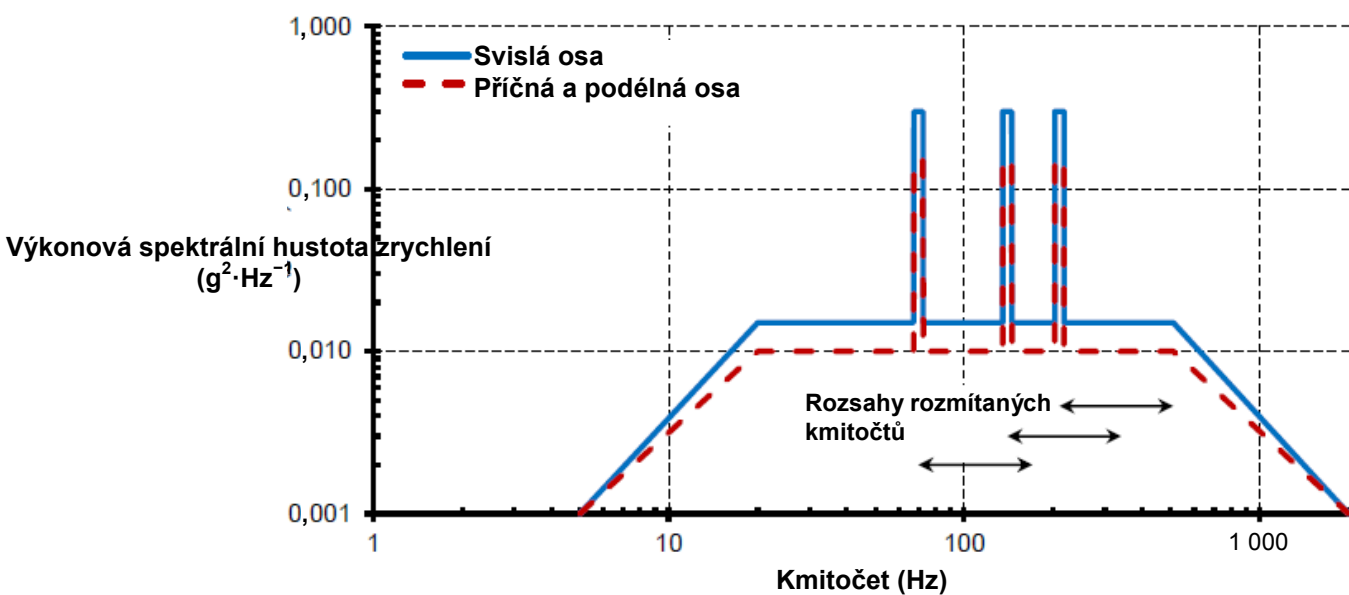
OBRÁZEK 7.A.26 – Materiál přepravovaný jako upevněný náklad v pásových vozidlech (úsek s nízkou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.26

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,000 5	0,000 5	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,007 5	0,005	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	20 až 70	40 až 140	60 až 210
510	0,007 5	0,005	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,000 5	0,000 5	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	2,57	2,18	Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
Celkové zkušební parametry			Svislá	0,15	0,15	0,15
a_{ef} (g)	3,30	2,62	Příčná a podélná	0,075	0,075	0,075
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	4,4 (max)	3,5 (max)	POZNÁMKA			
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 1 000 km			Amplituda 1. úzkopásmové může být logaritmičsky zvýšena z 50 % specifikované amplitudy při 20 Hz na plnou amplitudu při 40 Hz.		

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



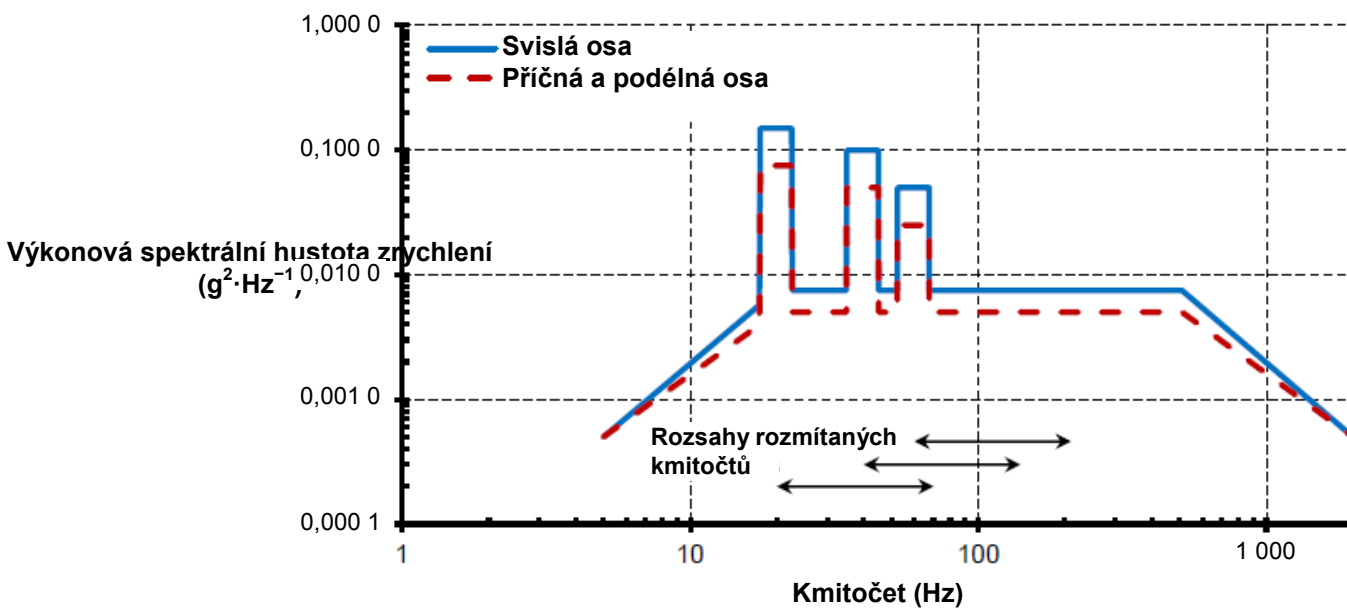
OBRÁZEK 7.A.27 – Materiál přepravovaný jako upevněný náklad v pásových vozidlech (úsek s vysokou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.27

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,001	0,001	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,015	0,01	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	70 až 170	140 až 340	210 až 510
510	0,015	0,01	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,001	0,001	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	3,63	3,08	Osa			
Celkové zkušební parametry			Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)			
a_{ef} (g)	4,66	3,70	Svislá	0,30	0,30	0,30
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	3,8 (max)	3,5 (max)	Příčná a podélná	0,15	0,15	0,15
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 1 000 km					

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



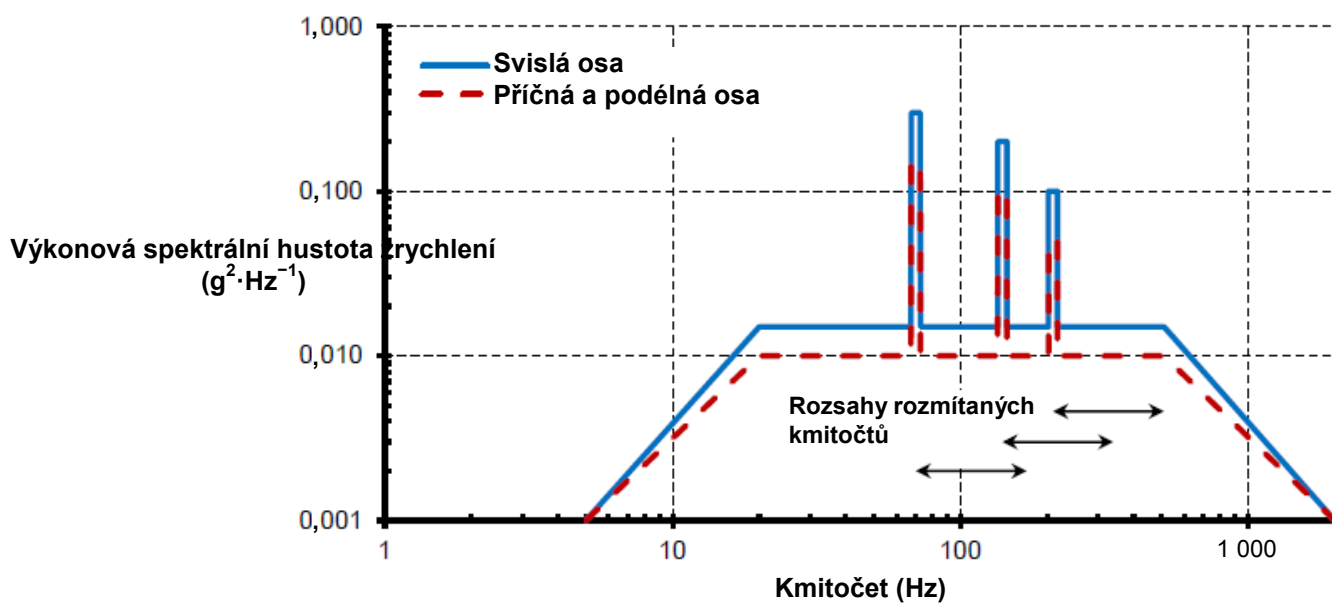
OBRÁZEK 7.A.28 – Materiál rozmístěný v regálech pohyblivé věže nebo instalovaný ve věži pásových vozidel (úsek s nízkou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.28

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmítané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,000 5	0,000 5	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,007 5	0,005	Rozsah rozmítání (Hz) (střední kmitočty)	20 až 70	40 až 140	60 až 210
510	0,007 5	0,005	Cyklus rozmítání	jedno rozmítání nahoru a dolů		
2 000	0,000 5	0,000 5	Rychlost rozmítání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	2,57	2,18	Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
Celkové zkušební parametry			Svislá	0,15	0,10	0,05
a_{ef} (g)	2,98	2,42	Příčná a podélná	0,075	0,05	0,025
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	4,3 (max)	3,4 (max)	POZNÁMKA			
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km			Amplituda 1. úzkopásmové může být logaritmičsky zvýšena z 50 % specifikované amplitudy při 20 Hz na plnou amplitudu při 40 Hz.		

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



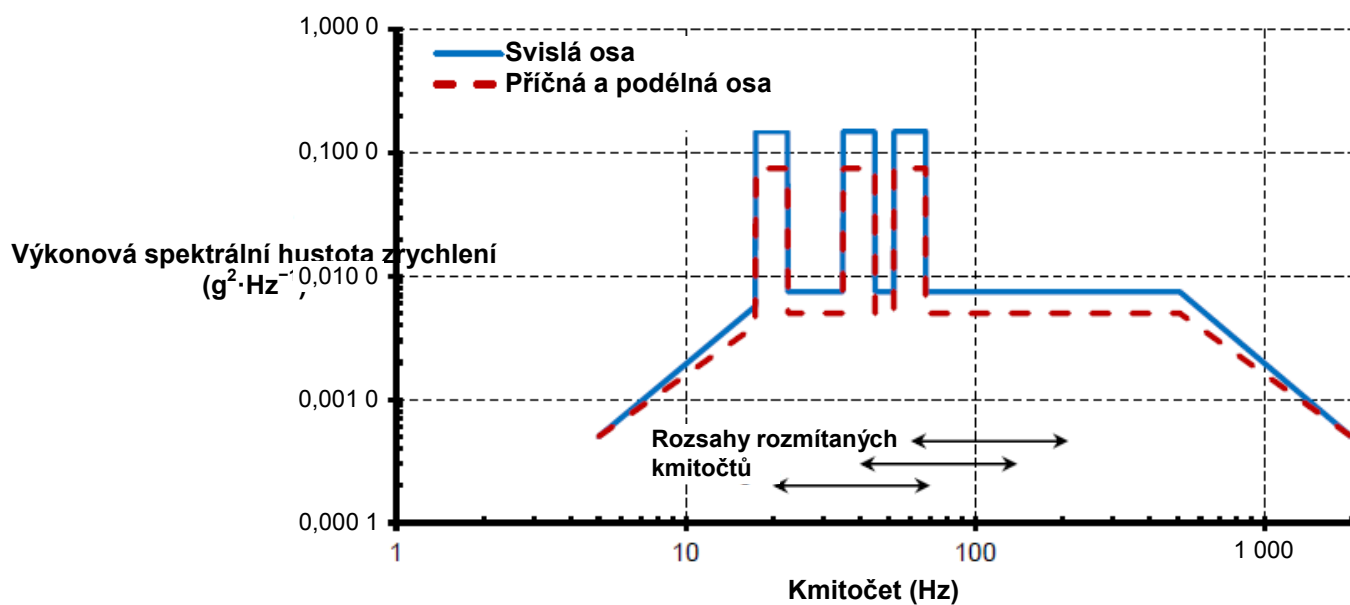
OBRÁZEK 7.A.29 – Materiál rozmístěný v regálech pohyblivé věže nebo instalovaný ve věži pásových vozidel (úsek s vysokou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.29

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,001	0,001	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,015	0,010	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	70 až 170	140 až 340	210 až 510
510	0,015	0,010	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,001	0,001	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	3,63	3,08	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)			
Celkové zkušební parametry			Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
a_{ef} (g)	4,21	3,42	Svislá	0,30	0,20	0,10
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	3,8 (max)	3,5 (max)	Příčná a podélná	0,15	0,10	0,05
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km					

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



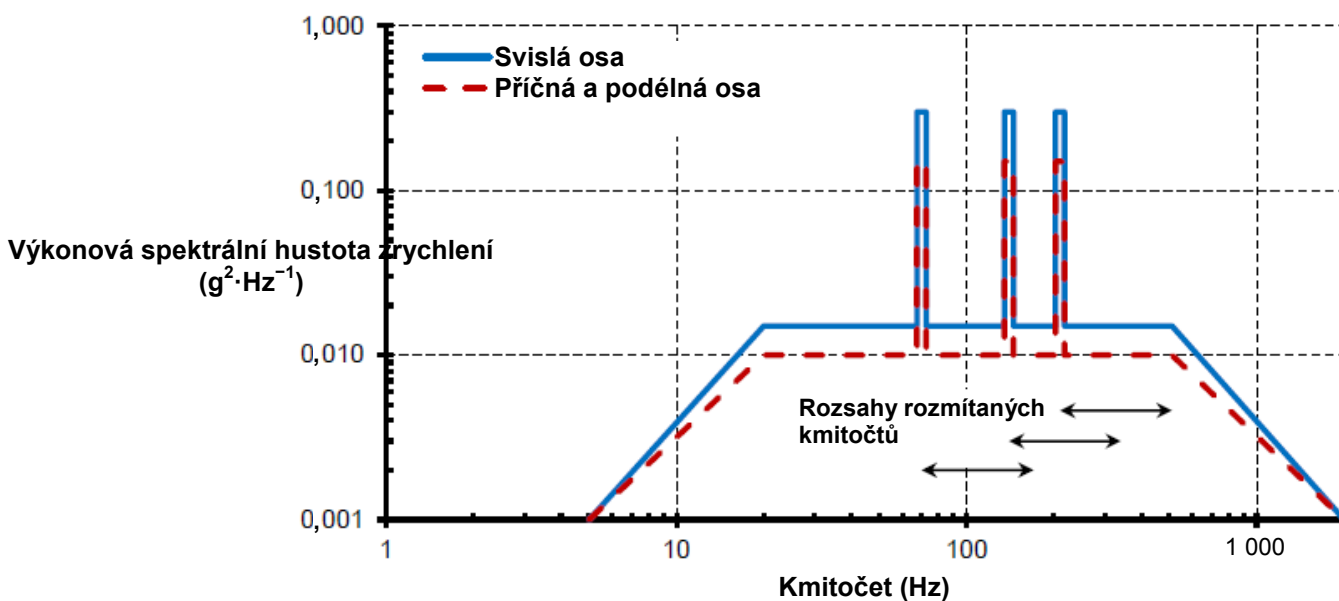
OBRÁZEK 7.A.30 – Materiál rozmístěný v bočních nástavcích nebo instalovaný na korbě těžkých pásových vozidel (úsek s nízkou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.30

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,000 5	0,000 5	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,007 5	0,005	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	20 až 70	40 až 140	60 až 210
510	0,007 5	0,005	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,000 5	0,000 5	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	2,57	2,18	Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
Celkové zkušební parametry			Svislá	0,15	0,15	0,15
a_{ef} (g)	3,30	2,62	Příčná a podélná	0,075	0,075	0,075
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	4,4 (max)	3,5 (max)	POZNÁMKA			
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km			Amplituda 1. úzkopásmové může být logaritmičsky zvýšena z 50 % specifikované amplitudy při 20 Hz na plnou amplitudu při 40 Hz.		

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



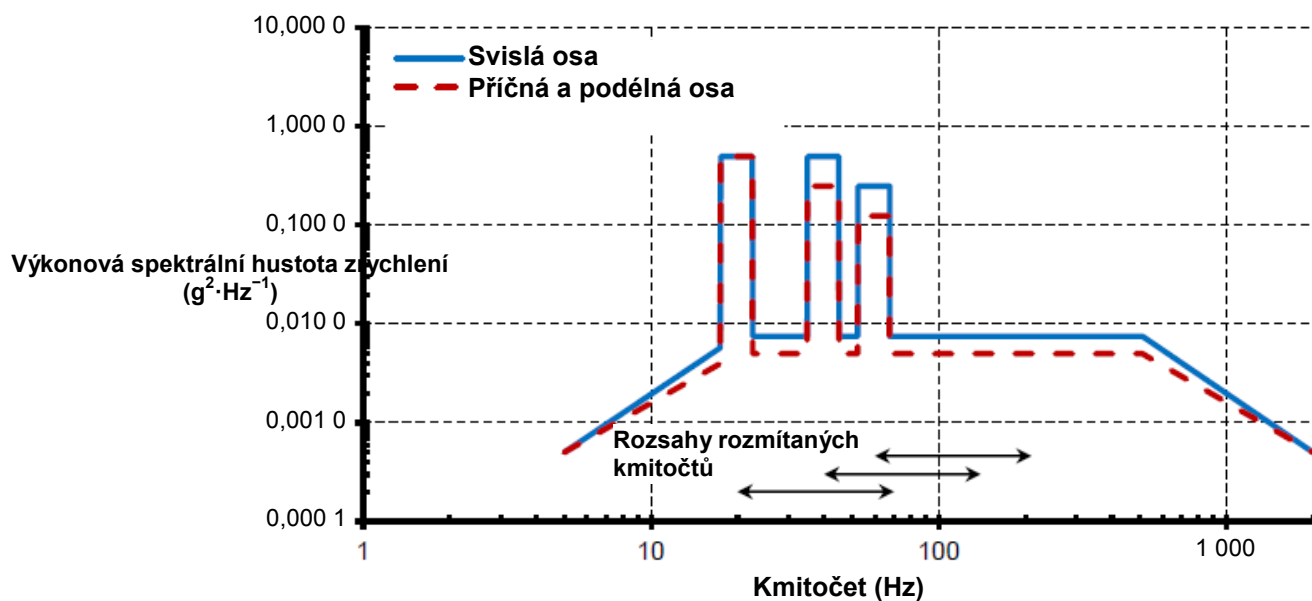
OBRÁZEK 7.A.31 – Materiál rozmístěný v bočních nástavcích nebo instalovaný na korbě těžkých pásových vozidel (úsek s vysokou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.31

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,001	0,001	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,015	0,010	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	70 až 170	140 až 340	210 až 510
510	0,015	0,010	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,001	0,001	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	3,63	3,08	Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
Celkové zkušební parametry			Svislá	0,30	0,30	0,30
a_{ef} (g)	4,66	3,70	Příčná a podélná	0,15	0,15	0,15
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	3,8 (max)	3,5 (max)	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km			
Doba trvání zkoušky na osu						

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



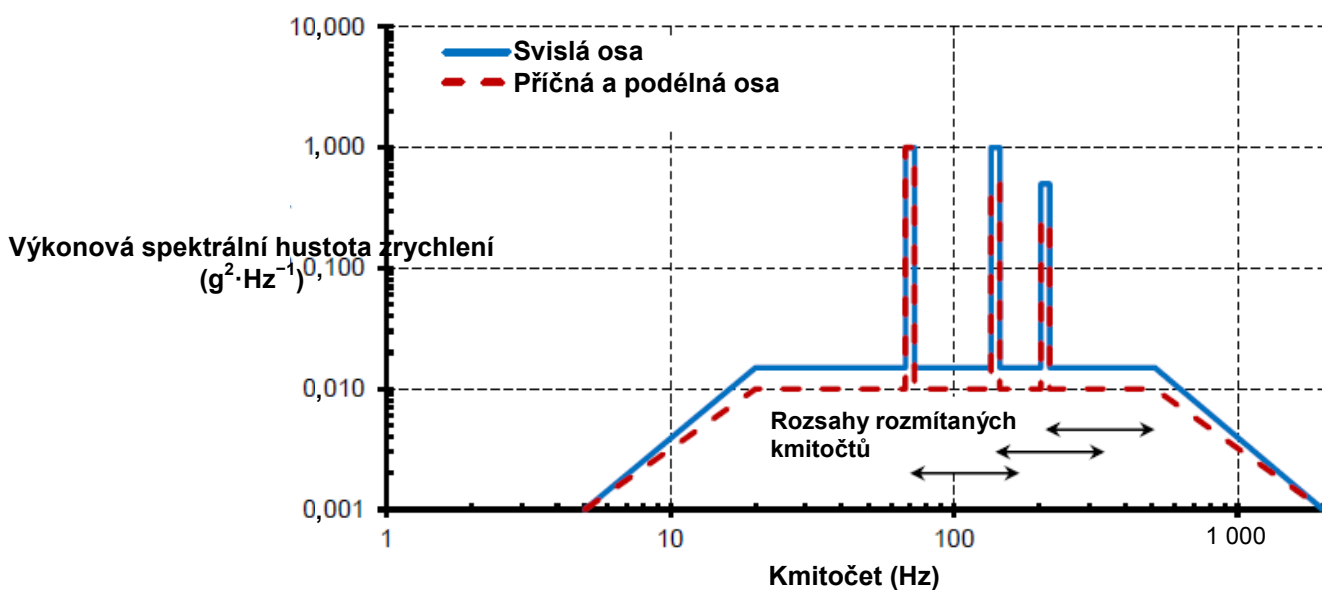
OBRÁZEK 7.A.32 – Materiál rozmístěný v bočních nástavcích nebo instalovaný na korbě lehkých pásových vozidel (úsek s nízkou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.32

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,000 5	0,000 5	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,007 5	0,005	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	20 až 70	40 až 140	60 až 210
510	0,007 5	0,005	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,000 5	0,000 5	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	2,57	2,18				
Celkové zkušební parametry			Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
a_{ef} (g)	4,20	3,40	Svislá	0,5	0,5	0,25
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	7,0 (max)	6,7 (max)	Příčná a podélná	0,5	0,25	0,125
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km		<p style="text-align: center;">POZNÁMKA</p> <p style="text-align: center;">Amplituda 1. úzkopásmové může být logaritmičsky zvýšena z 50 % specifikované amplitudy při 20 Hz na plnou amplitudu při 40 Hz.</p>			

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



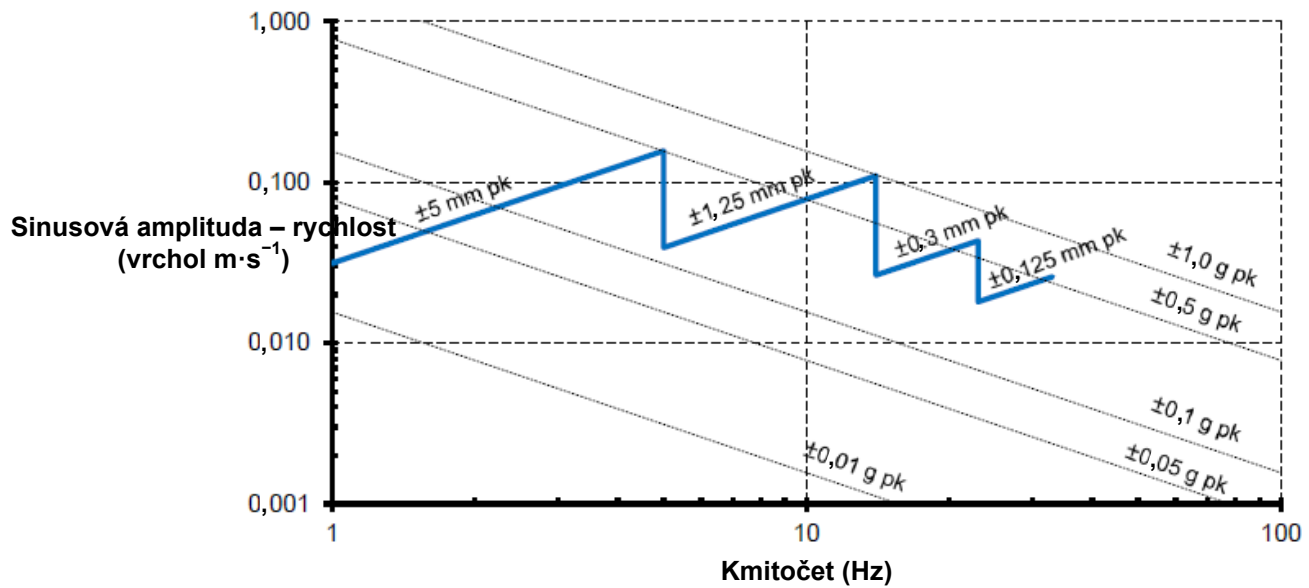
OBRÁZEK 7.A.33 – Materiál rozmístěný v bočních nástavcích nebo instalovaný na korbě lehkých pásových vozidel (úsek s vysokou rychlostí)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.33

Širokopásmové náhodné			Harmonicky rozmitané úzkopásmové (aplikováno po celou dobu trvání zkoušky)			
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		Číslo úzkopásmové harmonické	1	2	3
	Svisle	Příčně a podélně				
5	0,001	0,001	Šířka pásma (Hz)	5	10	15
20	0,015	0,010	Rozsah rozmitání (Hz) (střední kmitočty)	70 až 170	140 až 340	210 až 510
510	0,015	0,010	Cyklus rozmitání	jedno rozmitání nahoru a dolů		
2 000	0,001	0,001	Rychlost rozmitání 1. úzkopásmové	10 Hz za minutu s minimem celého jednoho cyklu		
a_{ef} (g)	3,63	3,08				
Celkové zkušební parametry			Osa	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)		
a_{ef} (g)	5,94	4,80	Svislá	1,0	1,0	0,50
Výchylka vrchol- vrchol (mm)	3,9 (max)	3,6 (max)	Příčná a podélná	1,0	0,5	0,25
Doba trvání zkoušky na osu	Dvě hodiny zkoušení, rovnoměrně rozdělených mezi vysokou a nízkou rychlost, odpovídá 4 000 km					

(Není-li orientace materiálu ve vozidle známa nebo se může měnit, měla by se zkouška náročnosti na svislou osu použít ve všech osách)

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.34 – Materiál rozmístěný na lodích o velikosti minolovky a větší, pro umístění u vrcholu stožárů

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.34

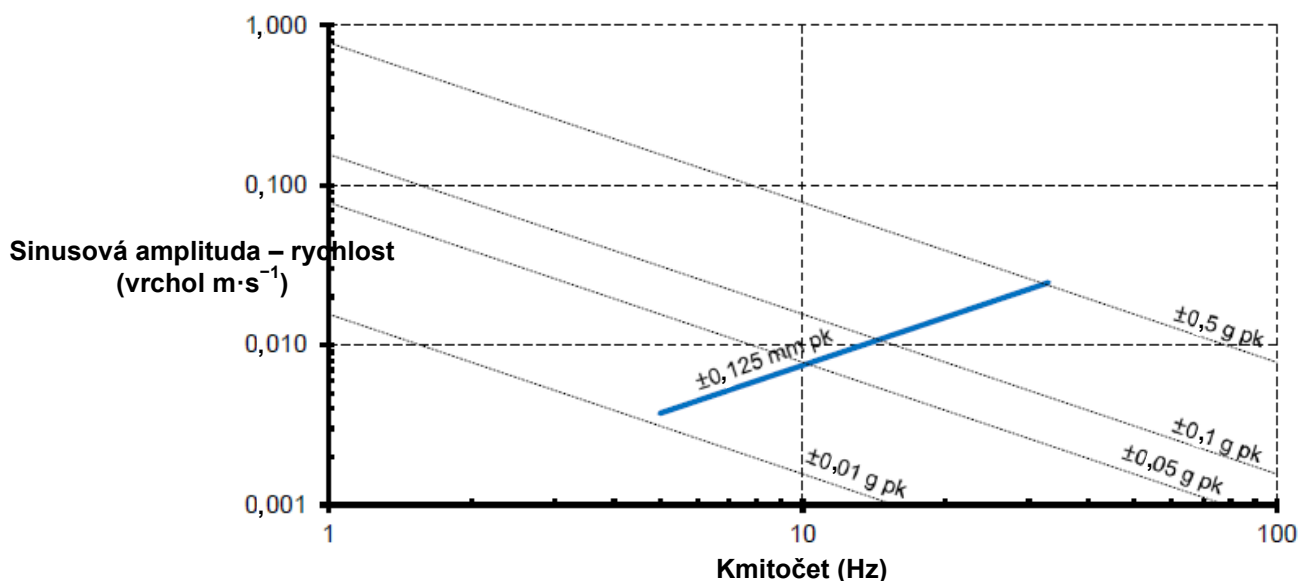
Platí pro všechny osy (požadavek na zkoušku je pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem s následnou vibrační zkouškou se stálým sinusovým kmitočtem)					
Zkušební skupina	Oblast	Vrcholová amplituda (mm pk)	Kmitočet (Hz)	Doba trvání zkoušky na osu (min)	Rychlost rozmítání
Sinusová vibrace s rozmítaným kmitočtem	Vrchol sloupu (POZNÁMKA 1)	5,00	1 až 5	60	Ne větší než 1 oktáva za minutu
		1,25	5 až 14	33	
		0,30	14 až 23	16	
		0,125	23 až 33	11	
Sinusová vibrace se stálým kmitočtem (POZNÁMKA 2)		1,250	14	20	Nevyužito
		0,300	23	20	
		0,125	33	20	

POZNÁMKY

1 Sinusové vibrace s rozmítaným kmitočtem 1 až 5 Hz jsou vyžadovány, pouze pokud instalovaný materiál vykazuje rezonanci pod 5 Hz.

2 Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, pokud materiál vykazuje významné rezonance v pásmech 5 až 14, 14 až 23 nebo 23 až 33 Hz, pak by zkoušky měly být prováděny s použitelnými amplitudami sinusového rozmítání, při těchto kmitočtech namísto těch detailně uvedených výše. Pokud má materiál v každém frekvenčním pásmu více než jednu rezonanci, měla by být doba strávená při každém kmitočtu vydělena počtem rezonancí. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.

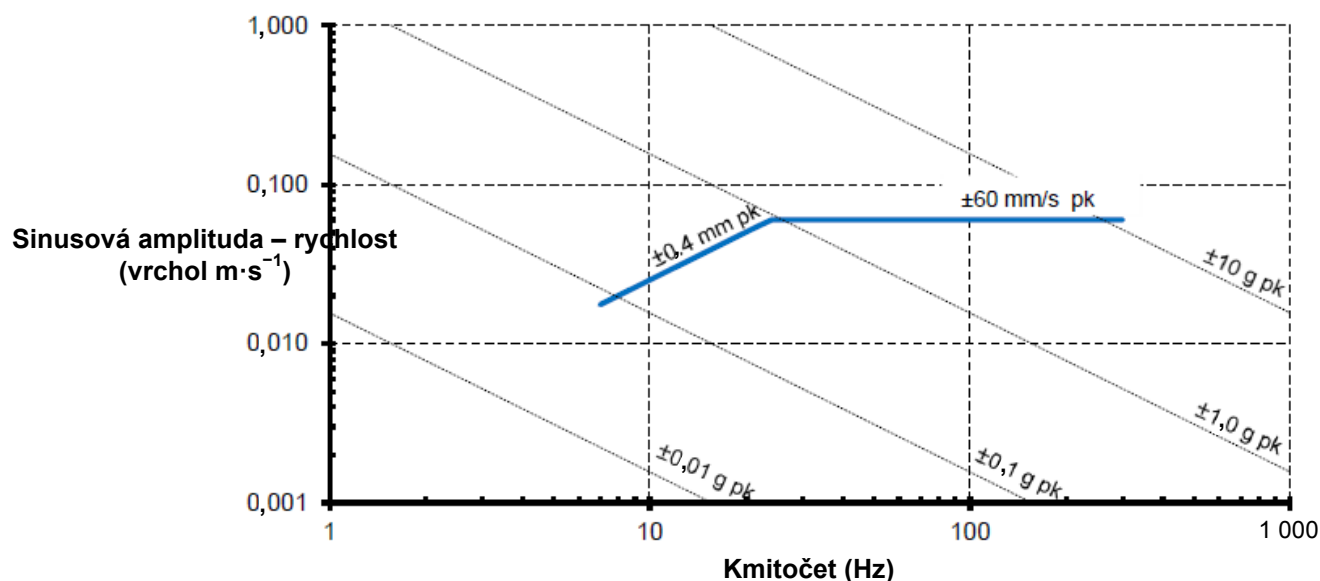
Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.35 – Materiál rozmístěný na lodích o velikosti minolovky a větší, pro umístění na horní palubě, v chráněných prostorech a trupu

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.35

Platí pro všechny osy (požadavek na zkoušku je pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem s následnou vibrační zkouškou se stálým sinusovým kmitočtem)					
Zkušební skupina	Oblast	Vrcholová amplituda (mm pk)	Kmitočet (Hz)	Doba trvání zkoušky na osu (min)	Rychlost rozmítání
Sinusová vibrace s rozmítaným kmitočtem	Paluba, chráněné prostory a trup	0,125	5 až 33	60	Ne větší než 1 oktáva za minutu
Sinusová vibrace se stálým kmitočtem (POZNÁMKA)		1,250	14	20	Nevyužito
		0,300	23	20	
		0,125	33	20	
POZNÁMKA Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, pokud materiál vykazuje významné rezonance v pásmech 5 až 14, 14 až 23 nebo 23 až 33 Hz, pak by zkoušky měly být prováděny s použitelnými amplitudami sinusového rozmítání, při těchto kmitočtech namísto těch detailně uvedených výše. Pokud má materiál v každém frekvenčním pásmu více než jednu rezonanci, měla by být doba strávená při každém kmitočtu vydělena počtem rezonancí. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.					



OBRÁZEK 7.A.36 – Materiál rozmístěný na lodích o velikosti minolovky a menší, pro umístění na zádi

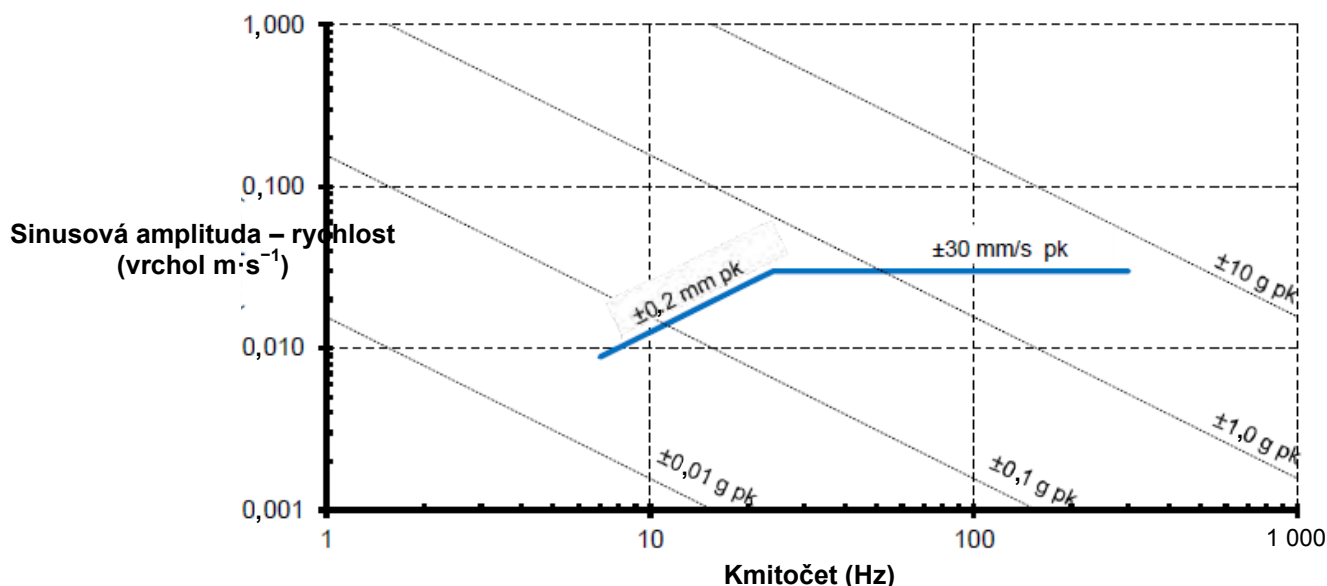
TABULKA K OBRÁZKU 7.A.36

Platí pro všechny osy (požadavek na zkoušku je pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem s následnou vibrační zkouškou se stálým sinusovým kmitočtem)					
Zkušební skupina	Oblast	Vrcholová amplituda (mm·s ⁻¹ pk nebo mm pk)	Kmitočet (Hz)	Doba trvání zkoušky na osu (min)	Rychlost rozmítání
Sinusová vibrace s rozmítaným kmitočtem	Záď (Zadní část je rovna jedné osmině celkové délky lodi, měřeno od zádi.)	60 mm·s ⁻¹ nebo 0,4 mm, podle toho, co je menší	7 až 300	60	Ne větší než 1 oktáva za minutu
Sinusová vibrace se stálým kmitočtem (POZNÁMKA)		0,4 mm nebo 60 mm·s ⁻¹	24	30	Nevyužito
		0,2 mm nebo 30 mm·s ⁻¹	50	30	

POZNÁMKA

Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, pokud materiál vykazuje významné rezonance v pásmu 7 až 300 Hz, pak by zkoušky měly být prováděny s použitelnými amplitudami sinusového rozmítání, při těchto kmitočtech namísto těch detailně uvedených výše. Pokud má materiál v každém frekvenčním pásmu více než jednu rezonanci, měla by být doba strávená při každém kmitočtu (60 minut) vydělena počtem rezonancí. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.

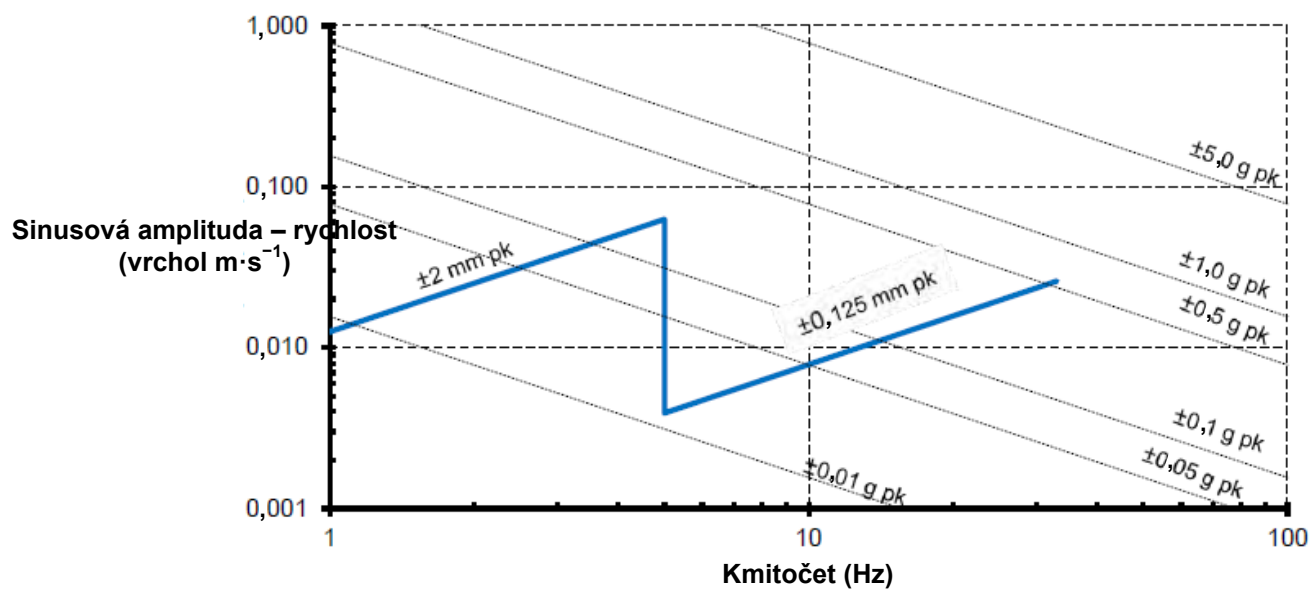
Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.37 – Materiál rozmístěný na lodích o velikosti minolovky a menší, pro umístění na horní palubě, v chráněných prostorách a trupu

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.37

Platí pro všechny osy (požadavek na zkoušku je pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem s následnou vibrační zkouškou se stálým sinusovým kmitočtem)					
Zkušební skupina	Oblast	Vrcholová amplituda (mm·s⁻¹ pk nebo mm pk)	Kmitočet (Hz)	Doba trvání zkoušky na osu (min)	Rychlost rozmítání
Sinusová vibrace s rozmítaným kmitočtem	Vrchol stožáru, horní paluba, chráněné prostory a trup	30 mm·s ⁻¹ nebo 0,2 mm, podle toho, co je menší	7 až 300	60	Ne větší než 1 oktáva za minutu
Sinusová vibrace se stálým kmitočtem (POZNÁMKA)		0,4 mm nebo 60 mm·s ⁻¹	24	30	Nevyužito
		0,2 mm nebo 30 mm·s ⁻¹	50	30	
POZNÁMKA Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, pokud materiál vykazuje významné rezonance v pásmu 7 až 300 Hz, pak by zkoušky měly být prováděny s použitelnými amplitudami sinusového rozmítání, při těchto kmitočtech namísto těch detailně uvedených výše. Pokud má materiál v každém frekvenčním pásmu více než jednu rezonanci, měla by být doba strávená při každém kmitočtu (60 minut) vydělena počtem rezonancí. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.					

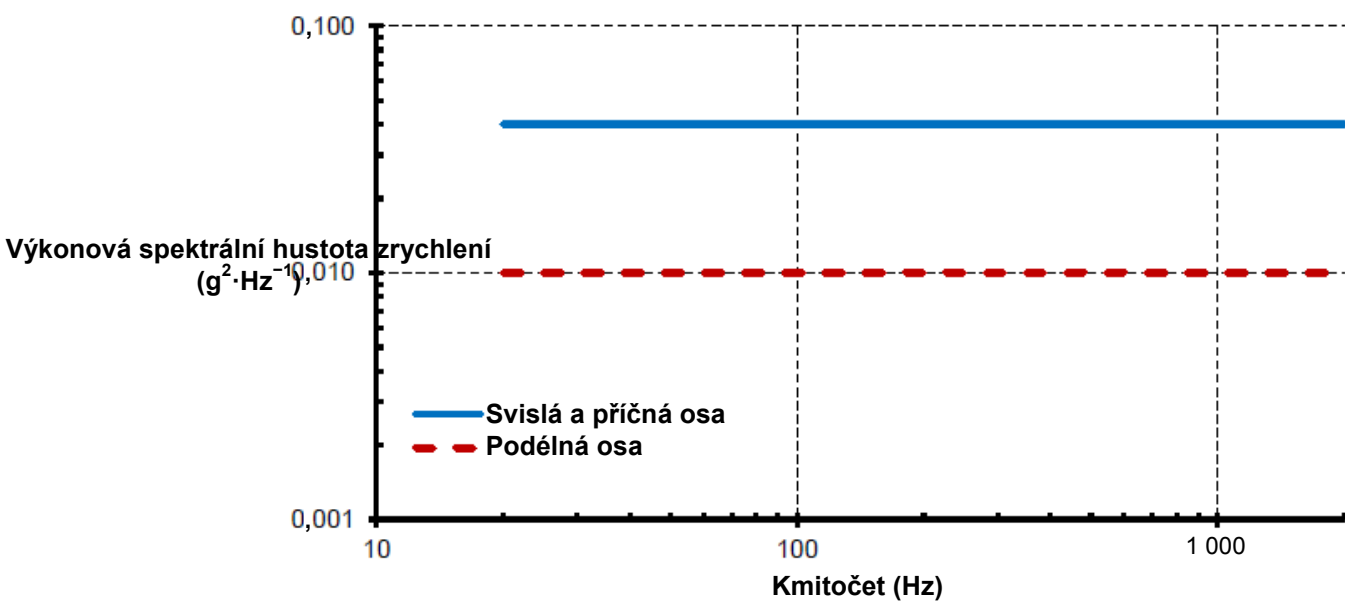


OBRÁZEK 7.A.38 – Materiál rozmístěný v ponorkách, pro umístění na všech místech

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.38

Náročnosti zkoušky materiálu rozmístěného v ponorkách					
Platí pro všechny osy (požadavek na zkoušku je pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem s následnou vibrační zkouškou se stálým sinusovým kmitočtem)					
Zkušební skupina	Oblast	Vrcholová amplituda (mm pk)	Kmitočet (Hz)	Doba trvání zkoušky na osu (min)	Rychlost rozmítání
Sinusová vibrace s rozmítaným kmitočtem	Všechny (POZNÁMKA 1)	2,00	1 až 5	60	Ne větší než 1 oktáva za minutu
		0,125	5 až 33	60	
Sinusová vibrace se stálým kmitočtem (POZNÁMKA 2)	Všechny	0,125	33	60	Nevyužito
POZNÁMKY					
1 Sinusové vibrace s rozmítaným kmitočtem 1 až 5 Hz jsou vyžadovány, pouze pokud instalovaný materiál vykazuje rezonanci pod 5 Hz.					
2 Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, pokud materiál vykazuje významné rezonance v pásmu 5 až 33 Hz, pak by zkoušky měly být prováděny s použitelnými amplitudami sinusového rozmítání, při těchto kmitočtech namísto těch detailně uvedených výše. V takových případech by měla být použita náročnost 0,125 mm. Pokud má materiál v každém frekvenčním pásmu více než jednu rezonanci, měla by být doba strávená při každém kmitočtu vydělena počtem rezonancí. Rezonance se považuje za významnou, pokud její faktor dynamického zvětšení (Q) překročí hodnotu 3.					

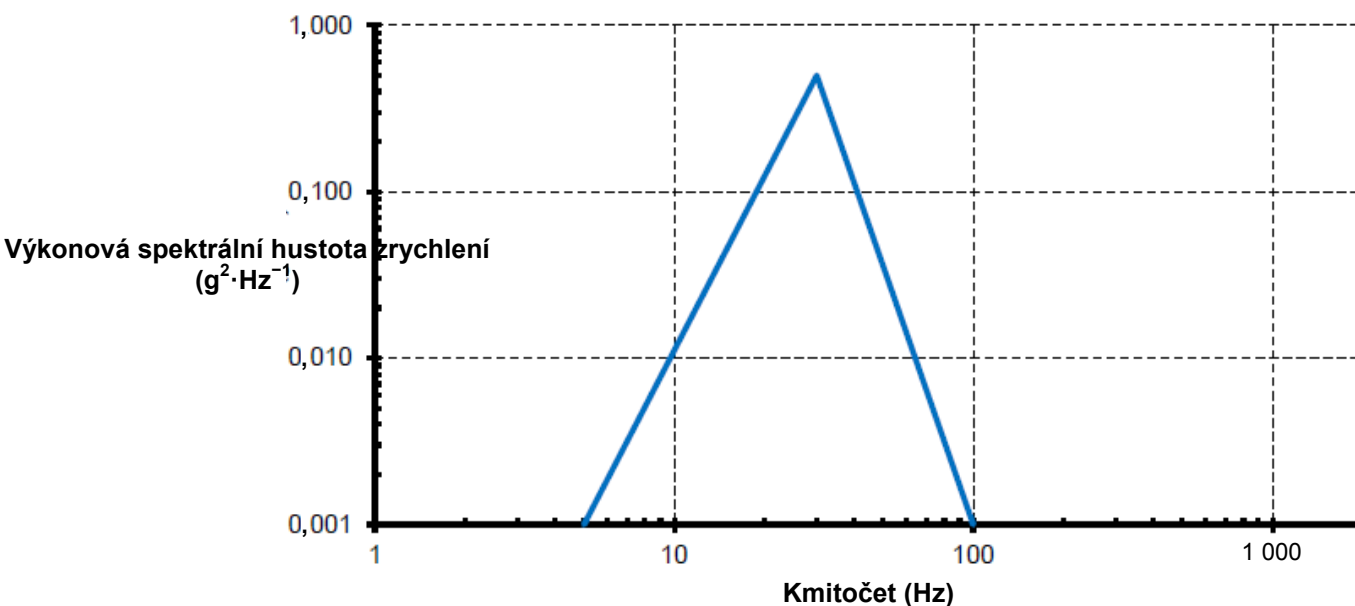


OBRÁZEK 7.A.39 – Materiál přepravovaný vně proudových letadel s nízkým a středním výkonem

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.39

Svisle a příčně		Podélně	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)	Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
20	0,04	20	0,01
2 000	0,04	2 000	0,01
a_{ef} (g)	8,90	a_{ef} (g)	4,45
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,90	Výchylka vrchol-vrchol (mm)	1,00
Doba trvání zkoušky na osu			
Typ letadla / druh podvěsu	Doba letu odpovídající 1 hodině zkoušky (hod)	Minimální doba zkoušky je jedna hodina na osu. Za maximální dobu trvání tohoto vibračního zkoušení se považuje 15 hodin na osu.	
Útok vzduch-země	30		
Útok vzduch-vzduch (bitevník)	10		
Průzkumné letadlo	10		
Tankovací letadlo	100		
Protiponorkové letadlo	30		
ECM podvěsy	500		

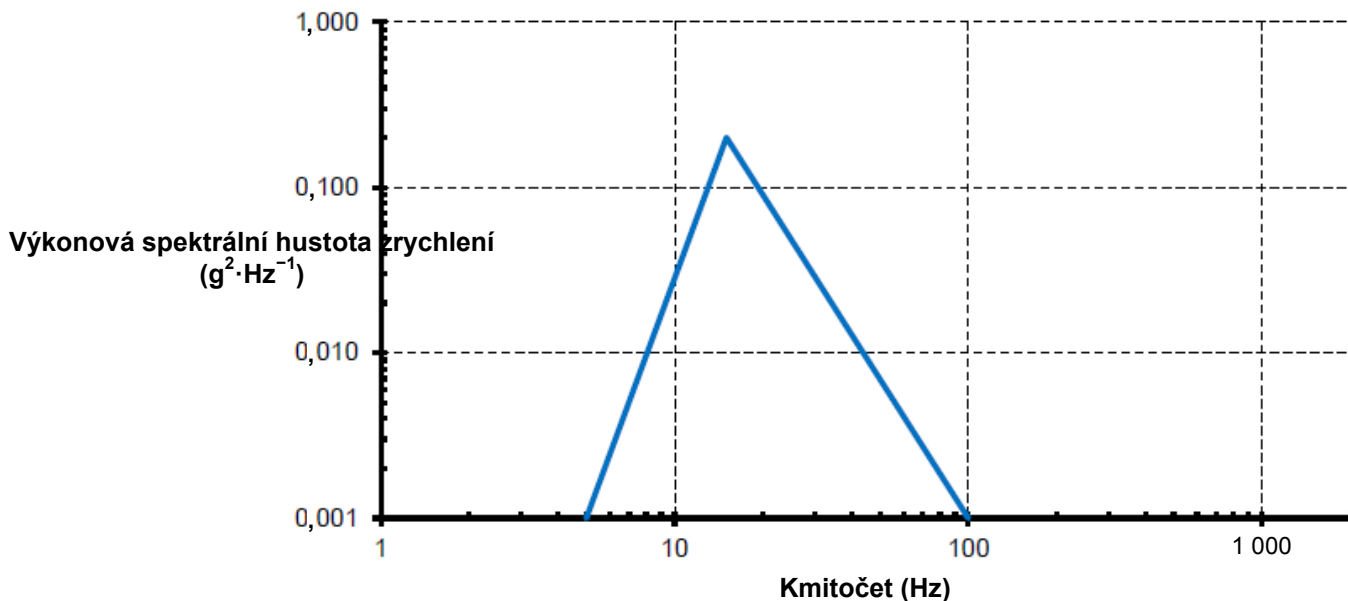


OBRÁZEK 7.A.40 – Aerodynamické třepání pro materiál namontovaný na křídle letadla s nízkým poměrem stran

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.40

Platí pro všechny osy (jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy v místech montážních prvků materiálu)	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,001
30	0,500
100	0,001
a_{ef} (g)	2,63
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	7,4
Doba trvání zkoušky na osu	30 sekund pro dvouhodinový bojový let s maximální dobou trvání zkoušky 15 minut na osu
Maximální spektrální úroveň	Náročnost zkoušky představuje odezvu jednoho dominantního režimu křídla spojeného s ohýbáním nebo kroucením. Je-li znám kmitočet skutečného dominantního režimu, měl by se použít kmitočet tohoto režimu.

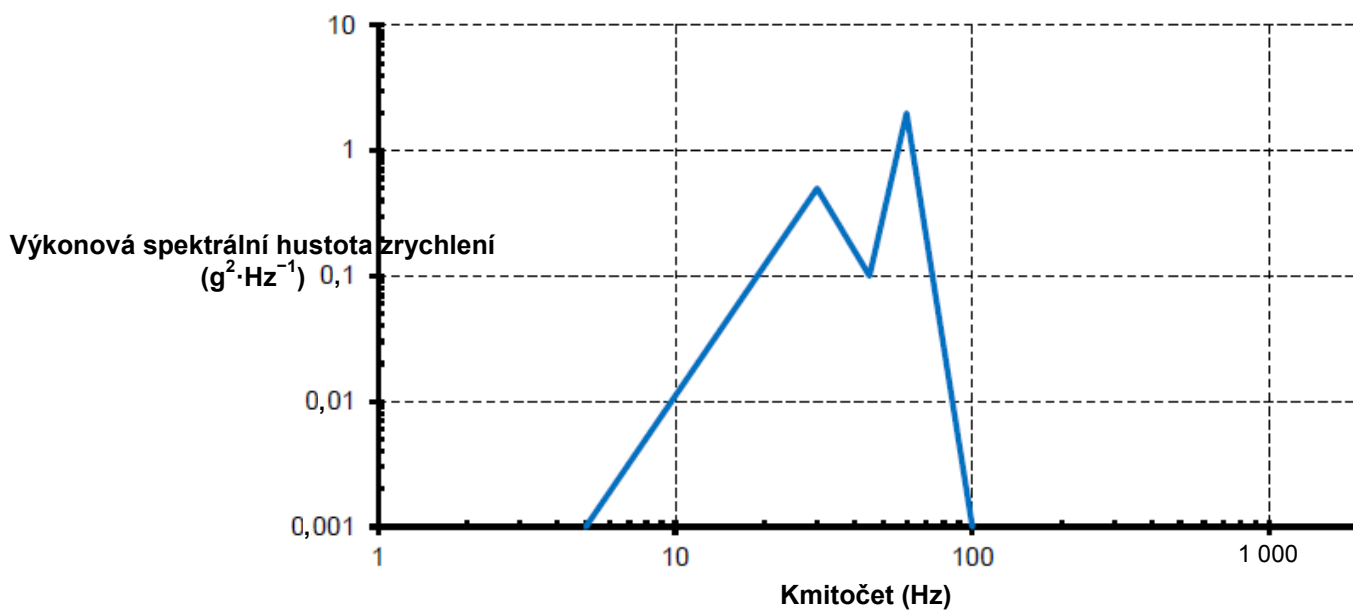
Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.41 – Aerodynamické třepání pro materiál namontovaný na trupu letadla s nízkým poměrem stran

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.41

Platí pro všechny osy (jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy v místech montážních prvků materiálu)	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,001
15	0,200
100	0,001
a_{ef} (g)	1,46
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	9,2
Doba trvání zkoušky na osu	30 sekund pro dvouhodinový bojový let s maximální dobou trvání zkoušky 15 minut na osu
Maximální spektrální úroveň	Náročnost zkoušky představuje odezvu jednoho dominantního režimu trupu spojeného s ohýbáním nebo kroucením. Je-li znám kmitočet skutečného dominantního režimu, měl by se použít kmitočet tohoto režimu.

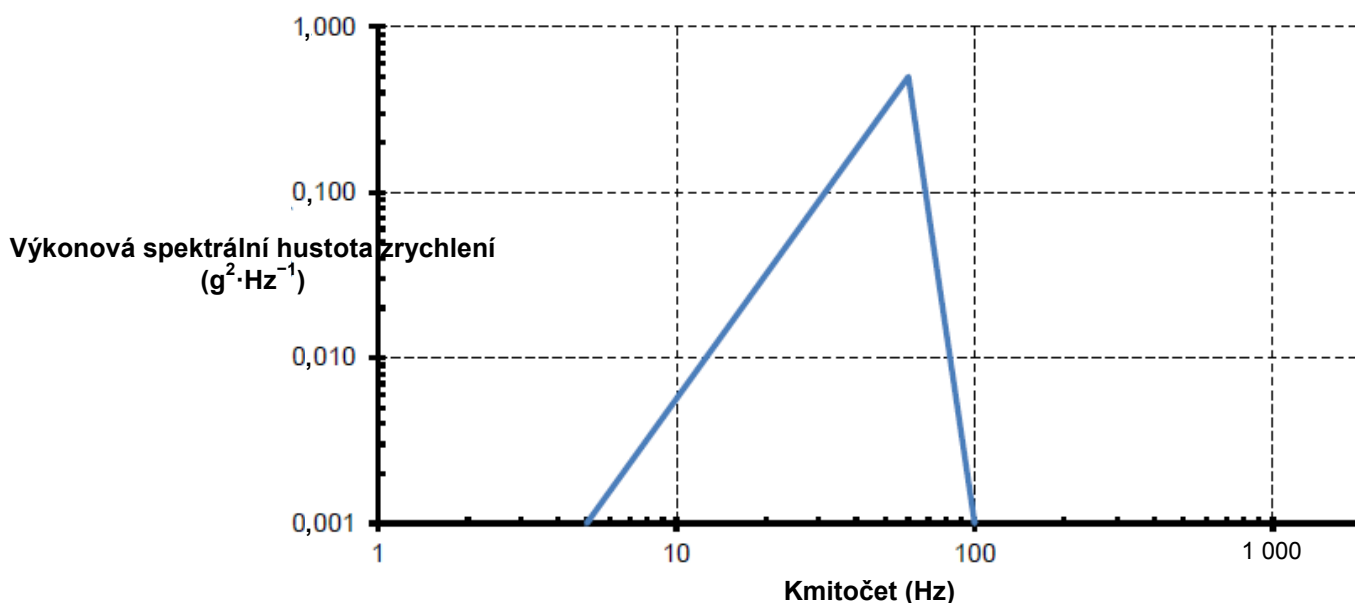


OBRÁZEK 7.A.42 – Aerodynamické třepání pro materiál namontovaný na křídle letadla s vysokým poměrem stran

Příloha 7A
(normativní)

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.42

Platí pro všechny osy (jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy v místech montážních prvků materiálu)	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,001
30	0,500
45	0,100
60	2,000
100	0,001
a_{ef} (g)	5,06
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	7,7
Doba trvání zkoušky na osu	30 sekund pro dvouhodinový bojový let s maximální dobou trvání zkoušky 15 minut na osu
Maximální spektrální úroveň	Náročnost zkoušky představuje odezvu dominantního režimu křídla a prvního ohybového režimu podvěsu. Jsou-li známy kmitočty skutečných režimů, měly by se použít kmitočty těchto režimů. Pokud jsou tyto dva kmitočty blíže než 10 Hz, měl by se dodržovat individuální přístup.

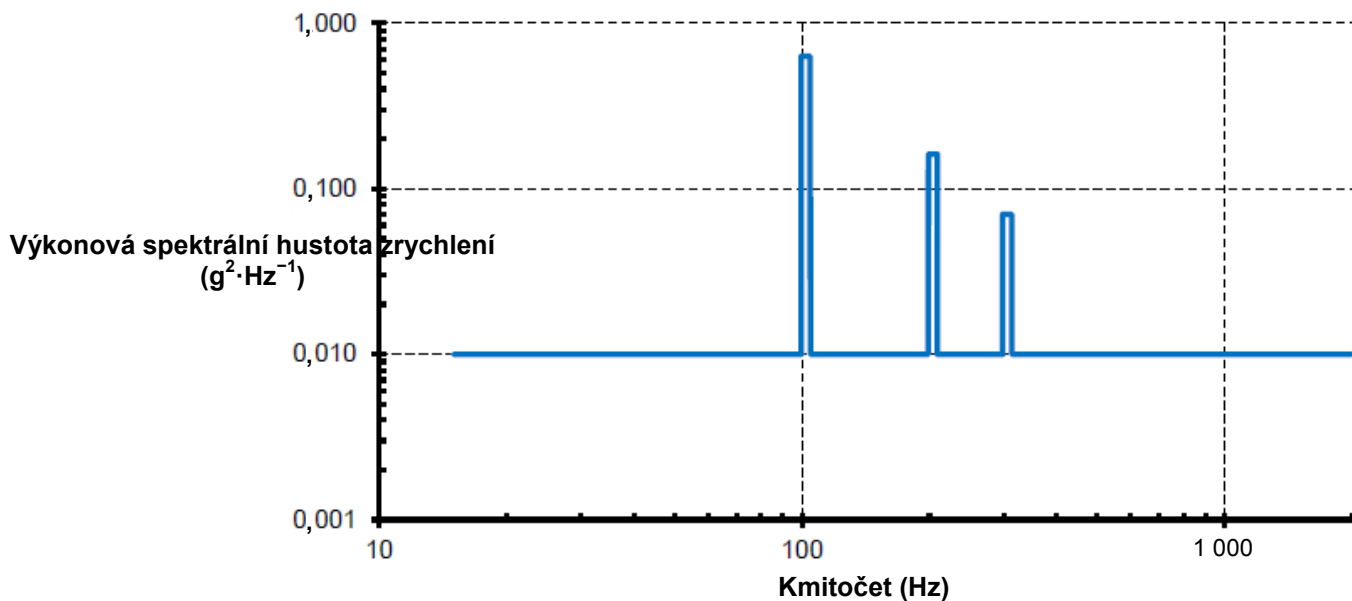


OBRÁZEK 7.A.43 – Aerodynamické třepání pro materiál namontovaný na trupu letadla s vysokým poměrem stran

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.43

Platí pro všechny osy (jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy v místech montážních prvků materiálu)	
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,001
60	0,500
100	0,001
a_{ef} (g)	3,35
Výchylka vrchol-vrchol (mm)	5,1
Doba trvání zkoušky na osu	30 sekund pro dvouhodinový bojový let s maximální dobou trvání zkoušky 15 minut na osu
Maximální spektrální úroveň	Náročnost zkoušky představuje odezvu jednoho dominantního režimu trupu spojeného s ohýbáním nebo kroucením. Je-li znám kmitočet skutečného dominantního režimu, měl by se použít kmitočet tohoto režimu.

Příloha 7A
(normativní)



OBRÁZEK 7.A.44 – Materiál přepravovaný vně vrtulového letadla

TABULKA K OBRÁZKU 7.A.44

Platí pro všechny osy				
Širokopásmové náhodné		Úzkopásmové komponenty		
Kmitočet (Hz)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Kmitočet (Hz) (pořadí listů)	Výkonová spektrální hustota zrychlení ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	Šířka pásma (Hz)
15	0,01	102 (nR)	0,631	5
2 000	0,01	204 ($2nR$)	0,162	10
a_{ef} (g)	4,46	306 ($3nR$)	0,070	15
Pokud pro požadované letadlo není nR 102 Hz, nahrazuje se za nR skutečný kmitočet pořadí listů vrtule				
Celkové zkušební parametry				
a_{ef} (g)		5,07		
Výchylka vrchol-vrchol (mm)		1,50		
Doba trvání zkoušky na osu		1 hodina na osu za 20 hodin doby letu při plnění úkolu		

OVĚŘOVACÍ INFORMACE PRO RŮZNÉ DRUHY VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK

7.B.1 ÚVOD

V této příloze jsou uvedeny informace o ověřování, které se vyžaduje k prokázání toho, že byly pro různé druhy vibračních zkoušek splněny požadavky a náročnosti zkoušky. Kromě požadavků na ověřování podle článku 7.6.1. se požadují informace o ověřování stanovené v této příloze.

7.B.2 SINUSOVÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM

Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) sinusoid měřenou v referenčním bodě a v každém řídicím bodě. Pokud je amplituda definována jako maximální amplituda, měla by být odvozena z měření RMS.
- b) Efektivní hodnotu (RMS) sinusoid mimo rovinu pro každý řídicí bod a pro každý specifikovaný monitorovací bod.
- c) Vlastnosti filtru použitého systému měření a analýzy.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.3 SINUSOVÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM

Pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) sinusoid měřenou v referenčním bodě a v každém řídicím bodě. Pokud je amplituda definována jako maximální amplituda, měla by být odvozena z měření RMS.
- b) Efektivní hodnotu (RMS) sinusoid mimo rovinu pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- c) Vlastnosti filtru použitého systému měření a analýzy.
- d) Ověřovací informace by se měly stanovovat v průběhu celého rozmítání (zvyšující se i klesající kmitočty). To může vyžadovat oddělené možnosti řízení a měření. Ověřovací informace by měl být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.4 SINUSOVÉ VIBRACE S KROKOVOU ZMĚNOU KMITOČTU

Pro vibrační zkoušku s krokovou změnou sinusového kmitočtu, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) sinusoid měřenou v referenčním bodě a v každém řídicím bodě pro každý kmitočtový krok. Pokud je amplituda definována jako maximální amplituda, měla by být odvozena z měření RMS.
- b) Efektivní hodnotu (RMS) sinusoid mimo rovinu v každém řídicím bodě a specifikovaném monitorovacím bodě pro každý kmitočtový krok.
- c) Vlastnosti filtru použitého systému měření a analýzy.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

Příloha 7B
(normativní)

7.B.5 ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE

Pro zkoušku s širokopásmovými náhodnými vibracemi, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) pro referenční bod a každý řídicí bod.
- b) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS v rozsahu zkušebního kmitočtu pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- c) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.6 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM

Pro zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi se stálým kmitočtem, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém zkušebním kmitočtu pro referenční bod a každý řídicí bod.
- b) Střední kmitočet, amplitudu výkonové spektrální hustoty a RMS každého úzkého pásma pro referenční bod a každý řídicí bod.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.7 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM

Pro zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi s rozmítaným kmitočtem, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém rozsahu zkušební frekvence pro referenční bod a každý řídicí bod.
- b) Střední kmitočet, amplitudu výkonové spektrální hustoty a RMS každého úzkého pásma pro referenční bod a každý řídicí bod.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny v průběhu celého rozmítání (zvyšující se i klesající kmitočty). To může vyžadovat oddělené možnosti řízení a měření. Ověřovací údaje by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.8 SINUSOVÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI

Pro vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém zkušebním kmitočtovém rozsahu pro referenční bod a každý řídicí bod.

Příloha 7B
(normativní)

- b) Kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) každé složky sinusoidy měřenou v referenčním bodě a řídicích bodech. Pokud je amplituda definována jako maximální amplituda, měla by být odvozena z měření RMS.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu, odpovídající celkovou hodnotu RMS a kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) každé složky sinusoidy pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.9 SINUSOVÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI

Pro vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém zkušebním frekvenčním rozsahu pro referenční bod a každý řídicí bod.
- b) Kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) každé složky sinusoidy měřenou v referenčním bodě a řídicích bodech. Pokud je amplituda definována jako maximální amplituda, měla by být odvozena z měření RMS.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu, odpovídající celkovou hodnotu RMS a kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) každé složky sinusoidy pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny v průběhu celého rozmítání (zvyšující se i klesající kmitočty). To může vyžadovat samostatné možnosti řízení a měření. Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.10 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI

Pro zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi se stálým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém zkušebním kmitočtovém rozsahu pro referenční bod a každý řídicí bod.
- b) Střední kmitočet, amplitudu výkonové spektrální hustoty a efektivní hodnotu (RMS) každé úzkopásmové složky pro referenční bod a každý řídicí bod.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

7.B.11 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI

Pro zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi s rozmítaným kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, by ověřovací informace měly obsahovat:

- a) Výkonovou spektrální hustotu a celkovou efektivní hodnotu (RMS) v celém rozsahu zkušebního kmitočtu pro referenční bod a každý řídicí bod.

Příloha 7B

(normativní)

- b) Střední kmitočet, amplitudu výkonové spektrální hustoty a RMS každého úzkého pásma v průběhu celého rozmítání (zvyšující se i klesající kmitočty) pro referenční bod a každý řídicí bod.
- c) Výkonovou spektrální hustotu mimo rovinu, odpovídající celkovou hodnotu RMS, jakož i střední kmitočet a efektivní hodnotu (RMS) každé úzkopásmové složky pro každý řídicí bod a určený monitorovací bod.
- d) Ověřovací informace by měly být stanoveny v průběhu celého rozmítání (zvyšující se i klesající frekvence). To může vyžadovat oddělené možnosti řízení a měření. Ověřovací informace by měly být stanoveny minimálně na začátku, uprostřed a na konci zkoušky.

INFORMACE, KTERÉ SE MUSÍ DOKUMENTOVAT, KDYŽ NELZE SPLNIT POŽADAVKY NA VIBRAČNÍ ZKOUŠKY

7.C.1 ÚVOD

Tato příloha stanoví minimální informace, které musí být zdokumentovány v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí, když nelze splnit stanovené požadavky na vibrační zkoušky. Tyto informace jsou doplňkem k ověřovacím informacím uvedeným v článku 7.6.1 hlavní metody a v příloze 7B. Tyto informace mohou být doplněny dalšími požadavky na informace stanovenými zadavatelem zkoušky. Požadavky na informace jsou stanoveny pro každý odlišný druh vibrační zkoušky.

Tato příloha rovněž stanoví na základě historických zkušeností zmírnění určitých zkušebních tolerancí, které mohou být přijaty za vhodných okolností se souhlasem zadavatele zkoušky. Pokud nelze dodržet tolerance uvedené v hlavním textu této kapitoly, měly by být v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí zahrnuty další informace stanovené v této příloze.

7.C.2 HISTORICKÉ ALTERNATIVNÍ TOLERANCE

Tolerancí zkoušky, uvedených v hlavním textu této kapitoly, může být za určitých okolností obtížné dosáhnout při určitých kmitočtech v rámci specifikovaného rozsahu zkoušek, zejména při použití strategie řízené odezvy. Historicky, na základě uvážení a se souhlasem zadavatele zkoušky, mohou být některé tolerance zmírněny v rámci níže uvedených omezení. Všechny ostatní tolerance zůstávají nezměněny. Použití níže uvedených tolerancí ve zkouškách musí být odůvodněno a zaznamenáno v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí, který by měl zahrnovat doplňující informace stanovené v této příloze.

- a) Všechny druhy zkoušek.
 - (1) Vícebodové řízení: do +5 dB a -10 dB od předepsané hodnoty v každém řídicím bodě.
 - (2) Pohyby napříč osami: měl by se měřit a vykazovat dosažený pohyb napříč osami.
- b) Složky sinusových vibrací.
 - (1) Amplitudy pod 500 Hz: ± 10 % předepsané hodnoty v referenčním bodě při předepsané frekvenci.
 - (2) Amplitudy nad 500 Hz: ± 20 % předepsané hodnoty v referenčním bodě při předepsané frekvenci.
 - (3) Kromě toho by všechny amplitudy mimo rozsah ± 10 % předepsané hodnoty, neměly tvořit více než 5 % řídicího kmitočtového rozsahu.
- c) Složky náhodných vibrací.
 - (1) Amplitudy pod 500 Hz: ± 3 dB předepsané hodnoty v referenčním bodě.
 - (2) Amplitudy nad 500 Hz: ± 6 dB předepsané hodnoty v referenčním bodě.
 - (3) Kromě toho by všechny amplitudy mimo rozsah ± 3 dB předepsané hodnoty neměly tvořit více než 5 % řídicí frekvence.
 - (4) Efektivní hodnota: ± 2 dB předepsané hodnoty v referenčním bodě.
- d) Složky úzkého pásma nebo sinusoidy s vysokou rychlostí rozmítání.

Příloha 7C
(normativní)

Při vyšších rychlostech rozmítání nemusí být stanovené tolerance dosažitelné. Proto by požadavky na tolerance pro tyto složky měly být uvedeny ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí.

7.C.3 SINUSOVÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM

Pokud nelze splnit požadavky na vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem, měly by být v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při frekvencích ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo v kmitočtových funkcích odezvy (amplituda a fáze), měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a připojovacími body.

7.C.4 SINUSOVÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM

Pokud nelze splnit požadavky na vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje.

- a) RMS v rozsahu celého rozmítání (nahoru a dolů), pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze), měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a připojovacími body.

7.C.5 SINUSOVÉ VIBRACE S KROKOVOU ZMĚNOU KMITOČTU

Pokud nelze splnit požadavky na vibrační zkoušku s krokovou změnou sinusového kmitočtu, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) RMS pro každý kmitočtový krok v celém rozsahu zkušebního kmitočtu pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a připojovacími body.

7.C.6 ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE

Pokud nelze splnit požadavky na zkoušku s širokopásmovými náhodnými vibracemi, měly by být v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.

Příloha 7C
(normativní)

- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

7.C.7 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM

Pokud nelze splnit požadavky na zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi se stálým kmitočtem, měly by být v Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

7.C.8 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM

Pokud nelze splnit požadavky na zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi s rozmítaným kmitočtem, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

7.C.9 SINUSOVÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI

Pokud nelze splnit požadavky na vibrační zkoušku se stálým sinusovým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

Příloha 7C
(normativní)

**7.C.10 SINUSOVÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM
NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI**

Pokud nelze splnit požadavky na vibrační zkoušku s rozmítaným sinusovým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

**7.C.11 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE SE STÁLÝM KMITOČTEM
NA ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI**

Pokud nelze splnit požadavky na zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi se stálým kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

**7.C.12 ÚZKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACE S ROZMÍTANÝM KMITOČTEM NA
ŠIROKOPÁSMOVÉ NÁHODNÉ VIBRACI**

Pokud nelze splnit požadavky na zkoušku s úzkopásmovými náhodnými vibracemi s rozmítaným kmitočtem na širokopásmové náhodné vibraci, měly by být do Protokolu o zkoušce vlivu prostředí dodatečně zahrnuty následující údaje:

- a) Výkonová spektrální hustota a výkonová spektrální hustota mimo rovinu spolu s odpovídajícími hodnotami RMS pro každý monitorovací a upevňovací bod.
- b) Identifikace všech rezonancí zkoušeného předmětu, zkušebního zařízení a upevňovacího přípravku při kmitočtech ve zkušebním kmitočtovém rozsahu nebo ve funkcích kmitočtových odezev (amplituda a fáze) měřených mezi zdrojem buzení a referenčními, řídicími a upevňovacími body.
- c) Výkonová spektrální hustota a přidružená RMS, ve zkušebním frekvenčním rozsahu, tvaru vlny vytvořeného řídicím zařízením nebo výkonová spektrální hustota napětí/proudu kotvy.

8 METODA 402 – AKUSTICKÝ ŠUM

OBSAH

8.1	ROZSAH PLATNOSTI	140
8.1.1	Účel	140
8.1.2	Použití	140
8.1.3	Omezení	140
8.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	140
8.2.1	Vlivy prostředí	140
8.2.2	Použití naměřených údajů	140
8.2.3	Posloupnost	141
8.2.4	Výběr zkušebních postupů	141
8.2.5	Druhy akustického buzení	141
8.2.6	Provoz materiálu	142
8.3	NÁROČNOSTI	142
8.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	143
8.4.1	Povinné	143
8.4.2	Jsou-li požadované	143
8.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	143
8.5.1	Tolerance	143
8.5.2	Řízení	143
8.5.3	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	145
8.5.4	Příprava zkoušky	146
8.5.5	Postupy	146
8.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	147
8.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	147

Přílohy

Příloha 8A	AKUSTICKÝ ŠUM – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	150
Příloha 8B	AKUSTICKÉ ZKOUŠKY – TECHNICKÝ NÁVOD	154

8.1 ROZSAH PLATNOSTI

8.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat akustické prostředí vznikající kolem systémů, subsystémů a zařízení, dále nazývaných „materiál“, za předepsaných provozních podmínek.

8.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat předepsanému akustickému prostředí bez nepříjemné degradace svých funkčních a konstrukčních charakteristik. Metoda je také vhodná pro materiál, u kterého se pro simulaci aerodynamických turbulencí preferuje použití buzení akustickým šumem před buzením mechanickým vibrátorem.

AECTP-100 a 200 poskytují další návody pro výběr zkušebního postupu pro zvláštní akustické prostředí.

8.1.3 Omezení

Kde se pro simulaci aerodynamických turbulencí použije zkouška difúzním polem akustického šumu, nemusí to být vhodné pro přezkoušení skořepinových konstrukcí propojených přímo se zdrojem akustického šumu.

8.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

8.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam nehodlá být všezahrnující, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou objevit při vystavení materiálu akustickému prostředí:

- a) odírání vodičů;
- b) únava součástek;
- c) porušení vodičů spojujících součástky;
- d) tvorba trhlin na deskách tištěných spojů;
- e) poruchy na součástech vlnovodů;
- f) přerušovaná funkce elektrických kontaktů;
- g) tvorba trhlin na malých kovových plochách a konstrukčních prvcích;
- h) optický posun;
- i) uvolňování malých částic, které se mohou usazovat v obvodech a mechanismech;
- j) nadměrný elektrický šum.

8.2.2 Použití naměřených údajů

Kde je to účelné, doporučuje se k rozpracování zkušebních úrovní použít údaje naměřené v polních podmínkách. Jestliže je cílem dosáhnout přesnou simulaci, pak je obzvláště důležité použít údaje naměřené v polních podmínkách. Doporučuje se získat dostatečné údaje naměřené v polních podmínkách pro přiměřený popis podmínek, podle kterých se má materiál hodnotit a kterým má být vystaven. Naměřené údaje by měly přesně znázorňovat druh akustického buzení, kmitočtový rozsah, intenzitu a další parametry potřebné k laboratorní simulaci.

8.2.3 Posloupnost

Podobně jako u vibrací, mohou účinky akusticky vyvolaných zatížení ovlivňovat charakteristiky materiálu současně s podmínkami dalších prostředí, jako je například teplota, vlhkost, elektromagnetismus atd. Pokud se požaduje hodnotit účinky akustického šumu společně s jinými prostředími a když je provedení kombinované zkoušky nepraktické, doporučuje se postupně vystavit zkoušený předmět podmínkám všech příslušných prostředí. Pořadí aplikace zkoušek se doporučuje zvážit tak, aby bylo kompatibilní s profilem prostředí životního cyklu.

8.2.4 Výběr zkušebních postupů

Výběr zkušebního postupu je určen provozními akustickými prostředími a účelem zkoušky. Tato prostředí by se měla stanovovat se zřetelem na profil prostředí životního cyklu, jak je uvedeno v AECTP-100.

Následně jsou uvedeny tři postupy:

- a) Postup I Akustický šum – Difúzní pole.
- b) Postup II Akustický šum – Plochý úhel dopadu.
- c) Postup III Akustický šum – Rezonance dutin.

8.2.5 Druhy akustického buzení

8.2.5.1 Postup I – Akustický šum – Difúzní pole

Difúzní pole se generuje v rezonanční komoře. Běžně se zajišťuje širokopásmové náhodné buzení a spektrum je tvarované. Tato zkouška je vhodná pro materiál nebo konstrukce, u kterých se požaduje činnost nebo přežití v takových akustických šumových polích, které například vytváří letecké dopravní prostředky, hnací agregáty a jiné zdroje akustického šumu o velké intenzitě. Protože tato zkouška poskytuje výkonné prostředky vyvolávající vibrace přes 100 Hz, může se zkouška také použít k doplnění mechanické vibrační zkoušky využitím akustické energie k navození mechanických odezev v materiálu instalovaném uvnitř. V této podobě je zkouška vhodná pro předměty, jako je materiál instalovaný ve vnějších leteckých podvěsech, přepravovaných letouny o vysokém výkonu. Ale protože buzení vyvolané difúzním akustickým polem je odlišné od buzení vyvolaného aerodynamickými turbulencemi, postup zkoušení nemusí být vhodný pro zkoušení skořepinových konstrukcí, spojených přímo s akustickým šumem.

Praktickým vodítkem je to, že akustické zkoušky se nepožadují, pokud je materiál vystaven širokopásmovému náhodnému šumu o celkové úrovni akustického tlaku menší než 130 dB (ref 20 μ Pa) a pokud je jeho vystavení v každém jednohertzovém pásmu menší než 100 dB (ref 20 μ Pa).

Akustická zkouška difúzním polem je obvykle určena následujícími parametry:

- spektrální úrovně;
- frekvenční rozsah;
- úroveň celkového akustického tlaku;
- doba trvání zkoušky.

8.2.5.2 Postup II – Akustický šum – Plochý úhel dopadu

Akustický šum s plochým úhlem dopadu je generován v trubici, běžně známé jako trubice pro postupné vlnění. Obvykle je širokopásmový náhodný šum s tvarovaným spektrem usměrněn podél trubice.

Tato zkouška je vhodná pro upevněné systémy, které musí pracovat nebo přetrvávat v provozním prostředí s kolísajícím aerodynamickým tlakem na povrchu, jako je například prostředí v aerodynamické turbulenci. Tyto podmínky jsou mimořádně významné u vnějšího obložení letounů, kde se budou aerodynamické turbulence vyskytovat pouze na jedné straně, a u vnějších podvěsů vystavených buzení z aerodynamických turbulencí na celém jejich vnějším povrchu.

V případě vnějšího obložení se musí zkoušený předmět namontovat na stěnu zkušební trubice tak, aby se buzení s plochým úhlem dopadu aplikovalo pouze na jednu stěnu. Podvěsy nesené letadly, jako jsou například střely, se musí namontovat souose uvnitř zkušební trubice tak, aby se buzení aplikovalo na celý vnější povrch.

Zkouška akustického šumu s plochým úhlem dopadu se obvykle vymezuje následujícími parametry:

- spektrální úrovně;
- frekvenční rozsah;
- úroveň celkového akustického tlaku;
- doba trvání zkoušky.

8.2.5.3 Postup III – Akustický šum – Rezonance dutin

Stav rezonance se generuje v dutině, která je buzena prouděním vzduchu přes dutinu, jako například stav existující v otevřených pumovnicích letadla. To způsobuje chvění vzduchu uvnitř dutiny v kmitočtu závislém na rozměrech dutiny. Postupně může akustické buzení vyvolat v konstrukci a součástech uvnitř dutiny mechanické vibrace. Stav rezonance se může vyvolat aplikací sinusových akustických zdrojů, naladěných na správný kmitočet a orientovaných do otevřené dutiny. Stav rezonance nastane, když odezva řídicího mikrofónu dosáhne v daném zvukovém poli maxima při stálé úrovni akustického tlaku přes kmitočtový rozsah.

Zkouška rezonance dutin je vymezena následujícími parametry:

- kmitočet buzeného šumu;
- celková úroveň akustického tlaku uvnitř dutiny;
- doba trvání zkoušky.

8.2.6 Provoz materiálu

Tam, kde je to důležité, se doporučuje zkoušený předmět uvést do chodu, změřit a zaznamenat jeho funkční charakteristiky v průběhu každé fáze zkoušky a/nebo při každé aplikované akustické úrovni.

8.3 NÁROČNOSTI

Úrovně zkoušení a jeho trvání se doporučuje založit na využití projektovaných profilů prostředí životního cyklu, dostupných dat nebo údajů získaných přímo z programu sběru dat o vlivu prostředí.

Jestliže takové údaje nejsou k dispozici, je nutné pro vytvoření výchozí náročnosti zkoušky využít návod obsažený v příloze 8A. Do doby získání měřených dat se doporučuje tyto celkové úrovně akustického tlaku (OASPL) považovat za výchozí hodnoty.

Je třeba poznamenat, že zvolená zkouška nemusí být nezbytně dostačující simulací úplného prostředí, a proto tedy může být nevyhnutelné provést pro doplnění výsledků zkoušky doprovodná hodnocení.

8.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

8.4.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) druh zkoušky: vývojová, provozní, schvalovací;
- d) zda se požaduje nebo nepožaduje provoz zkoušeného předmětu během zkoušky;
- e) požadované provozní kontroly: výchozí, průběžné, konečná;
- f) pro výchozí a konečnou kontrolu upřesnit, zda se provádí se zkoušeným předmětem nainstalovaným na zkušebním zařízení;
- g) údaje požadované k provedení zkoušky, včetně způsobu uchycení nebo odpružení zkoušeného předmětu;
- h) řídicí a monitorovací body nebo postup pro výběr těchto bodů;
- i) doba předběžného kondicionování a jeho podmínky;
- j) stanovení náročnosti zkoušky;
- k) strategie řízení;
- l) stanovení kritérií poruch;
- m) způsob, jak vzít v úvahu překročení tolerancí v případě rozměrného materiálu;
- n) další podmínky prostředí, ve kterých se má zkouška provést, jestliže jde o jiné než standardní laboratorní podmínky.

8.4.2 Jsou-li požadované

- a) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- b) počet současně zkoušených předmětů pro Postup I;
- c) tolerance, pokud se liší od tolerancí uvedených v článku 8.5.1.

8.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

8.5.1 Tolerance

Tolerance při zkoušení dále udává tabulka 8.1.

8.5.2 Řízení

Strategie řízení závisí na druhu zkoušky a velikosti materiálu.

8.5.2.1 Varianty řízení

Jednobodové řízení šumu

Jediný bod se doporučuje stanovit tak, aby měl optimální polohu pro řízení v komoře nebo v trubici pro postupné vlnění.

Vícebodové řízení šumu

Řídicí body se doporučuje vybírat tak, aby vymežily řízený objem uvnitř rezonanční komory. Řízení je žádoucí založit na průměru úrovní akustického tlaku v každém mikrofону. Jestliže rozsah měření v monitorovaných místech nepřekračuje 5 dB (OASPL), může se použít jednoduchý aritmetický průměr úrovní akustického tlaku. Pro rozsah 5 dB nebo větší se doporučuje použít logaritmický průměr úrovní akustického tlaku.

TABULKA 8.1 –Tolerance akustických zkoušek

Parametr	Tolerance
Celková úroveň akustického tlaku zprůměrovaná na všechny řídicí mikrofóny, týká se předepsané úrovně celkového akustického tlaku	+3 dB -1 dB
Celková úroveň akustického tlaku v každém řídicím mikrofону, týká se předepsané úrovně celkového akustického tlaku	+4 dB -2 dB
Zprůměrované zkušební spektrum ze všech řídicích mikrofónů v úrovních nad -15 dB ⁽¹⁾ v třetinooktávových pásmech, týká se předepsané úrovně akustického tlaku třetinooktávového pásma	+4 dB -4 dB
Zprůměrované zkušební spektrum ze všech řídicích mikrofónů v úrovních pod -15 dB ⁽¹⁾ a nad -25 dB ⁽¹⁾ v třetinooktávových pásmech, týká se předepsané úrovně akustického tlaku třetinooktávového pásma	+6 dB -6 dB
Zprůměrované zkušební spektrum ze všech řídicích mikrofónů v úrovních -25 dB ⁽¹⁾ a nižších v třetinooktávových pásmech, týká se předepsané úrovně akustického tlaku třetinooktávového pásma	+10 dB -10 dB
Doba trvání zkoušky	+/-5 % nebo +/-1 min (co je menší)
POZNÁMKA (1) <i>n</i> -oktávové pásmo, úroveň -15 dB se mění na -10 dB a úroveň -25 dB se mění na -20 dB.	

Řízení vibrační odezvy

Pokud je nezbytné dosáhnout na zkoušeném předmětu stanovenou vibrační akcelerační odezvu, doporučuje se pro dosažení požadované odezvy zkušební spektrum upravit. Požadovanou odezvu je možné monitorovat buď v jediném bodu, nebo jako průměr z více monitorovacích bodů.

8.5.2.2 Metody řízení

Řízení je možné realizovat pomocí regulace buď s otevřeným obvodem, nebo s uzavřeným obvodem. Řízení s otevřeným obvodem je postačující pro trubice pro postupné vlnění a pro malé komory s jedním zdrojem šumu. Řízení s uzavřeným obvodem je účinnější pro velké komory s více zdroji šumu, které pokrývají různá pásma ve zkušebním kmitočtovém rozsahu.

8.5.2.3 Celková přesnost řízení

Nejistota měření v celém systému měření by včetně statistických odchylek neměla překročit jednu třetinu tolerance stanovené pro celkovou úroveň akustického tlaku.

8.5.3 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

8.5.3.1 Postup I – Akustický šum – Difúzní pole

Zkoušený předmět se doporučuje zavěsit nebo jinak namontovat do rezonanční komory na pružné zařízení tak, aby všechny patřičné vnější plochy byly vystaveny akustickému poli a žádná plocha nebyla rovnoběžná s povrchem komory. Rezonanční kmitočet montážního zařízení se zkušebním tělesem by měl být menší než 25 Hz nebo 1/4 z minimálního zkušebního kmitočtu, podle toho, co je menší. Jestliže se požaduje, aby vodiče, trubice apod. byly během zkoušky připojeny ke zkoušenému předmětu, doporučuje se tyto součásti uspořádat tak, aby přidávaly podobná omezení a hmotnosti jako v provozu.

Mikrofon se doporučuje umístit v blízkosti každého důležitého povrchu zkoušeného předmětu do vzdálenosti 0,5 m od povrchu nebo doprostřed mezi středem povrchu a stěnou komory, podle toho, co je menší. Výstupy z těchto mikrofonů se doporučuje pro zajištění signálu jednobodového řízení zprůměrovat. Jestliže je komora omezena na jeden bod generující šum, doporučuje se jeden mikrofon umístit mezi zkoušený předmět a stěnu komory nejvzdálenější od zdroje šumu. Orientace mikrofonů v takovém zařízení není rozhodující, třebaže osy mikrofonů by se neměly dávat kolmo k jakémukoli rovnému povrchu. Mikrofony se doporučuje kalibrovat pro náhodný úhel dopadu.

8.5.3.2 Postup II – Akustický šum – Plochý úhel dopadu

Některá zařízení zkoušených předmětů, jako například desky, se doporučuje namontovat na stěnu zkušební trubice tak, aby zkoušená plocha byla vystavena akustickému buzení. Tato plocha musí být ve stejné rovině jako vnitřní povrch trubice tak, aby se zabránilo zavádění rezonance dutin nebo působení lokálních turbulencí. Některá zařízení zkoušených předmětů (jako například podvěsy) by se měly zavěsit nebo jinak namontovat uprostřed trubice na pružných upevněních tak, aby všechny vnější povrchy byly vystaveny postupnému vlnění. Režimy tuhého tělesa systému by měly být menší než 25 Hz nebo 1/4 z nejnižšího zkušebního kmitočtu, podle toho, co je menší. Pozornost je třeba věnovat zajištění toho, aby se prostřednictvím upevnění zkoušeného předmětu ani žádné pomocné konstrukce nezaváděly žádné rušivé akustické nebo vibrační vstupy.

Mikrofon/mikrofony pro řízení a monitorování zkušebních podmínek by se měl/měly přednostně instalovat na stěnu zkušební trubice naproti zkušebnímu panelu. Další místa uvnitř trubice se mohou vybírat s podmínkou, že mikrofon se umístí tak, aby reagoval pouze na vlny s plochým úhlem dopadu a aby se nezbytné korekce týkaly měřené úrovně. Mikrofony se doporučuje kalibrovat pro plochý úhel dopadu.

8.5.3.3 Postup III – Akustický šum – Rezonance dutin

Zkoušený předmět se doporučuje zavěsit nebo jinak namontovat do rezonanční komory tak, aby přímé aplikaci akustické energie byla vystavena jen ta část zkoušeného předmětu, která se má zkoušet. Všechny ostatní povrchy se doporučuje chránit tak, aby se úroveň jejich akustického buzení zredukovala na 20 dB. Ochranné clony by neměly na konstrukci vytvářet žádný přídavný vibrační útlum. Mikrofon pro řízení zkoušky se nedoporučuje umísťovat do zkoušených dutin.

8.5.3.4 Účinky zemské přitažlivosti

Zkoušky se obvykle provádí s materiálem namontovaným ve správné prostorové orientaci, ledaže by se ukázalo, že funkční charakteristiky materiálu zemská přitažlivost neovlivňuje.

8.5.4 Příprava zkoušky

8.5.4.1 Předběžné kondicionování

Pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, doporučuje se zkoušený předmět stabilizovat v okolních laboratorních podmínkách.

8.5.4.2 Prohlídky a ověřování funkčních charakteristik

Prohlídky a ověřování funkčních charakteristik se mohou provádět před zkouškou a po zkoušce. Požadavky na tato ověřování by měla stanovovat Směrnice pro zkoušku. Jestliže se tato ověření požadují provést během zkoušení, doporučuje se rovněž stanovit časové intervaly jejich provedení.

8.5.5 Postupy

Směrnice pro zkoušku by měla určit, zda zkoušený předmět má nebo nemá být během zkoušení v provozu.

8.5.5.1 Postup I – Zkoušení akustického šumu – Difúzní pole

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět do rezonanční komory v souladu s článkem 8.5.3.1.
- Krok 2 Vybrat místa pro řídicí a monitorovací mikrofony a strategii řízení podle článku 8.5.2.
- Krok 3 Pokud se používá řízení s otevřeným obvodem, odstranit zkoušený předmět a ověřit, zda předepsaná celková úroveň akustického šumu a spektra se dá dosáhnout v prázdné komoře; pak vrátit zkoušený předmět do komory.
- Krok 4 Realizovat kondicionování podle článku 8.5.4.1.
- Krok 5 Provést vstupní ověření podle článku 8.5.4.2.
- Krok 6 Po stanovenou dobu aplikovat zkušební spektrum. Pokud se požadují, provést prohlídky a ověření funkčních charakteristik podle článku 8.5.4.2.
- Krok 7 Provést konečnou prohlídku.
- Krok 8 Vyjmout zkoušený předmět z komory.
- Krok 9 Vždy zaznamenat požadované údaje.

8.5.5.2 Postup II – Zkoušení akustického šumu – Plochý úhel dopadu

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět podle článku 8.5.3.2.
- Krok 2 Vybrat místa pro řídicí a monitorovací mikrofony a strategii řízení podle článku 8.5.2.
- Krok 3 Realizovat kondicionování podle článku 8.5.4.1.
- Krok 4 Provést vstupní ověření podle článku 8.5.4.2.
- Krok 5 Po stanovenou dobu aplikovat zkušební spektrum. Pokud se požadují, provést prohlídky a ověření funkčních charakteristik podle článku 8.5.4.2.
- Krok 6 Provést konečnou prohlídku.
- Krok 7 Vyjmout zkoušený předmět ze zkušební trubice.
- Krok 8 Vždy zaznamenat požadované údaje.

8.5.5.3 Postup III – Zkoušení akustického šumu – Rezonance dutin

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět do komory podle článku 8.5.3.3.
- Krok 2 Umístit řídicí mikrofon podle článku 8.5.3.3.
- Krok 3 Realizovat kondicionování podle článku 8.5.4.1.
- Krok 4 Provést vstupní ověření podle článku 8.5.4.2.
- Krok 5 Použít sinusovou akustickou zkušební úroveň a nastavit její kmitočet pro dosažení rezonančního stavu, jak je indikován odezvou z řídicího mikrofону, nastavit ji na úroveň podle Směrnice pro zkoušku a aplikovat po stanovenou dobu. Pokud se požadují, provést prohlídky a ověření funkčních charakteristik podle článku 8.5.4.2.
- Krok 6 Provést konečnou prohlídku.
- Krok 7 Vyjmout zkoušený předmět z komory.
- Krok 8 Vždy zaznamenat požadované údaje.

8.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku v průběhu aplikace akustických zkušebních stavů a po jejich aplikaci.

8.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) ISO 266, Akustika – Vyvolené kmitočty (Acoustics – Preferred Frequencies), Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization), 1997.
- b) IEST RP-DTE040.1, Akustické zkoušení vysoké intenzity (High-Intensity Acoustics Testing), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 2003.
- c) NASA-STD-7001, Kritéria pro vibračně-akustické zkušební zatížení (Payload Vibroacoustic Test Criteria), Národní agentura pro letectví a kosmonautiku (National Aeronautics and Space Agency), USA, 21. červen 1996.
- d) Piersol, Allan G., Vibrační a akustická zkušební kritéria pro upoutaný let vnějších nesených podvěsů (Vibration and Acoustic Test Criteria for Captive Flight of Externally Carried Stores), AFFDL-TR-71-158, prosinec 1971.

- e) Burkhard, Alan H., Akustická zkušební kritéria pro upoutaný let leteckých podvěsů (Captive Flight Acoustic Test Criteria for Aircraft Stores), Shock and Vibration Bulletin 43, Part 3, leden 1973.

PŘÍLOHY

AKUSTICKÝ ŠUM – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se používá jen tehdy, když v počátečních etapách programu nejsou ještě k dispozici naměřená data a tyto informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat naměřená data přímo na materiálu, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí ze specifických platforem a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

8.A.1 ZKOUŠENÍ ŠIROKOPÁSMOVÉHO NÁHODNÉHO A INCIDENČNÍHO ŠUMU

8.A.1.1 Celková úroveň akustického tlaku (OASPL)

Z provozních pracovních postupů pro materiál se mohou získat zkušební úrovně celkového akustického tlaku a doby trvání uvedené v tabulce 8.A.1. Hodnoty byly zpracovány podle hodnot uvedených v MIL-STD-810.

8.A.1.2 Zkušební spektrum

Aplikované zkušební spektrum spojené s těmito úrovněmi je uvedeno na obrázku 8.A.1. Zkušební spektrum se doporučuje dosáhnout, zatímco se zkušební parametry udržují v rámci tolerancí daných článkem 8.5.1.

8.A.1.3 Simulace aerodynamické turbulence

Kde se pro simulaci aerodynamických turbulencí požaduje zkouška širokopásmového šumu, úrovně zkoušení a jeho trvání se doporučuje odvodit v kombinaci s úrovněmi pro doplňkovou mechanickou zkoušku (viz Metoda 401, příloha 7A).

TABULKA 8.A.1 – Celkový akustický tlak – Úroveň a trvání zkoušky

Typická aplikace	Zkušební úroveň (OASPL) (dB)	Trvání (min)
Dopravní letadla, v místech vzdálenějších od výtoků trysky	130	30
Dopravní letadla, ve vnitřních šachtách pro materiál poblíž výtoků trysky	140	30
Vysokovýkonná letadla v místech vzdálenějších od výtoků trysky	140	30
Vysokovýkonná letadla, ve vnitřních šachtách pro materiál poblíž výtoků výfukových plynů	150	30
Střely vzduch-vzduch na letounech středního výkonu ($q < 57\,456$ Pa)	150	30
Střely vzduch-země na letounech středního výkonu ($q < 57\,456$ Pa)	150	15
Pozemní materiál v uzavřených oblastech při zkoušce motoru	150	30
Vysokovýkonná letadla ve vnitřních šachtách pro materiál v blízkosti trysky výtoků výfukových plynů mezipřihřívání, hlavní střelných zbraní nebo v předových kuželech	160	30
Letecká raketa, většina míst, ale kromě startovacího motoru nebo šachet motoru	160	8
Střely vzduch-vzduch na vysokovýkonných letadlech ($q < 86\,184$ Pa)	165	30
Střely vzduch-země na vysokovýkonných letadlech ($q < 86\,184$ Pa)	165	15
Startovací motory nebo šachty motorů leteckých raket	165	8
Pozemní materiál na odpalovacích zařízeních raket	165	8

Příloha 8A

(normativní)

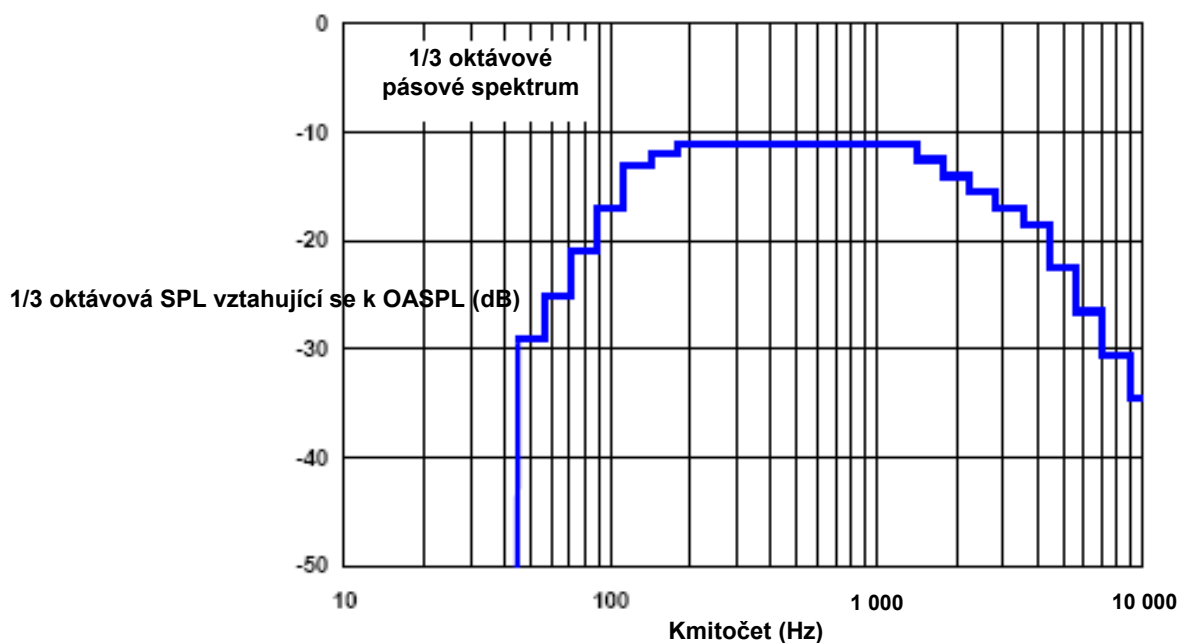
8.A.2 ZKOUŠENÍ REZONANCE DUTIN

8.A.2.1 Zkušební parametry

Pro zkoušení rezonance dutin se hladina akustického tlaku B_o , kmitočty f_N a doba trvání T buď vypočtou, nebo se převezmou z tabulky 8.A.2. Tabulka byla zpracována podle hodnot uvedených v MIL-STD-810.

TABULKA 8.A.2 – Podmínky zkoušení rezonance dutin

<p><u>Zkušební úroveň</u></p> $B_o = 20 \log(q) + 76,4 \text{ dB (ref } 20 \mu\text{Pa)}$ $f_N = \frac{6,13(N - 0,25) \left\{ 2,4 - \frac{M^2}{2} \right\}^{0,5}}{0,57(L)(C) + \left\{ 2,4 - \frac{M^2}{2} \right\}^{0,5}} \text{ Hz}$
<p><u>Definice</u></p> <p>B_o = hladina akustického tlaku (dB)</p> <p>f_N = rezonanční kmitočty pro n-tý režim (kde $n = 1, 2, 3, \dots$) až do 500 Hz (pokud je první režim $f_1 > 500$ Hz, použije se pouze tento režim)</p> <p>N = počet režimů</p> <p>C = rychlost zvuku ve výšce letu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)</p> <p>$L$ = délka nebo poloměr otvoru vystaveného toku vzduchu (m)</p> <p>M = Machovo číslo</p> <p>q = letový dynamický tlak při otevřené dutině (Pa)</p>
<p>POZNÁMKY</p> <p>1 Doba trvání zkoušky: $T = 1$ h pro každý rezonanční kmitočty.</p> <p>2 Druhou sadu rezonančních kmitočtů se doporučuje stanovit s použitím distančního parametru, L jako hloubka dutiny.</p>



OBRÁZEK 8.A.1 – Použité zkušební spektrum

Střední kmitočet třetinooktávového pásma (Hz)	Jmenovitá hladina akustického tlaku (dB)	Střední kmitočet třetinooktávového pásma (Hz)	Jmenovitá hladina akustického tlaku (dB)
50	-29,0	800	-11,0
63	-25,0	1 000	-11,0
80	-21,0	1 250	-11,0
100	-17,0	1 600	-12,5
125	-13,0	2 000	-14,0
160	-12,0	2 500	-15,5
200	-11,0	3 150	-17,0
250	-11,0	4 000	-18,5
315	-11,0	5 000	-22,5
400	-11,0	6 300	-26,5
500	-11,0	8 000	-30,5
630	-11,0	10 000	-34,5

POZNÁMKA

Celkové zkušební úrovně udává tabulka 8.A.1.

AKUSTICKÉ ZKOUŠKY – TECHNICKÝ NÁVOD

8.B.1 REZONANČNÍ KOMORY

Rezonanční komora je v podstatě kobka s pevnými, akusticky odrazivými stěnami. Jestliže se šum generuje v tomto prostoru, vícenásobné odrazy uvnitř hlavního objemu prostoru způsobují homogenní difúzní šumové pole, které se nastavuje. Homogenita tohoto pole je narušována třemi rozhodujícími vlivy:

- a) V nízkých kmitočtech jsou stálé režimy nastaveny mezi rovnoběžnými stěnami. Kmitočet, pod nímž tyto režimy nabývají na významu, má souvislost s rozměry komory. Malé komory o objemu menším než asi 100 m³ se obvykle konstruují tak, že plochy stěn nejsou rovnoběžné s žádnou jinou stěnou, aby se tento efekt zminimalizoval.
- b) Odrazy od stěn vyvolávají vyšší úrovně na povrchu. Proto se homogenní šumové pole aplikuje pouze v místech geometrického středu komory a zkoušené předměty by se neměly umísťovat blíže než asi 0,5 m od stěn.
- c) Velikost zkoušeného předmětu může zkreslit šumové pole, pokud je předmět ve vztahu k objemu komory velký. Obvykle se doporučuje, aby objem zkoušeného předmětu nepřekročil 10 % objemu komory.

Šum se běžně generuje modulátorem vzduchu a je do komory vnášen přes spojovací kužel. Konstrukce komory zajišťuje, aby se výtlač vzduchu z modulátoru vedl přes akustický tlumič za účelem zabránit přímému přenosu šumu o vysoké intenzitě do prostoru mimo zkušební komoru.

8.B.2 TRUBICE PRO POSTUPNÉ VLNĚNÍ

Kanál se souběžnými stranami obvykle tvoří pracovní část takového zařízení pro generování postupného šumu. Aby vyhovoval zkušebním požadavkům, může mít kruhový nebo pravouhlý průřez. Pro zkoušení desek může být vhodnější pravouhlý průřez, zatímco pro letadlové podvěsy může být výhodnější zkoušení v trubici o kruhovém průřezu.

Vzduchový modulátor připojený k jednomu konci pracovní části generuje šum do vhodného kuželu. Z opačného konce hladké trubice další kužel spojuje šum do absorpční koncovky. Maximální absorpce v celém provozním kmitočtovém pásmu se požaduje za účelem minimalizace vlivu stojatých vln v trubici. Šum pak postupuje dále trubicí a je aplikovaný s plochým úhlem dopadu po povrchu zkoušeného předmětu.

Zkoušený předmět samotný se může namontovat uvnitř zkušební trubice, v takovém případě se vlnění s plochým úhlem dopadu bude aplikovat na celý vnější povrch předmětu. Eventuálně se zkoušený předmět může namontovat na stěnu zkušební trubice, jestliže se šum bude aplikovat pouze na povrch směřující dovnitř trubice, např. na jednu stranu desky. Použití té, které metody bude záviset na zkoušeném předmětu a jeho provozním použití.

8.B.3 CHARAKTERISTIKA AKUSTICKÉHO ŠUMU

Vyzařovaný šum vysoké intenzity je vystaven deformaci následkem adiabatického ohřevu. Tedy následkem ohřevu v místech vysokého tlaku a ochlazení v místech „řidkých žlabů“ je lokální rychlost šíření těchto tlaků modifikovaná. To způsobuje hřebeny rychlejšího pohybu a žlaby pomalejšího pohybu, než je lokální rychlost šíření, takže v určité vzdálenosti od zdroje se sinusová vlna stane trojúhelníkovou s předním rázovým čelem.

Tento průběh impulsu obsahuje množství harmonických šumů, a proto jeho energetická kapacita narůstá ve vyšším kmitočtovém pásmu. Z toho je zřejmé, že v šumu o vysoké intenzitě není možné vytvořit čistý sinusový tón.

Ke stejnému efektu dochází u náhodného šumu o vysoké intenzitě, který obvykle vzniká kolem modulovaného proudění vzduchu s ventilem řízeným dynamickým aktuátorem. Ten může být ovládán elektrodynamicky nebo hydraulicky. Následkem rychlostních a akceleračních omezení aktuátoru není možné modulovat proudění vzduchu v kmitočtech vyšších než kolem 1 kHz. Akustická energie překračuje tento kmitočet (do 20 kHz nebo i více), proto výsledkem kombinace šumu z proudu studeného vzduchu a harmonického zkreslení je snížení frekvenční modulace.

8.B.4 STRATEGIE ŘÍZENÍ

Mikrofony se obvykle používají k monitorování a řízení zkušebních podmínek. Při zkoušení podvěsů a řízených střel se doporučuje pro řízení zkoušky použít nejméně tři mikrofony. Některé zkoušené předměty se mohou monitorovat efektivněji na základě jejich vibrační odezvy. V takovém případě se doporučuje držet se požadavků na monitorování, uvedených v Metodě 401.

Monitorovací systém by měl být schopen měřit náhodný šum s vrcholem s efektivní hodnotou až do 3,0. Tlakově kalibrované mikrofony používané v rezonančních komorách by se měly přepočítat na náhodný incidenční šum, zatímco mikrofony používané v trubicích pro postupné vlnění by se měly přepočítat na volné pole šumu s plochým úhlem dopadu, a obojí by měly mít lineární tlakovou odezvu. Pro řídicí účely se doporučuje provést opatření pro zprůměrování výstupů z mikrofonů pro zjištění prostorového průměrného šumu.

8.B.5 DEFINICE

Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku je logaritmický podíl akustických tlaků vyjádřený jako

$$L_p = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

kde

L_p = hladina akustického tlaku (dB);

I = naměřená intenzita ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);

I_0 = referenční intenzita = 10^{-12} ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);

P = naměřený tlak P_{RMS} (Pa);

P_0 = referenční tlak = $20 \cdot 10^{-6}$ (Pa).

Příloha 8B
(normativní)

Třetinooktávový filtr

Třetinooktávový filtr má poměr mezi horním a dolním kmitočtem propustného pásma $2^{1/3}$ čili přibližně 1,26. Účinná šířka pásma filtru mezi -3 dB body horního a dolního kmitočtu je přibližně 23 % ze středního kmitočtu. Vztah mezi středním kmitočtem filtru a horními nebo dolními -3 dB body filtru je uvedena dále. Standardní třetinooktávová kmitočtová pásma jsou stanovena Mezinárodní specifikací ISO 266, článek 8.7, odkaz a. Další definice významné pro náhodné vibrace a analýzu dat – viz Metoda 401.

Rovnice třetinooktávového filtru:

$$f_0 = \sqrt{(f_1 \times f_2)}$$

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt[3]{2}}$$

$$f_2 = f_1 \sqrt[3]{2}$$

$$\frac{(f_2 - f_1)}{f_0} \approx 0,23 \quad \text{přibližná rovnice}$$

kde

f_0 = střední kmitočet filtru (Hz);

f_1 = dolní -3 dB kmitočet filtru (Hz);

f_2 = horní -3 dB kmitočet filtru (Hz).

9 METODA 403 – RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ

OBSAH

9.1	ROZSAH PLATNOSTI	159
9.1.1	Účel	159
9.1.2	Použití	159
9.1.3	Omezení	162
9.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	162
9.2.1	Použití naměřených údajů	162
9.2.2	Posloupnost	163
9.2.3	Vlivy prostředí	163
9.2.4	Výběr zkušebních postupů	164
9.2.5	Přizpůsobení při dostupnosti naměřených údajů – všeobecná rozprava	168
9.2.6	Provoz materiálu	170
9.3	NÁROČNOSTI ZKOUŠKY	170
9.3.1	Všeobecná ustanovení	170
9.3.2	Stanovení úrovní a podmínek zkoušky	170
9.3.3	Zkušební osy a počet rázových situací – všeobecné úvahy	178
9.3.4	Zvláštní úvahy pro komplexní přechodové jevy	179
9.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	179
9.4.1	Povinné	180
9.4.2	Jsou-li požadované	180
9.4.3	Zkušební zařízení	180
9.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	180
9.5.1	Příprava zkoušky	181
9.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	184
9.5.3	Postupy	186
9.5.4	Tolerance a související charakteristiky	212
9.5.5	Řízení	214
9.5.6	Přerušování zkoušky	214
9.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK	215
9.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	216
9.7.1	Odkazy	216
9.7.2	Související dokumenty	217

Přílohy

Příloha 9A	CHARAKTERIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU A ZÁKLADNÍ ZPRACOVÁNÍ	220
Příloha 9B	POKYNY K DALŠÍMU OVĚŘENÍ A PROCESU ZPRACOVÁNÍ ČASOVÉHO PRŮBĚHU RÁZU	235
Příloha 9C	STATISTICKÁ A PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HLEDISKA PRO VYPRACOVÁNÍ MEZÍ PŘI ODHADECH PŘEDPOKLÁDANÝCH A ZPRACOVANÝCH ÚDAJŮ	245

9.1 ROZSAH PLATNOSTI

9.1.1 Účel

Rázové zkoušky se provádějí za účelem:

- a) Poskytnout jistotu, že materiál dokáže fyzicky a funkčně odolat rázům, se kterými se může setkat v prostředích manipulace, přepravy a provozu. To může zahrnovat posouzení celkové integrity systému materiálu pro účely bezpečnosti v kterémkoli nebo všech prostředích manipulace, přepravy a provozu.
- b) Určit úroveň křehkosti materiálu tak, aby sestavy balení, uložení nebo montáže mohly být navrženy tak, aby chránily fyzickou a funkční integritu materiálu.
- c) Přezkoušet pevnost upevňovacích zařízení, která připevňují materiál k platformám, které se mohou dostat do havarijní situace, a ověřit, že materiál sám o sobě nepředstavuje nebezpečí nebo že součásti materiálu nejsou během havárie katapultovány.

9.1.2 Použití

Tato metoda se používá k vyhodnocení fyzických a funkčních vlastností materiálu, který bude pravděpodobně v průběhu své životnosti vystaven mechanicky vyvolaným rázům. Takové prostředí mechanického rázu je obecně omezeno na kmitočtový rozsah nepřesahující 10 000 Hz a doba trvání nepřesahuje 1,0 sekundu. (Ve většině případů mechanického rázu nepřekročí významná frekvence odezvy materiálu 4 000 Hz a doba odezvy materiálu nepřesáhne 0,1 sekundy).

9.1.2.1 Všeobecné pojednání

Po zvolení této metody a příslušných postupů (na základě dokumentů o požadavcích na materiál a procesu přizpůsobení) je potřeba dokončit proces přizpůsobení určením vhodných úrovní parametrů, vhodných zkušebních podmínek a zkušebních metodik pro zvolené postupy. Tyto výběry musí vycházet z dokumentů s požadavky, profilu prostředí životního cyklu (LCEP) a informací poskytnutých v příslušném postupu. Mnoho laboratorních rázových zkoušek se provádí za standardních podmínek okolního prostředí, jak je uvedeno v AECTP-300, Metoda 300. Pokud se však simulované události životního cyklu vyskytují v podmínkách prostředí podstatně odlišných od standardních podmínek okolního prostředí, je potřeba zvážit použití těchto faktorů prostředí během rázových zkoušek. Jednotlivá pravidla pro klimatické zkoušky podle tohoto standardu zahrnují pokyny pro určování úrovní jiných zátěží prostředí. U teplotně podmíněných zkoušek prostředí (zejména zkoušek výbušných nebo energetických materiálů při vysokých teplotách) je potřeba zvážit znehodnocení materiálu v důsledku nadměrného vystavení vlivu prostředí, s cílem zajistit, aby vystavení vlivu prostředí v celkovém programu zkoušek nepřekročilo životnost materiálu (viz AECTP-300, Metoda 302). Při volbě zkušební úrovně, je potřeba zohlednit terminologii a model rázů a využít pojednání o naměřených údajích uvedených v několika následujících částech.

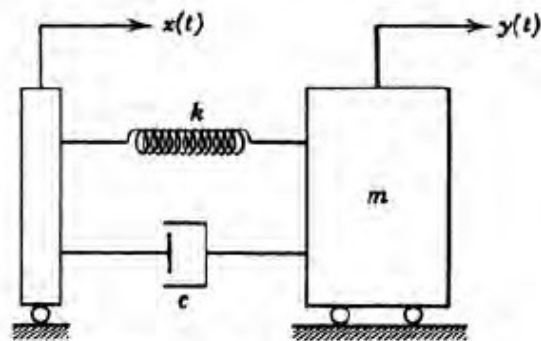
9.1.2.2 Terminologie

Většina základní terminologie související s rázovými zkouškami je řešena v následujících tematických blocích: (1) Model rázů, (2) Možnosti laboratorní rázové zkoušky včetně přizpůsobení, když jsou k dispozici naměřená data, (3) Popis

jednorázového případu rázu (zejména se zásadní otázkou o době trvání rázu s podrobnými dodatečnými informacemi uvedenými v příloze 9A), (4) Postupy pro jednorázový případ rázu s vícekanálovým zpracováním měření pro laboratorní zkoušky, (5) Odkaz na statistické a pravděpodobnostní souhrnné informace pro vícerázové případy v průběhu možných vícenásobných souvisejících měření, které jsou uvedeny v příloze 9C a (6) Odkazy na pokročilejší analytické metodiky pro popis vlastností prostředí rázu a jeho účinků na materiál. Informace v příloze 9C jsou zásadní pro zpracování naměřených údajů a vypracování specifikace zkoušek.

Modely rázů

Tento článek je nezbytný pro pochopení podstaty prostředí rázů působícího na materiál. Model rázů představuje materiál s rázovým vstupem, který je definován poměrně krátkou dobou trvání a středně silným impulzem. Doba trvání vstupu je obvykle mnohem kratší než doba základního kmitočtu instalovaného materiálu a amplituda vstupu je nad vrcholy extrémních úrovní odezvy vibrací materiálu. Obecně je impulzní vstup rozdělován přímo na povrch nebo na tělo materiálu nebo častěji na materiál prostřednictvím jeho úchyťů na hlavní konstrukci. Je obtížné přímo měřit takový impulz vzhledem na čas ve srovnání s velikostí. Když je impulz aplikován na materiál přes jeho montážní body na konstrukci, jednoduchý lineární systém s jednorázovým buzením, s jedním stupněm volnosti (SDOF) může sloužit jako model pro materiál při jediném rezonančním kmitočtu materiálu. Obrázek 9.1 zobrazuje takový systém s hmotou odpovídající hmotnosti materiálu a kombinovanou pružinou/tlumičem, představující způsob, kterým se předává impulz na materiál. Tento model se používá k definování spektra rázové odezvy (SRS) zmiňovaného v článku 9.1.2 a v příloze 9B. Obrázek 9.1 zobrazuje pohybové diferenciální rovnice druhého řádu, které zdůvodňují základní vstupní impulz specifikovaný jako posun/rychlost. Řešení může být z hlediska absolutního zrychlení pohybu hmoty nebo z hlediska relativního pohybu mezi základnou a hmotou materiálu. Pro předpokládané měření zrychlení základního vstupu je pohybová diferenciální rovnice druhého řádu „vyřešena“ filtrováním zrychlení rázů pomocí řady systémů SDOF založených na stálém algoritmu digitálního filtru (článek 9.7.1, odkaz i). SRS je poskytováno grafem přirozeného kmitočtu (netlumený přirozený kmitočet SDOF) vzhledem ke specifikované amplitudě odezvy hmoty a získá se jako výstup pásmových filtrů SDOF, když jako vstup slouží časový průběh zrychlení přechodového rázu na základnu. Zrychlení odezvy materiálu (obvykle měřeno v místě montáže materiálu nebo, méně upřednostňovaně, u dílčí součásti materiálu s potenciálem pro místní rezonanční odezvu) bude obecně proměnnou používanou při charakterizaci účinků rázů. To nevylučuje jiné proměnné odezvy materiálu, jako je rychlost, posun nebo deformace z použití a zpracování analogickým způsobem, pokud je interpretace proměnné měření jasná a konfigurace měření/kondicionování signálu je platná, např. měření provedená ve významném kmitočtovém rozsahu odezvy materiálu atd. Pokud se například základní vstupní rychlost získá z měření, všechny relativní a absolutní veličiny se transformují z hodnot na základě zrychlení základního vstupu (viz příloha 9B). Je možné stanovit, že namáhání uvnitř materiálu na konkrétním místě je úměrné rychlosti materiálu na stejném místě (článek 9.7.1, odkazy e, f). Pro model SDOF to znamená, že namáhání uvnitř materiálu je úměrné relativní rychlosti mezi základnou a hmotou, a nikoli absolutní rychlosti hmoty.



Pohybová diferenciální rovnice základního vstupního systému SDOF:
Pro základní vstupní souřadnici pohybu $x(t)$ a souřadnici absolutního pohybu hmoty $y(t)$

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = kx(t) + c\dot{x}(t)$$

kde pro

$$m\ddot{y}(t) + c[\dot{y}(t) - \dot{x}(t)] + k[y(t) - x(t)] = 0$$

s

$$F_m(t) + F_c(t) + F_k(t) = 0$$

pro

$$F_m(t) = \text{setrvačná síla hmoty „}m\text{“;}$$

$$F_c(t) = \text{viskózní tlumící síla vztahující se k viskóznímu tlumícímu koeficientu „}c\text{“;}$$

$$F_k(t) = \text{lineární síla pružiny vztahující se ke koeficientu lineární tuhosti pružiny „}k\text{“.}$$

Když

$$z(t) = y(t) - x(t)$$

pak

$$m\ddot{z}(t) + c\dot{z}(t) + kz(t) = -m\ddot{x}(t)$$

nebo

$$\ddot{z}(t) + (c/m)\dot{z}(t) + (k/m)z(t) = -\ddot{x}(t)$$

OBRÁZEK 9.1 – Model základního vstupního systému SDOF pro posouzení rázů

Příloha 9B pojednává podrobněji o modelování systémů SDOF a klade důraz na skutečnost, že materiál s mnoha rezonančními režimy lze často považovat

za řadu nezávislých systémů SDOF definovaných na rezonančních kmitočtech materiálu.

9.1.3 Omezení

Tato metoda nezahrnuje:

- a) Účinky rázů, které působí na materiál v důsledku iniciace pyrotechnického zařízení. Pro tento druh rázu platí ustanovení AECTP-400, Metoda 415, Výbuchový ráz.
- b) Účinky, které působí na materiál velmi vysokými lokalizovanými rázy, např. rázy balistických prostředků. Pro tento druh rázů platí ustanovení AECTP-400, Metoda 422, Balistický ráz.
- c) Účinky rázů, které působí na materiál vysokým rázem, který se vyskytuje na palubě lodi v důsledku provozu ve válečném stavu. Je třeba zvážit provedení rázových zkoušek pro materiál na palubě lodi v souladu s AECTP-400, Metoda 419 nebo MIL-DTL-901 (článek 9.7.1, odkaz c).
- d) Účinky způsobené systémy zapalovačů. Rázové zkoušky z hlediska bezpečnosti a činnosti zapalovačů a konstrukčních prvků zapalovačů se provádějí podle STANAG 4157, AOP-20 nebo MIL-STD-331 (článek 9.7.1, odkaz d).
- e) Účinky, které působí na materiál vystavený působení vysoké tlakové vlny, např. náraz tlakové vlny na povrch materiálu v důsledku odpálení zbraně. Pro tento druh rázu a následné odezvy materiálu platí ustanovení AECTP-400, Metody 405 a 423.
- f) Účinky rázů, kterým je vystaven velmi rozsáhlý materiál, např. systémy potrubních rozvodů budovy, ve kterých mohou různé části materiálu zaznamenat různé a nesouvisející případy rázů. Pro tento druh rázu je třeba navrhnout specializované zkoušky založené na analytických modelech a/nebo na údajích z experimentálních měření.
- g) Zvláštní opatření pro provádění kombinovaných zkoušek vlivu mechanického / klimatického prostředí (např. rázové zkoušky při vysokých nebo nízkých teplotách). Při nastavení a provádění kombinovaných zkoušek prostředí mohou být nápomocné návody, které se nacházejí v metodách klimatických zkoušek.
- h) Rázy sloučené s přechodovými vibracemi, které se lépe replikují podle metodiky Reprodukce časového průběhu tvaru vlny (TWR). Viz AECTP-400, Metoda 423.
- i) Opakující se rázy spojené s neuvázaným nákladem ve vozidlech pozemní přepravy, které lze nejlépe replikovat podle metodiky Volně ložený náklad. Viz AECTP-400, Metoda 406.

9.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

9.2.1 Použití naměřených údajů

Pro jakýkoli sestavený materiál existují v ideálním případě typická měření rázu v polních podmínkách, kterým může být materiál vystaven v průběhu své životnosti podle LCEP. Osm postupů v této metodě obecně popisuje situace v oblasti rázů, ke kterým může u materiálu dojít. Postupy přesahují tyto situace a navrhují výchozí výšky pádu, přechodové průběhy a/nebo výchozí SRS pro aplikaci laboratorního

rázu. Tyto „výchozí hodnoty“ mohou pocházet z údajů měření v polních podmínkách u některých obecných druhů materiálu v konkrétní sestavě, které byly shrnuty a zdokumentovány najednou, ale tato dokumentace nemusí existovat. Takový nedostatek dokumentace obchází tato metoda některými postupy, které jsou založeny na nejlepších dostupných informacích z laboratorních zkoušek, které jsou v současné době k dispozici. Skutečností je, že získání přesných údajů měření v polních podmínkách může být obtížné, nákladné, nebo je nelze včas získat. Avšak zkoušky vycházející v maximální možné míře z naměřených údajů, jsou doporučenou možností před použitím dostupných výchozích kritérií zkoušky.

POZNÁMKA

Pro konstrukci a vývoj materiálu je možnost přizpůsobení laboratorní rázové zkoušky informacím z měření v polních podmínkách lepší než kterýkoli ze zkušebních postupů v rámci této metody a měla by být první laboratorní zkouškou. To předpokládá, aby rozsah měřených údajů a rozsah údajů laboratorní zkoušky byl přísně slučitelný.

9.2.2 Posloupnost

- a) Všeobecná ustanovení. Jako obecný návod pro sled zkoušek se využívá předpokládaná posloupnost průběhu životního cyklu (viz AECTP-100).
- b) Konkrétní ustanovení pro tuto metodu. Pořadí mezi ostatními metodami bude záviset na druhu zkoušek, tj. vývojová, schvalovací, životnostní atd. a na obecné dostupnosti zkoušených předmětů pro zkoušku. Obvykle se rázové zkoušky plánují na začátku sledu zkoušek, ale po jakýchkoli vibračních zkouškách se posloupnost řídí následujícími dalšími pokyny:
 - (1) Pokud se prostředí s rázy považuje za zvláště náročné a možnosti na přežití materiálu bez poruchy konstrukce nebo funkce jsou malé, měla by být rázová zkouška první ve sledu zkoušek. To poskytuje příležitost upravit materiál tak, aby splňoval požadavky na ráz, před zkouškami v příznivějších prostředích.
 - (2) Pokud se prostředí rázů považuje za náročné, ale možnost na přežití materiálu bez poruchy konstrukce nebo funkce je dobrá, provede se rázová zkouška po vibračních a tepelných zkouškách, což umožní zatížit zkoušený předmět před rázovými zkouškami, aby se odhalily kombinované poruchy způsobené mechanickými a tepelnými vlivy.
 - (3) Použití rázových zkoušek před klimatickými zkouškami je často výhodné, pokud tato posloupnost představuje skutečné provozní podmínky. Zkušenosti ze zkoušek prokázaly, že závady choulostivé na klima se často projevují zřetelněji po použití v prostředích rázů. Vnitřní nebo vnější tepelná namáhání, která mohou trvale oslabit odolnost materiálu vůči vibracím a rázům, by však nemusely být odhaleny, pokud se rázové zkoušky provedou před klimatickými zkouškami.

9.2.3 Vlivy prostředí

Mechanický ráz má potenciál vyvolat nepříznivé účinky na fyzickou a funkční integritu všech materiálů. Obecně je možnost poškození funkcí amplitudy, rychlosti a trvání rázu. Rázy s kmitočtovým frekvenčním obsahem, které odpovídají přirozeným kmitočtům materiálu, zvýší nepříznivé účinky na celkovou fyzickou a funkční integritu materiálu. Odezva materiálu na prostředí mechanického rázu bude obecně vysoce oscilační, krátkého trvání a bude mít podstatnou počáteční dobu nárůstu s velkými

pozitivními a negativními vrcholy amplitud přibližně stejného řádu (pro ráz s vysokou rychlostí nárazu; například rázy s prúníkem, které mohou mít výrazně menší nebo žádné oscilační chování, s podstatnou oblastí pod křivkou odezvy na zrychlení). Vrcholové odezvy materiálu na mechanické rázy budou obecně pokryty klesající formou exponenciální funkce v čase. Obecně platí, že mechanický ráz aplikovaný na komplexní víceúčelový systém materiálu způsobí, že materiál reaguje na: (1) vnucené kmitočty přechodové povahy, působící na materiál z buzení vnějšího prostředí; (2) rezonanční přirozené kmitočty materiálu buď v průběhu, nebo po aplikaci buzení vnějšího prostředí. Taková odezva může způsobit:

- a) Poruchu materiálu v důsledku zvýšeného nebo sníženého tření mezi součástmi nebo v důsledku celkového vzájemného odírání.
- b) Změny dielektrického napětí materiálu, ztrátu izolačního odporu, změny magnetické a elektrostatické intenzity pole.
- c) Poruchu karty elektronických obvodů materiálu, poškození karty elektronických obvodů a porucha elektronických konektorů. (Znečišťující látky na kartě elektronických obvodů, které mohou někdy způsobit zkrat, se mohou uvolnit v důsledku reakce materiálu na ráz).
- d) Trvalou mechanickou deformaci materiálu v důsledku přetížení konstrukčních i nekonstrukčních prvků materiálu.
- e) Zborcení mechanických prvků materiálu v důsledku překročení konečné pevnosti součástky.
- f) Zrychlení únavy materiálů (nizkokycklová únava).
- g) Potenciální piezoelektrickou aktivitu materiálů.
- h) Poruchu materiálu v důsledku trhlin v lomových krystalech, keramice, epoxidech nebo skleněných obalech.

9.2.4 Výběr zkušebních postupů

Tabulka 9.1 shrnuje osm zkušebních postupů, na které se metoda vztahuje, s ohledem na použitelné sestavy a provozní stavy zkoušené jednotky.

TABULKA 9.1 – Postupy a uspořádání rázových zkoušek

Postup	Popis	Zabalený	Rozbalený	V provozu	Mimo provoz
I	Funkční ráz		X	X	
II	Přepravní ráz	X	X		X
III	Křehkost		X		X
IV	Přepravní pádová zkouška	X	X		X
V	Nebezpečný ráz při dopravní nehodě		X		
VI	Manipulace na montážní stoličce		X		X
VII	Náraz kyvadla	X			X

VIII	Katapultovaný start / Přistání se zachycením		X	X	X
------	---	--	---	---	---

9.2.4.1 Podmínky volby postupu

Na základě požadavků na údaje o zkoušce je potřeba určit, který zkušební postup, kombinace postupů nebo posloupnost postupů je vhodná. V mnoha případech se použije jeden nebo více postupů. Zvažují se veškerá prostředí rázů, která se předpokládají u materiálu v průběhu jeho životního cyklu, a to jak v logistickém, tak v provozním režimu. Při volbě postupů se zvažuje:

- Provozní účel materiálu. Z dokumentů s požadavky na zkoušku se určí činnosti nebo funkce, které má materiál provádět před, v průběhu a po působení prostředí rázů.
- Okolnosti přirozeného vystavení vlivům prostředí. Postupy I až VII vycházejí z jednotlivých situací s působením rázů, které jsou výsledkem změny hybnosti mezi materiálem nebo mezi nosnými konstrukcemi materiálu a jiným tělesem. Postup VIII (Katapultovaný start / Přistání se zachycením) obsahuje sled dvou rázů oddělených poměrně krátkou dobou přechodové vibrace pro katapultovaný start a jediný náraz pro přistání se zachycením.
- Požadované údaje. Údaje o zkoušce potřebné pro zdokumentování zkušebního prostředí a ověření funkčnosti materiálu před, v průběhu a po zkoušce.

9.2.4.2 Rozdíly mezi postupy

- Postup I – Funkční ráz.** Postup I je určen ke zkouškám materiálu (včetně mechanického, elektrického, hydraulického a elektronického) ve funkčním režimu a k posouzení fyzické integrity, kontinuity a funkčnosti materiálu při rázu. Obecně se vyžaduje, aby materiál fungoval v průběhu rázu a po něm, a aby odolal bez poškození působení těch rázů, které se mohou vyskytnout během činnosti v provozu.
- Postup II – Převravní ráz.** Postup II se používá k vyhodnocení odezvy předmětu nebo upevňovacího systému na prostředí při přepravě, které vytváří opakující se rázové zatížení. Postup používá klasický pilovitý, s vrcholy na konci, buď měřený, nebo syntetický tvar vlny rázu, která představuje část budicího rázu přepravní situace. Ráz může být opakujícím se případem s podobnou amplitudou nebo nepravidelná situace, která se mění v amplitudové a kmitočtové šířce pásma. Přeprava pozemních vozidel je běžným zdrojem přepravních rázů. Postup II není obdobou ani náhradou za postupy pro zkoušky v Metodě 401 nebo jiné postupy v Metodě 403 z publikace AECTP-400.
- Postup III – Křehkost.** Postup III se používá na začátku vývojového programu předmětu pro stanovení úrovně křehkosti materiálu, aby mohly být navrženy sestavy balení, uložení nebo montáže pro ochranu fyzické a funkční integrity materiálu. Tento postup se používá ke stanovení kritických rázových podmínek, při kterých existuje možnost konstrukční a/nebo provozní degradace systémů na základě systematického zvyšování vstupních hodnot rázů. Pro dosažení nejrealističtějších kritérií, se postup provádí při extrémních teplotách prostředí.

- d) **Postup IV – Přepravní pádová zkouška.** Postup IV je zkouška fyzickým pádem a je určena pro materiál buď mimo, nebo v jeho přepravní nebo kombinované schránce, nebo jako připravený pro použití v polních podmínkách (přepravovaný do bojové situace osobou, kamionem, železnicí atd.). Tento postup se používá k určení, zda materiál je schopen odolat rázům způsobeným obvykle nakládkou a vykládkou, pokud je: (1) mimo jeho přepravní nebo kombinovanou schránku, např. během rutinní údržby, když je vyjmut z regálu, umísťován do přepravní schránky atd., nebo (2) uvnitř přepravní nebo kombinované schránky. Takové rázy jsou náhodné, ale mohou narušit funkčnost materiálu. Tento postup není určen pro rázy, které se vyskytují v obvyklém logistickém prostředí, za jaké se považuje materiál uvnitř přepravních kontejnerů, které přepravují hromadný náklad (ISO, CONEX atd.), viz Postup II (Přepravní ráz) a Postup VII (Náraz kyvadla).
- e) **Postup V – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě.** Postup V je určen pro materiál namontovaný ve vzdušných prostředcích nebo v pozemních vozidlech, který by se mohl při nehodě uvolnit z úchytů, kotevních prostředků nebo ze sestavy kontejnerů a představovat tak nebezpečí pro cestující ve vozidle i kolemjdoucí. Účelem tohoto postupu je ověřit konstrukční integritu montáže, vázání nebo sestavy materiálu v kontejneru během simulovaných podmínek srážky. Tato zkouška se používá k ověření celkové konstrukční integrity materiálu, tj. součásti materiálu nejsou během nárazu uvolněny. Nebezpečí nárazu může být vyhodnoceno konstantním zrychlením (Metoda 404), pokud je nejnižší rezonance systému alespoň o jednu oktávu pod přechodovým (ohybovým) kmitočtem SRS, jak je uvedeno na obrázku 9.2 a v tabulce 9.3.
- f) **Postup VI – Manipulace na montážní stoličce.** Postup VI je určen pro materiál, se kterým se obvykle může manipulovat na montážní stoličce, při údržbě na montážní stoličce nebo při balení. Používá se k určení schopnosti materiálu odolat typickým úrovním rázů, ke kterým během takových prostředí dochází. Tento postup je vhodný pro materiál mimo jeho přepravní nebo kombinovanou schránku. K těmto rázům může dojít během opravy materiálu. Tento postup může zahrnovat zkoušky materiálu s výčnělkou, které lze snadno poškodit bez ohledu na velký ráz celého materiálu. Charakter takových zkoušek musí být určován případ od případu, přičemž se bere v úvahu uspořádání výčnělků materiálu a situace případů poškození během takových činností, jako je manipulace na montážní stoličce, při údržbě a balení.
- g) **Postup VII – Náraz kyvadla.** Postup VII je určen pro zkoušky schopnosti velkých přepravních kontejnerů odolávat vodorovným nárazům a ke stanovení schopnosti způsobů balení a obalů balení poskytovat ochranu obsahu při nárazu na kontejner. Účelem této zkoušky je simulace náhodných nárazů při manipulaci a používá se pouze u kontejnerů, které jsou choulostivé na náhodné koncové nárazy. Zkouška nárazem kyvadla je navržena speciálně pro velké a/nebo těžké přepravní kontejnery, u kterých je pravděpodobné, že s nimi bude manipulováno spíše mechanicky než ručně.
- h) **Postup VIII – Katapultovaný start / Přistání se zachycením.** Postup VIII je určen pro materiál namontovaný na/v letadle s pevnými křídly, které startuje pomocí katapultu a přistává pomocí zachycení. Pro spuštění katapultu může být materiál podroben kombinaci počátečního rázu, následovaného nízkou úrovní přechodové vibrace po určitou dobu, s kmitočtovými složkami v okolí

nejnižších kmitočtů montážní platformy a je zakončeno konečným rázem podle sledu akcí katapultu. Při přistání zachycením může materiál čelit počátečnímu rázu, po kterém následuje nízká úroveň přechodových vibrací po určitou dobu, které mají kmitočtové složky v blízkosti nejnižšího kmitočtu montážní platformy.

9.2.4.3 Možnosti provedení zkoušky

Tabulka 9.2 shrnuje možnosti osmi laboratorních zkušebních postupů. Možnosti jsou definovány následovně:

- a) „TWR“ (Reprodukce časového průběhu tvaru vlny) znamená, že měření časového průběhu se bude opakovat na laboratorním budiči s „minimální chybou časového průběhu amplitudy“ podle AECTP-400, Metoda 423, nebo použití speciálního balíčku softwaru pro opakování rázů.
- b) „Pád“ (shoz) je zřejmým projevem volného pádu.
- c) „Klasický impulz“ se týká klasických impulzů, které se mají použít při zkouškách, z nichž se počítá pouze klasický pilovitý impulz, s vrcholy na konci a lichoběžníkové impulzy definované jako výchozí. Tato kategorie se obvykle používá, když nejsou k dispozici vhodné informace o měření v polních podmínkách a spoléhá se na tradiční zkoušky.
- d) „SRS“ se vztahuje na případy, ve kterých se SRS používá pro specifikaci zkoušky, a ráz budiče je syntetizován na základě amplitudově modulovaných sinusových vln nebo tlumených sinusoid. Tato kategorie může být založena na ekvivalentu SRS klasického impulzu, aby se snížily nepříznivé účinky spojené s prováděním klasických rázových zkoušek na zdroji rázů, nebo může být definována na základě souboru údajů naměřených v polních podmínkách. Poznámky k aplikacím v příloze 9A, článek 9.A.1.3 jsou důležité pro definování vhodné doby trvání pro syntetizovaný impulz SRS.

Z tabulky 9.2 je zřejmé, že zkušební postupy jsou rozděleny podle použití TWR, postupů zkoušek pádem, klasických impulzů nebo syntetizovaných průběhů ze SRS. TWR je považována za nejrealističtější, protože je založena na přímém opakování údajů naměřených v polních podmínkách. Dodavatelé softwaru obecně začlenili možnost TWR do svého „rázového balíčku“, takže není nutné plánovat zkoušky pomocí specializovaného softwaru TWR, jak je uvedeno v Metodách 423 a 421, obě tyto metody však poskytují pohled na tolerance a odstupňování související s obecnější metodikou TWR.

TABULKA 9.2 – Možnosti laboratorní zkoušky

Postup		Metodika zkoušky					
		Pád ²	Klasický impulz			SRS	TWR
			Půl sinusový ¹	Lichoběžníkový	Pilovitý TP ⁶		
I	Funkční ráz		X		X	X	X
II	Přepravní ráz				X	X	X
III	Křehkost			X		X	
IV	Přepravní pádová zkouška	X					
V	Nebezpečný ráz při dopravní nehodě ³				X	X	X
VI	Manipulace na montážní stoličce	X					
VII	Náraz kyvadla ⁴	X					
VIII	Katapultovaný start / Přistání se zachycením ⁵						X

POZNÁMKY

- 1 Metoda 403 definuje zkušební postupy pro klasický průběh půlsinusového tvaru vlny, ale ne výchozí laboratorní náročnosti, s výjimkou vysokorychlostního plavidla (HSC).
- 2 Zkouška pádem zahrnuje vertikální věže s volným pádem, rázové stroje a další zkušební metody s podobným zařízením.
- 3 V některých případech může být nebezpečný ráz při dopravní nehodě vyhodnocen konstantním zrychlením, viz článek 9.2.4.2e.
- 4 Náraz kyvadla je zkoušený předmět s vodorovným pohybem, který narazí na stacionární bariéru.
- 5 Zkouška katapultovaný start / přistání se zachycením může být založena na naměřeném tvaru vlny nebo dvousekundové tlumené ($Q = 20$) dávkou sinusových impulzů požadované amplitudy a kmitočtu, viz zkušební postup.
- 6 Klasický pilovitý impulz s vrcholem na konci.

9.2.5 Přizpůsobení při dostupnosti naměřených údajů – všeobecná rozprava

Vzhledem k tomu, že přizpůsobení zkoušky podle údajů naměřených v polních podmínkách se považuje za vynikající způsob pro rázové zkoušení, jsou informace a pokyny v tomto a následujících odstavcích velmi důležité. Kromě klasického impulzu, jsou možné dva způsoby opakování rázů v laboratoři.

- a) První způsob používá změřený ráz a přizpůsobuje jej podmínkám, které řídí opakování tvaru vlny na laboratorním budiči. Kondicionování může spočívat v omezení šířky pásma pomocí filtrování dolní propustí, horní propustí nebo

pásmovou propustí a opakování vzorkování do formátu přenosného datového souboru, jako je ASCII. Balíčky těchto souborů na trhu mohou mít tuto aplikaci v „rázovém balíčku“ nebo ve zvláštním „TWR balíčku“.

- b) Druhý způsob používá změřený ráz, vypočítává odhad SRS a následně používá tento odhad SRS k syntéze typického odkazu na časovou oblast pomocí „vlnkové“ nebo tlumené sinusové syntézy. Aby se udržela přiměřená korelace mezi účinnými dobami trvání impulzu v polních podmínkách měření a laboratorně syntetizovanými signály, bude kromě zkušebního signálu SRS, který má být syntetizován, vyžadovat zkušební technik znalost základních časových charakteristik signálu/signálů časové oblasti, ze kterého/kterých se vypočítá srovnávací SRS. Více informací k tomuto tématu je uvedeno v příloze 9A, článek 9.A.1.3.

Souhrnně lze konstatovat, že pokud se využije přizpůsobení zkoušky, které vychází z dostupných údajů naměřených v polních podmínkách, jsou v zásadě k dispozici dvě možnosti laboratorní zkoušky (za předpokladu, že opakování laboratorního rázu je podle podmínek LCEP). V závislosti na podmínkách zkoušky, ve které byly údaje získány, a na zamýšleném použití pro údaje, je níže popsáno typické použití zkušebních metod TWR nebo SRS.

a) TWR.

- (1) Měření rázu je měření jediného rázu v polních podmínkách nebo měření vysoce opakovatelného vícenásobného rázu v polních podmínkách.
- (2) Komplexní rázy.
- (3) Přiměřené měření nebo schopnost předpovídat časové průběhy na příslušných místech, aby byly k dispozici odpovídající informace o montážních místech zkoušeného předmětu.
- (4) Příkladem takových měření jsou katapultované starty, přistání letadel a zatížení při střelbě děl.

POZNÁMKA

Šířka pásma měřeného rázu a způsobilost laboratorního budicího systému „opakovat šířku pásma“ je v rámci TWR důležitým faktorem. Časové průběhy vstupů TWR mohou být pásmově omezeny, ale odezva materiálu může mít v důsledku montáže větší šířku pásma. Tato oblast nebyla dosud prostudována a může být funkcí materiálu a jeho montáže. Šířky pásma časového průběhu, které přesahují šířku pásma laboratorního budiče, představují značné omezení pro použití TWR k laboratorním zkouškám.

b) SRS.

- (1) Měření jednoho nebo více rázů, pokud hodnoty SRS odpovídají statistickému rozdělení. Musí být provedeno potvrzení statistického trendu.
- (2) Umístění snímačů (senzorů) je řídké vzhledem k oblasti, v níž má být charakterizováno.
- (3) Je známo, že rázové zatížení má statisticky vysoký rozptyl.
- (4) Příkladem výhodnosti SRS by byl ráz přiřazený ke korbě pozemního vozidla jako funkce více terénů.

Modelování je pro konzervativnost špatně definované, ale může být použito podle uvážení školeného analytika.

POZNÁMKA

Syntéza SRS vyžaduje nejen odhad SRS, ale i (1) obecnou amplitudovou korelaci s impulzem měřeným v polních podmínkách nebo předpokládaným impulzem, a (2) odhad doby trvání impulsu měřeného v polních podmínkách nebo předpokládaného impulsu. Obecně je syntéza použitelná pouze pro „jednoduché rázy“ (viz příloha 9A, článek 9.A.1.2) s vysokokmitočtovými informacemi velmi blízkými špičkové amplitudě tj. pro rázy, jejichž efektivní délka je krátká. Podle povahy složení syntetizovaného rázu (tj. tlumených sinusoid nebo „vlnek“) je možné nepřiměřeně prodloužit trvání časového průběhu, který odpovídá danému SRS, na dobu neurčitou. Je třeba rovněž upozornit, že pokud jsou k dispozici údaje o měření, mohou být některé rázy, zejména „komplexní rázy“ (viz příloha 9A), přiměřeně použity pouze v rámci TWR.

9.2.6 Provoz materiálu

Je nezbytné se ujistit, že zkoušené předměty jsou v průběhu rázových zkoušek v činnosti a ve funkčním stavu, kdykoli je to vhodné. Monitoruje a zaznamenává se dosažená výkonnost. Je potřeba získat co nejvíce údajů, které definují citlivost materiálu na mechanické rázy. Tam, kde se provádějí zkoušky k určení provozní způsobilosti při vystavení vlivu prostředí, přezkouší se funkce zkoušeného předmětu. V ostatních případech se přezkoušení funkce zkoušeného předmětu provede pouze tam, kde je to vhodné. Provoz během přepravy nebude možný téměř ve všech případech. Existují rovněž případy, kdy se provozní sestava mění v závislosti na fázi plnění úkolu, nebo kde se nemusí vyžadovat provoz při vysokých úrovních rázů a je pravděpodobné, že může mít za následek poškození.

9.3 NÁROČNOSTI ZKOUŠKY

9.3.1 Všeobecná ustanovení

Podrobný rozbor charakteristik měřicího systému a základní rozpracování s ohledem na mechanický ráz je uveden v příloze 9A této metody.

9.3.2 Stanovení úrovní a podmínek zkoušky

Při definování úrovní a podmínek rázových zkoušek je potřeba učinit jakýkoli pokus o získání naměřených údajů za podmínek podobných podmínkám profilu prostředí životního cyklu. Je nezbytné zvážit následující uspořádání provedení zkoušky – od nejžádanější až po nejméně žádoucí:

- a) TWR: Souhrn naměřených časových průběhů a laboratorní budicí ráz vytvořený přímým opakováním jednoho nebo více vybraných časových průběhů řízený budicím tvarem vlny (viz Metoda 423).
- b) SRS na základě naměřených údajů: Měřené časové průběhy shrnuté ve formě SRS a laboratorní budicí ráz syntetizovaný pomocí komplexního přechodového jevu, který zajistí, že efektivní doby trvání rázů (T_e a T_E) pro zkušební impuls jsou v souladu s naměřenými údaji a charakter syntetizovaného tvaru vlny je „podobný“ měřeným časovým průběhům, s ohledem na amplitudové a nulové přechody (viz článek 9.3.2.1).
- c) SRS při nedostupnosti naměřených údajů: Nejsou k dispozici žádné naměřené časové průběhy, ale jsou k dispozici předchozí odhady SRS a laboratorní budicí ráz syntetizovaný pomocí komplexního přechodového jevu, takže efektivní doby trvání rázu (T_e a T_E) jsou stanoveny s přihlédnutím k povaze

prostředí a charakteristikám přirozené kmitočtové odezvy materiálu (viz článek 9.3.2.2).

- d) Rázový impulz s klasickým průběhem: Nejsou naměřené časové průběhy, ale jsou k dispozici popisy rázového klasického impulzu pro použití při opakování laboratorního budicího rázu (viz článek 9.3.2.3).

9.3.2.1 SRS na základě naměřených údajů

Pokud jsou k dispozici naměřené údaje, SRS požadované pro zkoušku se stanoví z analytických výpočtů. T_e a T_E požadované pro zkoušku budou stanoveny na základě statistického zpracování měření časového průběhu prostředí materiálu (viz příloha 9A, článek 9.A.1.3). Není-li uvedeno jinak, bude analýza SRS prováděna na vázaném časovém průběhu AC pro $Q = 10$, v posloupnosti přirozených kmitočtů rozložených na 1/12 oktávy nebo méně, aby se překlenula minimální šířka pásma 5 až 2 000 Hz.

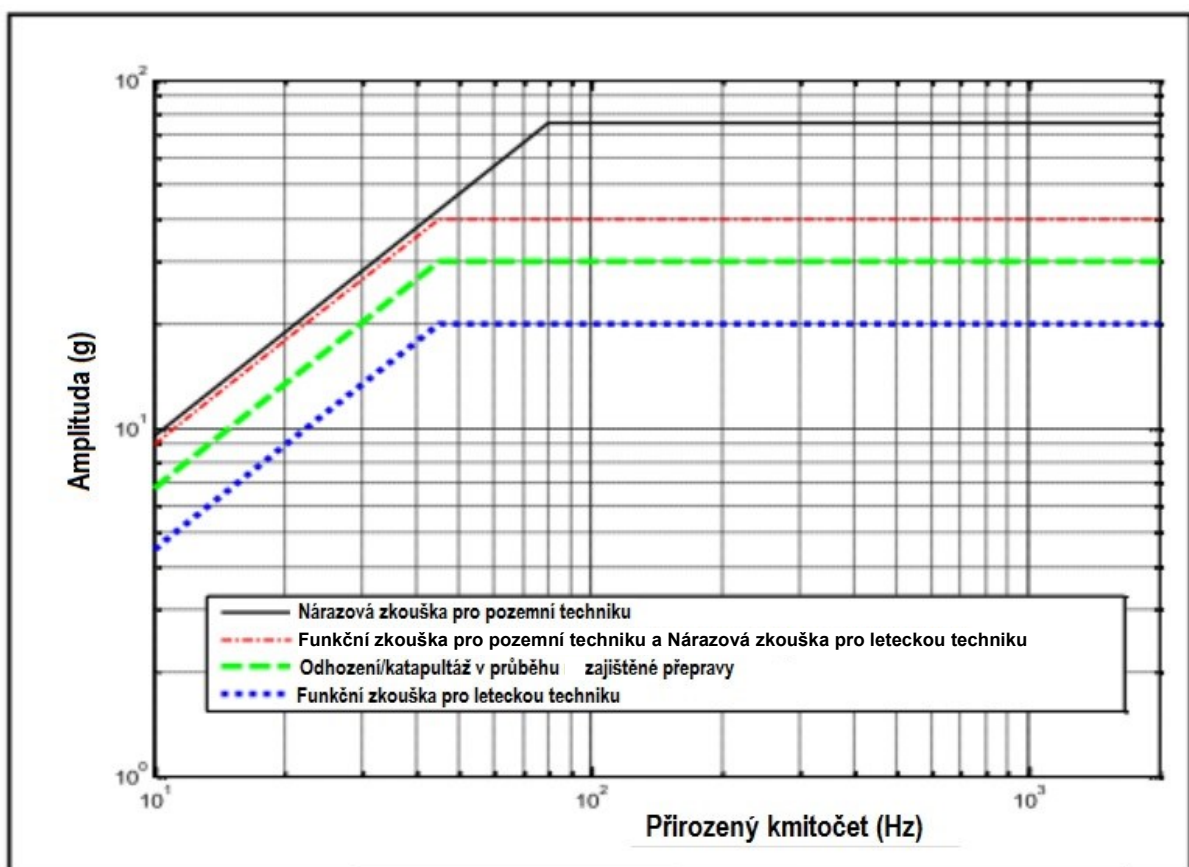
- a) Je-li k dispozici dostatečný počet typických rázových spekter, použije se k určení požadovaného zkušebního spektra se statistickým základem příslušný postup statistických obálek (viz příloha C této metody).
- b) Pokud jsou pro statistickou analýzu k dispozici nedostatečné naměřené časové průběhy (pouze jeden nebo dva časové průběhy podobného charakteru), použije se ke stanovení požadovaného zkušebního spektra zvýšení nad maximum dostupných SRS spekter (pokud jsou k dispozici dvě spektra, určí se maximální obálka podle postupu ENV v příloze 9C). Výsledná spektra by měla odpovídat stochastické proměnlivosti v prostředí a nejistotě v použitých prediktivních metodách. Míra nárůstu v průběhu měřených časových průběhů je založena na technickém posouzení a měla by být podepřena odůvodněním. V těchto případech je často vhodné přidat k obálkovému SRS meze 3 dB nebo 6 dB, v závislosti na požadovaném stupni konzervatismu na zkušební úrovni (viz příloha 9C, článek 9.C.4.2). Efektivní doby trvání T_e a T_E pro zkoušku by se měly brát jako odpovídající maxima vypočtená z každého z naměřených časových průběhů.

9.3.2.2 SRS při nedostupnosti naměřených údajů

Pokud naměřená data nejsou k dispozici, lze SRS a odpovídající hodnoty T_e a T_E odvodit z: (1) pečlivě odstupňovaného měření dynamicky podobného prostředí, (2) konstrukční analýzy nebo jiných predikčních metod, nebo (3) z kombinace zdrojů. Pro Postup I (Funkční ráz) a Postup V (Nebezpečný ráz při dopravní nehodě) se použije využitelné spektrum SRS z obrázku 9.2, jako zkušební spektrum pro každou osu, za předpokladu, že T_e a T_E z časového průběhu rázu je v souladu s doprovodnou tabulkou 9.3. Toto spektrum se blíží spektru dokonalého pilového impulzu s koncovými špičkami. Obecné pokyny pro výběr přechodového kmitočtu F_{co} pro jakýkoli klasický impulz znamená definovat jej jako nejnižší kmitočet, při kterém odpovídající velikost SRS dosáhne konvergenční velikosti (konstantní velikost dosažená ve vysokofrekvenční části SRS) pro požadovaný poměr tlumení. Jakmile je F_{co} definován, je účinná doba uvažovaná v komplexní syntéze impulzů definována jako $T_E \leq 2/F_{co}$. Pro přizpůsobení šířky pásma SRS a odpovídajících hodnot T_e a T_E platí články 9.5.4.2c a 9.5.4.2d, je-li třeba.

Doporučuje se, aby zkouška byla provedena s tvarem vlny, který je syntetizován buď (1) ze superponovaných tlumených sinusoid s vybranými vlastnostmi při určených kmitočtech, nebo (2) ze superponovaných různých amplitudově modulovaných

sinusových vln s vybranými vlastnostmi při určených kmitočtech, takže tento tvar vlny má SRS, které se blíží SRS na obrázku 9.2. Ve skutečnosti je vhodný jakýkoli celkový zkušební přechod s hlavní energií v počáteční části časového průběhu, pokud je v rámci tolerance tohoto spektrálního požadavku v minimálním kmitočtovém rozsahu 10 až 2 000 Hz a splňuje požadavky na dobu trvání. Nejméně přípustnými zkušebními možnostmi jsou provedení klasického pilového impulzu s vrcholem na konci nebo lichoběžníkového impulzu na budiči vibrací (viz článek 9.3.2.3.). V případě, že je jako srovnávací kritérium uveden klasický impulz, je přípustné syntetizovat komplexní impulz na základě charakteristik SRS srovnávacího klasického impulzu. V takových případech by T_e a T_E měly být definovány jako v tabulce 9.3.



OBRÁZEK 9.2 – Zkouška SRS, která se používá, když naměřené údaje nejsou k dispozici (pro Postup I – Funkční ráz a Postup V – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě)

TABULKA 9.3 – Zkušební spektrum rázové odezvy, které se používá, když nejsou k dispozici naměřená data

Kategorie zkoušky	Špičkové zrychlení (G-Pk)	T_e (ms) ¹	T_E (ms) ¹	Přechodový kmitočet F_{CO} (Hz)
Funkční zkouška pro leteckou techniku	20	$\frac{2,5}{f_{min}}$	$\frac{2}{F_{CO}}$	45
Funkční zkouška pro pozemní techniku ²	40	$\frac{2,5}{f_{min}}$	$\frac{2}{F_{CO}}$	45
Odhození/Katapultáž během zajištěné přepravy	30	$\frac{2,5}{f_{min}}$	$\frac{2}{F_{CO}}$	45
Nebezpečný ráz při dopravní nehodě pro leteckou techniku	40	$\frac{2,5}{f_{min}}$	$\frac{2}{F_{CO}}$	45
Nebezpečný ráz při dopravní nehodě pro pozemní techniku	75	$\frac{2,5}{f_{min}}$	$\frac{2}{F_{CO}}$	80

POZNÁMKY

1 Výchozí hodnota pro f_{min} je 10 Hz, jak je znázorněno na obrázku 9.2. Informace o přizpůsobení šířky pásma SRS a odpovídajících hodnot T_e a T_E viz pokyny v člancích 9.5.4.2c a 9.5.4.2d.

2 Pro materiál instalovaný pouze do nákladních vozidel a návěsů se používá špičková hodnota 20 G.

9.3.2.3 Klasický rázový impulz

Klasické rázové impulzy (např. půlsinusový, pilovitý s vrcholem na konci nebo lichoběžníkový) mohou být definovány (1) měřením časového průběhu prostředí materiálu, (2) z pečlivě odstupňovaného měření dynamicky podobného prostředí, (3) z konstrukční analýzy nebo jiné predikční metody nebo (4) z kombinace zdrojů. Pilovitý impulz s koncovým vrcholem je často zmiňován v důsledku relativně plochých spektrálních charakteristik v oblasti SRS, jak je uvedeno na obrázku 9.2. V případě, že a priori informace týkající se doby náběhu přechodové situace jsou považovány za kritický parametr, je potřeba zvážit půlsinusový nebo lichoběžníkový impulz s přizpůsobenou stoupající hranou místo pilovitého impulzu s vrcholem na konci. Náhrada rázového impulzu (např. půlsinusový namísto pilovitého s vrcholem na konci) vyžaduje úpravu amplitudy tak, aby změna rychlosti rázového impulzu byla ekvivalentní s původní specifikací. Výsledné nadlimitní nebo podlimitní zkoušení s ohledem na rozdíl v SRS, musí být posouzeno, zdokumentováno a schváleno příslušnou zkušební autoritou. Pokud je klasický rázový impulz definován namísto celkových naměřených údajů časového průběhu, musí být prokázáno, že odhady SRS klasického rázového impulzu jsou v rámci tolerancí stanovených pro odhady SRS naměřených údajů časového průběhu. Ve většině případů budou klasické rázové impulzy definovány jako jeden z následujících:

- a) Pilovitý impulz s vrcholem na konci: Pilovitý impulz s vrcholem na konci spolu s jeho parametry a tolerancemi jsou uvedeny na obrázku 9.3 a jedná se o jiné možnosti pro zkoušky v Postupu I – Funkční ráz, Postupu II – Přepravní ráz a Postupu V – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě. Výchozí zkušební parametry pilovitého impulzu s vrcholem na konci pro Postupy I a V jsou uvedeny v tabulce 9.4 a pro Postup II v tabulce 9.6.
- b) Lichoběžníkový rázový impulz: Lichoběžníkový impulz spolu s jeho parametry a tolerancemi je uveden na obrázku 9.4. Lichoběžníkový impulz je určen pro Postup III – Křehkost. Parametry lichoběžníkového impulzu jsou uvedeny v tabulce 9.5.
- c) Půlsinusový rázový impulz: Půlsinusový rázový impulz spolu s jeho parametry a tolerancemi je uveden na obrázku 9.5. Půlsinusový rázový impulz je specifikován v rámci této metody jako srovnávací kritérium v omezených situacích. S výjimkou funkčního rázu vysokorychlostního plavidla (HSC) tato zkušební metoda nedefinuje náročnosti zkoušky s půlsinusovým impulzem, použití tvaru vlny je však běžné pro korelaci s analytickými modely a historickými údaji. Rovněž se uznává, že takové impulzy jsou běžně vyvolávány jako požadavky na zkoušky jinými souvisejícími dokumenty. Kromě toho, jak je uvedeno v článku 9.3.2.3.1, půlsinusový impulz se často používá místo jiných klasických impulzů na základě dostupnosti zařízení nebo omezení.

TABULKA 9.4 – Výchozí zkušební parametry pilovitého impulzu s vrcholem na konci pro Postup I – Funkční zkouška a Postup V – Riziko srážky (viz obrázek 9.3)

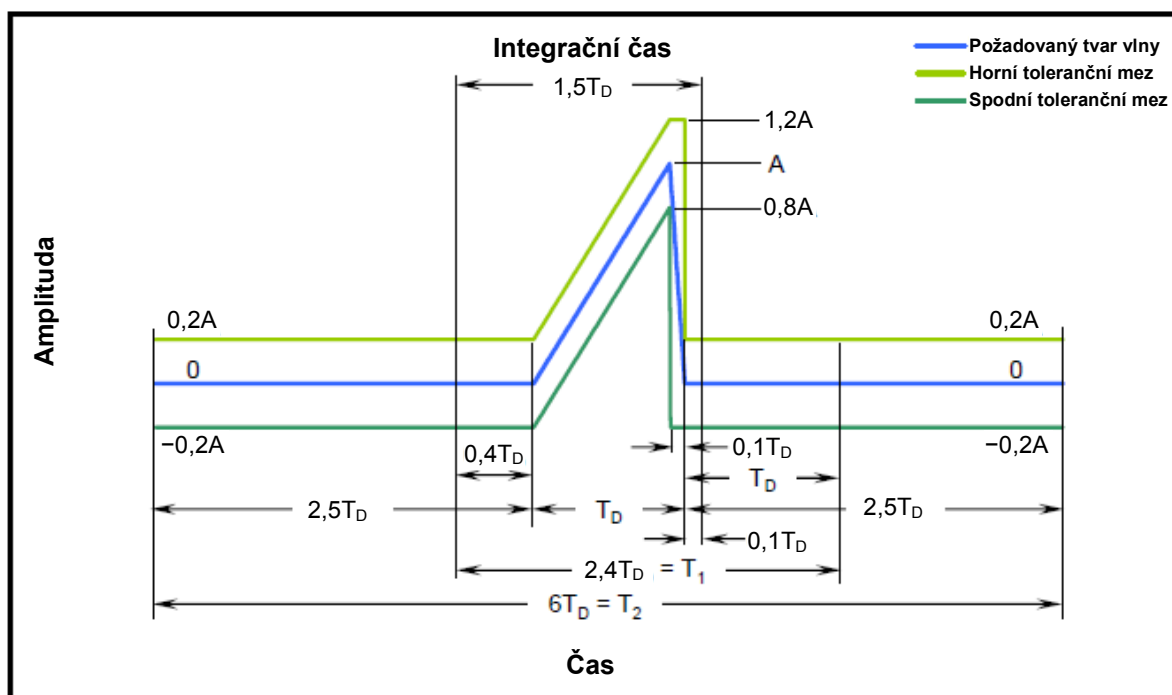
Zkouška	Minimální špičková hodnota A_m (G-Pk) a doba trvání impulzu T_d (ms)					
	Materiál leteckých prostředků		Katapultáž ^{1,2} zbraně během zajištěné přepravy		Pozemní materiál ^{1,3}	
Postup I – Funkční zkouška	20 G	11 ms	30 G	11 ms	40 G (pozn. 2)	11 ms
Postup V – Riziko srážky	40 G	11 ms	(nevyužito)		75 G	6 ms

POZNÁMKY

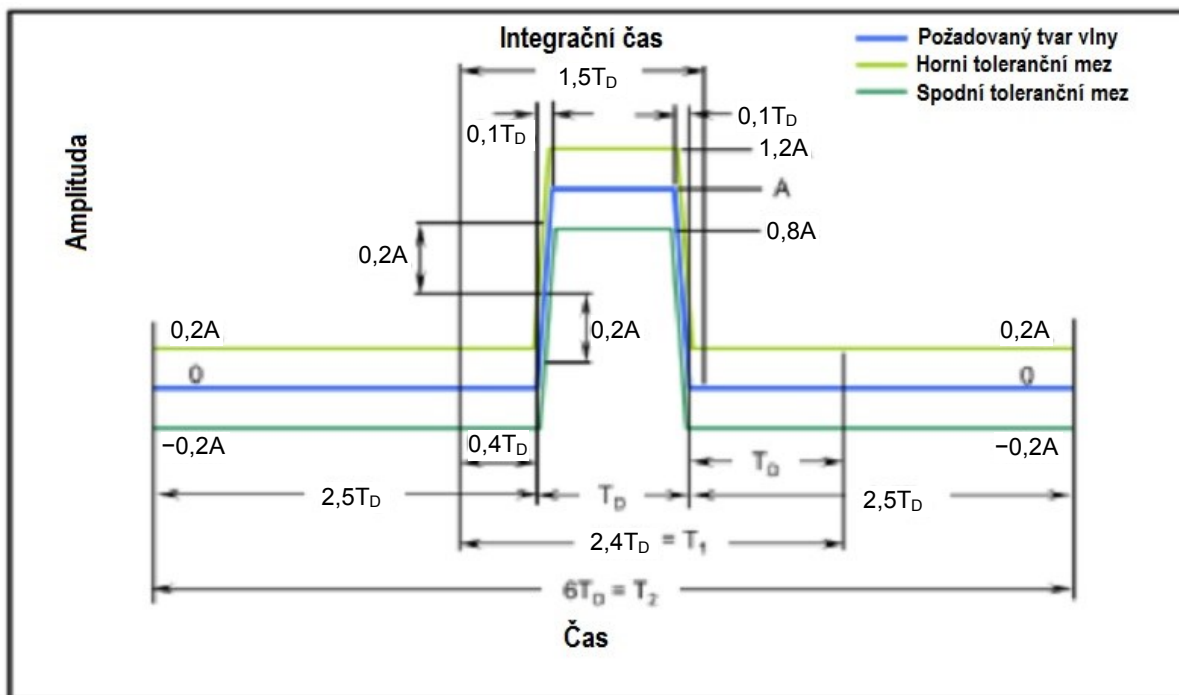
- 1 U materiálu, který je namontován pro rázovou zkoušku nebo který váží více než 136 kg, se může využít 11 ms půlsinusový impulz s takovou amplitudou, která poskytuje ekvivalentní rychlost jako výchozí pilovitý impulz s vrcholem na konci. Vztah mezi amplitudami poskytující ekvivalentní rychlost: $A_m(\text{půlsinusový}) = (\pi/4) A_m(\text{pilovitý})$.
- 2 Startovací ráz je zvláštní případ funkčního rázu (viz článek 9.7.1, odkaz k).
- 3 U materiálu montovaného pouze do nákladních vozidel a návěsů se použije špičková hodnota 20 G.

TABULKA 9.5 – Parametry lichoběžníkového impulsu (viz obrázek 9.4)

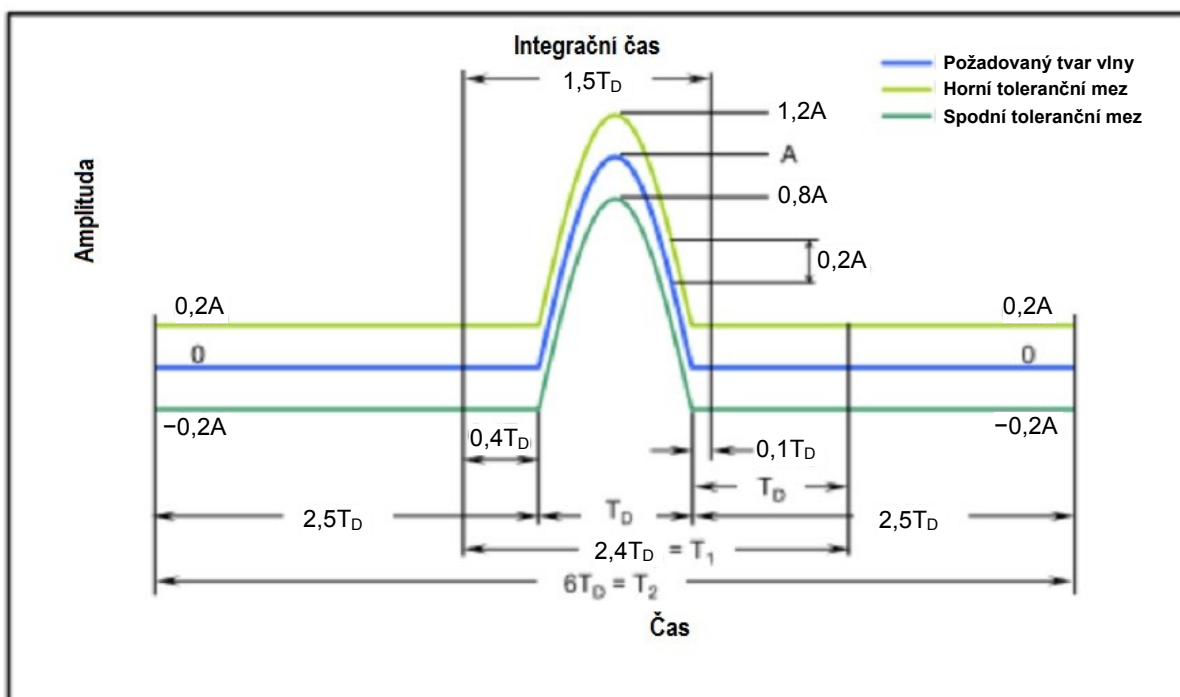
Zkouška	Špičková hodnota ¹ A_m (G)	Nominální doba trvání ² (T_D) (s)
Křehkost (lomivost)	10 – 50	$T_D = \frac{2\sqrt{2gh}}{A_m g} = \frac{2\sqrt{2h/g}}{A_m}$
POZNÁMKY 1 A_m závisí na výšce pádu „ h “. K dispozici je typický rozsah (viz článek 9.5.3.3). 2 „ h “ je v jednotkách soustavy SI (m) a $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.		



OBRÁZEK 9.3 – Uspořádání pilovitého rázového impulsu s vrcholem na konci a jeho toleranční meze (používá se, když není k dispozici možnost analýzy spektra rázové odezvy při provádění Postupů I, II a V)



OBRÁZEK 9.4 – Uspořádání lichoběžníkového rázového impulsu a toleranční meze (používá se, když není k dispozici možnost analýzy spektra rázové odezvy v Postupu III)



OBRÁZEK 9.5 – Uspořádání pulsusinového rázového impulsu a toleranční meze (používá se, jsou-li srovnávací kritéria poskytována jako klasický pulsusinový impuls)

Legenda k obrázkům 9.3 až 9.5:

T_D = doba trvání nominálního impulzu (tolerance T_D je $\pm 10\%$).

A = špičkové zrychlení nominálního impulzu.

T_1 = minimální doba, po kterou musí být monitorovány rázy impulzu vyvolané konvenčním přístrojem na mechanické rázy.

T_2 = minimální doba, po kterou musí být monitorovány rázy impulzu vyvolané vibračním budičem.

Doba trvání spojená se sklonem na konci pilovitého impulzu s vrcholem na konci, a doba trvání související s lichoběžníkovým impulzem před a po sklonu, by měla být menší než 10 % doby T_D .

Tolerance rychlosti v důsledku kombinovaných účinků jakýchkoli odchylek amplitudy a/nebo odchylek doby trvání od nominálního impulzu je omezena na $\pm 20\%$ nominální rychlosti impulzu.

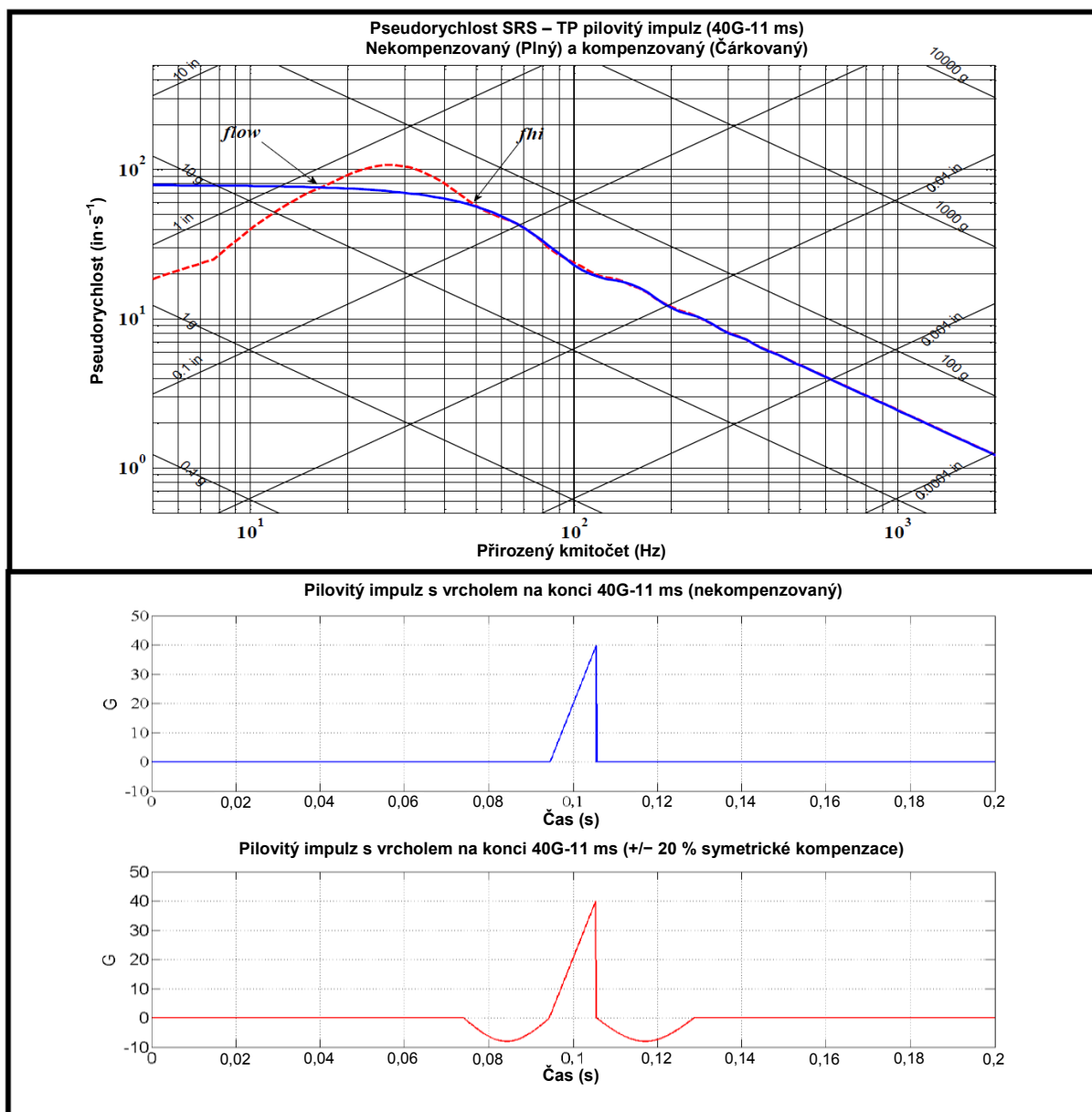
9.3.2.3.1 Klasické rázové impulzy (stroj s mechanickým rázem)

Je známo, že řízení pilovitého impulzu s vrcholem na konci nebo lichoběžníkového impulzu na stroji s mechanickým rázem vyžaduje použití speciálních modulovacích programů (např. olověný a plynový) a vyžaduje vyšší rázovou rychlost než ekvivalentní pulsusové rázy, protože pulsusový impulz obsahuje významnou odrazovou rychlost, která není charakteristická pro pilovitý impulz s vrcholem na konci. Modulační nebo vysokorychlostní rázové stroje nejsou k dispozici ve všech laboratořích. V takových případech může být nutné uchýlit se k použití snadněji dostupných modulátorů používaných při řízení pulsusových rázových impulzů. Je-li nezbytné nahrazení rázových impulzů, postupuje se podle pokynů pro ekvivalentní rychlost v článku 9.3.2.3.

9.3.2.3.2 Klasické rázové impulzy (vibrační budič)

Pokud se má pro provedení zkoušky s klasickým rázovým impulzem využít vibrační budič, bude nutné optimalizovat srovnávací impulz tak, aby čistá rychlost a posuny byly nulové. Bohužel, potřeba kompenzace srovnávacího impulzu zkresluje časové a spektrální charakteristiky, což má za následek dva specifické problémy, které budou ilustrovány na příkladu s použitím pilovitého impulzu s vrcholem na konci (stejný argument je relevantní pro jakoukoli klasickou zkoušku impulzů, která má být provedena na vibračním budiči). Za prvé, kompenzace před a/nebo po impulzu bude omezena o 20 procent tolerance na obrázcích 9.3 až 9.5. Za druhé, jak je znázorněno pseudorychlostním SRS na obrázku 9.6, amplituda rychlostí v nízkokmitočtovém SRS bude výrazně snížena. Obecně existuje rovněž oblast se zvýšenou amplitudou spojenou s dobou kompenzace před a po zkoušce. Je potřeba upozornit na to, že nízký kmitočet konce poklesu v úrovních SRS mezi kompenzovaným a nekompenzovaným impulzem, je snadno identifikovatelný a označený f_{low} . Rovněž kmitočet, od kterého kompenzované a nekompenzované impulzy konvergují, je snadno identifikovatelný a označený f_{hi} . Konec poklesu při kmitočtu f_{low} je považován za přijatelný tehdy a jen tehdy, je-li nejnižší rezonanční kmitočet zkoušeného předmětu f_1 alespoň o jednu oktávu větší než f_{low} . Výše nárůstu v oblasti $f_{low} \leq f \leq f_{hi}$ přímo souvisí s dobou trvání a velikostí kompenzačního impulzu a procentem kritického tlumení použitého při výpočtu SRS ($Q = 10$ na obrázku 9.6).

Před pokračováním se musí rovněž pečlivě zvážit možnost nadlimitního zkoušení v tomto spektrálním pásmu.



OBRÁZEK 9.6 – Zobrazení časového a spektrálního zkreslení spojeného s kompenzovaným klasickým pilovitým impulzem s vrcholem na konci

9.3.3 Zkušební osy a počet rázových situací – všeobecné úvahy

Obecně by měly být laboratorní zkušební osy a počet vystavení rázovým situacím stanoveny na základě LCEP. Jako minimální požadavek je však potřeba vystavit zkoušený předmět dostatečnému počtu vhodných rázů, aby vyhověl stanoveným zkušebními podmínkám v obou směrech podél každé ze tří ortogonálních os. Vhodný zkušební ráz pro každý směr každé osy je definován jako jeden klasický rázový impulz nebo komplexní přechodový impulz, který poskytuje spektrum odezvy, které je v rámci tolerancí požadovaného zkušební spektra ve specifikovaném frekvenčním

rozsahu a má efektivní dobu trvání v rámci tolerance T_E , jak je definováno v článku 9.5.4.2. Obecně budou komplexní přechodové impulzy generované moderními řídicími systémy symetrické a maximax pozitivní a negativní úrovně SRS budou stejné. To však musí být ověřeno pro každou rázovou situaci výpočtem spektra pro pozitivní a negativní maximum (tj. maximální a minimální) zrychlení, obecně při $Q = 10$, a při nejméně 1/12oktákových kmitočtových intervalech. Pokud požadované zkušební spektrum může být dostatečně současně v obou směrech podél osy (tj. symetrický impuls), jedna rázová situace uspokojí jediný rázový požadavek pro tuto osu v obou směrech. Pokud požadavek lze uspokojit pouze v jednom směru (např. při zohlednění polarit u klasických rázových vstupů, nesymetrických komplexních přechodových impulsů), je přípustné změnit nastavení zkoušky a uložit další ráz pro uspokojení požadavku spektra v druhém směru. Toho lze dosáhnout buď obrácením polarit časového průběhu zkušebního rázu, nebo obrácením orientace zkoušeného předmětu. Následující pokyny lze rovněž použít pro klasické rázové impulzy nebo komplexní přechodové impulzy.

- a) U materiálu, který bude pravděpodobně vystaven jen zřídka dané rázové situaci, se provádí minimálně jeden ráz v každém směru každé osy. Pro rázové podmínky s vysokým potenciálem poškození (např. velká změna rychlosti spojené s rázovou situací, křehký zkoušený předmět) se neprovádí více než jeden ráz v každém směru každé osy. Je třeba si uvědomit, že některé rázové zkoušky o vysoké rychlosti s možným bezpečnostními důsledky (tj. riziko srážky) mohou vyžadovat dva rázy v každém směru každé osy.
- b) U materiálu, který bude pravděpodobně vystaven častěji dané rázové situaci, a existuje jen málo dostupných údajů pro zdůvodnění počtu rázů, se použijí minimálně tři rázy v každém směru každé osy.

9.3.4 Zvláštní úvahy pro komplexní přechodové jevy

Neexistuje žádný jedinečný syntetizovaný komplexní přechodový impuls, který by vyhovoval danému SRS. Při syntéze komplexního přechodového impulsu z daného SRS, když tento komplexní přechodový impuls buď (1) překračuje schopnost systému aplikace rázů (obvykle v posunu nebo rychlosti), nebo (2) doba trvání komplexního přechodového impulsu je více než o 20 procent delší než T_E , může být potřebný určitý kompromis v toleranci spektra nebo doby trvání. Je nepřijatelné rozkládat SRS na nízkokmitočtovou složku (vysoká rychlost a posun) a vysokokmitočtovou složku (nízká rychlost a posun), aby se vyhovělo požadavku na ráz. Zkušený analytik může být schopen specifikovat vstupní parametry do komplexního algoritmu přechodové syntézy impulsů, aby splnil požadavek, který pro výrobce systému pro aplikaci rázu „optimální“ řešení nebude (viz články 9.5.4.2c a 9.5.4.2d).

9.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

Pro odpovídající provedení a zdokumentování dynamických zkoušek jsou nezbytné následující minimální informace. Uvedené seznamy je potřeba přizpůsobit konkrétním okolnostem a podle potřeby přidat nebo odebrat příslušné položky. Důrazně se doporučuje provádět modální průzkumy upevňovacích prostředků a materiálu. Tyto údaje jsou užitečné při hodnocení výsledků zkoušek a při hodnocení vhodnosti materiálu pro měnící se požadavky nebo pro nové uplatnění. Tyto údaje mohou být zvláště cenné v budoucích programech, kde bude

hlavní důraz kladen na využití stávajícího materiálu v nových aplikacích. Pokud je modální průzkum vyloučen z programových důvodů, může někdy poskytnout užitečné informace jednoduché vyhledávání rezonancí.

9.4.1 Povinné

- a) Označení zkoušeného předmětu.
- b) Název / evidenční údaje zkoušeného předmětu.
- c) Druh zkoušky (vývoj, kvalifikace atd.).
- d) Orientace zkoušeného předmětu ve vztahu ke zkušební osám.
- e) Zda a kdy se mají provádět provozní kontroly.
- f) Zda počáteční a závěrečné kontroly mají být provedeny se zkoušeným předmětem nainstalovaným ve zkušebním zařízení.
- g) Další relevantní údaje potřebné k provedení zkoušek a provozních kontrol.
- h) Strategie řízení.
- i) Monitorovací a řídicí body nebo postup pro volbu těchto bodů.
- j) Zkušební teplota a související doba předběžného kondicionování.
- k) Použití držáků izolátorů nebo jiných přípravků.
- l) Definice náročnosti zkoušky.
- m) Uvedení kritérií poruch.
- n) Definování řídicích tolerancí. V případě velkého zkoušeného předmětu nebo složitého upevnění, vytvoření procesu správy ústupků z tolerancí.
- o) Další podmínky prostředí, za nichž se mají zkoušky provádět, pokud jsou jiné než standardní laboratorní podmínky.

9.4.2 Jsou-li požadované

- a) Specifické vlastnosti zkušební sestavy (vibrační budič, upevňovací přípravky, připojení rozhraní atd.).
- b) Vliv zemské přitažlivosti a následná opatření.
- c) Hodnota přípustných rušivých magnetických polí.

9.4.3 Zkušební zařízení

Volba zkušebního zařízení / vybavení bude vyžadovat posouzení základních zkušebních parametrů (např. posuv, rychlost, zrychlení, síla) a měl by zohledňovat příslušné povinné informace uvedené v článku 9.4.1. Posouzení zkušebního zařízení pro rázové zkoušky ve vztahu k těmto zkušebním parametrům by mělo zohlednit časové, amplitudové a kmitočtové rozsahy, v nichž je přístroj schopen poskytnout požadovaný ráz a to, že přístrojové a řídicí systémy a systémy pro sběr údajů jsou způsobilé správně zpracovat zkušební údaje. Požadavky na zkušební zařízení / vybavení specifické pro konkrétní zkušební postupy jsou uvedeny v článku 9.5.

9.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

Před zahájením jakýchkoli zkoušek, je potřeba se seznámit s předběžnými informacemi o zkoušce v Programu zkoušky, aby se zjistily podrobnosti zkoušky (např. postup, kalibrační zatížení, sestava zkoušeného předmětu, sestava měření, úroveň rázu, doba trvání rázu, klimatické podmínky a počet použitých rázů, stejně

jako informace v článku 9.5.1 níže). Je nezbytné si poznamenat všechny podrobnosti o postupech ověření platnosti zkoušky.

9.5.1 Příprava zkoušky

Rázové zařízení k buzení rázů se bude kalibrovat uživatelem, aby vyhovovalo specifikovanému požadavku zkoušky ze zvoleného postupu, kde se měření odezvy provádí pomocí sledovatelných laboratorních kalibrovaných měřicích zařízení. Shoda se specifikacemi zkoušky může vyžadovat použití „kalibračního zatížení“ v nastavení zkoušky (viz AECTP-400, Metoda 400, článek 4.1.1). Pokud je kalibrační zatížení požadováno, bude to obecně simulátor hmotnosti/tuhosti zkoušeného předmětu. „Simulátory hmotnosti/tuhosti“ znamenají, že modální dynamické charakteristiky zkoušeného předmětu jsou opakovány v možném rozsahu v simulátoru – zejména ty modální dynamické charakteristiky, které mohou mít vzájemnou interakci s modální dynamickou sestavou upevňovacího a/nebo zkušebního zařízení. Pro kalibraci se vytvoří dvě po sobě jdoucí vstupní aplikace na kalibrační zatížení, které splňuje zkušební podmínky uvedené v Postupech I, II, III, V nebo VIII. Po zpracování změřených údajů odezvy z kalibračního zatížení a ověření, že jsou v souladu s tolerancemi specifikace zkoušky, se odstraní kalibrační zatížení a provede se rázová zkouška na zkoušeném předmětu. Ve všech případech se důrazně doporučuje použití kalibračních zatížení pro nastavení ochrany proti přehnanému nadlimitnímu zkoušení nebo neúnosnému podlimitnímu zkoušení.

9.5.1.1 Přístrojové vybavení

Veličinou měřenou pro splnění specifikace bude obecně zrychlení, přičemž je třeba dbát na to, aby bylo možné provést měření zrychlení, která poskytují smysluplné údaje. Vždy je potřeba věnovat zvláštní pozornost amplitudě měřicího přístroje a specifikaci kmitočtového rozsahu za účelem splnění požadavků na kalibraci, měření a analýzu. Pokud jde o měřicí technologii, jsou běžně používanými měřicími zařízeními akcelerometry, tenzometry a laserové Dopplerovy vibrometry. Při zpracování rázových údajů je důležité umět odhalit anomálie. Například je dobře zdokumentováno, že piezoelektrické akcelerometry se mohou během mechanického rázu, výbuchového rázu a balistického rázu posunout nebo vynulovat (článek 9.7.1, odkazy m, n). Součástí tohoto zjištění je integrace časového průběhu amplitudy zrychlení k určení, zda má vlastnosti fyzikálně realizovatelného průběhu rychlosti. Pro mechanické rázy jsou snadno dostupné různé akcelerometry, které mohou nebo nemusí obsahovat mechanickou izolaci.

a) Akcelerometry. Je potřeba zajistit následující:

(1) Linearita amplitudy: Je žádoucí mít linearitu amplitudy v rozmezí 10 procent od 5 procent do 100 procent amplitudy špičkového zrychlení požadovaného pro zkoušení. Protože mechanicky izolované piezoelektrické akcelerometry (mechanicky izolované nebo ne) mohou vykazovat posun nuly (článek 9.7.1, odkaz o), existuje nebezpečí, že tato zařízení nebudou charakterizována při 5 procentech špičkové amplitudy. K vyřešení těchto možných posunů nuly může být vyžadováno filtrování horní propustí (nebo jiná technika opravy údajů). Takové dodatečné způsoby následné korekce zvyšují nebezpečí zkreslení měřeného rázového prostředí. Při výběru snímače je třeba zvážit následující:

(a) Je známo, že mechanicky izolované akcelerometry mohou mít jak nelineární zesílení, tak nelineární kmitočtový obsah pod 10 000 Hz

(článek 9.7.1, odkaz o). Abychom porozuměli nelineárním charakteristikám zesílení a kmitočtu, doporučuje se provádět vyhodnocení linearity rázů v intervalech 20 až 30 procent jmenovitého rozsahu amplitudy akcelerometru za účelem identifikace skutečných charakteristik linearity amplitudy a kmitočtu a použitelného rozsahu amplitudy a kmitočtu. Pokud se použije kalibrační technika založená na rázu, vypočítá se doba trvání rázového impulzu pro vyhodnocení jako

$$T_D = \frac{1}{2f_{max}}$$

kde T_D je doba trvání (základní) impulzu zrychlení a f_{max} je maximální specifikovaný kmitočtový rozsah akcelerometru. Výchozí hodnota f_{max} pro mechanické rázy je 10 000 Hz.

- (b) Pro případy, kdy je žádoucí odezva pod 2 Hz, vyžaduje se měření pomocí piezorezistivního akcelerometru.
- (2) Kmitočtová odezva: Je požadována plochá odezva v rámci 5 % v celém požadovaném kmitočtovém rozsahu. Protože není obecně praktické ani nákladově efektivní provádět řadu rázových zkoušek s proměnnou šířkou impulzu, používá se obvykle pro charakterizaci kmitočtové odezvy kalibrace vibrací. V případě akcelerometru s vysokým dosahem s nízkým výkonem mohou být problémy s poměrem signál/šum (SNR) spojené s kalibrací vibrací na nízké úrovni. V takových případech bude při hodnocení kmitočtové odezvy vyžadován určitý stupeň technického úsudku.
- (3) Citlivost akcelerometru: Předpokládá se, že citlivost akcelerometru rázů bude mít určitý rozptyl ve svém velkém dynamickém rozsahu amplitudy.
- (a) Je-li citlivost akcelerometru založena na kalibraci vibrací s nízkou amplitudou, je důležité, aby charakteristiky linearity rázu založené na „linearitě amplitudy“ byly brány tak, že je jasně definována nejistota měření amplitudy.
- (b) V ideálním případě by se výsledky kalibrace vibrací a linearity amplitudy rázu měly shodovat do 10 procent v rozsahu amplitudy pro danou zkoušku.
- (4) Citlivost v příčném směru by měla být menší nebo rovna 5 procentům.
- (5) Měřicí zařízení a jeho montáž budou slučitelné s požadavky a pokyny uvedenými v článku 9.7.1, odkaz a.
- (6) Pokud není zřetelně prokázáno, že piezoelektrický akcelerometr (mechanicky izolovaný nebo ne) může splňovat požadavky na ráz a je určen pro oscilační ráz (nikoli jednostranné rázové pulzy) doporučuje se používat piezorezistivní akcelerometry pro rázové situace s vysokou intenzitou, u nichž se očekává oscilační odezva. Piezoelektrické akcelerometry mohou být použity ve scénářích, ve kterých je známo, že úrovně jsou v ustáleném (ověřeném kalibrací) provozním rozsahu snímače, čímž se zabrání nelineárnímu zesílení a frekvenčnímu obsahu.
- b) Jiná měřicí zařízení.

- (1) U jakýchkoli jiných měřicích zařízení používaných ke sběru údajů musí být prokázáno, že jsou v souladu s požadavky zkoušky, zejména s informacemi o kalibraci a toleranci uvedenými v článku 9.5.4.
- (2) Kondicionování signálu. Používá se pouze kondicionování signálu, které je slučitelné s požadavky na přístrojové vybavení zkoušky a shoduje se s požadavky a pokyny uvedenými v článku 9.7.1, odkaz a. Zejména filtrování analogových napěťových signálů musí být v souladu s požadavky na odezvu v časovém průběhu (obecně prokazatelná linearita fáze v celé frekvenční oblasti odezvy) a filtrování bude uspořádáno tak, aby anomální údaje zrychlení způsobená oříznutím, nebyly nesprávně interpretovány jako údaje odezvy. Zejména, při filtrování signálů zrychlení na výstupu zesilovače je třeba postupovat velmi opatrně. Nikdy se nefiltruje signál do zesilovače kvůli obavě z filtrování chybných údajů měření a nemožnosti detekovat chybné údaje měření. Před digitalizací musí být signál z kondicionování signálu filtrován vyhlazovacím filtrem, jak je definováno v příloze 9A, článek 9.A.1.1.

9.5.1.2 Před zkouškou

Pro provedení rázové zkoušky jsou požadovány následující informace.

- a) Všeobecné. Informace uvedené v AECTP-400, Metoda 400, články 3.1, 3.2 a 3.3.
- b) Specifické pro tuto metodu.
 - (1) Postup pro kontrolu způsobilosti zkušebních upínacích prostředků.
 - (2) Postup pro kontrolu způsobilosti zkoušeného předmětu / zkušebních upínacích prostředků.
 - (3) Rázové prostředí. Buď:
 - (a) Předpovídané SRS nebo komplexní forma syntézy rázových impulzů (superpozice tlumených sinusoid, amplitudově modulované sinusové vlny nebo jiné) určující tvar spektra, špičkové hodnoty spektra, body zlomu spektra a dobu trvání impulzu.
 - (b) Naměřené údaje vybrané pro použití ve spojení s technikou syntézy SRS popsanou v postupech. (Pokud se používá technika syntézy SRS, je třeba zajistit, aby spektrální tvar i doba trvání syntetického rázu byla stanovena).
 - (c) Naměřené údaje, které jsou zadávány jako kompenzovaný tvar vlny do budiče / rázového systému v rámci reprodukce časového průběhu tvaru vlny (TWR). (Viz metoda 423).
 - (d) Specifikované zkušební parametry pro přepravní pád a křehkostní ráz.
 - (4) Postupy používané při zpracování vstupů a údajů o odezvě.
 - (5) Zaznamenání všech podrobností o postupech ověření platnosti zkoušky.
- c) Přizpůsobení. Nezbytné odchylky v základních zkušebních postupech pro splnění požadavků LCEP a/nebo omezení zařízení.

9.5.1.3 V průběhu zkoušky

V průběhu zkoušky se shromažďují následující informace.

- a) Všeobecné. Informace uvedené v AECTP-400, Metoda 400, článek 3.4.

- b) Specifické pro tuto metodu. Informace týkající se kritérií poruchy zkoušeného materiálu při zrychlení pro vybraný postup nebo postupy. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost jakémukoli přístrojovému vybavení zkoušeného předmětu a způsobu, kterým jsou přijímány informace ze snímačů (senzorů). U rázů o velké rychlosti je třeba zajistit, aby kabeláž přístrojů nepřispívala do měření šumem v důsledku pohybu kabelu.
- c) Pokud se v průběhu zkoušky získají informace o měření, zkontrolují se časové průběhy a postup podle postupů uvedených v Programu zkoušek.

9.5.1.4 Po zkoušce

V Protokolu o zkoušce musí být uvedeny následující informace.

- a) Všeobecné. Informace uvedené v AECTP-400, Metoda 400, články 3.5 a 3.6.
- b) Specifické pro tuto metodu.
 - (1) Doba trvání každého vystavení rázům a počet vystavení.
 - (2) Stav zkoušeného předmětu po každé vizuální prohlídce.
 - (3) Veškeré časové průběhy odezvy a informace zpracované z těchto časových průběhů. Obecně platí, že informace o snížení náročnosti, absolutní zrychlení maximax SRS a pseudorychlosti SRS, by měly být dodávány jako funkce oscilátoru s neomezeným přirozeným kmitočtem s jedním stupněm volnosti. V některých případech mohou být dodány spektrální hustoty energie (ESD) a Fourierova spektra (FS).
 - (4) Údaje o modální analýze zkoušeného předmětu a/nebo zkušebních upínacích prostředků a, pokud jsou k dispozici, o modální analýze instalovaného předmětu / zkušebních upínacích prostředků.
 - (5) Jakákoli odchylka od Programu zkoušek nebo výchozích náročností zkoušky (např. pokles povrchu).

9.5.1.5 Kontroly funkčnosti

Kdykoli je to vhodné, je potřeba se ujistit, že zkoušené předměty jsou během rázových zkoušek v činnosti a fungují. Monitoruje a zaznamenává se dosažený výkon. Je potřeba získat co nejvíce údajů, které určují citlivost materiálu na mechanické rázy. Pokud se provádějí zkoušky k určení provozní způsobilosti při vystavení působení prostředí, uvede se zkoušený předmět do činnosti. V ostatních případech se zkoušený předmět uvede do činnosti pouze tam, kde je to účelné. Provoz během přepravního rázu nebude možný téměř ve všech případech. Existují rovněž případy, kdy se provozní sestava mění v závislosti na fázi plněného úkolu, nebo kde se nemusí vyžadovat provoz při vysokých úrovních rázu, a je pravděpodobné, že bude mít za následek poškození.

Konečné funkční kontroly by měly být provedeny po navrácení materiálu do stavu za podmínek předběžného kondicionování a po dosažení tepelné stability.

9.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Sestava zkoušeného předmětu silně ovlivňuje výsledky zkoušky. Používá se sestava materiálu předpokládaná v profilu prostředí životního cyklu. Minimálně je třeba vzít v úvahu následující uspořádání:

- a) V přepravním/skladovacím kontejneru nebo v přepravním kufru.
- b) Rozmístění v provozním prostředí.

9.5.2.1 Předběžné kondicionování

Zkoušený předmět by měl být stabilizován na své počáteční klimatické a jiné podmínky, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušky vlivu prostředí. Celková doba vystavení materiálu kondicionování teploty pro Program zkoušky by měla být kratší než doba životnosti jakéhokoli materiálu součásti. Celková doba vystavení materiálu musí být stanovena na základě součtu doby předběžného kondicionování plus času v pohotovostním režimu, plus skutečné doby laboratorních zkoušek. Celková doba vystavení delší než životnost materiálu, může vyvolat zrychlený způsob poruchy materiálu nebo zhoršení vlastností materiálu, které nesouvisí se simulovanými podmínkami zkoušky vlivu prostředí. Zvýšená pozornost by měla být věnována zkouškám energeticky nebo chemicky reagujících materiálů, u kterých dochází ke znehodnocení za podmínek zvýšené teploty.

Pro stanovení celkové doby vystavení materiálu podmínkám prostředí je nutné, aby inženýr odpovědný za Program zkoušek zvažil pro každou fázi zkoušek vlivu prostředí, mechanickou, klimatickou a elektrickou a každou další pohotovostní dobu před konečnými provozními nebo výkonovými zkouškami. Pohotovostní doba nebo doba předběžného kondicionování, jako je udržování předmětu při kondicionované teplotě přes víkend, může mít významný dopad. Další pokyny o urychlení stárnutí materiálu poskytuje řada částí AECTP-200.

9.5.2.2 Analýza dat

- a) Při následném zpracování dat se využívá jakékoli další digitální filtrování, které je slučitelné s analogovým vyhlazeným filtrováním. Další digitální filtrování musí zejména udržovat fázovou linearitu pro zpracování časových průběhů rázů. Opakované vzorkování pro kontrolu výpočetních chyb SRS je povoleno pomocí standardních algoritmů opakovaného vzorkování.
- b) Postupy analýzy musí být v souladu s požadavky a pokyny uvedenými v článku 9.7.1, odkaz a. Zejména se ověřují časové průběhy amplitudy zrychlení rázu podle postupů v článku 9.7.1, odkaz a. Využívá se integrace časových průběhů k zjištění anomálií v měřicím systému, např. přetržení kabelu, sledování překročení rychlosti zesílení zesilovače, oříznutí údajů, nevysvětlené posunutí akcelerometru atd., před zpracováním časového průběhu odezvy. Pokud jsou zjištěny anomálie, neplatné měření časového průběhu odezvy se odstraní. U jedinečných a vysoce hodnotných naměřených údajů může být pro odstranění určitých anomálií konzultován zkušený vyškolený analytik, ale obecně to dává (má za následek) informace, které jsou zkrácené postupem pro odstranění anomálie.

9.5.2.3 Předběžná kontrola zkoušeného předmětu

Po kalibraci vstupního budicího zařízení a před provedením zkoušky se provede předběžná kontrola zkoušeného předmětu za standardních okolních podmínek, jak je definováno v AECTP-300, pro získání základních údajů. Kontrola se provede následovně:

- Krok 1 Provést kompletní vizuální prohlídku zkoušeného předmětu se zvláštním zřetelem k namáhaným oblastem nebo oblastem, které jsou označeny jako zvláště náchylné k poškození a zaznamenat výsledky.
- Krok 2 Nainstalovat zkoušený předmět do jeho zkušebního upevňovacího přípravku, podle potřeby.

- Krok 3 Provést kontrolu činnosti zkoušeného předmětu v souladu se schváleným Programem zkoušek a zdokumentovat výsledky ve shodě s AECTP-400, Metoda 400, článek 3.6.
- Krok 4 Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat první zkouškou. Pokud ne, vyřešit problém a znova opakovat krok 1.

9.5.2.4 Integrace platformy

- a) Návrh zkušebního upevňovacího přípravku. Dodržují se standardní postupy pro návrh upevňovacích přípravků při rázových a vibračních zkouškách s ohledem na kmitočtovou odezvu a schopnost odolávat reakčním silám. Mělo by se vzít v úvahu potenciálně vysoké zatížení generované během zkoušek s více budiči / více osami (MEMA) v důsledku zrychlení aplikovaných současně ve více stupních volnosti.
- b) Uspořádání zkoušky. Zkoušky jak s více budiči / jednoosé (MESA) tak i zkoušky s více budiči / víceosé (MEMA) vyžadují, aby uspořádání zkoušky bylo omezeno ve všech stupních volnosti, které nejsou řízené budičem, a aby bylo uvolněno ve všech stupních volnosti, které jsou řízené budičem. Doporučuje se kinematické vyhodnocení sestavy, aby se napomohlo při výběru správných spojek, ložisek atd., aby se zajistilo, že se na zkoušený předmět nepřenesou nepřiměřená zatížení prostřednictvím řídicí aplikace zkoušky, ani potenciálně neřízeným pohybem budičů.

9.5.3 Postupy

Odstavce 9.5.3.1 až 9.5.3.8 poskytují základ pro shromažďování nezbytných informací týkajících se systému při rázu. Pro účely analýzy poruch obsahuje každý postup informace, které pomáhají při hodnocení výsledků zkoušek. Analyzuje se jakákoli porucha zkoušeného předmětu, aby se splnily požadavky specifikací systému, a zvažují se související informace. Je zásadní, aby jakékoli odchylky od zkoušky nebo tolerancí ke zkoušce byly schváleny příslušným zkušebním orgánem a musí být jasně zdokumentovány v programu zkoušky a v závěrečné zprávě.

9.5.3.1 Funkční ráz (Postup I)

Účelem této zkoušky je odhalit nesprávnou funkci materiálu, která může vyplývat z rázů, ke kterým došlo během používání v polních podmínkách. Přestože materiál mohl úspěšně odolat ještě vážnějším rázům během lodních nebo přepravních rázových zkoušek, existují rozdíly v metodách podpory a připojení a v požadavcích na funkční kontroly, které tato zkouška vyžaduje. Přízpůsobení zkoušky je vyžadováno, jsou-li údaje k dispozici, lze je měřit nebo lze odhadnout ze souvisejících údajů pomocí akceptovaných údajů postupů dynamického modelování (pokyny pro modelování viz Metoda 423). Pokud údaje naměřené v polních podmínkách nejsou pro přízpůsobení k dispozici, použijí se informace na obrázku 9.2 a v doprovodné tabulce 9.3 k definování vstupu SRS systému rázových zkoušek nebo v tabulce 9.4 pro klasické definice impulzů. Při kalibračním postupu bude materiál podroben kalibračnímu zatížení řádně kompenzovaným složitým tvarem vlny v souladu s výše uvedeným SRS pro zkoušení elektrodynamickým nebo servohydraulickým rázem. Obecně zkoušky využívající klasické impulzy, např. pilovité impulzy s vrcholem na konci atd., jsou nepřijatelné, ledaže lze během přízpůsobení prokázat, že se časový průběh prostředí rázu v polních podmínkách přibližuje takové formě. Pokud byly vyčerpány všechny ostatní zkušební zdroje, bude

možné použít informace z tabulky 9.4 pro použití klasického impulzu. Takové zkoušky však musí být provedeny v pozitivním i negativním směru, aby bylo zajištěno splnění požadavků spektra na obrázku 9.2 v pozitivním i negativním směru.

Pro námořní vysokorychlostní plavidla (HSC) byla zřízena zvláštní kategorie funkčních rázů. Tabulky 9.6 a 9.7 dokumentují dva funkční standardizované požadavky na laboratorní rázovou zkoušku, aby se zmírnilo riziko selhání zařízení nebo poruchy pevně namontovaných elektrických a elektronických zařízení v HSC, v důsledku nárazů vln (článek 9.7.1, odkaz q). Tyto požadavky na zkoušku jsou použitelné pro zařízení s vnitřními vibračními úchyty, ale nevztahují se na zařízení instalovaná na vnitřních rázových úchytech nebo na sedadlech izolovaných proti rázům (článek 9.7.1, odkaz r pro pokyny ohledně sedadel izolovaných proti rázům).

Pro minimalizaci rizika selhání nebo poruchy zařízení v HSC jsou vyžadovány dva druhy zkoušek s pulsusovým impulzem. První zkouška (HSC-I) se opakuje třikrát v každém směru tří vzájemně kolmých os. Druhá zkouška (HSC-II) používá rázový impulz s nižší náročností, který se má opakovat 800krát v každém směru na osu s nominálním odstupem mezi impulzy nastaveným v intervalech 1 s (v případě, že předchozí přechodový jev se úplně nerozpadl během jmenovité 1 sekundy, je potřebná konzultace o dalších pokynech s příslušnou zkušební autoritou).

TABULKA 9.6 – Vysokorychlostní plavidla – standardizované požadavky¹ (viz obrázek 9.5)

Zkouška ²	Pulsusový impulz	
	Amplituda	Doba trvání
HSC-I	20 G	23 ms
HSC-II	5 G	23 ms

POZNÁMKY

1 Pulsusový klasický impulz specifikovaný pro HSC nesmí být nahrazen ekvivalentním komplexním impulzem SRS.

2 U zařízení namontovaných POUZE ve směru Z (svisle nahoru), s výjimkou zařízení namontovaných na stožáru, oblouku nebo na stropu kabiny, mohou být amplitudy zkoušky HSC-I ve směru os X (pozitivní vpřed) a Y (pozitivní k levoboku) sníženy na 10 G.

Orientace zařízení HSC v průběhu zkoušení by měla představovat skutečné podmínky, za kterých může u zařízení dojít k rázu nárazovou vlnou. Dominantní zatížení rázem nárazové vlny se vyskytují pouze v osách plavidla +Z (svisle nahoru), -X (na zádi) a +/-Y (levobok/pravobok). Zařízení, které lze instalovat v jakékoli orientaci, by se mělo zkoušet v kladných a záporných zkušebních směrech pro všechny tři osy zařízení. Pro zařízení instalované pouze ve svislém směru s orientací nahoru by se měla během zkoušení v Postupu I vynechat orientace plavidla (+Xa -Z).

Ve výjimečných situacích (např. vysoce hodnotné nebo křehké součásti), kde se nepředpokládá obecné použití příčné polohy platformy v jakémkoli místě, může být výchozí amplituda 20 G zkoušky HSC-I upravena podle upřesnění v tabulce 9.7 (doba trvání impulzu zůstane 23 ms).

TABULKA 9.7 – Omezené požadavky na aplikaci podle velikosti plavidla¹

Rozměry plavidla		Poloha		
Délka (m)	Hmotnost (kg)	Těžiště v podélné ose	U kormidla	Na boku
19,8 – 25,9	47,627 – 72,575	10 G	15 G	20 G
12,2 – 21,3	15,875 – 31,751	10 G	15 G	15 G
7,6 – 12,2	6,350 – 11,340	15 G	15 G	20 G

POZNÁMKA
1 Půlsinusový klasický impulz specifikovaný pro HSC nesmí být nahrazen ekvivalentním komplexním impulzem SRS.

9.5.3.1.1 Řízení zkoušky – Funkční ráz (Postup I)

Obrázek 9.2 poskytuje předvídaný vstup SRS pro funkční rázovou zkoušku, která se využívá, když naměřené údaje nejsou dostupné, a když sestava zkoušeného předmětu spadá do kategorií – letecká technika, pozemní technika nebo katapultáž během zajištěné přepravy. Doby trvání T_e a T_E jsou definovány v článku 9.3.2b a jsou uvedeny v tabulce 9.3.

9.5.3.1.2 Tolerance zkoušky – Funkční ráz (Postup I)

U komplexních přechodů z naměřených údajů je třeba zajistit, aby zkušební tolerance byly v souladu s obecnými pokyny uvedenými v článku 9.3.2., s ohledem na informace uvedené v tabulce 9.3 a související s obrázkem 9.2. Pro zkoušení klasickými impulzy jsou zkušební tolerance uvedeny na obrázcích 9.3 až 9.5 s ohledem na informace v tabulce 9.4.

9.5.3.1.3 Postup zkoušky – Funkční ráz (Postup I)

Pokud se vyžaduje zkoušení na více než jedné ose, opakuje se níže uvedený postup pro každou osu.

Krok 1 Zvolit zkušební podmínky a provést kalibraci rázového zkušebního přístroje následujícím způsobem:

- Zvolit akcelerometry a analytické metodiky, které splňují nebo překračují kritéria uvedená v článku 9.5.1.1 a 9.7.1, odkaz a.
- Připevnit kalibrační zatížení k rázovému zkušebnímu přístroji v podobné sestavě jako u zkoušeného předmětu. Pokud je materiál normálně namontován na izolátorech vibrací/rázů, zajistit, aby během zkoušky byly izolátory příslušného zkoušeného předmětu funkční. Měli byt vstupní tvar vlny rázového zkušebního přístroje kompenzován pomocí funkce vstupní/výstupní impulzní odezvy pro řízení tvaru vlny, věnovat pozornost podrobnostem v kalibrační sestavě a následném zpracování údajů.
- Provádět kalibrační rázy, dokud dvě po sobě jdoucí aplikace rázů kalibračním zatížením nevytvoří alespoň pro zkušební směr jedné osy tvary vlny, které splňují nebo překračují odvozené zkušební podmínky v souladu se zkušebními tolerancemi v článku 9.5.3.1.2.

- d) Odstranit kalibrační zatížení a nainstalovat zkoušený předmět na rázový přístroj.
- Krok 2 Provést kontrolu funkčnosti zkoušeného předmětu před rázovou zkouškou. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 3. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok opakovat.
- Krok 3 Podrobit zkoušený předmět (v jeho provozním režimu) vstupnímu zkušebnímu rázu.
- Krok 4 Zaznamenat nezbytné údaje, aby se prokázalo, že ráz splnil nebo překročil požadovanou zkušební úroveň v rámci tolerancí stanovených v článku 9.5.3.1.2. To zahrnuje fotodokumentaci celkového uspořádání zkoušky, protokoly zkoušky a fotodokumentaci skutečných rázů z přechodového zapisovače nebo úložiště osciloskopu. U konstrukčních sestav izolovaných od nárazů a vibrací, které jsou vlastní zkoušenému předmětu, provést měření a/nebo prohlídky, aby se zajistilo, že tyto konstrukční sestavy neovlivní sousední sestavy. V případě potřeby zaznamenat údaje pro prokázání spolehlivého fungování materiálu v průběhu rázu.
- Krok 5 Provést kontrolu funkčnosti zkoušeného předmětu po rázové zkoušce. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách. Pokud zkoušený předmět nefunguje uspokojivě, postupovat podle pokynů v článku 9.5.6.2, pro poruchu zkoušeného předmětu.
- Krok 6 Opakovat kroky 2, 3, 4 a 5 ještě dvakrát, pokud je použita forma specifikace SRS a syntetizovaný impuls je symetrický (což vede k celkem třem rázům v každé ortogonální ose). Pokud časový průběh založený na SRS není symetrický, je třeba provést ráz v pozitivních i negativních polaritách (celkem tedy šest rázů v každé ortogonální ose). Pokud se použije forma specifikace klasického rázu, podrobí se zkoušený předmět kladnému i zápornému vstupnímu impulsu (celkem šest rázů v každé ortogonální ose).
- Krok 7 Provést kontrolu funkčnosti zkoušeného předmětu po rázové zkoušce. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách, zdokumentovat sled zkoušek a analyzovat výsledky podle článku 9.6.

9.5.3.2 Převravní ráz (Postup II)

Postup zkoušky Převravní ráz je typický pro opakující se rázová zatížení s malou amplitudou, která se vyskytují v průběhu logistické nebo taktické přepravy materiálu. Vibrační zkoušky vylučují přechodové situace, takže Postup II funguje s vibračními zkouškami, aby postupně představoval zatížení, která mohou nastat. Výchozí sestavou zkoušek jsou zabalené nebo nebalené zkoušené předměty ve stavu nečinnosti. Je-li to nezbytné, lze zkušební postup rovněž použít k vyhodnocení vlivu rázového zatížení na upevňovací systém nákladu nebo na zkoušený předmět, který je v činnosti. Program zkoušek by měl definovat provozní režim a zkoušení v obalech komerčních výrobců, jako je materiál v polních podmínkách, nebo holý předmět, který je zabezpečen nebo nainstalován na přepravní platformě. Výchozí posloupnost zkoušky klasického pilovitého rázu s vrcholem na konci je definována v tabulce 9.8. Případně může být použitý tvar rázových vln přizpůsoben naměřeným údajům a proveden pomocí postupů opakování rázů, jako je metoda 423, Reprodukce časového průběhu tvaru vlny. Zkoušky přepravního rázu lze často provést

po vibrační zkoušce s použitím elektrodynamického nebo servohydraulického zkušebního systému a stejného výchozího nastavení zkoušky.

TABULKA 9.8 – Postup II – Posloupnost zkoušky přepravním rázem^{1, 2, 3}

Na komunikaci (5 000 km) ⁴ Pilovitý impulz s vrcholem na konci Doba trvání: 11 ms		V terénu (1 000 km) ⁴ Pilovitý impulz s vrcholem na konci Doba trvání: 5 ms	
Amplituda (G-Pk)	Počet rázů	Amplituda (G-Pk)	Počet rázů
5,1	42	10,2	42
6,4	21	12,8	21
7,6	3	15,2	3

POZNÁMKY

- 1 Rázy uvedené v tabulce 9.8 musí být vždy prováděny společně s vibračními zkouškami při pozemní přepravě, jak je stanoveno v AECTP-400, Metoda 401.
- 2 Výše uvedené hodnoty v tabulce mohou být brány v úvahu jak u upevněného nákladu, tak u instalovaného materiálu na kolových a pásových vozidlech. Přepravní ráz spojený s dvoukolovými přívěsy může překročit definované terénní úrovně.
- 3 Plán rázových zkoušek uvedený v tabulce 9.8 může být proveden s použitím buď pilovitých impulzů s vrcholem na konci aplikovaných v každém smyslu každé ortogonální osy, nebo syntézou založenou na odpovídajícím SRS, které zahrnuje oba smysly každé osy.
- 4 Výše uvedený počet rázů odpovídá následujícím vzdálenostem: a) Silniční vozidla: 5 000 km; b) Terénní vozidla: 1 000 km. Jsou-li požadovány větší vzdálenosti, musí být v násobcích výše uvedených čísel aplikováno více rázů.

9.5.3.2.1 Řízení zkoušky – Přepravní ráz (Postup II)

Tabulka 9.8 uvádí kritéria přepravních rázů, které se použijí, když naměřené údaje nejsou dostupné. Doby trvání T_e a T_E , pro syntézu tvaru vlny založené na SRS, jsou definovány v příloze 9A, článek 9.A.1.3. Tabulka 9.8 je typická pro kolová pozemní vozidla, ale není charakteristická pro konkrétní vozidla nebo dopravní situaci. Výchozí náročnost rázů uvedená v tabulce 9.8 platí, když je účelem zkoušky řešit situace, v nichž je poškození závislé na více cyklech. Úrovně v tabulce 9.8 byly odvozeny z klasických púlsinsových impulzů definovaných v článku 9.7.1, odkaz h. Klasické púlsinsové impulzy byly převedeny na pilovité impulzy s vrcholem na konci, s ekvivalentními rychlostmi. Pilovitý impulz s vrcholem na konci byl vybrán kvůli jeho relativně plochým charakteristikám SRS při kmitočtu rozběhu. V případě, že jsou k dispozici údaje z polních podmínek, upraví se zkouška podle LCEP.

9.5.3.2.2 Tolerance zkoušky – Přepravní ráz (Postup II)

U složitých přechodů z naměřených údajů je třeba se ujistit, že zkušební tolerance jsou v souladu s obecnými pokyny uvedenými v článku 9.5.4. Pro zkoušky klasických impulzů se musí zajistit, aby byly splněny zkušební tolerance uvedené na obrázku 9.3, s ohledem na informace uvedené v tabulce 9.8.

9.5.3.2.3 Postup zkoušky – Přeprování ráz (Postup II)

Obecně platí, že se vytvoří posloupnost rázů buď pro hlavní komunikaci, nebo vedlejší komunikaci / terén, nikoli obě posloupnosti. Zkoušky se dokončí při všech použitelných amplitudách rázů v tabulce 9.8 pro uvedený počet rázů nebo podle definice Programu zkoušky. Zkoušky s nejnižší amplitudou rázu se obvykle provádějí nejdřív, následují zkoušky s vyšší amplitudou. Pokud se zkoušky vyžadují na více než jedné ose, zopakuje se níže uvedený postup pro každou osu a pro posloupnost rázových amplitud.

Krok 1 Kalibrovat zkušební zařízení následujícím způsobem:

- a) Připevnit kalibrační zatížení na zkušební zařízení a upevňovací přípravek v sestavě, která je podobná sestavě skutečného zkoušeného předmětu. Nastavení zkoušky a upevňovací přípravek by měly zabránit zkreslení tvaru rázové vlny.
- b) Provádět kalibrační rázy, dokud dvě po sobě jdoucí aplikace rázu nebudou opakovat tvary vln, které jsou v rámci specifikace tolerance zkoušky.
- c) U elektrodynamických zkušebních systémů nebo jiných zařízení s uloženým řídicím signálem opakovat kalibraci s jinými požadovanými amplitudami zkoušky a uložit řídicí signál. Mezi rázy ponechávat dostatek času, aby se předchozí rázová akce úplně rozpadla.

Krok 2 Odstranit kalibrační zatížení a nainstalovat zkoušený předmět na zkušební zařízení.

Krok 3 Provést předběžnou prohlídku zkoušeného předmětu před zkouškou a v případě potřeby provést funkční zkoušku.

Krok 4 Zkoušený předmět podrobit posloupnosti rázové zkoušky a podle potřeby provádět průběžné prohlídky nebo kontroly mezi rázovými vlnami. Poskytovat dostatečný čas mezi rázy, aby se předchozí rázová akce úplně rozpadla.

Krok 5 Pokud se vyžaduje zkoušení při jiné amplitudě, vrátit se ke kroku 3 nebo pokud je posloupnost rázů úplná, pokračovat krokem 6.

Krok 6 Provést prohlídku zkoušeného předmětu po zkoušce a v případě potřeby provést funkční zkoušku. Zdokumentovat výsledky, včetně grafů tvarů vln odezvy a případných anomálií před nebo po rázu. Analýza výsledků viz článek 9.6.

9.5.3.3 Křehkost (Postup III)

Účelem této zkoušky je stanovit (1) maximální úroveň vstupu, kterému může být materiál vystaven a může nadále fungovat tak, jak to vyžaduje jeho příručka pro provoz, aniž by došlo k poškození sestavy, nebo (2) minimální úroveň vstupu, u kterého vystavení vyšší úrovni vstupu s největší pravděpodobností povede k funkční poruše nebo poškození sestavy. Stanovení úrovně křehkosti se provádí na začátku při mírné úrovni rázu, definované jediným parametrem, např. úroveň G nebo změna rychlosti, a pokračuje se zvyšováním úrovně rázů zvýšením hodnoty jediného parametru na zkoušený předmět (základní vstupní model), až:

- a) Nastane porucha zkoušeného předmětu.
- b) Je dosažen předem stanovený cíl zkoušky bez poruchy zkoušeného předmětu.

- c) Je dosažená kritická úroveň rázu, která naznačuje, že při vyšší úrovni rázu je jistota, že dojde k poruše.

Při provádění zkoušky křehkosti je důležité si uvědomit, že „úroveň vstupu“ musí nějakým způsobem korelovat s možností znehodnocení materiálu. Je dobře známo, že namáhání materiálu přímo souvisí s rychlostí materiálu, ke které může dojít během vibrací/rázů (viz článek 9.7.1, odkazy e, f), a zejména ke změně rychlosti materiálu označované jako ΔV . Doba trvání impulzu, která se týká základního režimu vibrací materiálu, je faktorem znehodnocení materiálu. Pro pádový stroj s lichoběžníkovým impulzním programem existuje jednoduchý vztah mezi třemi proměnnými: maximální amplituda impulzu A_m (G-pk), změna rychlosti impulzu ΔV ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), doba trvání impulzu T_D (s) a $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, podle následujícího vzorce pro lichoběžníkový impulz na obrázku 9.4 (doba náběhu T_R a doba pádu T_F by měla být udržována na minimální možné době trvání, aby se minimalizovalo výsledné zvýšení rychlosti, které nesouvisí s dobou trvání T_D):

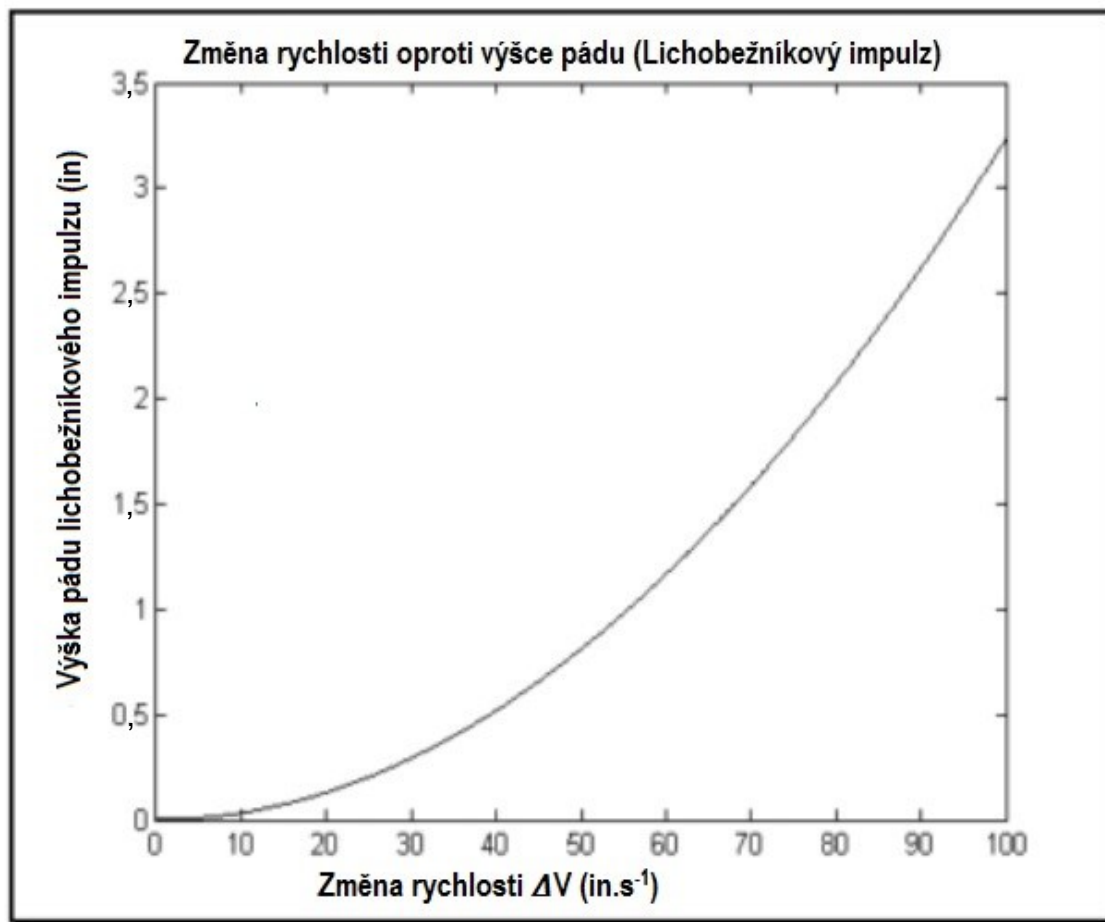
$$A_m g = \frac{\Delta V}{T_D} \quad (\text{z toho } \Delta V = A_m g T_D), \quad \Delta V = 2\sqrt{2gh} \quad \text{a} \quad T_D = \frac{2\sqrt{2gh}}{A_m g}$$

$$\text{technicky } \Delta V = A_m g (T_D - 0,5T_R - 0,5T_F) \approx A_m g T_D \quad \text{pro } T_D \gg T_R, T_F$$

Je zřejmé, že pokud se má ΔV zvyšovat postupně, dokud nedojde k poruše nebo dokud porucha nebude hrozit, je možné zvýšit T_D , A_m nebo obojí. Protože T_D se vztahuje k období prvního zapojeného přirozeného kmitočtu materiálu (a obecně k poruše dojde, když je materiál buzen na svých nižších zapojených přirozených kmitočtech), je nutné, aby byla zkouška provedena zvýšením špičkové amplitudy A_m vlastní zkoušky, při zachování stálé doby T_D .

Obrázek 9.7 zobrazuje 100 % odraz, ΔV vzhledem k výšce pádu h , která vychází z jednoduchého vztahu $h = (\Delta V)^2/8g$. Udržování stálé doby trvání T_D a postupně rostoucí změny rychlosti ΔV , poskytuje přímý vztah mezi A_m a ΔV , kde T_D slouží jako koeficient.

U složitého přechodového jevu neexistuje jednoduchý vztah mezi špičkovým zrychlením, dobou trvání impulzu a změnou rychlosti. Zde se předpokládá, že pro komplexní přechod souvisí změna rychlosti s významným rozdílem mezi po sobě jdoucími okamžitými vrcholy. (To lze s určitým úsilím určit výběrem pozitivních a negativních prahových hodnot, pro které několik, např. pět nebo méně pozitivních a negativních vrcholů se střídá v přiměřeně krátkém časovém období.) V tomto případě změna v rychlosti není ani tak okamžitou změnou po nárazu, ale může to být soubor po sobě jdoucích změn, ke kterým dochází ve významných obdobích nižších než u zrychlení. (Je třeba připomenout, že rychlost $1/(2\pi f)$ je měřítkem informace o kmitočtové oblasti zrychlení). Pro zkoušený materiál, kde je vyžadován určitý stupeň přesnosti při určování úrovně vstupu a korelace účinků rázů na materiál s úrovní vstupu, je navrženo jednoduché základní vstupní modelování SDOF s následnou integrací pohybových rovnic pro stanovení relativní rychlosti a posunu. Jednoduše, měřítko úrovně špičkového zrychlení (ve skutečnosti druhá odmocnina energie) impulzu mění rovněž měřítko změny rychlosti přímo pro lineární systém. Stejný vztah mezi proměnnými platí, až na to, že „rozdělení“ změny rychlosti v komplexním přechodovém jevu musí být považováno za protiklad k jediné velké změně rychlosti jako v případě lichoběžníkového impulzu.



OBRÁZEK 9.7 – Lichoběžníkový impulz: změna rychlosti vzhledem k výšce pádu

Článek 9.5.3.3c výše znamená, že analýza materiálu byla dokončena před zkouškami, že kritické prvky byly určeny jejich „prahovými hodnotami namáhání“ a že byl vypracován model poruchy materiálu ve vztahu k vstupní úrovni rázu. Kromě toho mohou být v průběhu zkoušky monitorovány „prahové hodnoty zátěže“ těchto kritických prvků a vkládány do modelu poruchy pro predikci poruchy při dané úrovni vstupního rázu. Obecně takový vstup do materiálu způsobuje velké rychlosti a velké změny rychlosti. Pokud velká rychlost / změna rychlosti překročí to, co je k dispozici na standardním elektrodynamickém a/nebo servohydraulickém zkušebním zařízení, lze pro tento postup použít klasický lichoběžníkový impulz na správně kalibrovaných pádových strojích. Pokud je však velká rychlost / změna rychlosti slučitelná se způsobilostmi elektrodynamických a/nebo servohydraulických zkušebních zařízení, je třeba vzít v úvahu přizpůsobení rázu podle komplexního přechodového jevu pro aplikaci na elektrodynamickém nebo servohydraulickém zkušebním zařízení. Použití lichoběžníkového impulzu na elektrodynamickém a/nebo servohydraulickém zkušebním zařízení je přípustné (kontrola před a po určení polohy budiče), pokud nejsou k dispozici žádné údaje, které poskytují informace o vstupu rázu, které by mohly být přizpůsobeny komplexnímu přechodovému jevu. V souhrnu existuje jediný parametr (špičková amplituda rázového vstupu) pro definování úrovně

křehkosti udržující dobu trvání rázu T_D přibližně konstantní. V případě syntézy SRS není maximální změna rychlosti tak dobře definovaná, ani tak snadno říditelná jako u klasického lichoběžníkového impulzu. Přizpůsobení zkoušky se vyžaduje, jsou-li údaje k dispozici, lze je měřit nebo je lze odhadnout ze souvisejících údajů pomocí přípustných metodik dynamického modelování. Inherentním předpokladem při zkoušce křehkosti je, že možnost poškození se lineárně zvyšuje se vstupní úrovní rázů. Pokud tomu tak není, může být pro stanovení úrovní křehkosti materiálu nutné použít jiné zkušební postupy.

9.5.3.3.1 Řízení zkoušky – Křehkost (Postup III)

- a) Určí se doba trvání rázu T_D , který se týká prvního základního režimu materiálu. Zvolí se návrhová výška pádu h , na základě měření z prostředí přepravy materiálu, nebo z tabulek pádu při přepravě 9.9 až 9.11, podle prostředí nasazení, když naměřené údaje nejsou k dispozici. (Návrhová výška pádu je výška, z které by mohl být materiál upuštěn ve své přepravní sestavě a předpokládá se, že to přečká bez poškození.) Maximální změna rychlosti zkoušeného předmětu může být poté stanovena pomocí následujícího vztahu pro 100 % odraz:

$$\Delta V = 2\sqrt{2gh}$$

kde

ΔV = maximální změna výsledné rychlosti ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(součet nárazové rychlosti a odrazové rychlosti);

h = návrhová výška pádu (m);

g = gravitační zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Maximální změna zkušební rychlosti předpokládá 100 % odraz. Programovací prostředky, jiné než pneumatické pružiny, mohou mít menší než 100 % odraz, takže maximální zkušební rychlost musí podle toho klesat. Pokud se pro programovací prostředky rázového stroje s dopadovým stolem, jiné než pneumatické pružiny, použije uvedená maximální zkušební rychlost, je zkouška konzervativní (nadlimitní zkoušení) a maximální rychlost zkoušeného předmětu je omezujícím požadavkem.

- b) Rázový stroj se nastaví na úroveň zrychlení (A_m), stanovenou na základě T_D a ΔV , která je značně pod předpokládanou úrovní křehkosti. Pokud nedojde k žádnému poškození, postupně se zvyšuje A_m (spolu s ΔV), současně se udržuje doba trvání impulzu T_D konstantní, dokud nenastane poškození zkoušeného předmětu. Tím se stanoví zrychlení (nebo změna rychlosti) kritické úrovně křehkosti materiálu.
- c) Zkušební úrovně použité v tomto postupu představují korelaci nejlepších informací, které jsou v současné době k dispozici z výzkumu a zkušeností. Jsou-li k dispozici vhodnější údaje o zkušební úrovni, lze je použít (článek 9.7.1, odkaz g). Zejména pokud se shromažďují údaje o pádu materiálu a vypočítá se SRS prostředí, mohla by se použít zmenšená verze SRS pro stanovení zrychlení úrovně křehkosti vzhledem k měřenému prostředí na elektrodynamickém nebo servohydraulickém zkušebním zařízení za předpokladu, že nejsou překročena omezení posunu a rychlosti zkušebního zařízení. Kromě maximax spektra odezvy zrychlení se vypočítá spektrum odezvy pseudorychlosti.

9.5.3.3.2 Tolerance zkoušky – Křehkost (Postup III)

Předpokládá se, že přístrojový šum při měření je nízký, takže lze stanovit tolerance. U složitých přechodových jevů z naměřených údajů je potřeba se ujistit, že zkušební tolerance jsou v souladu s obecnými pokyny uvedenými v článku 9.5.4.2. Pro zkoušky klasických impulzů je nutné zajistit, aby byly splněny zkušební tolerance uvedené na obrázku 9.4, s ohledem na informace uvedené v tabulce 9.5.

9.5.3.3.3 Postup zkoušky – Křehkost (Postup III)

Tato zkouška je navržena tak, aby se její náročnost měřila při maximálním zrychlení nebo změně rychlosti, dokud nedojde k poruše zkoušeného předmětu nebo dokud nebude dosaženo předem stanoveného cíle. Může být nezbytné měnit osy mezi každou rázovou situací, pokud kritické osy nejsou určeny před zkouškou. Obecně se budou všechny důležité osy zkoušet na stejné úrovni před přechodem na jinou úroveň. Pořadí zkušební činnosti a kalibrační požadavky pro každé nastavení zkoušky by měly být jasně stanoveny v Programu zkoušky. Je rovněž žádoucí předem zvolit kroky podle náročnosti zkoušky na základě znalosti materiálu nebo prostředí zkoušky a zdokumentovat to v Programu zkoušky. Pokud nejsou prahové hodnoty kritického namáhání analyticky předpovězeny a přístrojové vybavení není používáno ke sledování nárůstu prahového namáhání, neexistuje žádný racionální způsob, jak odhadnout možnost překročení prahového namáhání při další vstupní úrovni rázu. Následující postupy, jeden pro klasický impulz a druhý pro složitý přechodový jev, jsou popsány, jako by byla zkouška provedena pouze v jedné ose. V případech, kdy je zapotřebí více zkušebních os, je třeba postup odpovídajícím způsobem upravit.

- a) **Klasický impulz.** Tato část postupu předpokládá, že se používá klasický impulzní přístup ke stanovení úrovně křehkosti zvýšením výšky pádu zkoušeného předmětu, čímž se přímo zvyšuje i změna rychlosti ΔV . Úroveň křehkosti se udává jako měřené proměnné špičkové zrychlení klasického impulzu, přičemž doba trvání impulzu se udržuje konstantní jako funkce modálních charakteristik materiálu. Při použití tohoto postupu je třeba odhadnout první režim instalovaného kmitočtu materiálu, aby se určila doba trvání impulzu T_D .

- Krok 1 Namontovat kalibrační zatížení na zkušební zařízení v sestavě, která je podobná sestavě skutečného zkoušeného předmětu. Použít upevňovací přípravek, který je svým uspořádáním podobný rozhraní systému tlumení rázů (pokud existuje), na kterém bude materiál nasazen. Upevňovací přípravek by měl být co nejpevnější, aby se zabránilo zkreslení vstupu rázových impulzů do zkoušeného předmětu.
- Krok 2 Provádět kalibrační rázy, dokud dvě po sobě jdoucí aplikace rázu na kalibrační zatížení neopakují tvary vlny, které jsou v rámci stanovených zkušebních tolerancí. Pokud je odezva na kalibrační ráz s ohledem na vstupní úroveň rázu nelineární, bude možná nutné použít jiné zkušební postupy pro stanovení úrovně křehkosti materiálu v závislosti na rozsahu nelinearity před dosažením „prahového namáhání“.
- Krok 3 Zvolit dostatečně nízkou počáteční výšku pádu, aby bylo zajištěno, že nedojde k žádnému poškození zvolením zlomku výšky pádu

v předpokládaném provozu, který je stanoven z tabulek pádu při přepravě 9.9 až 9.11. Maximální změnu rychlosti lze považovat za:

$$\Delta V = 2\sqrt{2gh}$$

kde

ΔV = maximální změna rychlosti zkoušeného předmětu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(předpokládá úplný pružný odraz zkoušeného předmětu);

h = výška pádu (m);

g = gravitační zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

- Krok 4 Namontovat zkoušený předmět do upevňovacího přípravku. Provést kontrolu funkce a zdokumentovat stav před zkouškou. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 5. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok opakovat.
- Krok 5 Provést rázovou zkoušku na zvolené úrovni a zkontrolovat zaznamenané údaje, aby byla jistota, že zkouška je v rámci tolerance.
- Krok 6 Vizuálně prohlédnout a zkontrolovat provoz zkoušeného předmětu, a zjistit, zda nedošlo k poškození. Pokud zkoušený předmět nefunguje uspokojivě, postupovat podle pokynů v článku 9.5.6.2, týkajícího se poruchy zkoušeného předmětu.
- Krok 7 Pokud je třeba určit křehkost zkoušeného předmětu ve více než jedné ose, pokračovat ve zkoušce předmětu (kroky 4 až 6) v ostatních osách (před změnou výšky pádu).
- Krok 8 Pokud je integrita zkoušeného předmětu zachována, zvolit další výšku pádu.
- Krok 9 Opakovat kroky 4 až 8, dokud nebudou splněny cíle zkoušky.
- Krok 10 Provést funkční zkoušku zkoušeného předmětu po rázu. Analyzovat výsledky podle článku 9.6. Zdokumentovat výsledky včetně grafů naměřených tvarů vln zkušební odezvy a případných provozních anomálií před nebo po rázu.
- b) **Syntetizovaný impuls.** Tato část postupu předpokládá, že úroveň křehkosti je nějakou funkcí úrovně špičkového zrychlení, která koreluje s maximax zrychlením SRS komplexního přechodového základního vstupu (protože namáhání souvisí s rychlostí, je výhodnější špičková úroveň pseudorychlosti stanovená z maximax pseudorychlosti SRS komplexního přechodového jevu). Pro komplexní přechodový jev specifikovaný v časové oblasti, obecně používá tento postup špičkového zrychlení časového průběhu k definování úrovně křehkosti.
- Krok 1 Namontovat kalibrační zatížení na zkušební zařízení v sestavě, která je podobná sestavě skutečného zkoušeného předmětu. Použít upevňovací přípravek podobný sestavě rozhraní systému tlumení rázů (pokud existuje), na kterém bude materiál nasazen. Upevňovací přípravek by měl být co nejpevnější, aby se zabránilo zkreslení vstupu rázových impulsů do zkoušeného předmětu.
- Krok 2 Provádět kalibrační rázy, dokud dvě po sobě jdoucí aplikace rázu na kalibrační zatížení nebudou opakovat maximax zrychlení SRS

nebo pseudorychlost SRS, které jsou v rámci stanovených zkušebních tolerancí. Pokud je odezva na kalibrační ráz nelineární s ohledem na vstupní úroveň rázu, bude pravděpodobně nutné použít jiné zkušební postupy spolu s jednoduchým modelováním, aby se stanovily úrovně křehkosti materiálu, v závislosti na rozsahu nelinearity před dosažením „prahového namáhání“.

- Krok 3 Zvolit dostatečně nízké maximax špičkového zrychlení (nebo pseudorychlosti) úrovně SRS, aby nedošlo k poškození.
- Krok 4 Namontovat zkoušený předmět do upevňovacího přípravku. Provést vizuální prohlídku a kontrolu funkce předmětu, pro zdokumentování stavu před zkouškou. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 5. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok opakovat.
- Krok 5 Provést rázovou zkoušku na zvolené úrovni a zkontrolovat zaznamenané údaje pro ověření, že maximax zrychlení (nebo pseudorychlosti) SRS je v rámci tolerance.
- Krok 6 Provést vizuálně prohlídku a kontrolu funkce zkoušeného předmětu, aby se zjistilo, zda nedošlo k poškození. Pokud ano, postupovat podle pokynů v článku 9.5.6.2 pro poruchu zkoušeného předmětu.
- Krok 7 Pokud je třeba určit křehkost zkoušeného předmětu ve více než jedné ose, pokračovat ve zkoušce předmětu v ostatních osách (před změnou maximax zrychlení (nebo pseudorychlosti) úrovně SRS).
- Krok 8 Pokud je integrita zkoušeného předmětu zachována, zvolit další předem stanovené maximax špičkového zrychlení (nebo pseudorychlosti) úrovně SRS.
- Krok 9 Opakovat kroky 5 až 8, dokud nebudou splněny cíle zkoušky.
- Krok 10 Provést kontrolu funkce zkoušeného předmětu po rázu. Provést analýzu výsledků podle článku 9.6. Zdokumentovat výsledky včetně grafů naměřených tvarů vln zkušební odezvy a případných provozních anomálií před nebo po rázu.

9.5.3.4 Převrtní pádová zkouška (Postup IV)

Účelem této zkoušky je určit konstrukční a funkční integritu materiálu při přepravní pádové zkoušce, buď venku, nebo v její přepravní nebo kombinované situaci. Obecně neexistují žádné požadavky na přístrojové vybavení pro zkoušku a informace o měření jsou minimální; pokud se však měření provádí, bude výsledky zkoušky definovat maximax zrychlení SRS a pseudorychlost SRS, spolu s časovým průběhem měření amplitudy.

9.5.3.4.1 Řízení zkoušky – Převrtní pádová zkouška (Postup IV)

Zkušební úrovně pro tuto zkoušku vycházejí z informací uvedených v tabulkách 9.9 až 9.11. Zkoušený předmět se zkouší ve stejné sestavě, která se používá při přepravě, manipulaci nebo v bojové situaci. V polních podmínkách dochází k převrtní předmětu po nárazu, a proto by se svržení zkoušeného předmětu po jeho počátečním nárazu nemělo omezovat, pokud zkoušený předmět neopustí požadovanou dopadovou plochu. Úrovně pro tuto zkoušku byly stanoveny zvážením toho, jak by mohl být běžně upuštěn materiál v polních podmínkách. Veškeré pády se provádějí pomocí rychloupínacího háku nebo pádového zkušebního zařízení.

Doporučuje se použití standardizovaného nárazového povrchu pro opakovatelnost zkoušky, protože kvalita povrchu může ovlivnit výsledky zkoušky. Pro většinu požadavků na pádovou zkoušku je výchozí nárazovou plochou ocelová deska vyztužená betonem. Deska musí být z homogenního materiálu o minimální tloušťce 3 palce (76 mm) a tvrdosti 200 podle Brinella nebo vyšší. Deska musí být rovnoměrně plochá, v souladu s obchodními normami produkce válcoven, rovina do 2 stupňů, bez povrchových nepravidlostí, které mohou ovlivnit výsledky nárazu. Beton musí mít minimální pevnost v tlaku 2 500 psi (17 MPa) a musí být podle potřeby vyztužen, aby se zabránilo lomu v průběhu zkoušky. V případě situací s klasifikací nebezpečí vysoké rychlosti (např. 40 ft) je nutné, aby pevnost betonu byla 4 000 psi s minimální tloušťkou 24 palců. Ocelová deska musí být přilepena a/nebo přišroubována k betonu, aby se vytvořila jednotná tuhá konstrukce bez oddělení. Hmotnost betonového základu plus nárazové desky musí být nejméně 20krát větší než hmotnost zkoušeného předmětu. Rozměry povrchu desky musí být dostatečně velké, aby poskytovaly přímé a sekundární rotační nárazy, a pokud je to možné, nárazy s odrazem. K zajištění správného úhlu nárazu lze použít naváděcí systémy, které nesníží rychlost nárazu; navádění však musí být odstraněno v dostatečné výšce nad nárazovou plochou, aby byl umožněn nerušený pád a odraz. Ke zlepšení trvanlivosti ocelového povrchu a zamezení důlků a vrypů se doporučuje použití pancéřové desky nebo ocelové desky s podobným složením. Nárazová plocha musí být v průběhu zkoušek bez stojaté vody, ledu nebo jiného materiálu. Nejzávažnější možností poškození je náraz s nepružnou hmotou, která absorbuje minimální energii. Proto se doporučuje použít jedinou monolitickou nárazovou hmotu, aby se snížil přenos energie do hmoty namísto do zkoušeného předmětu. Tuhost nárazové hmoty a přenos energie lze vyhodnotit měřením zrychlení hmoty během zkoušek.

Tabulky 9.9 až 9.11 poskytují výchozí pádové podmínky pro přepravu od výrobce do konce jeho životnosti. Tabulka 9.9 (Pádová zkouška při logistické přepravě) zahrnuje situace obecně spojené s netaktickou, logistickou přepravou založenou na hmotnosti a rozměrech zkoušených předmětů. Tabulka 9.10 (Pádová zkouška při taktické přepravě) obsahuje situace pádu obecně spojovaného s taktickou přepravou mimo oblast skladu v místě nasazení. Standardně musí kritéria pro zkoušky taktického přepravního pádu splňovat všechny požadavky na provoz. U předmětů, které nejsou způsobilé splnit požadavky na provoz, lze upravit výšku pádu nebo sestavu tak, aby vyhovovala omezení danému provedením předmětu. Pokud jsou podmínky pro pád změněny, může dojít k omezení pro nasazení předmětu. Je třeba zajistit, aby byla provedena odpovídající zkouška a všechny odchylky od tohoto postupu byly řádně zdokumentovány. Tabulka 9.11 (Pádová zkouška při náročné taktické přepravě) zahrnuje situace tvrdého pádu a předmět se považuje za vyhovující, pokud nevybuchl, neshořel, nepůsobil rozpínavost pohonných hmot nebo výbušného materiálu v důsledku pádu, posunu nebo odsunu předmětu k likvidaci. Měly by se vzít v úvahu další situace pádu v LCEP.

Skutečné odchylky od výchozích hodnot uvedených v tabulkách 9.9 až 9.11 mohou být v odůvodněných případech povoleny; např. velké/složité systémy, ve kterých se v průběhu LCEP objevují specifické aspekty manipulace, mohou nahradit uvedené dané výchozí úrovně.

TABULKA 9.9 – Pádová zkouška při logistické přepravě¹

Hmotnost zkoušeného předmětu a obalu (kg)	Největší rozměr (cm)	Poznámky	Výška pádu <i>h</i> (cm)	Počet pádů
Do 45,4 Ručně balený nebo přenášený	Do 91		122	Pád na každou plochu, hranu a roh; celkem 26 pádů ⁵
	91 a více		76	
45,4 – 90,8 celkově	Do 91		76	Pád na každý roh; celkem osm pádů
	91 a více		61	
90,8 – 454 celkově	Do 91		61	
	91 – 152	2	61	
	Nad 152	2	61	
Nad 454	Bez omezení	3 4	46	

POZNÁMKY

- Pády se provedou z rychloupínacího háku nebo zkušebním pádovým zařízením. Zkoušený předmět se umístí tak, aby při nárazu byla přímka od zasaženého rohu nebo okraje do těžiště obalu a jeho obsahu kolmá na nárazovou plochu. Výchozí plochou pro pád je ocelová deska podložena betonem. Beton nebo překližka o tloušťce 5 cm podložená betonem může být zvolena, když: a) betonový nebo dřevěný povrch představuje nejnáročnější podmínky použití nebo b) lze prokázat, že pevnost v tlaku nárazové plochy je větší než pevnost v bodě/bodech nárazu zkoušeného předmětu. Je třeba připomenout, že kratší doba trvání rázu spojená s ocelovou nárazovou plochou nemusí vybudit všechny rezonanční režimy zkoušeného předmětu.
- Přepravní nebo kombinovaný obal se zkoušeným předmětem uvnitř s nejdelším rozměrem rovnoběžným s podlahou podepřít v rohu jednoho konce hranolem o výšce 13 cm (pět palců) a v druhém rohu nebo okraji téhož konce hranolem o výšce 30 cm (12 palců). Opačný konec obalu zvednout do zadané výšky v nejnižším nepodepřeném rohu a nechat jej volně padat.
- V normální přepravní poloze podrobit obal s obsahem pádové zkoušky na hranu následovně (není-li normální přepravní poloha známa, orientovat obal tak, aby dva nejdelší rozměry byly rovnoběžné s podlahou):
Zkouška pádem na hranu: Podepřít jeden okraj základny obalu hranou na podstavci o výšce 13 až 15 cm (pět až šest palců). Zvednout protilehlý okraj do stanovené výšky a nechat jej volně spadnout. Zkouška se použije jednou na každou hranu základny obalu (celkem čtyři pády).
- U obalů bez tlumičů rázů může být výška pádu snížena na 15 cm (6 palců) pomocí podstavce 10 cm (4 palce) pro pády na hranu.
- Na základě otázek týkajících se bezpečnosti nebo citlivosti zkoušeného předmětu je přijatelné rozdělit 26 pádů mezi ne více než pět zkoušených předmětů (viz čl. 9.5.3.4.1).

TABULKA 9.10 – Pádová zkouška při taktické přepravě

Situace	Kategorie	Rychlost nárazu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Výška pádu ¹ (m)	Sestava	Pády/Orientace ^{3,6}		Povrch nárazu
Lodní přeprava	Skladování a přeprava do skladu v oblasti nasazení, přeprava lodí	5,4	1,5	Zabaleno ⁶	min. 3	Plocha dna a dvě čela ⁴	Ocel podložená betonem ^{7,8}
Manipulace bez obalu	Vybavení pěchoty a nesené člověkem	5,4	1,5	Nezabaleno	5		Ocel podložená betonem ^{7,8}
Zabalená manipulace	Nakládka a vykládka ze strany dopravního vozidla – přeprava kamionem, vysoko-zdvíhacím vozíkem a vrtulníkem	6,4	2,1	Zabaleno ⁶	5	Plocha dna, dvě čela ⁴ a dvě hrany ⁵	Ocel podložená betonem ^{7,8}
Vrtulník	Podvěšený náklad, rychlé uvolnění na pevninu nebo loď	6,4	2,1	Zabaleno ⁶	1	Plocha dna	Ocel podložená betonem ^{7,8}
Pád na padáku ²	Pád o malé rychlosti	8,7	3,7	Baleno s vhodným voštinovým nebo jiným systémem absorbujícím nárazy použitým v dodávce	1	Plocha dna	Beton
Pád na padáku ²	Pád o velké rychlosti	27,3	38,1				Beton

POZNÁMKY k tabulce 9.10:

- 1 Zkouška nemá za cíl zahrnout všechny věrohodné podmínky nehody nebo těžké podmínky nesprávného zacházení. Pokud jsou uvedené výšky pádu překročeny výškami uvedenými jinde v tabulce nebo v jiných fázích provozu, měly by být nahrazeny vyšší hodnoty.
- 2 Výšky pádu jsou stanoveny pro simulované pády na padáku. Tato zkouška nemusí plně řešit určité účinky, které se mohou vyskytnout během pádů na padáku v podmínkách silného větru. Při řešení těchto problémů je potřeba zvážit různou výšku pádu a úhly nárazu. Pro letovou certifikaci může být vyžadován pád z letadla.
- 3 V každé z uvedených orientací je třeba odzkoušet dostatečné množství stanovených orientací. Pět standardních orientací pádů je uvedeno v tabulce 9.12 a znázorněno na obrázku 9.8. Pokud se očekává, že budou mít větší potenciál poškození, je třeba zvážit další orientace pádů. Každý zkoušený předmět lze vystavit nejvýše 2 pádům.
- 4 U munice musí být dvě čelní strany předním i zadním koncem munice.
- 5 U munice musí být dvě hrany v úhlu 45 stupňů na předním i zadním konci.
- 6 Nezabalené, pokud to vyžaduje LCEP nebo Program zkoušek.
- 7 Výchozí nárazová plocha je ocelová, podložená betonem. Beton nebo překližka o tloušťce 5 cm podložená betonem může být zvolena, pokud: a) betonový nebo dřevěný povrch představuje nejnáročnější podmínky použití nebo b) lze prokázat, že pevnost v tlaku nárazové plochy je větší než pevnost v bodě/bodech nárazu zkoušeného předmětu. Je třeba připomenout, že kratší doba trvání nárazu spojená s ocelovou plochou nárazu, nemusí vybudit všechny rezonanční režimy zkoušeného předmětu.
- 8 Ocelová plocha nárazu musí mít tvrdost podle Brinella nejméně 200. U zkoušených předmětů o hmotnosti menší než 454 kg (1 000 liber) musí mít ocelová deska tloušťku nejméně 2,5 cm (1 in), jinak musí mít tloušťku nejméně 7,6 cm (3 in).

TABULKA 9.11 – Pádová zkouška při náročné taktické přepravě

Situace	Kategorie	Rychlost nárazu (m·s ⁻¹)	Výška pádu (m)	Sestava	Pády/Orientace ^{4,5}	
Vrtulník	Vnější přeprava vrtulníkem	6,4	2,1	Nezabaleno	5	Plocha dna, dvě čelní strany ² a dvě hrany ³
Vojenská pozemní vozidla	Zahrnuje nabíjení a vybíjení zbraní	7,7	3,05	Nezabaleno		
Letoun	Vnější přeprava letadlem s pevnými křídly	7,7	3,05	Nezabaleno		

Situace	Kategorie	Rychlost nárazu (m·s ⁻¹)	Výška pádu (m)	Sestava	Pády/Orientace ^{4,5}	
Jeřáb	Náhodný pád z jeřábu	15,5	12,2	V obalu ¹		
Lodní přeprava	Lodní paluba Nakládka	15,5	12,2	V obalu ¹	minimálně 3	Plocha dna a dvě čelní strany ²
Letadlová loď	Lodní paluba Nakládka a vykládka	22,1	25	V obalu ¹	5	Plocha dna, dvě čelní strany ² a dvě hrany ³

POZNÁMKY

1 Nebalené, pokud to vyžaduje LCEP nebo Program zkoušek.

2 U munice musí být dvě čelní strany předním i zadním koncem munice.

3 U munice musí být dvě hrany v úhlu 45 stupňů na předním a zadním konci.

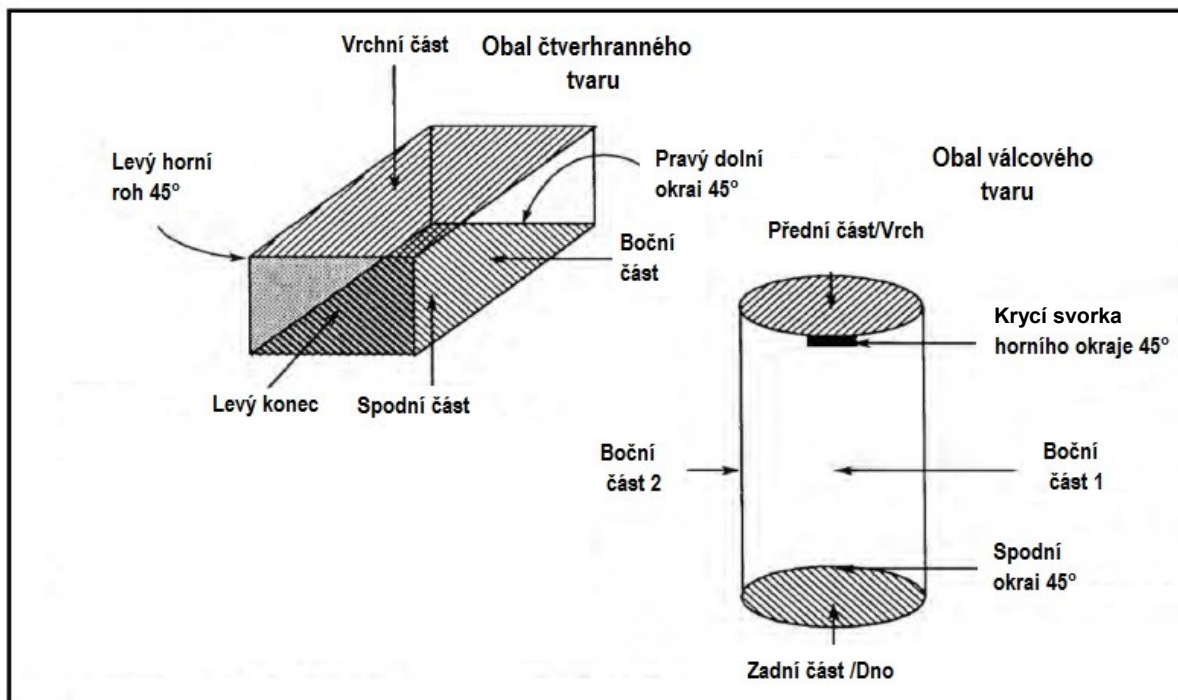
4 V každé z uvedených orientací je třeba odzkoušet dostatek orientací. Pět standardních orientací pádů je uvedeno v tabulce 9.12 a zobrazeno na obr. 9.8. Pokud se předpokládá, že bude mít větší potenciál poškození, mělo by se uvažovat o jiných orientacích pádů. Každý zkoušený předmět by neměl být vystaven více než 2 pádům.

5 Výchozí nárazová plocha je ocelová, podložená betonem. Beton nebo překližka o tloušťce 5 cm (2 palce) podložená betonem může být zvolena, pokud: a) betonový nebo dřevěný povrch představuje nejpřísnější podmínky použití nebo b) lze prokázat, že pevnost v tlaku nárazové plochy je větší než pevnost v bodě/bodech nárazu zkoušeného předmětu. Je třeba připomenout, že kratší doba trvání nárazu spojená s ocelovou nárazovou plochou nemusí vybudit všechny rezonanční režimy zkoušeného předmětu.

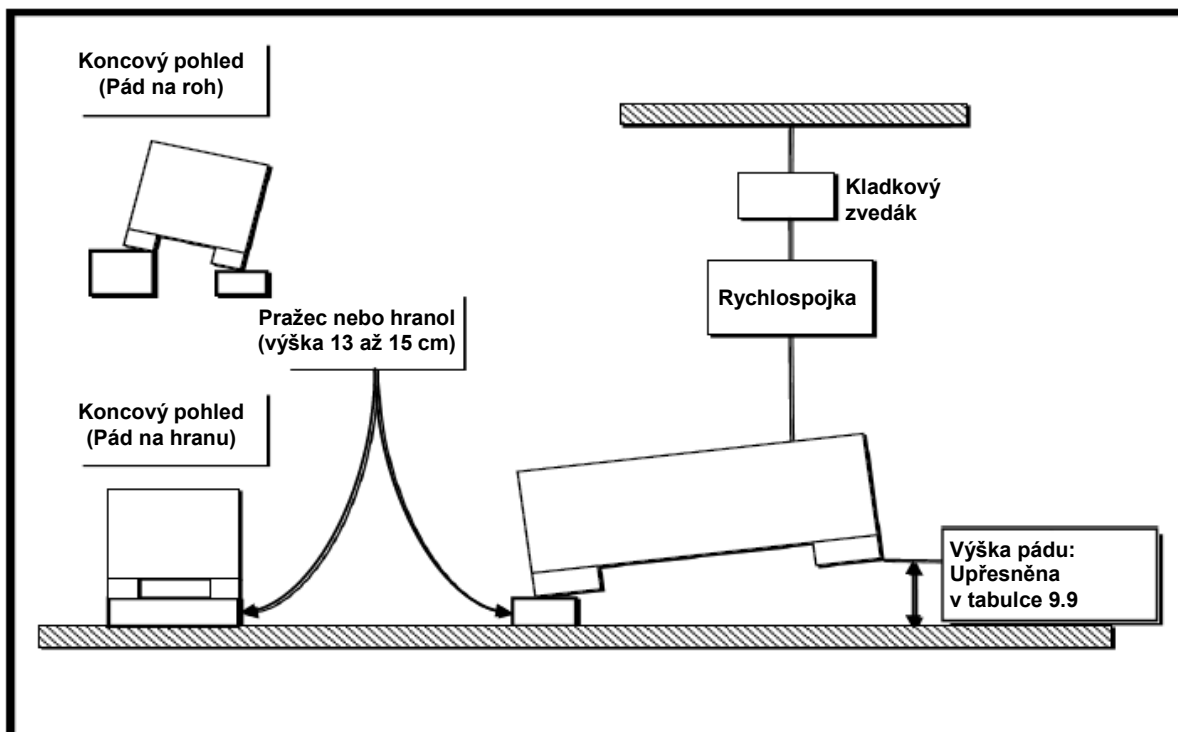
Obrázek 9.8 zobrazuje standardní orientace pádu, jak je uvedeno v tabulkách 9.9 až 9.11. Obrázek 9.9 zobrazuje typické sestavy pádů na hrany a rohy pro velké balíky, jak je uvedeno v poznámkách 2 až 4 v tabulce 9.9.

TABULKA 9.12 – Pět standardních zkušebních orientací pádu

Pád	Pravoúhlé obaly	Válcové obaly
1	Plocha dna	Vodorovně (Bok 1)
2	Čelní strana 1: (Levý konec)	Čelní strana 1: (Přední konec/vrch)
3	Čelní strana 2: (Pravý konec)	Čelní strana 2: (Zadní konec/spodek)
4	Hrana 1: (Pravý dolní okraj)	Hrana 1: (Zadní spodní hrana (45°))
5	Hrana 2: (Horní levý okraj)	Hrana 2: (Přední horní hrana (45°))



OBRÁZEK 9.8 – Standardní orientace pádu pro pravoúhlé a válcové obaly



OBRÁZEK 9.9 – Zobrazení sestavy pádové zkoušky na hranu (rovněž znázorněn pohled na pád na roh)

9.5.3.4.2 Tolerance zkoušky – Převravní pádová zkouška (Postup IV)

Je třeba zajistit, aby zkušební výška pádu byla v rozmezí 2,5 procent výšky pádu, jak je uvedeno v tabulkách 9.9 až 9.11.

9.5.3.4.3 Postup zkoušky – Převravní pádová zkouška (Postup IV)

- Krok 1 Po provedení vizuální prohlídky a kontroly funkce a výchozích údajů nainstalovat zkoušený předmět do převravního nebo kombinovaného obalu tak, jak je připraveno pro použití v polních podmínkách (pokud se mají získat změřené údaje, nainstalovat a kalibrovat přístrojové vybavení v tomto kroku). Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 2. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok zopakovat.
- Krok 2 Z článku 9.5.3.4.1 a tabulek 9.9 až 9.11 stanovit výšku pádů, které mají být provedeny, orientace pádů, počet pádů zkoušeného předmětu a povrch nárazové plochy.
- Krok 3 Provést požadované pády s použitím přístrojů a požadavků článků 9.5.3.4 a 9.5.3.4.1 a tabulek 9.9 až 9.11. Doporučuje se provádět vizuální a/nebo funkční kontrolu zkoušeného předmětu pravidelně během pádové zkoušky, aby se zjednodušilo případné následné hodnocení. Pokud je zaznamenáno jakékoli znehodnocení, postupovat podle článku 9.5.6.2.
- Krok 4 Zdokumentovat bod nebo povrch nárazu pro každý pád a jakékoli zjevné poškození.
- Krok 5 Po dokončení požadovaných pádů vizuálně zkontrolovat zkoušený předmět / zkoušené předměty a zdokumentovat výsledky.
- Krok 6 Provést provozní kontrolu v souladu se schváleným Programem zkoušky. Analýzu výsledků provést podle kapitoly 9.6.
- Krok 7 Zdokumentovat výsledky pro porovnání s údaji získanými v kroku 1 výše.

9.5.3.5 Nebezpečný ráz při dopravní nehodě (Postup V)

Účelem tohoto postupu je odhalit konstrukční poruchy materiálu nebo montážních prvků materiálu ve vzdušných prostředcích nebo pozemních vozidlech, které mohou představovat nebezpečí pro personál nebo jiný materiál, pokud se materiál uvolní ze svého držáku v průběhu nebo po srážce vozidla. Účelem tohoto zkušebního postupu je ověřit, zda montážní a/nebo upevňovací přípravky materiálu neselžou, a že dílčí prvky nejsou v průběhu havarijních situací posunuty. Zkoušený předmět se připojí ke svému rázovému uchycení jeho vlastními provozními upevňovacími nebo vázacími prostředky.

U materiálu o hmotnosti nižší než 227 gramů (8 uncí), může být přípustné vynechat zkoušku při nebezpečí srážky, pokud je známo, že osoby, o nichž se předpokládá, že budou v blízkosti zkoušeného předmětu, jsou vybaveny dostatečným množstvím osobních ochranných prostředků (OOP), (tj. přilby s průzory), a u nichž se stanoví, že riziko významného ublížení na zdraví je vysoce nepravděpodobné. Při zvažování vynechání Postupu V, kromě hmotnosti předmětu je třeba posoudit celkové vlastnosti a rozměry materiálu. Konečná rozhodnutí v takových případech jsou ponechána na uvážení odpovědného bezpečnostního orgánu a založena na analýze konkrétního nebezpečí pro daný případ.

9.5.3.5.1 Řízení zkoušky – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě (Postup V)

Pro zkušební rázové spektrum a efektivní doby trvání se využívá tabulka 9.3 a obrázek 9.2. Pokud nejsou k dispozici funkce pro analýzu rázového spektra, může se klasický impulz využít jako alternativa ke složitému přechodovému tvaru vlny vypracovanému ze SRS na obrázku 9.2. Tabulka 9.4 poskytuje parametry pro výchozí pilovitý impulz s vrcholem na konci. Úroveň srážky letadla 40 G je založena na předpokladu, že během havárie se zachováním funkčnosti, mohou úroveň G v daném místě dosáhnout 40 G. Vozidla pozemní přepravy jsou konstruována s vyšším bezpečnostním faktorem, a proto musí vydržet mnohem vyšší úroveň G s odpovídajícími vyššími stanovenými zkušebními úrovněmi.

9.5.3.5.2 Tolerance zkoušky – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě (Postup V)

U opakovaného složitého tvaru vlny vycházejícího ze SRS je třeba zajistit, aby zkušební tolerance byly v rámci tolerancí stanovených pro SRS v článku 9.5.4.2. U klasického pilovitého impulzu s vrcholem na konci, definovaného v tabulce 9.4 je třeba se ujistit, že tvar vlny je v rámci tolerancí stanovených na obrázku 9.3.

9.5.3.5.3 Postup zkoušky – Nebezpečný ráz při dopravní nehodě (Postup V)

- Krok 1 Upevnit držák zkoušeného předmětu, v jeho montážní sestavě pro provoz, k rázovému zařízení. Použít zkoušený předmět, který je dynamicky podobný materiálu, nebo mechanicky ekvivalentní maketu. Pokud se použije maketa, musí představovat stejný potenciál nebezpečí, hmotnost, těžiště a hmotnostní momenty kolem bodů připojení jako simulovaný materiál. Pokud se mají shromažďovat informace o měření, namontovat a kalibrovat přístrojové vybavení.
- Krok 2 Provést dva rázy v každém směru (podle článku 9.3.2), podél tří kolmých os zkoušeného předmětu do počtu maximálně 12 rázů.
- Krok 3 Provést fyzickou prohlídku nastavení zkoušky. Činnost zkoušeného předmětu není nutná.
- Krok 4 Zdokumentovat výsledky fyzické kontroly, včetně posouzení potenciálních rizik způsobených rozbitím materiálu nebo konstrukční deformací, nebo obojím. Zpracovat veškeré údaje měření vzhledem k maximax zrychlení SRS nebo pseudorychlosti SRS.

9.5.3.6 Manipulace na montážní stoličce (Postup VI)

Účelem této zkoušky je určit způsobilost materiálu odolat obvyklé úrovni rázu spojeného s běžnou údržbou nebo opravou na montážní stoličce. Tato zkouška se používá pro jakýkoli materiál, u kterého může dojít k údržbě na montážní stoličce nebo stoličce podobného typu. Tato zkouška zohledňuje jak konstrukční, tak i funkční integritu materiálu.

9.5.3.6.1 Řízení zkoušky – Manipulace na montážní stoličce (Postup VI)

Zkoušený předmět musí být plně funkčním zástupcem materiálu. Zkoušený předmět se zvedne na jedné hraně 100 mm (4 palce) nad povrch pevné dřevěné desky montážní stoličce, nebo dokud spodek nevytvoří se stoličcí úhel 45° nebo dokud není dosaženo bodu vyvážení, podle toho, co je menší. (Vrchní deska stoličce musí mít tloušťku nejméně 4,25 cm (1,675 palce).) Provede se série pádů v souladu se specifikacemi. Výšky použité při této zkoušce jsou definovány zkoumáním typických

pádů, kterých se běžně dopouštějí technici na montážní stoličce a personál montážní linky.

9.5.3.6.2 Tolerance zkoušky – Manipulace na montážní stoličce (Postup VI)

Je nezbytné zajistit, aby zkušební výška pádu byla v rozmezí 2,5 procent výšky pádu, která je uvedena v čl. 9.5.3.6.1.

9.5.3.6.3 Postup zkoušky – Manipulace na montážní stoličce (Postup VI)

Krok 1 Po provedení kontroly fyzického a funkčního stavu upravit zkoušený předmět tak, jako pro provoz, např. s rámem a sestavou předního panelu vyjmutými z jejich krytu. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 2. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok opakovat. Umístit zkoušený předmět, jako pro údržbu. Zkoušený předmět obecně nebude v průběhu zkoušky v činnosti.

Krok 2 Nadzvednout pomocí jedné hrany, jako otočného čepu, protilehlou hranu rámu, dokud nenastane jedna z následujících podmínek (podle toho, co nastane dříve).

- a) Zvednutá hrana rámu byla zvýšena 100 mm (4 palce) nad vodorovnou horní část stoličce.
- b) Rám tvoří úhel 45° s vodorovnou horní částí stoličce.
- c) Zvednutá hrana rámu je těsně pod rovnovážným bodem.

Nechat rám volně klesnout zpět na vodorovnou horní část stoličce. Opakovat úkon s použitím dalších praktických hran stejné vodorovné plochy, jako otočných čepů, celkem tedy čtyři pády.

Krok 3 Opakovat krok 2 se zkoušeným předmětem, který spočívá na jiných plochách, dokud nepadne celkem čtyřikrát na každou plochu, na kterou by mohl být zkoušený předmět v průběhu provozu skutečně umístěn.

Krok 4 Vizuálně zkontrolovat zkoušený předmět.

Krok 5 Zdokumentovat výsledky.

Krok 6 Zkoušený předmět uvést do činnosti v souladu se schváleným Programem zkoušek. Analýzu výsledků provést podle kapitoly 9.6.

Krok 7 Zdokumentovat výsledky pro porovnání s údaji získanými v kroku 1 výše.

9.5.3.7 Náraz kyvadla (Postup VII)

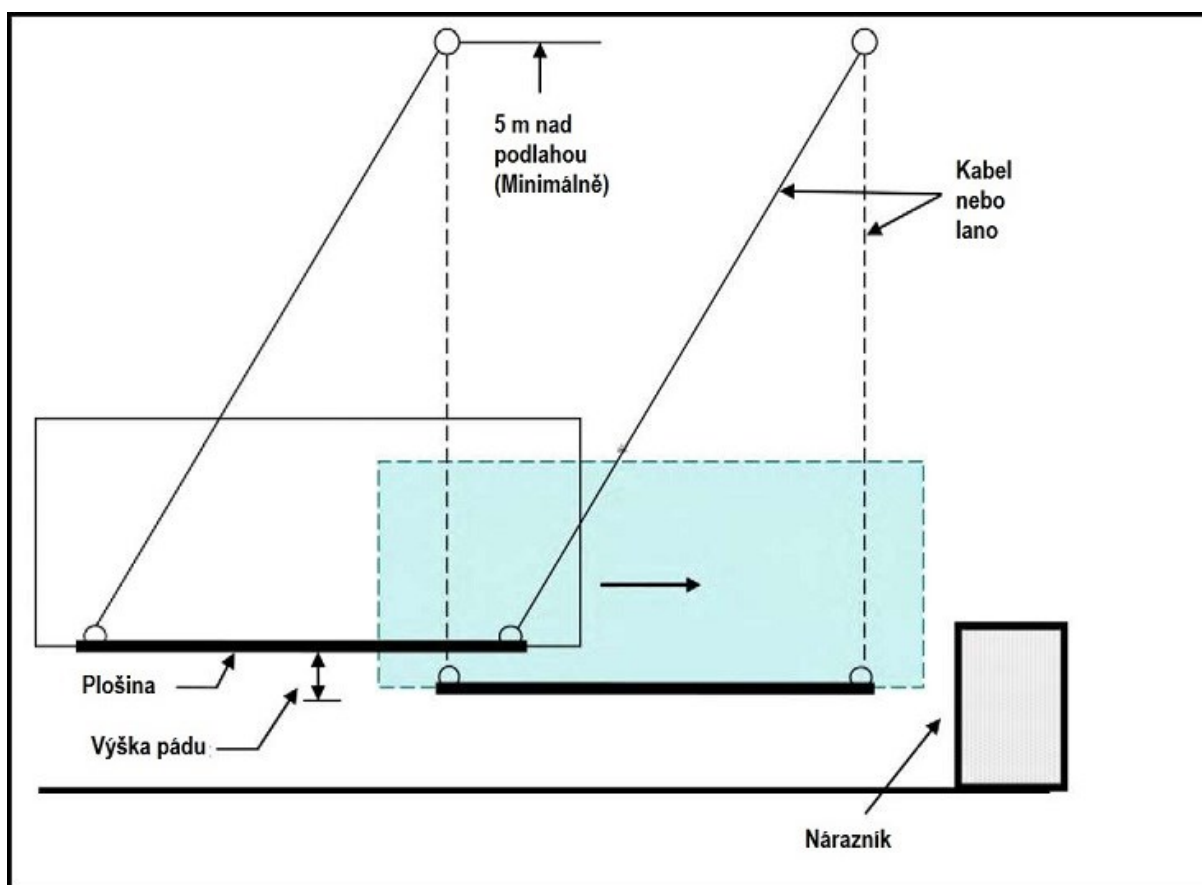
Zkoušený předmět (velký přepravní kontejner) může tvořit krabice, bedna, přepravka nebo jiný kontejner vyrobený ze dřeva, kovu nebo jiného materiálu nebo jakékoli jejich kombinace, pro které se běžné zkoušky v bedně nepovažují za praktické nebo přiměřené. Pokud není uvedeno jinak, velké kontejnery jsou ty, které měří více než 152 cm (60 palců) na kterékoli hraně nebo průměru, nebo kontejnery při naložení mají celkovou hmotnost vyšší než 70 kg (154 liber).

9.5.3.7.1 Řízení zkoušky – Náraz kyvadla (Postup VII)

- a) Nárazový stroj typu kyvadla tvoří plošina, zavěšená ve výšce nejméně 5 m (16,4 ft) nad podlahou čtyřmi nebo více lany, řetězy nebo kabely a nárazník sestávající z ploché, tuhé betonové nebo zděné stěny nebo jiné stejně nepoddajné ploché bariéry. Nárazník musí být zkonstruován tak, aby byl v kontaktu se spodními 23 cm (9 palců) kontejneru, dostatečně široký, aby umožnil plný kontakt podél celé šířky kontejneru, a musí mít dostatečnou

hmotnost, aby odolával nárazům bez posunu. Nárazová plocha je orientována kolmo na linii výkyvu plošiny. Plošina je dostatečně velká na to, aby unesla kontejner nebo balík, a pokud je volně zavěšená, je její horní povrch přibližně 23 cm (9 palců) pod horním povrchem nárazníku a její přední hrana přibližně 8 cm (3,1 palce) od povrchu nárazníku. Závěsné řetězy jsou svislé a rovnoběžné, takže když je plošina zatažena rovně dozadu, zvedne se rovnoměrně, ale zůstane vždy vodorovná a rovnoběžná s podlahou (viz obrázek 9.10).

- b) Výška pádu se stanoví pro požadovanou horizontální nárazovou rychlost na základě přeměny potenciální energie na kinetickou energii ($h = v^2/2g$). Pokud není uvedeno jinak, svislá výška je pokles o 23 cm (9 palců), což způsobí při nárazu rychlost $2,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($7 \text{ ft}\cdot\text{sec}^{-1}$).
- c) Zkoušený předmět (kontejner) se naloží s vnitřním balením a skutečným obsahem, pro který byl zkonstruován. Pokud použití skutečného obsahu není praktické, lze jej nahradit modelem nákladu, který by simuloval hmotnost, tvar a umístění v kontejneru. Obsah nebo model nákladu se upevní, podepře a vypodloží tlumícím materiálem v místě jako při přepravě. Při provádění nárazové zkoušky kyvadlem se vyhodnotí ochrana, pokud byla pro obsah stanovena, tuhost modelu nákladu by se měla blížit tuhosti skutečného obsahu, pro který byl balík navržen.



OBRÁZEK 9.10 – Zkouška nárazem kyvadla

9.5.3.7.2 Tolerance zkoušky – Náraz kyvadla (Postup VII)

Je potřeba zabezpečit, aby svislá výška pádu byla v rozmezí 2,5 procenta požadované výšky.

9.5.3.7.3 Postup zkoušky – Náraz kyvadla (Postup VII)

- Krok 1 Provést předběžnou kontrolu funkčnosti podle Programu zkoušek, pokud se vyžaduje. Namontovat akcelerometry a další snímače (senzory) na zkoušený předmět, podle potřeby.
- Krok 2 Zkoušený předmět umístit na plošinu tak, aby povrch, na který má být veden náraz, vyčníval za přední konec plošiny tak, aby se vzorek pouze dotýkal svislého povrchu nárazníku.
- Krok 3 Zatáhnout plošinu zpět tak, aby těžiště balíku bylo zvednuto do předepsané výšky, a poté jej uvolnit, aby se volně zhoupala, a povrch kontejneru dopadl na nárazník.
- Krok 4 Zkontrolovat zkoušený předmět a zaznamenat zjevná poškození. Pokud je kontejner nepoškozen, otočit jej o 180 stupňů a opakovat krok 3. Pokud je zkouška prováděna za účelem určení vyhovujícího stavu kontejneru nebo balíku, a není-li uvedeno jinak, podrobit každý zkoušený předmět jednomu nárazu na každou stranu a každý konec, který má vodorovný rozměr menší než 3 m (9,8 ft).
- Krok 5 Zaznamenat všechny změny nebo zlomy v kontejneru, jako je například zjevný posun regálů, vytažení hřebíků nebo nalomené součásti a jejich umístění. Pečlivě zkontrolovat balení obsahu (klíny, podložky, tlumicí obklady nebo jiné prostředky) a obsah a zaznamenat jejich stav. V případě potřeby provést zkoušku funkčnosti po zkoušce v souladu s Programem zkoušek. Provést analýzu výsledků podle kapitoly 9.6.

9.5.3.8 Katapultovaný start / Přistání se zachycením (Postup VIII)

Účelem této zkoušky je ověřit funkční a konstrukční integritu materiálu namontovaného v letadle nebo na letadle s pevnými křídly, který je vystaven katapultovaným startům a přistáním se zachycením.

9.5.3.8.1 Řízení zkoušky – Katapultovaný start / Přistání se zachycením (Postup VIII)

- a) **Naměřené údaje nejsou k dispozici.** Kdykoli je to možné, odvozují se zkušební podmínky z naměřených údajů vhodného dopravního letadla, protože odezvy na rázy mohou být ovlivněny místními vlivy, jako jsou režimy ohybu křídla a trupu, rozhraní pylonu a tlumení konstrukcí. I když jsou amplitudy impulzů spojené s tímto prostředím obecně nízké, dlouhé doby používání a vysoká četnost výskytu může způsobovat významné dynamické a/nebo nízkocyklové únavové poškození u nesprávně navrženého materiálu. Typické letadlo může nalétat až 200 letů ročně, z nichž více než dvě třetiny zahrnují katapultované starty a přistání se zachycením. Avšak pro účely laboratorní zkoušky by 30 simulovaných situací se starty pomocí katapultu / přistání se zachycením v každé ze dvou os (podélné a svislé) mělo zajistit jistotu, že většina významných závad bude identifikována pro opravárenskou činnost. Nejsou-li k dispozici přijatelné údaje naměřené v polních podmínkách, nabízí se následující návod, ve kterém se použije dávka sinusových impulzů pro simulaci každé situace katapultáže nebo startu.

Tento časový průběh byl zjednodušen na dávku sinusových impulzů s konstantní amplitudou trvající 2 sekundy pro simulaci na vybraném kmitočtu materiálu (obvykle první základní režim křídla naloženého letadla). Pro účely zkoušení je přípustné snížit maximální amplitudu ve vodorovném směru na 75 procent amplitudy ve svislém směru.

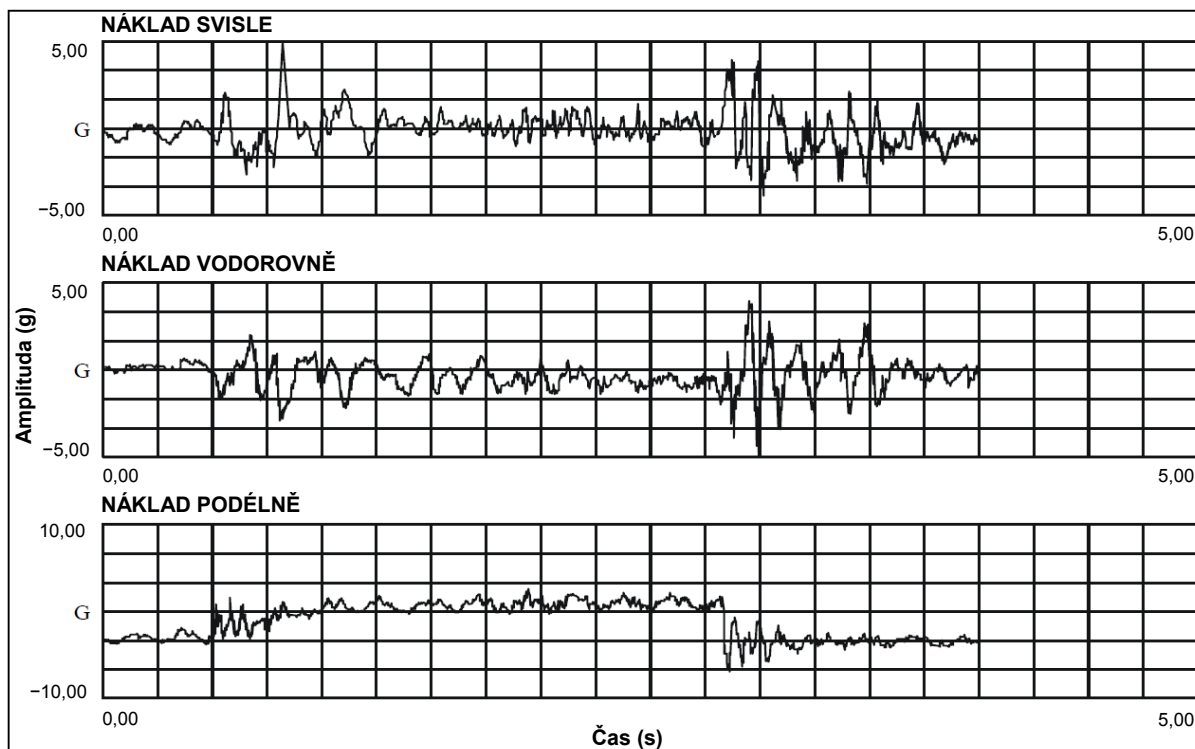
- (1) Tvar vlny: tlumená sinusová vlna.
- (2) Vlnový kmitočet: určený konstrukční analýzou konkrétního letadla a kmitočtem základního režimu.
- (3) Dávková amplituda: určená konstrukční analýzou konkrétního letadla, kmitočtem základního režimu a umístěním materiálu vzhledem k tvaru základního režimu.
- (4) Tlumení vln (faktor kvality): $Q = 20$.
- (5) Osa: svislá, vodorovná, podélná.
- (6) Počet dávek: určený konkrétní aplikací (například 30 dávek, z nichž každá následuje s 10sekundovou přestávkou).

- b) **Naměřené údaje jsou k dispozici.** Jsou-li k dispozici vhodné údaje naměřené v polních podmínkách, nabízí se následující návod, v němž je situace katapultáže simulována dvěma rázy oddělenými přechodovou vibrací a situace přistání se zachycením, jedním rázem následovaným přechodovou vibrací. Prostředí katapultovaného startu/přistání se zachycením se liší od ostatních typických rázových situací v tom, že se jedná o přechodové periodické vibrace (zhruba sinusové) při relativně nízkém kmitočtu určeném hmotností letadla a charakteristikami tlumení podvozku. Typické časové průběhy rázu katapultovaného startu jsou znázorněny na obrázku 9.11. Tyto údaje představují měřenou odezvu zrychlení ve svislém, vodorovném a podélném směru uložených prvků namontovaných na pylonu platformy. Data jsou stejnosměrná a filtrována dolní propustí při 70 Hz. Všechny tři časové průběhy ukazují počáteční přechodový jev, po kterém následuje přechodová vibrace (téměř dvě sekundy dlouhá) a uzavřené konečným přechodovým jevem. Podélná osa poskytuje profil DC katapultového zrychlení, které obecně nebude důležité pro účely zkoušení, a může být odstraněno filtrováním horní propustí časového průběhu při kmitočtu menším než 10 procent nejnižšího významného kmitočtu při maximax zrychlení SRS. Postupy pro dosažení tohoto filtrování mohou být nutně iterativní (pokud nejsou použity informace Fourierovy transformace) s filtrováním horní propustí začínajícím na poměrně vysokém kmitočtu a klesajícím, dokud není identifikován nejvýznamnější nízký kmitočet SRS. Obecně odezva zrychlení katapultáže zobrazí dvě rázové události odpovídající počátečnímu zatížení katapultáží v letadle a uvolnění katapultáže z letadla oddělené oscilačním zrychlením. Počáteční i konečné rázové situace mají zřetelný oscilační charakter. Je nezbytné, aby tato zkouška byla provedena jako série dvou přechodových rázů oddělených dvou sekundovou časovou periodou, ve které mohou být vstupem přechodové vibrace. Typické časové průběhy rázu přistání se zachycením jsou znázorněny na obrázku 9.12. Tyto údaje představují změřenou odezvu zrychlení ve svislém, vodorovném a podélném směru uložených prvků namontovaných na pylonu platformy. Data jsou stejnosměrná a filtrována dolní propustí při 70 Hz. Všechny tři časové průběhy ukazují počáteční přechodový stav, po kterém následuje přechodová vibrace (téměř tři sekundy dlouhá). Je

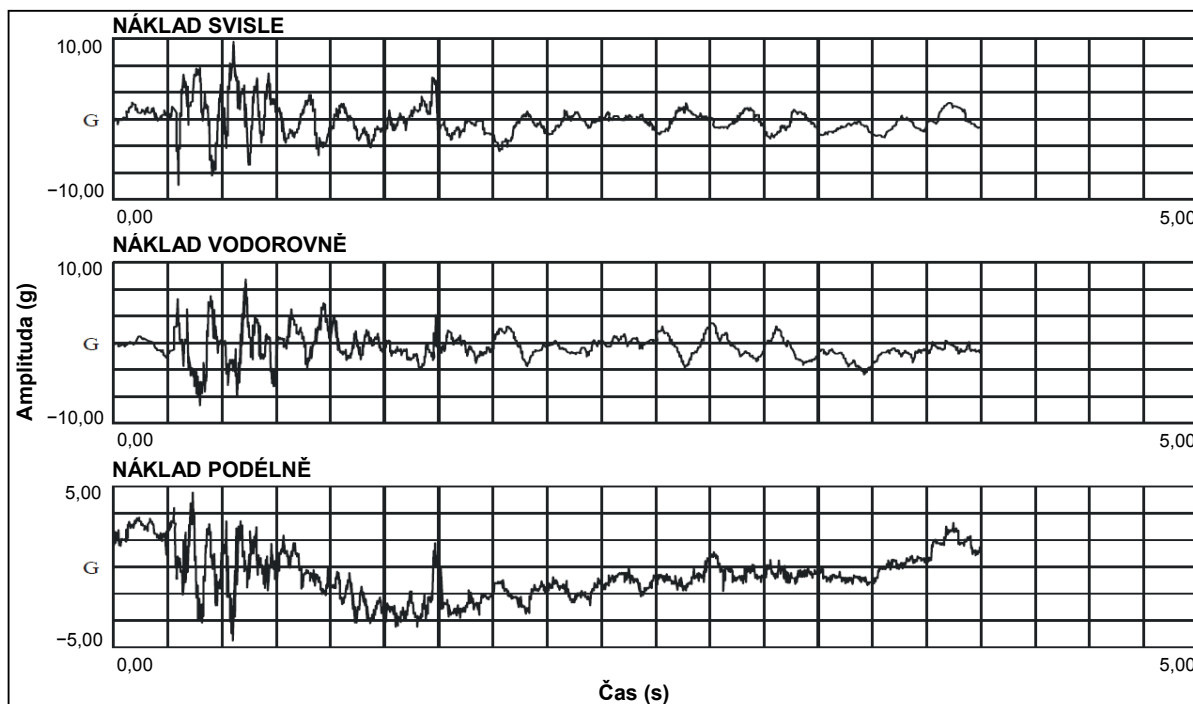
zřejmé, že podélný časový průběh má poměrně velkou složku DC, která může být odfiltrována pro vypracování konkrétní zkoušky. Zde se zavádí termín „přechodová vibrace“, protože trvání události není typické pro rázovou situaci.

POZNÁMKA

Přechodové vibrace. Pro přesnou laboratorní simulaci může Postup VIII vyžadovat zvážení koncepce přechodové vibrace při zpracování a opakování tvaru časového průběhu z naměřených údajů. Pro přechodová prostředí s dlouhým trváním (trvání řádově 1 sekunda nebo více) může být užitečné zpracovat časové průběhy odezvy odhadem funkce obálky $a(t)$ a pokračovat ve výpočtu maximax spektrální hustoty zrychlení (ASD), za předpokladu, že krátké části časového průběhu odezvy se chovají stejným způsobem jako stacionární náhodné údaje. Odhad tohoto tvaru spadá do kategorie nestacionárního zpracování časového průběhu a v této metodě se nebude dále zvažovat. Důležitost jevu přechodových vibrací je, že (1) má formu rázu (krátké trvání a podstatná časově proměnná amplituda), (2) může být matematicky modelován přesným způsobem a (3) může být použit ve stochastické simulaci určitých rázových prostředí. Rázy mají obecně svou významnou energii v kratším časovém rámci než přechodové vibrace, zatímco přechodové vibrace umožňují jiné funkce obálky v časovém průběhu, než je forma exponenciální obálky, která se často vyskytuje v rázech v důsledku poklesu rezonanční odezvy na náraz.



OBRÁZEK 9.11 – Vzorek změřených časových průběhů odezvy zrychlení uložené součásti při startu katapultem ve třech osách



OBRÁZEK 9.12 – Vzorek změřených časových průběhů odezvy zrychlení uložené součásti při přistání se zachycením ve třech osách

9.5.3.8.2 Tolerance zkoušky – Katapultovaný start / Přistání se zachycením (Postup VIII)

V případech, kdy naměřené údaje nejsou k dispozici a průběhy tvaru vln jsou vytvářeny dynamickou analýzou sestavy, je třeba zajistit, aby tolerance tvaru vlny byly v rámci tolerancí zkoušky časového průběhu specifikovaných pro tvar vlny v článku 9.5.4. V případech, kdy jsou k dispozici naměřené údaje, je nezbytné se ujistit, že SRS pro zkušební odezvu je v rámci tolerancí SRS uvedených v článku 9.5.4.2. Pro přechodové vibrace je třeba zajistit, aby vrcholy a sedla tvaru vlny byly v rámci tolerancí stanovených pro tvar vlny v článku 9.5.4 nebo ve specifikaci zkoušky.

9.5.3.8.3 Postup zkoušky – Katapultovaný start / Přistání se zachycením (Postup VIII)

- Krok 1 Namontovat zkoušený předmět do jeho rázového/vibračního upínacího přípravku rázového zařízení pro první zkušební osu.
- Krok 2 Připojit přístrojové vybavení podle požadavků schváleného Programu zkoušek.
- Krok 3 Provést provozní prohlídku a vizuální kontrolu v souladu se schváleným plánem zkoušek. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 4. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok zopakovat.
- Krok 4a Nejsou-li k dispozici žádné údaje naměřené v polních podmínkách, použít na zkoušený předmět krátké přechodové sinusové vlny několika cyklů v první zkušební ose (viz čl. 9.5.3.8.1a). (Každá krátká přechodová

sinusová vlna několika cyklů představuje samostatnou situaci startu katapultem nebo přistání se zachycením). Střídat každou dávku rázů intervaly přestávek, aby se předešlo netypickým projevům. Uvést zkoušený předmět do činnosti ve správném provozním režimu, když jsou aplikovány dávky rázů. Pokud zkoušený předmět nefunguje tak, jak se předpokládalo, postupovat podle pokynů v čl. 9.5.6.2 týkajícího se poruchy zkoušeného předmětu.

Krok 4b Jsou-li k dispozici údaje naměřené v polních podmínkách, použít buď naměřené údaje odezvy časového průběhu tvaru vlny řízené budícím systémem (viz Metoda 423), nebo zpracovat katapultovaný start jako dva rázy oddělené přechodovou vibrací a přistání se zachycením jako ráz následovaný přechodovou vibrací. Uvést zkoušený předmět do činnosti ve vhodném provozním režimu se současnou aplikací dávek rázů. Pokud zkoušený předmět nefunguje podle předpokladu, postupovat podle pokynů v čl. 9.5.6.2 týkajícího se poruchy zkoušeného předmětu.

Krok 5 Pokud zkoušený předmět v průběhu zkoušky nefungoval správně, provést provozní zkoušku a vizuální prohlídku v souladu se schváleným Programem zkoušek. Pokud došlo k poruše, může být nezbytné provedení důkladné vizuální prohlídky dříve, než se bude pokračovat v provozní kontrole, aby nedošlo k dalšímu poškození přístrojového vybavení. Pokud dojde k poruše, zvážit, zda má být zkouška znovu zahájena nebo zda má pokračovat od okamžiku přerušení, s přihlédnutím k povaze poruchy a nápravnému opatření, jakož i účelu zkoušky (technické informace nebo smluvní shoda). Pokud zkoušený předmět nefunguje uspokojivě, postupovat podle pokynů v čl. 9.5.6.2 týkajícího se poruchy zkoušeného předmětu.

Krok 6 Opakovat kroky 1 až 5 pro druhou zkušební osu.

Krok 7 Zdokumentovat výsledky zkoušky včetně grafů časového průběhu amplitud a poznámek o jakékoli degradaci provozních nebo konstrukčních vlastností zkoušeného předmětu. Analýzu výsledků provést podle kapitoly 9.6.

9.5.4 Tolerance a související charakteristiky

Pro ověření zkoušky se používají tolerance stanovené pro každý jednotlivý postup spolu s níže uvedenými pokyny. V případech, kdy takové tolerance nemohou být splněny, stanoví se dosažitelné tolerance, na kterých se dohodl příslušný technický úřad a zákazník před zahájením zkoušky. V případech, kdy jsou tolerance stanoveny nezávisle na níže uvedeném pokynu, stanoví se tyto tolerance v rámci mezí specifikovaných kalibrací měření, přístrojového vybavení, kondicionování signálu a postupů analýzy údajů.

9.5.4.1 Klasické impulzy a komplexní přechodové impulzy – časová oblast

Pro klasické impulzy v této metodě jsou toleranční meze impulzů vyjádřených v časové oblasti stanoveny na obrázcích 9.3 až 9.5. U složitých přechodových impulzů specifikovaných v časové oblasti se předpokládá, že zkoušky budou provedeny podle TWR (Metoda 423) a bude použit návod pro toleranci související s touto metodou. Pokud je místo složitějších naměřených údajů časového průběhu definován klasický rázový impulz, musí být prokázáno, že odhady SRS klasického

rázového impulzu jsou v rámci tolerancí stanovených pro odhady SRS naměřených údajů časového průběhu.

9.5.4.2 Komplexní přechodové impulzy – SRS

Pro komplexní přechodový impulz určený pomocí maximax SRS, např. obrázek 9.2, jsou tolerance kmitočtové oblasti a časové oblasti určeny pomocí tolerance pro hodnoty amplitudy SRS pro stanovenou šířku pásma a toleranci pro efektivní dobu trvání impulzu. Je-li provedena řada rázů, musí být všechna zrychlení maximax SRS vypočtena na středovém kmitočtu pásem jedné dvanáctiny oktávy s výchozím faktorem kvality tlumení Q o hodnotě 10 (5 % kritického tlumícího faktoru). Tolerance v jednotlivých bodech (hodnoty spojené s každou jednou dvanáctinou oktávy středového kmitočtu) musí být v rozmezí $-1,5$ dB a $+3$ dB nad minimem 90 procent celkové hodnoty v šířce kmitočtového pásma od 10 Hz do 2 000 Hz. Pro zbývající část kmitočtového pásma musí být všechny hodnoty SRS v rozmezí -3 dB a $+6$ dB (to dává poměrně úzkou toleranci na hlavní požadované kmitočtové pásmo, ale umožňuje větší toleranci na 10 procentech tohoto kmitočtového pásma a větší toleranci na SRS nad 2 kHz). Je potřeba si uvědomit, že pokud je SRS v toleranci jak pro minimální SRS, tak pro maximum SRS, je impulz považován za symetrický. Zatímco referenční kritéria jsou často omezena šířkou pásma v důsledku omezení budicího zařízení, vyškolený analytik může vyžadovat, aby údaje odezvy byly sledovány na šířce pásma, při které se amplituda SRS zplošťuje. Trvání komplexního přechodového stavu je definováno dobami T_e a T_E , jak je uvedeno v příloze 9A, článek 9.A.1.3, a musí mít toleranci $0,8T_E \leq T_e \leq 1,2T_E$. Kromě toho jsou k dispozici následující pokyny:

- a) Všechny tolerance jsou uvedeny pro maximax zrychlení SRS. Jakékoli tolerance uvedené pro spektra odezvy pseudorychlosti musí být odvozeny z tolerancí maximax zrychlení SRS. (U dokumentu se třemi souřadnicemi lze stanovit toleranci pseudorychlosti umístěním tolerančních pásem podél osy zrychlení SRS a poté extrahováním hodnot tolerance podél souřadnic pro toleranci SRS pseudorychlosti.) Je potřeba si uvědomit, že odhady SRS měří přímo v amplitudě, tj. znásobení časového průběhu faktorem je převedeno přímo do násobení odhadu SRS stejným faktorem.
- b) Tolerance zkoušky jsou uvedeny jako jednotlivé tolerance měření; to znamená, že každá jednotlivá laboratorní zkouška musí zapadat do tolerančních pásem, aby zabezpečila vyhovující zkoušku. Pro řadu měřených veličin definovaných jako „zóna“ (čl. 9.7.1, odkaz b) může být tolerance amplitudy stanovena jako průměr měření v „zóně“. Ve skutečnosti je to však uvolnění jediné tolerance měření tím, že jednotlivá měření mohou být v podstatě mimo toleranci, zatímco průměr je v rámci tolerance. Obecně platí, že při určování zkušebních tolerancí založených na průměrování pro více než dvě měření v zóně, by toleranční pásmo nemělo překročit 95/50 jednostrannou horní hranici normální tolerance vypočítanou pro logaritmičticky transformované odhady SRS, ani být menší než průměr minus 1,5 dB. Každé použití tolerancí „zón“ a průměrování musí mít podpůrnou dokumentaci připravenou zkušeným analytikem. Tolerance doby trvání zkušebního impulzu, pokud je poskytnuto více než jedno měření, může být stanovena buď jako procento harmonického průměru impulzů (n -tá odmocnina součinu hodnot n dob trvání definovaných T_{Ej} pro $j = 1, 2, \dots, n$, tj.

$$T_E = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n T_{Ej}}$$

nebo na základě některých statistických opatření s přihlédnutím k rozptylu efektivních dob trvání. Například 95/50 oboustranná normální toleranční mez poskytne horní a dolní mez doby trvání, po kterou se očekává, že 95 procent budoucích měření poklesne s 50 % koeficientem spolehlivosti. Deset procent rozdílu v těchto mezích může být přiměřená doba trvání tolerance. Další možné způsoby statistického vymezení specifikace tolerance doby trvání jsou uvedeny v příloze 9C.

- c) Pokud zkoušený předmět nemá významnou nízkokmitočtovou modální odezvu, je přípustné nechat nízkokmitočtovou část SRS vypadnout z tolerance, aby uspokojila vysokokmitočtovou část SRS, pokud vysokofrekvenční část začíná alespoň jednu oktávu pod prvním kmitočtem přirozeného režimu f_1 instalovaného zkoušeného předmětu. Je třeba připomenout, že f_{\min} bylo definováno jako jedna oktáva pod f_1 . Syntéza referenčního impulzu by měla být prováděna tak, aby co nejvíce ze spektra pod f_{\min} zůstalo v toleranci, bez překročení stanovené doby trvání T_E .
- d) Pokud má zkoušený předmět významnou nízkokmitočtovou modální odezvu, je přípustné, aby doba trvání komplexního přechodového impulzu padla mimo rozsah T_E , aby byla uspokojena nízkofrekvenční část SRS. Efektivní doba trvání může být zvýšena až o $1/(2f_{\min})$ navíc k T_E (např. $T_E + 1/(2f_{\min})$), aby byla nízkofrekvenční část SRS v rámci tolerance. Pokud doba trvání komplexního přechodového impulzu musí překročit $T_E + 1/(2f_{\min})$, aby byla nízkofrekvenční část SRS v rámci tolerance, musí se použít jiný postup rázové zkoušky.

9.5.5 Řízení

Přesnost při poskytování a měření prostředí rázů a vibrací je vysoce závislá na upínacích přípravcích a upevnění zkoušeného předmětu, měřícím systému a strategii řízení budiče. Je třeba zabezpečit, aby všechna hlediska týkající se přístrojů, byla v souladu s nejlepšími dostupnými osvědčenými postupy (viz čl. 9.7.1, odkazy d, e). K dodržení tolerancí podle článku 9.5.4 bude spolu s dobrou kvalitou řízení nutný pečlivý návrh sestavy zkoušky, upínacích přípravků, upevnění snímačů a kabeláže.

9.5.6 Přerušení zkoušky

Přerušení zkoušky může být způsobeno dvěma nebo více situacemi, z nichž jedna je způsobena poruchou rázového přístroje nebo souvisejícího laboratorního pomocného zařízení. Druhý typ přerušení zkoušky je způsoben poruchou samotného zkoušeného předmětu v průběhu provozních kontrol.

9.5.6.1 Přerušení zkoušky z důvodu poruchy laboratorního zařízení

- a) Všeobecná ustanovení. Viz AECTP-400, Metoda 400, článek 4.4.
- b) Konkrétní pro tuto metodu. Je nepravděpodobné, že by přerušení posloupnosti rázové zkoušky mělo nežádoucí účinky. Obvykle se pokračuje ve zkoušce od okamžiku přerušení.

9.5.6.2 Přerušeni zkoušky z důvodu poruchy provozu zkoušeného předmětu

Porucha požadované funkce zkoušeného předmětu / zkoušených předmětů při provozních kontrolách představuje situaci s několika možnými alternativami.

- a) Vhodnější alternativou je nahradit zkoušený předmět „novým“ a opět zahájit zkoušku od kroku 1.
- b) Další alternativou je opravit vadnou nebo nefunkční součást nebo sestavu zkoušeného předmětu tak, aby fungovala podle Programu zkoušky a zahájit celou zkoušku od kroku 1.

POZNÁMKA

Při vyhodnocování přerušeni v důsledku poruch je třeba zvážit předchozí zkoušení na stejném zkoušeném předmětu a jeho důsledky.

9.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Kromě specifických pokynů uvedených v Programu zkoušky a obecných pokynů uvedených v AECTP-400, Metoda 400, kapitoly 2 a 3, platí níže uvedené odstavce, kde jsou uvedeny doplňující informace o analýze zkoušek. Analyzují se jakékoli poruchy zkoušeného předmětu, aby se splnily požadavky specifikací materiálu.

- a) Postup I (Funkční ráz) – Zvážit jakékoli přerušeni provozu materiálu v průběhu rázu nebo po rázu ve vztahu k požadavkům provozní zkoušky materiálu. (Viz odstavec 9.5.6.2).
- b) Postup II (Přepravní ráz) – Zvážit jakákoli poškození úchytů nebo vnitřního konstrukčního uspořádání zkoušeného předmětu, která mohou být příčinou vypracování postupu při analýze poruch, aby bylo možné zvážit dodatečné vybavení nebo nové provedení.
- c) Postup III (Křehkost) – Výsledkem úspěšné zkoušky křehkosti je jedna specifikovaná úroveň měření poruchy zkoušeného předmětu pro každou zkušební osu spolu s dobou trvání rázu. Je třeba si uvědomit, že pokud zkoušený předmět selže buď funkčně, nebo konstrukčně při nejnižší zkušební úrovni, a neexistuje ustanovení pro zkoušení na nižších úrovních, není možné stanovit úroveň křehkosti zkoušeného předmětu.
- d) Postup IV (Přepravní pádová zkouška) – Obecně bude analýza výsledků sestávat ze srovnání výsledků vizuální a funkční kontroly před a po zkoušce. Přístrojové vybavení měření a následné zpracování informací o časovém průběhu zrychlení mohou poskytnout cenné informace týkající se charakteristik odezvy zkoušeného předmětu a statistické změny v prostředí rázů.
- e) Postup V (Nebezpečný ráz při dopravní nehodě) – Pokud byly získány informace o měření, zpracují se v souladu s čl. 9.5.3.5.3, krok 4.
- f) Postup VI (Manipulace na montážní stoličce) – Obecně musí být zaznamenána a analyzována jakákoli provozní nebo fyzická (mechanická nebo konstrukční) změna sestavy z kroku 1 v čl. 9.5.3.6.3.
- g) Postup VII (Náraz kyvadla) – Obecně bude analýza výsledků zahrnovat vizuální prohlídky a případná provozní srovnání před a po zkoušce. Zkontroluje se funkčnost a provede se prohlídka, zda nedošlo k fyzickému poškození obsahu (s výjimkou použití modelu nákladu). Poškození exteriéru přepravního kontejneru, které je výsledkem nesprávného vnitřního balení,

blokování nebo vyztužení, je důvodem k odmítnutí. Konstrukční poškození vnějšího přepravního kontejneru, které má za následek rozlití obsahu nebo poruchu kontejneru při následné manipulaci, je příčinou odmítnutí. Posoudit, zda značné posunutí obsahu v přepravním kontejneru vytvořilo podmínky, které pravděpodobně způsobí poškození během naložení, skladování a přeložení kontejneru. Menší poškození kontejneru, jako je odštěpení dřevěných prvků, promáčknutí, oprýskání barvy, není důvodem k odmítnutí. Pokud jsou zaznamenány, mohou časové průběhy zrychlení nebo jiné údaje snímače poskytnout cenné informace týkající se charakteristik odezvy zkoušeného předmětu.

- h) Postup VIII (Katapultovaný start / Přistání se zachycením) – Je třeba posoudit jakoukoli poruchu konstrukčního uspořádání zkoušeného předmětu, držáku nebo odpalovacího zařízení, která nemusí mít přímý dopad na poruchu činnosti materiálu, ale která by vedla k poruše za provozních podmínek.

9.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

9.7.1 Odkazy

- a) IES-RD-DTE012.2, Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516.
- b) Piersol, Allan G., Stanovení maximálních konstrukčních odezev z předpovědí nebo měření ve vybraných bodech (Determination of Maximum Structural Responses From Predictions or Measurements at Selected Points), Proceedings of the 65th Shock and Vibration Symposium, Volume I, SAVIAC, 1994. Shock & Vibration Exchange (SAVE), 1104 Arvon Road, Arvon, VA 23004.
- c) MIL-DTL-901, Rázové zkoušky – vysoký náraz (Shock Tests, H.I. (High Impact)), Shipboard Machinery, Equipment and Systems, Requirements for.
- d) MIL-STD-331, Zapalovač a prvky zapalovače, zkoušky vlivu prostředí a výkonové zkoušky (Fuze and Fuze Components, Environmental and Performance Tests for).
- e) Gaberson, H. A., Chalmers, R. H., Modální rychlost jako kritérium náročnosti rázu (Modal Velocity as a Criterion of Shock Severity), Shock and Vibration Bulletin 40, Pt. 2, 1969, str. 31-49.
- f) Piersol, Allan G., T. L. Paez, eds., Harris' Příručka pro rázy a vibrace (Shock and Vibration Handbook), 6th Edition, NY, McGraw-Hill, 2010.
- g) AR 70-44, Služby zpracování informací (Information Handling Services), DoD Engineering for Transportability.
- h) Def Stan 00-035, Zkouška M3 (Test M3), Part 3, Issue 5, 28. ledna 2017.
- i) Smallwood, David O., Vytváření invazivních filtrů pro různé formy spektra odezvy na rázy (Generating Ramp Invariant Filters for Various forms of the Shock Response Spectrum), 76th Shock and Vibration Symposium, 2005.
- j) Bendat, J. S., Piersol, A. G., Náhodná data: Analytické a měřicí postupy (Random Data: Analysis and Measurement Procedures), Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 2010.

- k) Smallwood, D. O., Charakterizace a simulace přechodových vibrací s využitím časově omezených pásem (Characterization and Simulation of Transient Vibrations Using Band Limited Temporal Moments), Shock and Vibration, Vol. 1, No. 6, str. 507-527, John Wiley and Sons, 1994.
- l) Edwards, Timothy, Energie dodávaná do mechanických systémů náhodnými vibracemi (Power Delivered to Mechanical Systems by Random Vibrations), Proceedings of the 79th Shock and Vibration Symposium, Orlando, Florida, říjen 2008.
- m) Chu, A., Nulový posun piezoelektrických akcelerometrů v měřeních výbuchového rázu (Zeroshift of Piezoelectric Accelerometers in Pyroshock Measurements), Proceedings of the 58th Shock & Vibration Symposium, Huntsville, AL, říjen 1987.
- n) Plumlee, R. H., Nulový posun v piezoelektrických akcelerometrech (Zero-Shift in Piezoelectric Accelerometers), Sandia National Laboratories Research Report, SC-RR-70-755, březen 1971.
- o) Bateman, V. I., Izolace akcelerometru pro mechanické rázy a výbuchový ráz (Accelerometer Isolation for Mechanical Shock and Pyroshock), Proceedings of the 82nd Shock and Vibration Symposium, Baltimore, MD, listopad 2011 a ESTECH2012, Orlando, FL, květen 2012.
- p) NATO STANAG 4370, Zkoušky vlivu prostředí, (Environmental Testing), AECTP-200, Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku (Environmental Conditions), Category 240.
- q) NSWCCD-80-TR-2017/002, Standardizované požadavky na laboratorní zkoušky pro kalící zařízení odolávající nárazovým vlnám v malých vysokorychlostních plavidlech (Standardized Laboratory Test Requirements for Hardening Equipment to Withstand Wave Impact Shock in Small High Speed Craft).
- r) NSWCCD-80-TR-2015/010, Požadavky na laboratorní zkoušky sedadel pro izolaci mořských rázů (Laboratory Test Requirements for Marine Shock Isolation Seats).

9.7.2 Související dokumenty

- a) Conover, W. J., Praktická neparametrická statistika (Practical Nonparametric Statistics), New York, Wiley, 1971, Kapitola 3.
- b) Piersol, A. G., Analýza konstrukční odezvy raket Harpoon na starty, přistání a zachycení letu a střelbu (Analysis of Harpoon Missile Structural Response to Aircraft Launches, Landings and Captive Flight and Gunfire), Naval Weapons Center Report #NWC TP 58890, leden 1977.
- c) Schock, R. W., Paulson, W. E., Přehled prostředí rázů a vibrací ve čtyřech hlavních režimech přepravy (A Survey of Shock and Vibration Environments in the Four Major Modes of Transportation), TRANSPORTATION, Shock and Vibration Bulletin #35, Část 5, únor 1966.
- d) Ostrem, F. E., Přehled vstupů přepravních rázů a vibrací (A Survey of the Transportation Shock and Vibration Input to Cargo), TRANSPORTATION AND PACKAGING, Shock and Vibration Bulletin #42, Část 1, leden 1972. Shock & Vibration Exchange (SAVE), 1104 Arvon Road, Arvon, VA 23004.
- e) NATO STANAG 4370, AECTP-400, Zkoušky vlivu mechanického prostředí (Mechanical Environmental Tests), Metody 403, 416.

- f) MIL-STD-209K, Podmínky zvedání a upevňování (Lifting and Tiedown Provisions).
- g) DOD Directive 4510.11, Dopravní inženýrství (DOD Transportation Engineering).
- h) Egbert, Herbert W., Historie a zdůvodnění MIL-STD-810 (The History and Rationale of MIL-STD-810), Edice 2, leden 2010, Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516.
- i) ANSI/ASTM D3332, Standardní zkušební metody pro křehkost produktů způsobených mechanickými rázy pomocí rázových strojů (Standard Test Methods for Mechanical-Shock Fragility of Products, Using Shock Machines), Information Handling Services.
- j) Fackler, Warren C, Ekvivalenční metody pro vibrační zkoušení (Equivalence Techniques for Vibration Testing), SVM-9, The Shock Vibration Information Center, Naval Research Laboratory, Washington D.C., 1972.
- k) Miles, J., O konstrukční únavě při náhodném zatěžování (On Structural Fatigue Under Random Loading), J. Aeronaut. Sci. 21, 753-762, listopad 1954.
- l) IEEE 1057, Standard IEEE pro digitalizaci záznamů křivek (IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders).

PŘÍLOHY

Příloha 9A
(normativní)

CHARAKTERIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU A ZÁKLADNÍ ZPRACOVÁNÍ

9.A.1 CHARAKTERIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU JEDNOTLIVÉHO RÁZU A ZÁKLADNÍ ZPRACOVÁNÍ

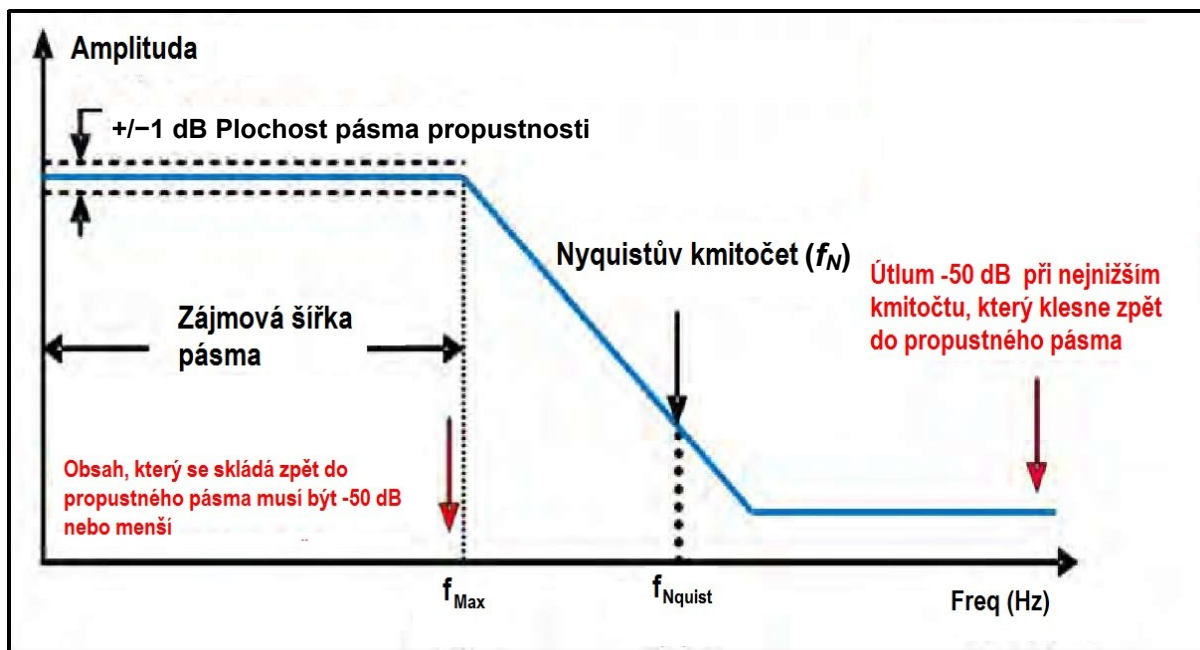
Následující odstavce pojednávají o základních charakteristikách měřicího systému pro sběr údajů, po nichž následuje pojednání o správné identifikaci částí měřeného rázu (zejména o době trvání rázu). Informace v příloze 9A jsou nezbytné pro zpracování naměřených údajů pro specifikaci laboratorních zkoušek.

9.A.1.1 Měřicí systém a parametry kondicionování signálu

Přístrojové vybavení pro zaznamenávání údajů musí odpovídat odezvě s plochým kmitočtem do maximálně požadovaného kmitočtu (f_{Max}). Pokud f_{Max} není uveden, doporučuje se pro každé místo měření výchozí hodnota 10 kHz. Definování f_{AA} jako mezního kmitočtu polovičního výkonu 3 dB analogového vyhlazovacího filtru dolní propustí předpokládá $f_{Max} < f_{AA}$, aby se udržovala plochá kmitočtová odezva. Rychlost digitalizace musí být nejméně 2,5násobkem filtračního kmitočtu f_{Max} . Je třeba si uvědomit, že pokud se k určení úrovně rázu použijí měření špičkové amplitudy, vzorkovací kmitočet je nejméně 10násobkem filtračního kmitočtu (100 000 vzorků za sekundu pro výchozí případ). Z hlediska SRS by měl být měřicí ráz získán při 10násobku filtračního kmitočtu nebo znovu převzorkován na 10násobek filtračního kmitočtu.

Je nezbytné, aby byl používán odpovědně navržený systém pro vyhlazování. Analogové vyhlazovací filtry musí být umístěny před digitalizačním zařízením. Zvolené vyhlazovací filtrování musí mít útlum 50 dB nebo vyšší a plochost propustného pásma v rámci jednoho dB napříč požadovanou kmitočtovou šířkou pásma (viz obrázek 9.A.1a). Následné opakované vzorkování, např. pro účely decimování musí být v souladu se standardními postupy a v souladu s analogovou vyhlazovací sestavou (např. digitální vyhlazovací filtry musí být umístěny před následným decimováním).

Musí být prokázáno odmítnutí vyhlazování (od začátku do konce) konečného diskretizovaného výstupu, aby splňovalo požadavky na obrázku 9.A.1a. Charakteristiky vyhlazování musí zajistit útlum 50 dB nebo vyšší u kmitočtů, které se složí zpět do propustného pásma. Spektrální údaje včetně grafů SRS mohou být uváděny pouze pro kmitočty uvnitř propustného pásma (mezi 0 a f_{Max}). Toto omezení však neomezuje postupy pro ověření digitálních údajů, které vyžadují posouzení digitálně získaných údajů k Nyquistovu kmitočtu (buď pro počáteční analogově digitální převodník (ADC) nebo následné opakované vzorkování sekvencí). Je třeba poznamenat, že je možné, že určité systémy pro kondicionování senzorů/signálů mohou v digitálním zpracování vykazovat podstatný „mimopásmový“ kmitočtový obsah, tj. větší než f_{Max} , ale menší než Nyquistův kmitočet. Například odhad Fourierova spektra během trvání rázu může zobrazovat „obecný signál“ až „šum“, což zdánlivě odporuje kritériu útlumu filtru zobrazenému na obrázku 9.A.1a. V tomto případě musí být systém kondicionování signálu podroben „ověření odmítnutí vyhlazování“ popsanému v následujícím odstavci. Pokud je systém kondicionování signálu ověřen jako nevyhlazovaný, pak podstatný kmitočtový obsah mezi f_{Max} a Nyquistovým kmitočtem lze v případě potřeby digitálně odfiltrout.



OBRÁZEK 9.A.1a – Útlum filtru (konceptní, pro nespifikovaný filtr)

Ověření odmítnutí vyhlazení by mělo začít stanovením dynamického rozsahu uvnitř propustného pásma z hlediska poměru signálu k šumu (SNR). SNR se rovná $20 \log_{10} (V_{\text{Nejvyšší}} / V_{\text{Dolní mez šumu}})$ a musí být ≥ 60 dB. Jakmile je ověřen dostatečný SNR, může být stanovení charakteristik odmítnutí vyhlazení provedeno pomocí vstupní sinusové vlny s velikostí rovné polovině nejvyššího rozsahu stupnice a při nejnižším kmitočtovém rozsahu, který může zasáhnout, tj. být vyhlazen do f_{Max} , a poté potvrdit (pomocí postupu zkoušky sinusové vlny IEEE 1057 nebo kontrolou údajů v časové oblasti), že odmítnutí vyhlazení je při tomto kmitočtu dostatečné.

Pokud se například použije rychlost digitalizace 100 tisíc vzorků za sekundu, pak $f_{\text{Nyquist}} = 50$ kHz. Podle teorie se tvrdí, že pokud je přítomen signál nad Nyquistovým poměrem, „přeloží se“ na kmitočet pod Nyquistovým poměrem. Rovnice je:

$$F_a = \text{absolutní hodnota } [(F_s n) - F]$$

kde

F_a = kmitočet „vyhlazení“;

F = kmitočet vstupního signálu;

F_s = vzorkovací kmitočet;

n = celé číslo vzorkovacího kmitočtu (F_s) nejbližší kmitočtu vstupního signálu (F).

Proto nejnižší kmitočtový rozsah, který se může složit zpět do 10 kHz propustného pásma, je od 90 kHz do 110 kHz.

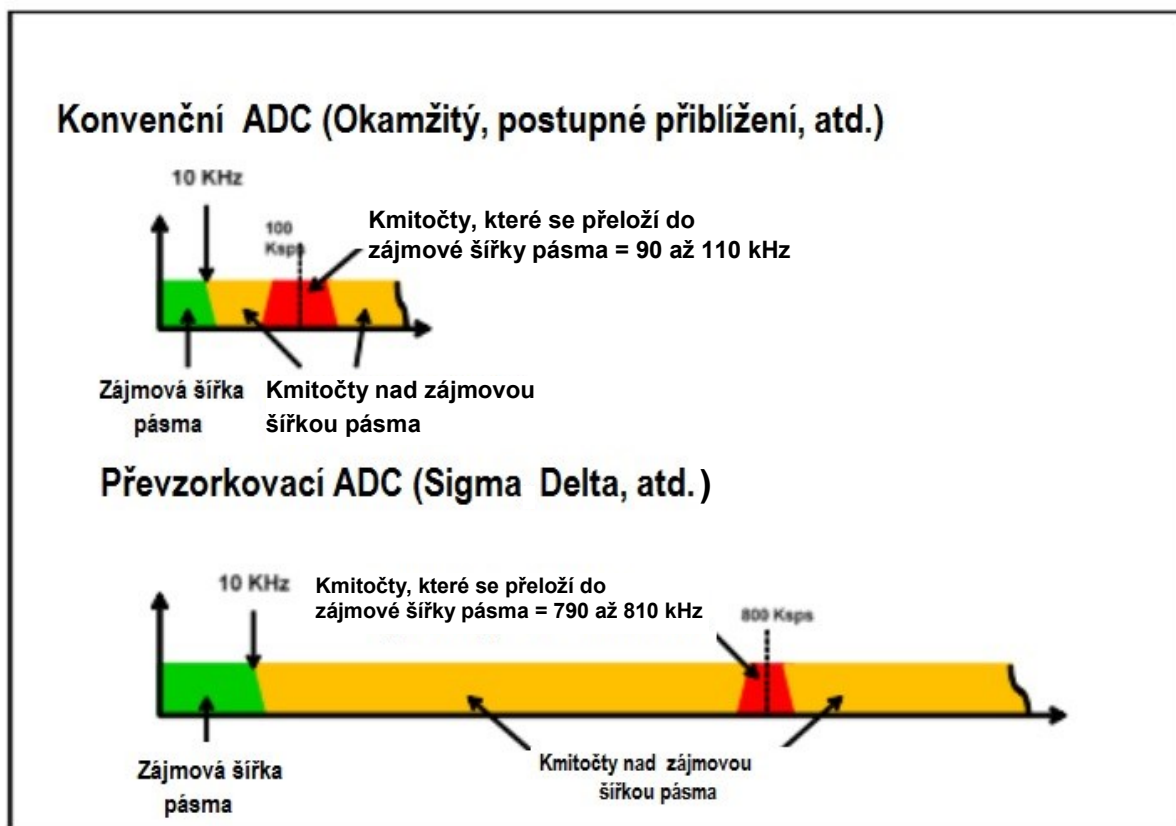
Je třeba si uvědomit, že analogově digitální převodník Sigma Delta (SD) „převzorkuje“ interně rychlostí několikrát vyšší než je rychlost výstupních dat a že je stále nutné analogové filtrování vyhlazení. Pro ilustraci je možné zvážit příklad

Příloha 9A

(normativní)

analogově digitálního převodníku SD s požadovanou šířkou pásma až do 10 kHz, který vzorkuje interně rychlostí $f_s = 800$ tisíc vzorků za sekundu. Vnitřní analogový Nyquistův kmitočet na základě definice je 400 kHz, proto by měl analogový filtr proti vyhlazení utlumit 50 dB nebo více obsahu, který se může složit zpět do prostupného pásma 10 kHz (790 kHz až 810 kHz a podobná pásma s vyšší frekvencí). Obrázek 9.A.1b zobrazuje vzorkovací kmitočty, Nyquistovy kmitočty a kmitočtová pásma, která se mohou složit zpět do požadované šířky pásma pro konvenční i převzorkovací analogově digitální převodníky, jako je Sigma Delta. Je třeba si uvědomit, že pro příklad návrhu SD existuje významná šířka pásma nad požadovanou 10 kHz f_{Max} a Nyquistova rychlost, která není použitelná primárně kvůli kvantizační chybě, což je artefakt návrhu jednobitového SD. Výstup SD ADC bude digitálně filtrován a převzorkován, čímž se získá nový efektivní vzorkovací kmitočet f_{DR} , který zase získá novou Nyquistovu rychlost pro decimovaný signál $f_{DR}/2$. Pečlivým výběrem mezního kmitočtu digitálního filtru se odstraní většina šumu mezi $f_{DR}/2$ a f_s , přičemž se zachová téměř plochá odezva kmitočtu prostřednictvím f_{Max} . Rychlost převzorkování SD $OSR = f_s / f_{DR}$, která přímo souvisí s dynamickým rozsahem, je jedním z několika konstrukčních parametrů pro SD ADC. Většina renomovaných dodavatelů poskytne podrobný specifikační list související s jejich produkty, důrazně se však doporučuje, aby se ověřila odmítnutí vyhlazení a charakteristiky dolní meze šumu, jak je doporučeno výše, před použitím jakéhokoli systému kondicionování signálu při získávání kritických údajů v polních podmínkách.

Kromě výše uvedeného pojednání o zajištění dobrého pochopení charakteristik systému kondicionování signálu, je rovněž nezbytně, aby byly dobře pochopeny důležité charakteristiky příslušného přístrojového vybavení. Mělo by se jasně rozlišovat mezi šumem spojeným se systémem sběru údajů a určeným přístrojovým vybavením.



OBRÁZEK 9.A.1b – Zobrazení vzorkovacích rychlostí a mimopásmových „přeložených“ kmitočtů pro konvenční a převzorkovací (Sigma-Delta) systémy založené na sběru údajů

9.A.1.2 Identifikace měření rázu

Tato metoda se zabývá „jednoduchým rázem“ (s výjimkou Postupu VIII a příkladu komplexního rázu uvedeného v příloze 9B) tj. vstup impulzní síly definuje jedinou „situaci“ vznikající z charakteristického jevu. „Jednoduchý ráz“ je definovaný měřením, např. zrychlení, se třemi charakteristickými oblastmi:

- Počáteční stacionární náhodné měření s nízkou amplitudou nazývané **dolní mez šumu měřicího systému**.
- Řada kolísavých vysokých amplitud rozkládajících měření amplitudy označována výrazem **ráz**.
- Poměrně nízkourovňové stacionární měření na nebo těsně nad dolní mezí šumu přístrojového vybavení nazývané **dolní mez šumu po rázu**.

POZNÁMKA

Pokud jsou v **dolní mezi šumu měřicího systému** přítomny periodické složky nebo „negasusovské“ chování, je třeba prozkoumat systém kondicionování signálu. Pokud jsou v **dolní mezi šumu po rázu** přítomny periodické složky, ale obecná amplituda je relativně stacionární, znamená to odezvu na rezonanci upevnění/materiálu. Vyškolený analytik musí rozhodnout

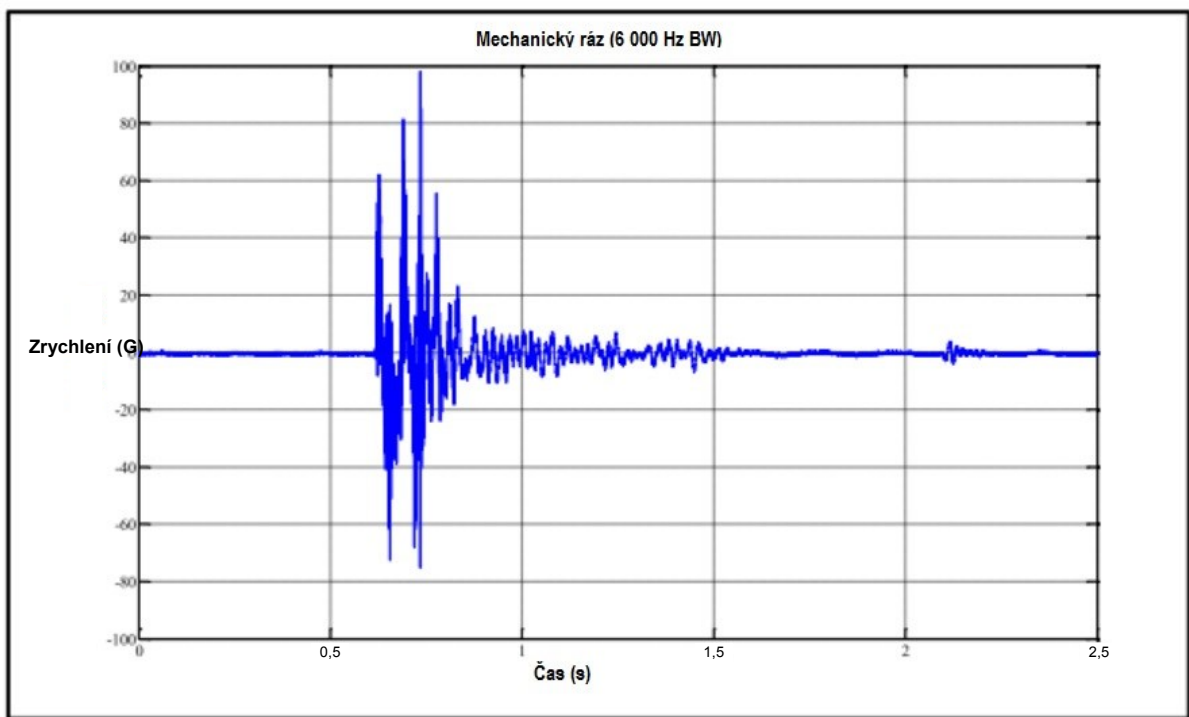
Příloha 9A

(normativní)

o důležitosti takových informací o rezonanci ve specifikaci laboratorní zkoušky. Toto rozhodnutí by mělo být založeno na nejnižším základním kmitočtu namontovaného materiálu. Obecně by informace o rázu neměly být nepřiměřeně rozšiřovány, aby se přizpůsobily celému rozsahu rezonančního „zvonícího“ chování.

Je vždy nezbytné, aby údaje byly pečlivě analyzovány, aby bylo zajištěno, že měření je bez zkomolení a že charakter situace je dobře podložen fyzicky. Toto téma se podrobněji rozebírá v příloze 9B.

Následující příklad znázorňuje počáteční hodnocení typického časového průběhu přechodového zrychlení v časové oblasti. Příloha 9B poskytne kmitočtovou oblast a dokonalejší hodnocení. Obrázek 9.A.2 zobrazuje měřený ráz, který bude považován za vhodný pro zpracování v časové i kmitočtové oblasti. Jev, který způsobuje ráz, má počáteční vstup vysokého kmitočtu / vysoké energie, následovaný formou zvonění nebo rezonančního rozpadu. Měřený ráz existuje mezi 617 milisekundami a 1 560 milisekundami.



OBRÁZEK 9.A.2 – Příklad časového průběhu zrychlení

9.A.1.3 Efektivní doba trvání impulzu pro neklasické rázy

Při zvažování dvou alternativ neklasického rázu projednaných v čl. 9.A.1.2 bude muset analytik (a nakonec zkušební technik) zvážit efektivní doby trvání včetně celkové doby trvání rázu (T_e) a dobu trvání koncentrace energie (T_E) pro opakovaný impulz. V případě, že je jako metoda provedení zvolena TWR, je doba trvání přechodové situace jasná. Zkušební technik by měl jednoduše určit úroveň dolní meze šumu před a po impulzu, které budou naznačovat přiměřené časy začátku

Příloha 9A
(normativní)

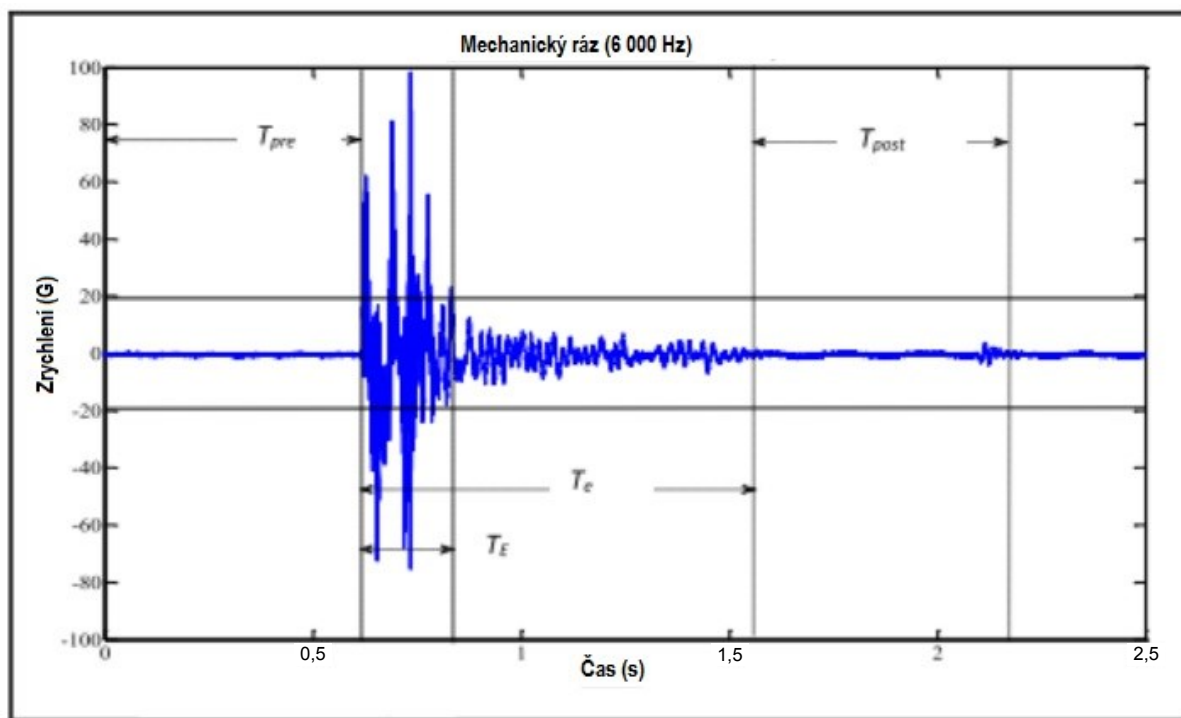
a konce situace založené na TWR. V případě, že má být referenční přechodový jev syntetizován na základě referenčního SRS, musí referenční SRS přicházet s doporučenými efektivními dobami trvání stanovenými analytickým přezkumem souboru údajů použitého k vytvoření referenčního SRS. Analytik si může prohlédnout efektivní doby trvání přechodové situace z několika hledisek. Konečné pokyny pro efektivní doby trvání poskytnuté zkušebnímu technikovi s referenčním SRS by však měly být zjednodušeny na zvládnutelné parametry, které bude zkušební technik schopen účinně implementovat. Pro každou laboratorní rázovou zkoušku vycházející ze SRS se doporučuje poskytnout zkušebnímu technikovi dobu trvání rázu (T_e) i dobu trvání koncentrace energie (T_E). S magnitudou SRS, která řídí syntetizovanou velikost impulzu a rovněž definuje rozdělení energie, by se syntetizovaný impulz měl podobat měřenému impulzu, který má stejné SRS. Termín efektivní doba trvání je podrobněji popsán v následujících odstavcích. Příloha 9B obsahuje více informací o stanovení T_e a T_E na základě snadno proveditelných výpočtů „okamžité rms“.

Jak je uvedeno v čl. 9.A.1.2, „jednoduchý ráz“ (viz obrázek 9.A.3) je definován ve třech časových intervalech:

- a) První časový interval T_{Pre} je obvykle dobře definován a vyskytuje se před rázem, kde měření představuje dolní mez šumu měřicího systému.
- b) Druhý interval T_e se nazývá doba trvání rázu a je definována jako doba od nulového přechodu pro první měřené zrychlení „nad dolní mezí šumu přístrojového vybavení“ až do zaznamenaného „ukončení“ rázu. Tento interval obsahuje interval s nejvyšší koncentrací energie T_E , definovaný jako minimální doba, která obsahuje všechny časové průběhy magnitud překračujících absolutní hodnotu $\frac{|A_{Pk}|}{CF}$ (viz podrobný rozbor níže).
- c) Třetí časový interval T_{Post} je doba od „ukončení“ rázu do doby, než se měřicí signál přiblíží nebo nedosáhne úrovně dolní meze šumu měřicího systému. (Obecně lze říci, že rázy týkající se přiměřené doby charakterizace/identifikace se zřídka snižují na úroveň dolní meze šumu před rázem). Tento třetí časový interval lze označit jako dolní mez šumu po rázu, která je výše, ale zahrnuje dolní mez šumu měřicího systému.

Je-li to možné, je obecně pro další zpracování výhodné, zvolit interval doby trvání T_{Pre} rovný T_{Post} a tyto intervaly by měly být přiměřeně srovnatelné nebo stejně dlouhé jako T_e . Ve všech třech intervalech je k dispozici stejné množství informací „čas/amplituda“.

Příloha 9A
(normativní)



OBRÁZEK 9.A.3 – Příklad časového průběhu jednoduchého rázu s identifikací segmentů

9.A.1.3.1 Výpočet T_e

Historicky přednostní je definice, ve které byla doba trvání rázu T_e definována jako „minimální délka nepřetržitého času, která obsahuje amplitudy časového průběhu střední kvadratické hodnoty (RMS), které překračují v hodnotě deset procent špičkové amplitudy RMS spojené s rázovou situací. Předpokládá se, že krátkodobý průměrovací čas pro nevážený výpočet RMS bude mezi 10 a 20 procenty T_e .“ Předchozí definice zahrnovaly rovněž rozpravu týkající se vztahu mezi T_e a T_E , kdy se zjistilo, že tento vztah závisí na „tvaru“ skutečného RMS časového průběhu. Ačkoli předchozí definice T_e je užitečný analytický nástroj, T_e je nyní definována od nulového přechodu pro první měřené zrychlení „nad dolní mezí šumu přístrojového vybavení“ až do zaznamenaného „ukončení“ rázu, jak bylo uvedeno výše. Tento parametr poskytuje přiměřenou hranici intervalu, ve kterém referenční časový průběh obsahuje měřitelné energetické úrovně nad dolní mezí šumu. Při syntéze referenčního impulsu pro laboratorní zkoušku vycházející ze SRS by měl uživatel nastavit délku okna (velikost bloku časové oblasti) obsahující referenční signál k T_e nebo nejbližší programovatelný interval větší než T_e . Je třeba si uvědomit, že na rozdíl od měření v polních podmínkách, bude dolní mez šumu syntetizovaného signálu ve skutečnosti nulová. Nulové vložky mimo interval T_e nebudou mít žádný vliv na výpočet SRS. V případě, že T_e (doba trvání rázu) není k dispozici, definuje se $T_e = 2,5/f_{min}$, kde f_{min} je nejnižší kmitočet v referenčním SRS (umožní to minimální dobu dostatečnou k tomu, aby bylo možné povolit 3 půlcykly složky s nejnižším

Příloha 9A
(normativní)

kmitočtem v referenčním časovém průběhu). T_e zahrnuje jak dobu trvání primární „koncentrace energie“, tak dobu trvání „zvětšené energie“.

9.A.1.3.2 Výpočet T_E

T_E představuje dobu trvání „koncentrace energie“. Historicky přednostní je definice, ve které byla T_E definována jako minimální délka času, která obsahuje velikosti časového průběhu překračující v absolutní hodnotě jednu třetinu velikosti absolutní hodnoty špičkové amplitudy rázu tj. $\frac{|A_{PK}|}{3}$ spojené se souvisejícím časovým průběhem. To předpokládá, že byla ověřena špičková amplituda rázu A_{PK} ; např. nejde o „vrchol šumu přístrojového vybavení“. Definice T_E , která bere v úvahu činitel výkyvu $CF = A_{PK} / RMS$, který je spojen s jedním údajem nebo souborem údajů o rázu z referenčního SRS. Činitel výkyvu se počítá v malých intervalech doby T_e (např. $T_e / 10$) a „maximální činitel výkyvu“ vypočítaný v jednotlivých intervalech je definován jako CF . Tím se získá upravená definice T_E na základě minimální délky času, která obsahuje magnitudy časového průběhu překračující v absolutní hodnotě $\frac{|A_{PK}|}{CF}$. Přestože se používá činitel výkyvu koncepce stacionárních náhodných vibrací, když se zvažují Gaussovy nebo zvláště negaussovské časové průběhy ve stacionárních náhodných vibracích, může to opravňovat použití z hlediska rázu, pokud se zjistí, že vrcholové amplitudy jsou náhodné povahy a přicházejí v náhodných časech. Všechny amplitudy, menší než poslední amplituda větší než $\frac{|A_{PK}|}{CF}$, definují dobu mezi vyšší koncentrací energie a nižší koncentrací energie, která může být docela robustní. Analytik však musí být imunní při volbě doby náhodné špičkové amplitudy daleko od koncentrace hlavní energie, tj. příliš přísné použití koncepce pro stanovení T_E . Obecně platí, že čím větší CF , tím větší T_E , takže se doporučuje výběr několika CF a porovnání T_E . Pro několik rázů, tj. soubor rázů, by měnící se CF a T_E sestavující tabulku měly poskytnout analytikovi robustní metodu pro stanovení doby trvání T_E pro syntézu. Grafy CF versus T_E by naznačovaly citlivost mezi těmito dvěma proměnnými. V případě, že T_E není poskytnuto, měl by zkušební technik předpokládat, že CF je rovno 3, a syntetizovat impuls tak, že T_E pro syntetizovaný referenční časový průběh je charakterizována jako T_E na základě minimální délky času, který obsahuje magnitudy časového průběhu překračující absolutní hodnotu $\frac{|A_{PK}|}{3}$. Po stanovení nominální hodnoty pro T_E , musí syntéza reprezentativního impulsu mít toleranci $0,8T_E \leq T_E \leq 1,2T_E$.

9.A.1.3.3 Aspekty implementace

Stručně řečeno, je žádoucí, aby referenční přechodový jev syntetizovaný na základě referenčního SRS měl přiměřeně podobné časové charakteristiky jako údaje z měření v polních podmínkách, ze kterých bylo referenční SRS odvozeno. Analytik, který vypracovává zkušební kritéria založená na SRS, by měl pečlivě prozkoumat efektivní dobu trvání souboru přechodových situací, z nichž vycházela kritéria závěrečných zkoušek, a zdokumentovat výsledky společně se SRS. Laboratorní technik syntetizující referenční impuls by pak měl být schopen zvážit proměnné CF , T_e a T_E spojené s efektivní dobou trvání v procesu syntézy. Jako příklad jsou výše uvedené doby trvání a související časové intervaly zobrazeny pro typický jednoduchý

Příloha 9A

(normativní)

ráz na obrázku 9.A.3, kde je dolní mez šumu před rázem $T_{Pre} \triangleq 0 \rightarrow 0,617$ s a dolní mez šumu po rázu je definovaná jako $T_{Post} \triangleq (T_{Pre} + T_e)$ po $(T_{pre} + T_e) + T_{Pre}$. T_{Pre} a T_{Post} byly považovány za stejnou dobu trvání pro usnadnění zpracování srovnání. Doba $T_e = 0,943$ s je identifikována přerušovanou čarou mezi 0,617 a 1,56 sekundami. Maximální činitel výkyvu počítaný v intervalech $T_e/10$ byl vypočítán jako $CF \triangleq 5 \cdot \frac{|A_{Pk}|}{CF}$ je označen vodorovnými čarami na základě $CF \triangleq 5$ a $|A_{Pk}| = 98,17$ G (k tomu došlo v čase $T_{Pk} = 0,735$ s). $T_E \triangleq 0, 230$ s je identifikována intervalem mezi prvním výskytem $\frac{|A_{Pk}|}{CF}$, který nastává přibližně za 0,625 sekundy, a posledním výskytem $\frac{|A_{Pk}|}{CF}$, který nastává přibližně za 0,860 sekund.

9.A.1.4 Spektrum rázové odezvy

Spektrum rázové odezvy SRS, buď odhady maximax zrychlení SRS nebo maximax pseudorychlosti SRS, je hlavní ukazatel „kmitočtové oblasti“, který spojuje amplitudy rázů v časovém průběhu s nějakým fyzickým modelem, tj. rázový model. Následující odstavce poskytnou popis možností SRS kromě odhadů SRS, které mohou být použity k naznačení platnosti naměřených informací o rázu.

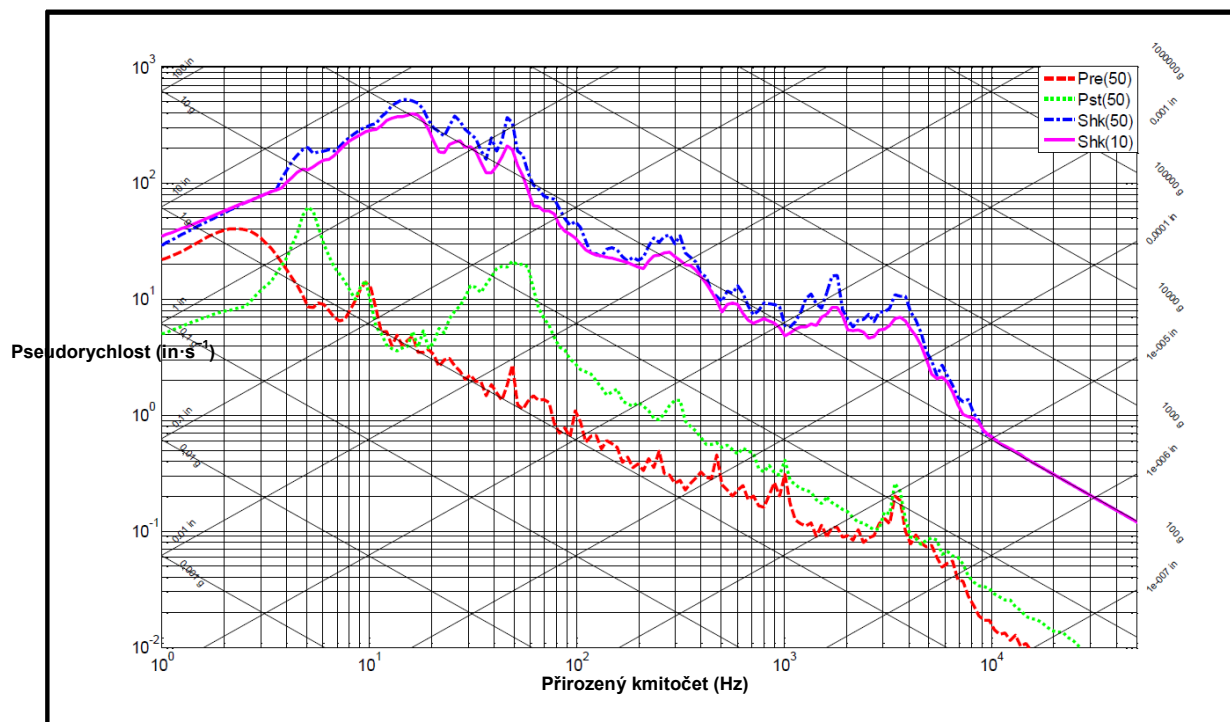
9.A.1.4.1 Pokyny pro zpracování

Maximax hodnoty SRS při daném netlumeném přirozeném kmitočtu oscilátoru f_n popisují maximální odezvu (kladnou, zápornou, primární a zbytkovou) hmoty tlumeného systému s jedním stupněm volnosti (SDOF) při tomto kmitočtu na časovém průběhu základního vstupu rázu, např. zrychlení doby trvání T_e (viz obrázek 9.1 pro příslušný model). Tlumení SDOF se obvykle vyjadřuje jako „Q“ (faktor kvality). Běžné volby pro Q jsou $Q = 50$, což představuje 1 procento kritického tlumení; $Q = 10$, což představuje 5 procent kritického tlumení; a $Q = 5$, které představuje 10 procent kritického tlumení SDOF. Pro zpracování údajů odezvy na ráz se absolutní maximax zrychlení SRS stalo hlavním ukazatelem analýzy. V tomto popisu rázu jsou hodnoty maximax zrychlení vyneseny na svislou osu s netlumeným přirozeným kmitočtem základního vstupu do systému SDOF vynesným na vodorovnou osu. Kmitočtový rozsah, ve kterém se SRS počítá, (tj. přirozené kmitočty filtrů systému SDOF) přinejmenším zahrnuje šířku pásma pro úpravu datového signálu, ale měl by rovněž zasahovat pod a nad tuto šířku pásma. Obecně platí, že „šířka pásma přirozeného kmitočtu SRS“ sahá od oktávy pod nejnižší požadovaný kmitočet, až do kmitočtu, při kterém bylo dosaženo „ploché“ části spektra SRS (což může vyžadovat přechod o oktávu nebo více nad horní šířku pásma kondicionování signálu). Tento posledně uvedený požadavek SRS na horní kmitočet f_{SRSmax} pomáhá zajistit, že nebude zanedbán žádný vysokokmitočtový obsah ve spektru, a je nezávislý na horním kmitočtu šířky pásma údajů f_{max} . Tento horní kmitočet SRS by měl minimálně překročit f_{max} nejméně o deset procent tj. $1,1f_{max}$. Nejnižší zájmový kmitočet je určen charakteristikami kmitočtové odezvy namontovaného zkoušeného materiálu. Jako první přirozený kmitočet namontovaného materiálu se definuje f_1 (podle definice bude f_1 menší nebo rovný prvnímu přirozenému kmitočtu součásti materiálu, jakou je deska plošných spojů) a pro účely laboratorních zkoušek se definuje nejnižší sledovaný kmitočet jako $f_{min} < f_1 / 2$, (tj. f_{min} je alespoň jednu oktávu pod f_1). Kmitočet f_{SRSmin} pak lze považovat

Příloha 9A
(normativní)

za f_{min} . Maximax SRS se vypočítává v časovém rozsahu T_e a v kmitočtovém rozsahu od f_{min} do $f_{SRSmax} > 1,1f_{max}$. Z článku 9.A.1.1 je definován vztah f_{max} k f_{AA} , avšak pro výpočet SRS, pokud $F_S < 10 f_{SRSmax}$, musí být časový průběh znovu vzorkován na $F_{Sr} > 10 f_{SRSmax}$. Kmitočtový rozestup SRS v $[f_{min}; 1,1f_{max}]$ je ponechán na uvážení analytika, ale neměl by být větší než jedna dvanáctina oktávy a obecně s proporcionálním rozestupem pásma na rozdíl od pevného rozestupu pásma (proporcionální rozestup pásma je více v souladu s modálním kmitočtovým rozestupem u materiálu a výsledkem je méně přirozených kmitočtů pro zpracování).

Úplnější popis rázu (potenciálně užitečnější pro posouzení poškození rázem) lze získat stanovením maximax pseudorychlosti spektra odezvy. Maximax pseudorychlost může být vynesena na logaritmický papír s osou x jako přirozeným kmitočtem SDOF a druhou osou y jako pseudorychlostí v jednotkách rychlosti. Jinak lze úplnější popis rázu (potenciálně užitečnější pro posouzení poškození rázem) získat stanovením maximax pseudorychlosti spektra odezvy a jeho vykreslením na papír se čtyřmi souřadnicemi, kde v párech pravouhlých os maximax pseudorychlosti spektra odezvy představuje svislou osu, přičemž netlumeným přirozeným kmitočtem je vodorovná osa a maximax absolutního zrychlení spolu s maximax pseudoposunu vyneseny ve dvojici pravouhlých os, mají všechny grafy stejnou vodorovnou osu (přirozený kmitočet SDOF). Tato forma grafu pseudorychlosti SRS, jak je vidět na obrázku 9.A.4, je široce přijímána ve stavebním inženýrství ve specifikacích pohybu zemské kůry při zemětřesení, ale historicky nebyla tak běžná pro zobrazení nebo specifikaci mechanického rázu.



OBRÁZEK 9.A.4 – Odhady maximax pseudorychlosti SRS pro segmenty rázu a dolní meze šumu

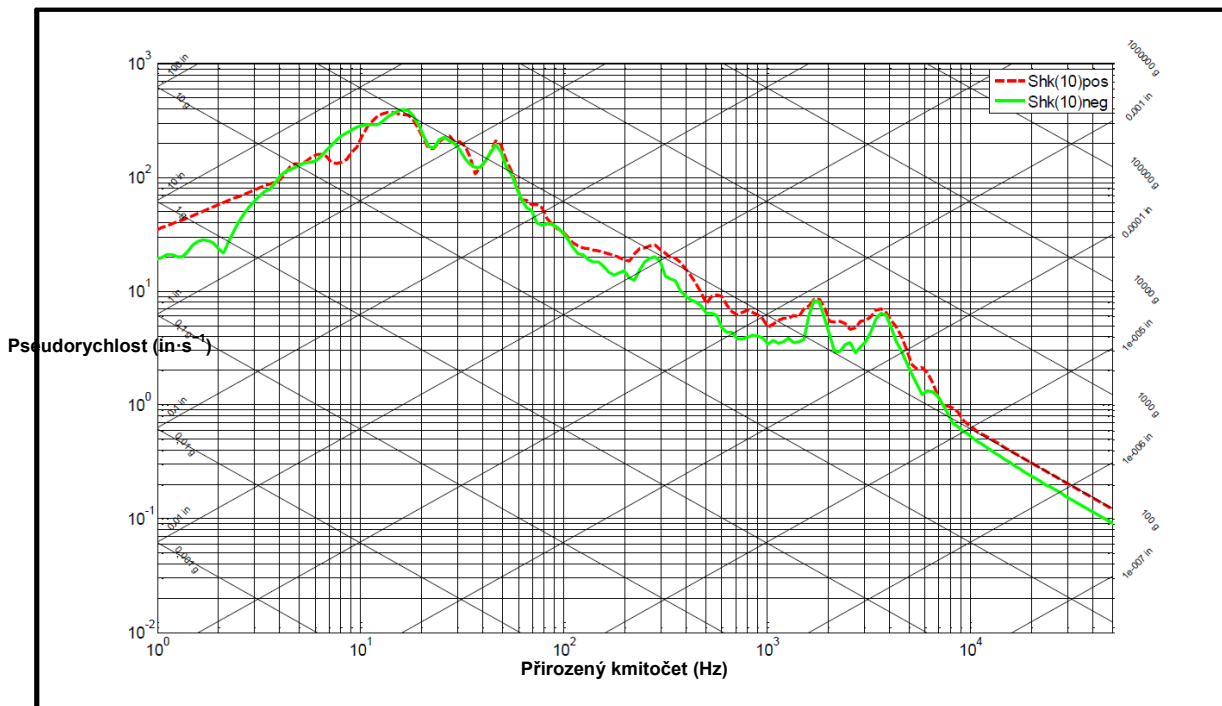
Příloha 9A

(normativní)

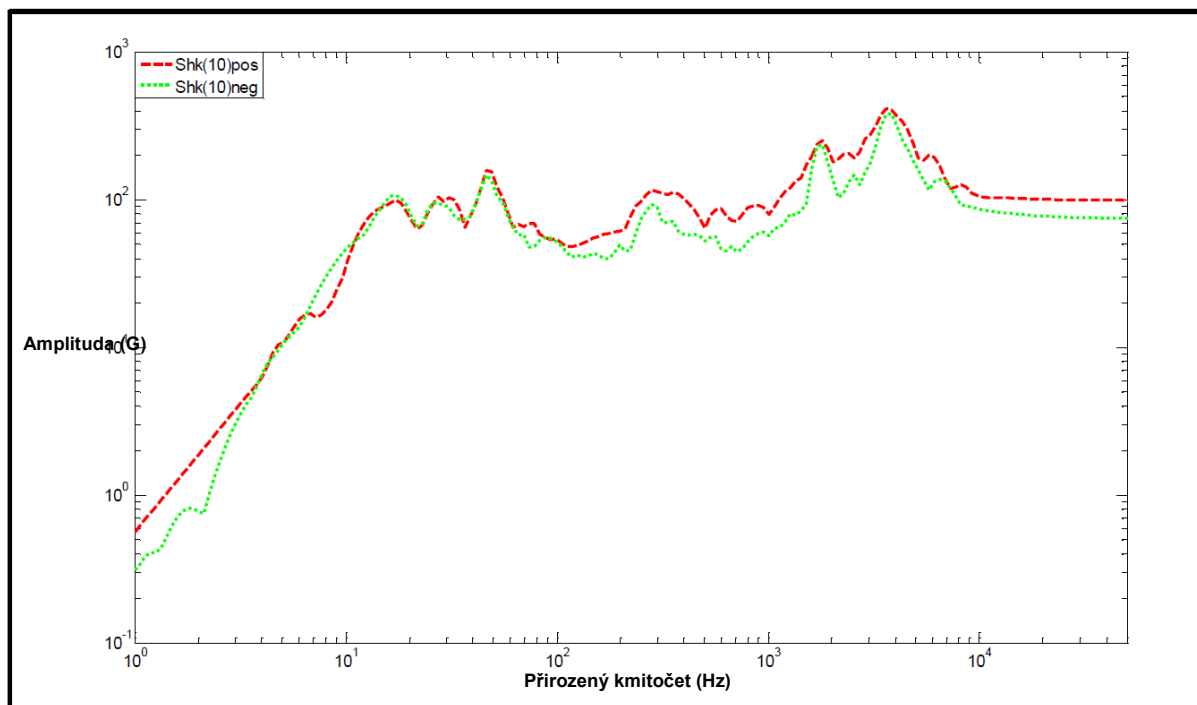
Maximax pseudorychlost na konkrétním netlumeném přirozeném kmitočtu SDOF je považována za typičtější pro potenciál poškození rázem, protože je v korelaci s napětím a deformací v prvcích systému s jediným stupněm volnosti (článek 9.7.1, odkazy e, f). Aby se splnila daná specifikace s nedefinovaným Q při laboratorních zkouškách, použije se pro porovnání zpracování Q o hodnotě 10 a druhý Q o hodnotě 50 (viz obrázek 9.A.4). Použití dvou hodnot Q , tlumené hodnoty a hodnoty odpovídající slabému tlumení, poskytuje analytikovi informace o potenciálním šíření maximální odezvy materiálu. Doporučuje se, aby maximax absolutního zrychlení SRS bylo hlavní metodou zobrazení pro ráz, s maximax pseudorychlosti SRS jako pomocnou metodou zobrazení. To je užitečné v případech, kdy je žádoucí mít možnost korelace poškození jednoduchých systémů s rázem. Dvě další doporučení týkající se platnosti měření jsou následující.

- a) SRS **dolní meze šumu měřicího systému** před rázem v intervalu T_{pre} by se mělo počítat spolu s výpočtem návratu do intervalu dolní meze šumu T_{post} , tj. **dolní meze šumu po rázu** a zobrazit na stejném grafu. Tyto šumové SRS pomáhají potvrdit celkovou platnost měření, pokud časy „Pre“ a „Post“ umožňují přiměřenou přesnost pro odhady SRS, tj. odhady SRS ve velmi krátkých časových segmentech nemusí poskytovat typické maximax amplitudy SRS při nízkých přirozených kmitočtech. Tyto odhady SRS by měly být počítány při hodnotě tlumení $Q = 50$ (viz obrázek 9.A.4). Další pokyny ohledně stanovení kritérií pro definování dolní meze šumu jsou uvedeny v příloze 9B, článek 9.B.3.
- b) Pro segment rázu by měly být vyneseny maximální kladná i maximální záporná zrychlení a odhady pseudorychlosti SRS pro minimální Q o hodnotě 10 v kmitočtovém rozsahu, pro který jsou zobrazeny hodnoty SRS rázu (viz obrázek 9.A.5). Kladné a záporné odhady SRS by měly být svým charakterem velmi podobné, jak je uvedeno v článku 9.A.1.4.2 a ilustrováno pomocí příkladu na obrázcích 9.A.5 a 9.A.6. Nízká hodnota Q by měla umožňovat zjišťování anomálií časového průběhu zrychlení, které jsou podobné integraci časového průběhu. Pokud jsou kladné a záporné hodnoty maxima SRS rozdílné, mohlo by to být ukazatelem možných problémů s kondicionováním signálu měřicího systému.

Příloha 9A
(normativní)



OBRÁZEK 9.A.5 – Odhady kladných a záporných pseudorychlostí SRS rázu



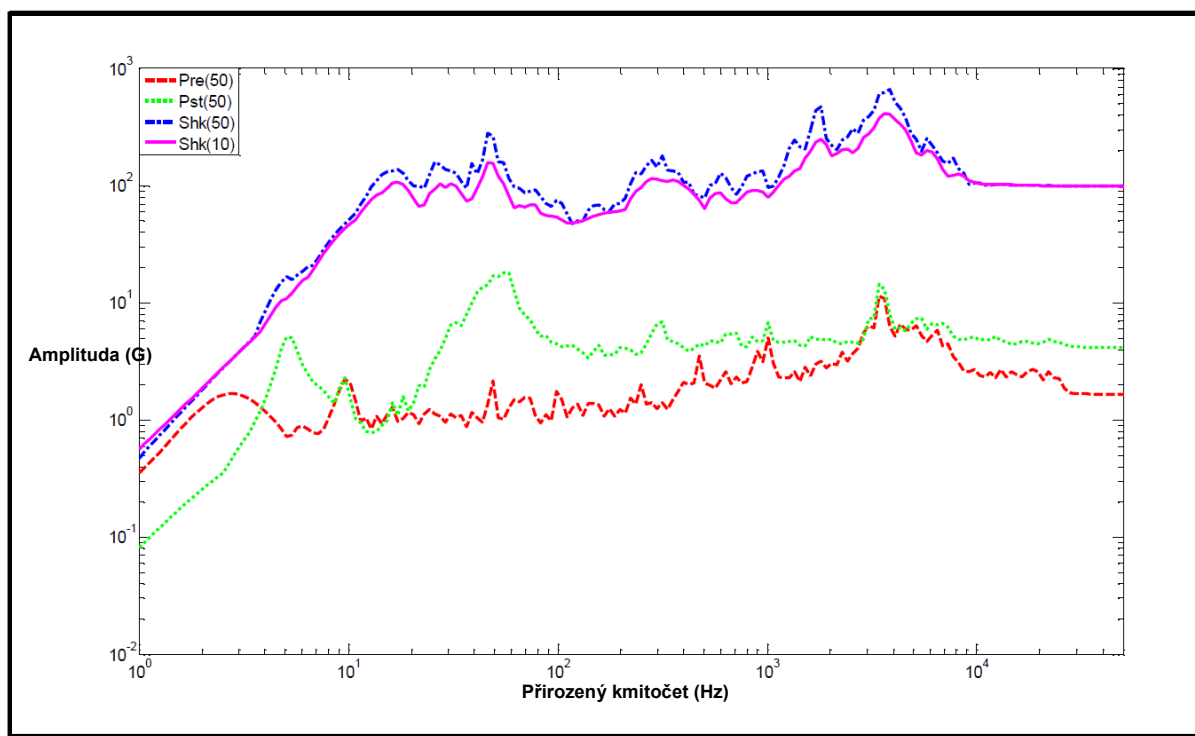
OBRÁZEK 9.A.6 – Odhady kladných a záporných zrychlení SRS rázu

Příloha 9A
(normativní)

9.A.1.4.2 Příklad zpracování

Pro časový průběh rázu zobrazeného na obrázku 9.A.3 byla rychlost vzorkování 51 200 vzorků za sekundu s neznámou sestavou filtru vyhlazování. Šířka pásma údajů byla z DC do 6 000 Hz. Zájmová šířka pásma byla od 10 Hz do 6 000 Hz. Časový průběh byl znovu vzorkován na 102 400 Hz, aby se zajistily náležitě výpočty SRS pomocí 10 kHz, jak je uvedeno v čl. 9.A.1.4.1. Odhady SRS jsou ve skutečnosti zakresleny na 50 kHz pro zobrazení konvergence při nízkých a vysokých kmitočtech. Vzhledem k tomu, že i nejmenší z chyb ovlivňuje odhady rychlosti vypočtené z údajů zrychlení, doporučuje se, aby se před prováděním výpočtů pseudorychlosti korigovalo menší zkreslení DC (závažná chyba zkreslení v době zrychlení může naznačovat závažnější problémy, jako je zesilovač a/nebo zahlcenost snímače, vedoucí k obavám o platnost údajů). Pro výpočet odhadů maximax zrychlení a pseudorychlosti SRS byly použity faktory kvality 10 a 50, pokud není uvedeno jinak. Pokud není uvedeno jinak, výpočty byly prováděny se standardní sadou filtrů bez ramp. Vodorovná osa grafů je netlumený přirozený kmitočet systému SDOF v rozestupu pásma jedné dvanáctiny oktávy.

Obrázek 9.A.7 porovnává maximax zrychlení SRS **rázu** pro Q o hodnotách 10 a 50 a jak **dolní mez šumu měřicího systému**, tak **dolní mez šumu po rázu** pro Q o hodnotě 50. Obrázek 9.A.4 poskytuje související informace pro odhady maximax pseudorychlosti SRS. Podle předpokladů je ráz podstatně větší než odhady SRS pro dolní mez šumu. V ideálním případě by měla být dolní mez šumu SRS 12 dB nebo více pod zrychlením SRS rázové situace v celém sledovaném kmitočtovém rozsahu.



OBRÁZEK 9.A.7 – Odhady maximax zrychlení SRS pro segmenty rázu a dolní meze šumu

Příloha 9A
(normativní)

Obrázek 9.A.5 a obrázek 9.A.6 poskytuje kladné a záporné odhady SRS, jako kontrolu platnosti časového průběhu. Je třeba poznamenat, že na těchto dvou obrázcích nedominuje ani kladná, ani záporná hodnota SRS, což by znamenalo, že informace o časovém průběhu jsou platné.

9.A.1.5 Frekvenční oblast určování spektrální hustoty energie (ESD)

Odhad ESD je řádně upravená velikost druhé mocniny Fourierovy transformace celkového rázu. Jeho protějšek, Fourierovo spektrum (FS), je ve skutečnosti druhou odmocninou ESD a může být užitečné pro zobrazení, ale nebude zde diskutováno. Významnost odhadu ESD je v jeho vlastnostech vzhledem k výpočtům vstupního/výstupního systému. To znamená pro dvě měření zrychlení související se vstupem a výstupem, buď (1) je možný odhad přenosové funkce (velikost/fáze) mezi vstupem a výstupem, nebo (2) odhad přenosnosti (pouze velikost) může být stanoven pomocí poměru výstupní ESD k vstupní ESD. Další podrobnosti a znázornění odhadů ESD jsou uvedeny v příloze 9B.

9.A.1.6 Pokyny pro proces zpracování jedné situace / vícekanálové měření

Pokud se provádí vícenásobné měření pro jednu sestavu, mělo by se obecně provést předběžné zpracování tak, jako kdyby se měla provádět vícekanálová analýza. Zejména dolní mez šumu před rázem, rázová situace a dolní mez šumu po rázu by měly mít stejnou dobu trvání a tato doba trvání rázové situace by měla být stanovena na základě měření nejdelší doby trvání. Protože zpracování SRS a ESD je obecně necitlivé na rozdíly v době trvání významného energetického obsahu, umožní taková volba vícekanálové zpracování. Pro odhady křížové spektrální hustoty energie a odhady přenosové funkce energie je nezbytné předběžné zpracování, např. doby trvání výběru situace, filtrování atd. na všech měřicích kanálech mají být stejné. Předběžné zpracování napříč několika měřicími kanály zahrnující integraci zrychlení k určení rychlosti musí odpovídat fyzickému stavu sestavy. Pro vysoké poměry signálu k šumu mohou být užitečné informace získány z odhadů křížových spektrálních a přenosových funkcí, přestože je náhodná chyba vysoká.

9.A.1.7 Pravděpodobnostní/statistický souhrn měření

Je-li to možné, doporučuje se pro souhrn nějakým statistickým způsobem kombinovat dvě nebo více rovnocenně zpracovaných měření odezvy nebo odhady zkoušky. Tento souhrn pak může být použit pro účely specifikace zkoušky k zajištění úrovně jistoty, že byly získány důležité informace z měření nebo zkoušky. Článek 9.7.1, odkaz b pojednává o některých možnostech statistického shrnutí zpracovaných výsledků ze série měření nebo zkoušek. Nejlepší možnost shrnutí obecně závisí na množství vzorků. Zpracované výsledky ze SRS nebo ESD jsou obvykle logaritmicky transformovány, aby poskytovaly odhady, které mají tendenci být běžněji distribuovány, např. odhady v dB. Tato transformace je důležitá, protože z řady zkoušek je často k dispozici jen velmi málo odhadů a nelze předpokládat, že budou běžně distribuovány netransformované odhady. Prakticky ve všech případech bude kombinace zpracovaných výsledků spadat do kategorie statistik malého množství vzorků a je třeba ji pečlivě zvážit s jinými parametrickými nebo méně výkonnými neparametrickými metodami statistické analýzy. Příloha 9B se zabývá vhodnými technikami pro statistickou kombinaci zpracovaných výsledků zkoušek v závislosti na množství vzorků a uvádí příklad.

Příloha 9A

(normativní)

9.A.1.8 Ostatní procesy zpracování

Jiné popisné procesy, které mají tendenci rozkládat ráz na součásti, např. produktový model, momenty v časové oblasti (TDM), vlnky, modální SRS a energetické metody (PEM) atd., mohou být užitečné, ale podrobnosti takových popisných procesů přesahují rámec tohoto dokumentu a obecně spadají do oblasti analytického modelování. TDM a PEM dávají naději, že umožní charakterizovat a porovnat jednotlivé rázy mezi soubory podobných časových průběhů rázů a možná poskytnou náhled do příčiny poruchy materiálu při rázu. TDM (článek 9.7.1, odkaz i) hodnocení stanovuje charakterizaci „formy“ měřené odezvy s ohledem na čas i kmitočet. PEM (článek 9.7.1, odkaz j) se pokouší odhadnout energii absorbovanou v jednoduché modální struktuře materiálu, když základní připevnění materiálu je zdrojem rázového vstupu (nebo příkonu) do materiálu. PEM se jeví jako nejužitečnější pro srovnání výkonu mezi podobnými měřeními rázu a má jednotky (síla*rychlost), které se vztahují k potenciálu poškození při použití na pohyb základny vzhledem k pohybu hmoty.

POKYNY K DALŠÍMU OVĚŘENÍ A PROCESU ZPRACOVÁNÍ ČASOVÉHO PRŮBĚHU RÁZU

9.B.1 ÚVOD

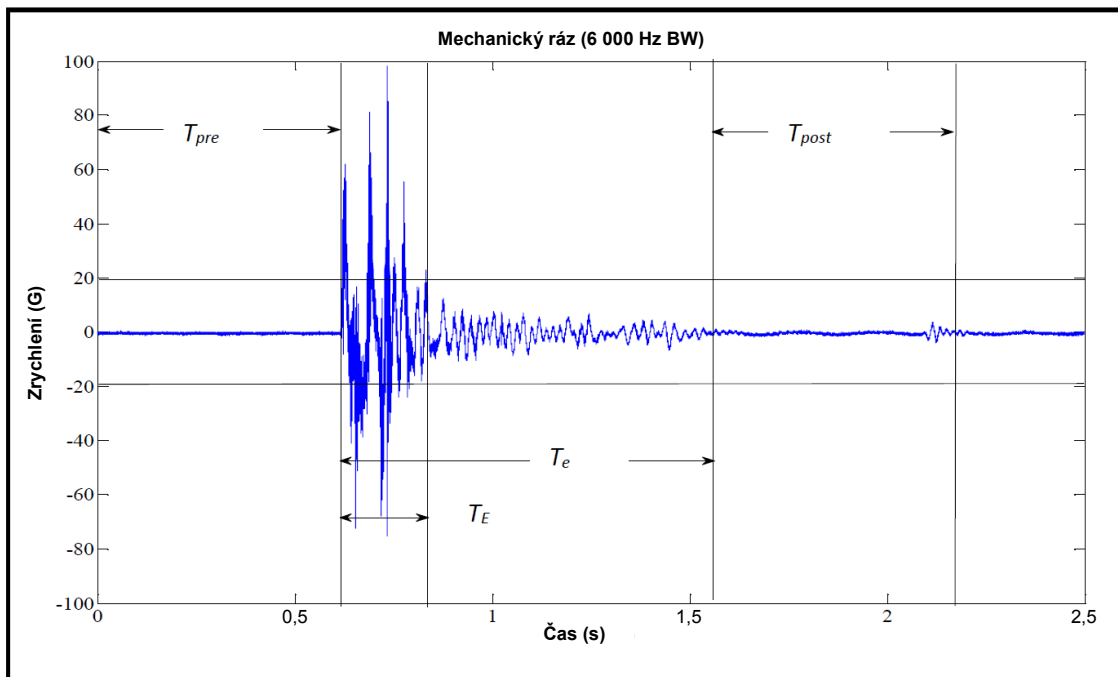
Tato příloha obsahuje další pokyny pro posuzování časového průběhu rázu včetně ověření, tj. pro zjišťování anomálií měřicího systému, které by zneplatnily měření. U rozsáhlých programů měření rázu v polních podmínkách, kde časová a rozpočtová omezení neumožňují ověření jednotlivých rázů, musí být individuálně ověřený časový průběh alespoň jednoho rázu z každého měřicího kanálu a pečlivě prozkoumány časové průběhy každého následného rázu z měřicího kanálu a vyšetřeny hrubé anomálie. Konzistence ve vztahu ke specifikaci zkoušky pro zpracované informace je přijatelná, pokud je jakákoli nekonzistence vyšetřena při ověření časového průběhu rázu. Například by se normální mez tolerance (příloha 9C), pokud je správně použita, měla použít pouze pro soubory odhadů SRS, které mají podobný tvar; jinak je rozptýl nahuštěn nad rámec toho, co by mohlo existovat pro údaje naměřené v polních podmínkách při opakovaných experimentálních měřeních.

9.B.2 KOMPLEXNÍ RÁZY

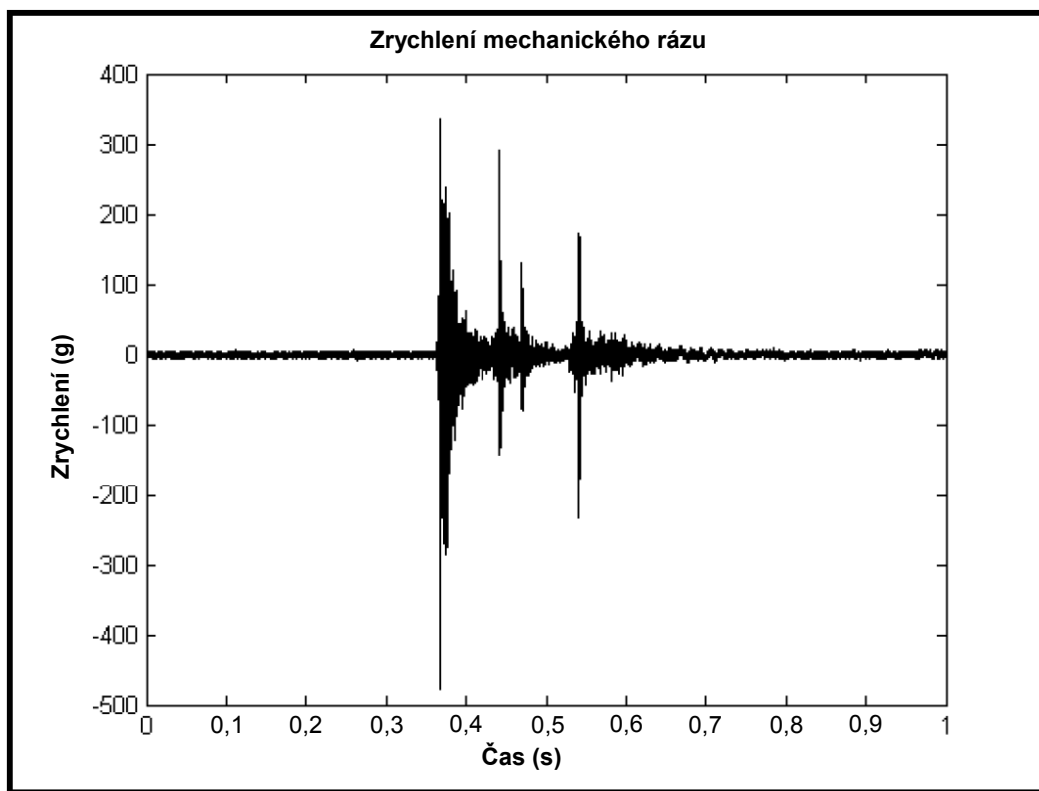
Tato metoda a tato příloha jsou zaměřeny na jednoduché rázy, jak bylo zobrazeno na obrázku 9.A.3 (a opakovaně níže viz obrázek 9.B.1). V přírodě není mnoho jednoduchých rázů. Obrázek 9.B.2 zobrazuje komplexní ráz. Zdá se, že jev způsobující tento ráz má tři „odrazy“. Pokud lze vysledovat odlišný jev, může být poslední ze čtyř rázů oddělen od ostatních tří jako jednoduchý ráz. Pro zdůvodnění jakéhokoli takového rozkladu komplexního rázu je potřeba vyškoleného analytika a jasné pochopení jevu, který ráz vyvolal. Pro laboratorní zkoušku by pravděpodobně nebylo možné použít syntézu SRS, čímž jako jediná možnost pro laboratorní zkoušení zůstává metoda TWR. Případy, ve kterých by se zdálo, že je v sérii několik „jednoduchých rázů“, by se měly nechat na posouzení vyškoleného analytika, aby identifikoval jednotlivé „jednoduché rázy“ ve shodě s cíli charakterizace, analýzy a specifikace. Jakýkoli rozklad řady rázů by měl souviset s jevem, který ráz způsobil. Například katapultový ráz představuje nejjednodušší ráz, který lze specifikovat jako dva nezávislé jednoduché rázy, které jsou v čase odděleny přibližně třemi sekundami s mezilehlou přechodovou vibrací, viz obrázek 9.11. Ráz výstřelu zbraně představuje informace o opakovaném rázu, přičemž četnost opakování je mírou rychlosti střelby ze zbraně. Při úvahách o nejjednodušších rázech je upřednostňována metoda přímého opakování před metodou syntézy.

Obecně tato metoda nemá žádná doporučení kromě použití TWR pro specifikaci laboratorních zkoušek a laboratorní zkoušení takových komplexních rázů. Je důležité udržovat v co největší míře integritu komplexního rázu.

Příloha 9B
(normativní)



OBRÁZEK 9.B.1 – Časový průběh rázu s označením segmentů a zobrazenými časovými intervaly T_e a T_E



OBRÁZEK 9.B.2 – Komplexní ráz

9.B.3 DALŠÍ PROCES ZPRACOVÁNÍ A OVĚŘENÍ JEDNODUCHÉHO RÁZU

9.B.3.1 Úvod

V příloze 9A, čl. 9.A.1 této metody jsou uvedeny časové segmenty jednoduchého rázu pro dolní mez šumu přístrojové techniky, ráz a dolní mez šumu po rázu. Kromě toho jsou specifikovány T_e a T_E . Protože SRS je hlavním ukazatelem analýzy, jsou zobrazovány a interpretovány jak odhady maximax zrychlení segmentů, tak maximax pseudorychlosti segmentů. Pro účely ověření jsou zobrazeny kladné a záporné odhady maximax SRS rázu. Srovnatelnost těchto odhadů neukázala, že by ráz byl neplatný. V tomto článku bude provedena následující analýza poskytující (1) další analýzy rázu a (2) další informace týkající se platnosti rázu, zejména:

- a) Časový průběh okamžité střední kvadratické hodnoty.
- b) Zobrazení rychlosti a posunu rázu.
- c) Zobrazení odhadu časového průběhu ESD.

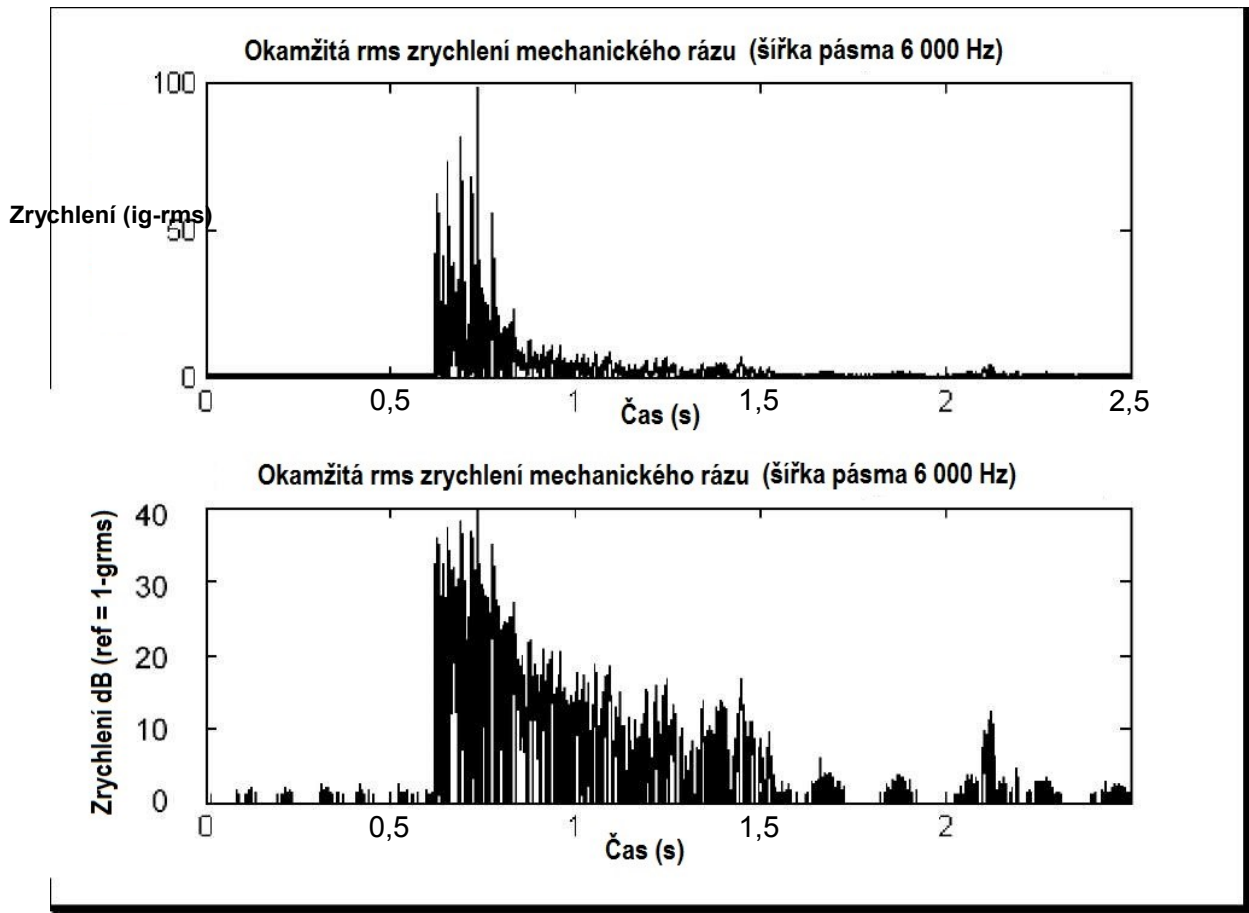
Články 9.A.1.7 a 9.A.1.8 přílohy 9A této metody odkazují na dokonalejší zpracování, které lze použít na jediný jednoduchý ráz nebo je užitečné při sumarizaci informací v souboru rázů. Takové dokonalejší zpracování tato metoda neposkytuje.

9.B.3.2 Okamžitá střední kvadratická hodnota (RMS)

„Okamžitá rms“ poskytuje užitečné informace, které nemusí být patrné ze zkoumání časového průběhu amplitudy. Za účelem stanovení časových intervalů rázů pro zpracování je užitečné zvážit „okamžitou rms“ úrovně měření. Pro měření $a(t)$ $0 \leq t \leq T$ je **okamžitá rms** definována ve stejném intervalu následujícím způsobem: $a_{irms}(t) = \sqrt{a^2(t)} \geq 0$ pro $0 \leq t < T$, kde „irms“ znamená „okamžitou střední kvadratickou hodnotu“. Předpokládá se, že jakýkoli časový posun DC v digitalizovaném měřicím signálu $a(t)$ byl odstraněn před výpočtem a_{irms} . Obrázek 9.B.3 zobrazuje $irms$ v absolutních hodnotách a v dB. Na zobrazení v dB se nezobrazují žádné záporné hodnoty. Je třeba si uvědomit, že a_{irms} se vypočítává bod po bodu. Proto bude $|A_{Pk}|$, jak je uvedeno v bodě 9.A.1.3 přílohy 9A této metody, maximálním vypočteným a_{irms} .

Z příkladu na obrázku 9.B.3 je zřejmé, že „signál“ se blíží 40 dB, zatímco „dolní mez šumu“ je řádově 3 dB, poměr signálu k šumu je přibližně 37 dB. Co se týká identifikace času začátku dolní meze šumu po rázu T_{Post} , je to záležitost zkušeného analytika ve shodě s cíli posouzení rázu. Téměř jisté je, že okamžité rms po rázu jsou větší než okamžité rms před rázem tj. $a_{irms}(T_{Post}) > a_{irms}(t)$ pro $t \leq T_{Pre}$, protože měření se zřídka vrací k úrovním dolní meze šumu měřicího systému kvůli změnám okrajových podmínek v důsledku rázu. Pokud je v časovém průběhu pro $t > T_{Pk}$ náznak periodického chování, musí analytik rozhodnout, zda bude analýza během tohoto pravidelného chování „zvonění“ důležitá pro specifikaci rázu. Pro SRS při syntéze rázu bude obtížné zachytit takové periodické chování a opakovat ho při zkouškách. Pro opakování tvaru vlny by toto periodické „zvonění“ mělo být zachováno, pokud možno po dobu minimálně deseti cyklů.

Příloha 9B
(normativní)



OBRÁZEK 9.B.3 – Časový průběh okamžité střední kvadratické hodnoty rázu

Pro stanovení konce rozsahu T_e pro jednoduché „dobře se chovající“, tj. prudce se rozkládající rázy, se doporučuje, aby analytik prozkoumal časy t , ve kterých jsou $a_{irms}(t)$ pro $t > T_{Pk}$ nejméně 20 dB (nejlépe 40 dB) pod $a_{irms}(T_{Pk})$ a na základě úsudku zvolil nulové křížení pro definování ukončení T_e (nebo začátku T_{Post}). Obecně platí, že kritéria pro definování a automatické stanovení T_{Post} jsou ponechána na uvážení analytika a výběr T_{Post} je v analýze mnohem méně důležitý než výběr T_{Pre} . Při stanovování T_{Post} bude užitečné odhadnout **dolní mez šumu měřicího systému**. Není-li možné nezávislé určení úrovně $a_{irms}(t)$, pak relativně solidním způsobem, jak specifikovat konec **rázu** a začátek **dolní meze šumu po rázu** je začít na konci měřených údajů T , a počítat střední úroveň rms signálu, dokud není patrná zřejmá změna úrovně. To lze dosáhnout výběrem průměrovacího času, např. ~ 5 procent odhadované doby trvání rázu a výpočtem hodnot klouzavého průměru časového průběhu v **dolní mezi šumu měřicího systému** a **dolní mezi šumu po rázu**, kde se průměr posouvá nejméně desetkrát v průměrovacím časovém okně a ideálně výpočtem průměru v každém časovém bodě. Vykreslení těchto úrovní rms vede obvykle k jednoduchému určení T_{Post} . Určení normalizované náhodné chyby pro odhad rms může tento postup vylepšit.

Příloha 9B
(normativní)

Tato chyba je dána $\varepsilon_r = 1/2\sqrt{BT}$ pro šířku pásma B a průměrovací čas T . Interval spolehlivosti 95 % je definován $[\hat{\sigma}_x(1 - 2\varepsilon_r) \leq \sigma_x \leq \hat{\sigma}_x(1 + 2\varepsilon_r)]$. Pro $\varepsilon_r \approx 0,025$ pak $[0,95\hat{\sigma}_x \leq \sigma_x \leq 1,05\hat{\sigma}_x]$. Odhady úrovní **dolní meze šumu měřicího systému a dolní meze šumu po rázu** (standardní odchylky) pro specifikovanou normalizovanou náhodnou chybu, např. 0,025, při výpočtu 95procentních intervalů spolehlivosti a stanovení stupně překrývání intervalů spolehlivosti **dolní meze šumu měřicího systému a dolní meze šumu po rázu**, mohou poskytovat analytické kritérium pro specifikaci konce rázu. Nadměrný šum, který nemusí mít Gaussovu formu v dolní mezi šumu po rázu, může být známkou zhoršeného systému kondicionování signálu přístrojového vybavení v důsledku rázu, např. přerušovaný snímací prvek akcelerometru, překročení sledovací rychlosti zesilovače atd. V tomto případě je třeba ověřit neporušenost měřicího systému po rázu (viz článek 9.B.4 níže).

Pokud takové výpočty a následná zobrazení nejsou dostupná, může být posouzení konce rázu a začátku dolní meze šumu po rázu stanoveno na základě zkoumání typického vzorku kladných a záporných vrcholů v časovém průběhu (obvykle od konce měření a vyhýbáním se jednotlivým rušivým „vrcholům šumu“) bez ohledu na znaménko. V tomto případě lze maximální vrchol (kladný nebo záporný) odhadnout v absolutních jednotkách a poté úroveň -20 dB, -30 dB a -40 dB dolů od ověřeného vrcholu A_{PK} , odhadovanou pomocí $-y = 20 \log_{10} (|A_{PK}| / |A|)$ pro y požadované snížení dB a A představující kladný nebo záporný vrchol.

Kvůli potřebě vyvážit normalizovanou náhodnou chybu s normalizovanou chybou zkreslení pro stanovení optimálních časů průměrování se nedoporučuje, aby byly okamžité hodnoty rms vyhlazeny krátkodobým průměrováním.

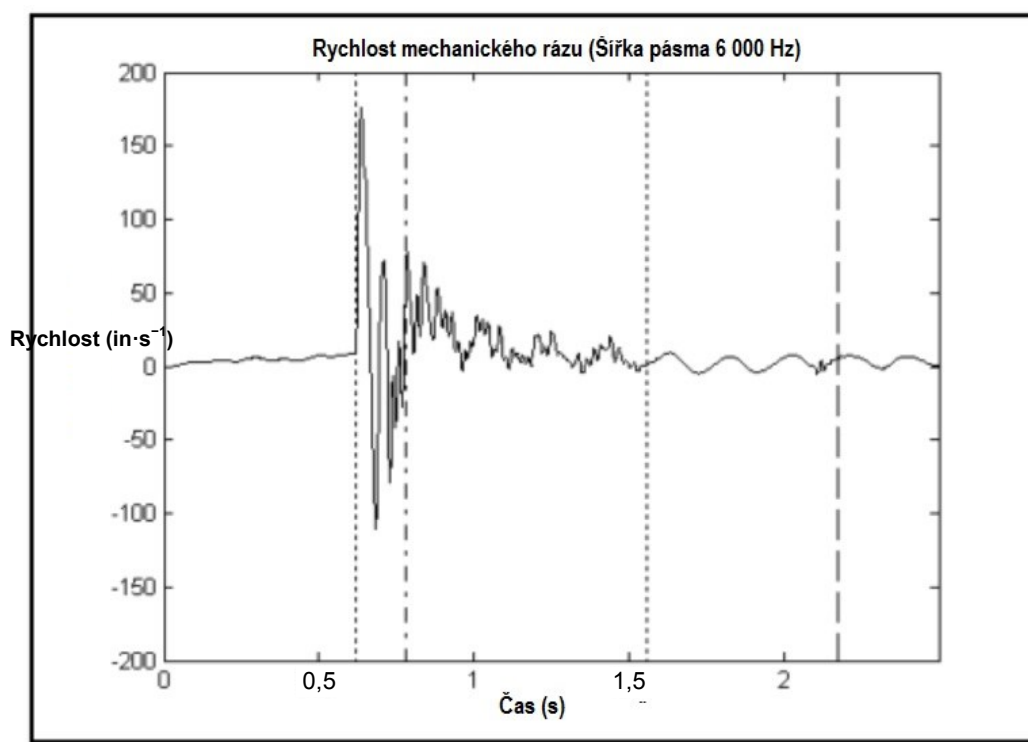
9.B.3.3 Kritéria ověřování pro rychlost/posun rázu

Ke zkoumání nezpracovaného časového průběhu zrychlení za účelem ověření jsou nezbytné dva kroky.

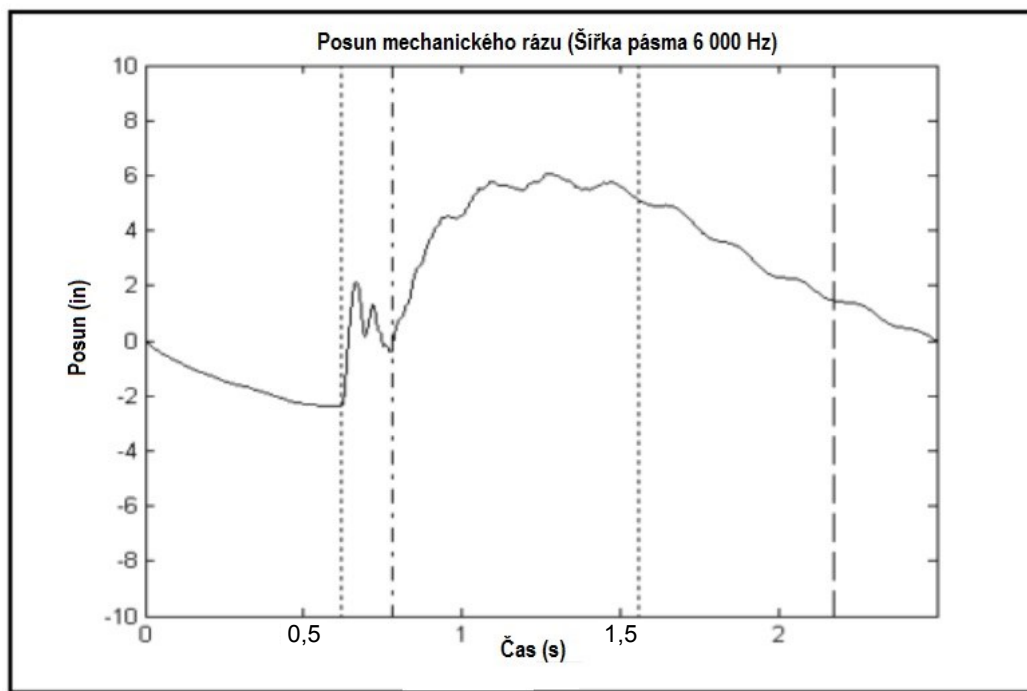
- a) Prvním krokem je jasné definování šířky pásma časového průběhu měření. Užitečné bude uspořádání kondicionování signálu a odhad ESD, který bude popsán v čl. 9.B.3.4 (níže). Šířka pásma časového průběhu určí, zda metoda TWR bude možnou volbou pro laboratorní zkoušku.
- b) Druhý krok se týká integrace časového průběhu, aby se zjistilo, zda rychlost a posun dávají fyzikální smysl. Rychlost může být obvykle stanovena z přímé integrace zrychlení rázu poté, co byl ráz odstraněn z jeho střední hodnoty (rychlost začíná na nule a končí na nule), nebo byl filtrován horní propustí, aby se odstranila jakákoli DC složka a další informace o velmi nízkém kmitočtu. Následné odstranění střední hodnoty rychlosti nebo informace DC v rychlosti umožňuje integraci rychlosti pro získání posunu. Jako minimální požadavek by měly být pro zajištění rychlosti integrovány časové průběhy zrychlení rázu a rychlost by měla mít jasné fyzikální vyjádření, např. oscilační chování a téměř nulová rychlost na "začátku" a "konci" rázu. Rychlost bývá docela citlivá na anomálie kondicionování senzoru nebo signálu, které znehodnocují měření. Integrace rychlosti k dosažení posunu by měla být považována za rozšířený požadavek a měly by být zřejmé přiměřené hodnoty posunu. **Formu** rychlosti (nebo posunu) s ohledem na oscilační chování je třeba prozkoumat z důvodu přiměřenosti. To znamená, že by měla být podezřelá forma rychlosti, která vykazuje malé oscilační chování. Obrázek 9.B.4

Příloha 9B
(normativní)

zobrazuje rychlost vypočítanou pouze odstraněním průměrného DC. Obrázek 9.B.5 zobrazuje výsledky integrace rychlosti k dosažení posunu. Pro posun bylo provedeno odstranění „DC“ v časovém průběhu rychlosti. Zkoumání obou těchto grafů s vědomím fyzikální povahy zkoušky ukazuje (1) přiměřenost špičkových amplitud a rozmezí od kladných do záporných hodnot, (2) zřetelné a podstatné oscilační chování během „rázu“ a (3) charakteristiku chování dolní meze šumu před a po rázu. Zdá se, že měření s omezeným pásmem nemá snadno rozpoznatelné anomálie a časový průběh zrychlení lze považovat za platný pro další zpracování, které je navrženo tak, aby podpořilo nebo vyvrátilo toto ověřování.



OBRÁZEK 9.B.4 – Měření rychlosti získané pomocí integrace zrychlení po odstranění průměrného DC



OBRÁZEK 9.B.5 – Měření posunu získané pomocí integrace rychlosti po odstranění průměrného DC

Pokud se v tomto bodě analýzy nezdá, že se ověření platnosti rychlosti a posunu, zejména ověření platnosti rychlosti, shoduje s fyzickým průběhem zkoušky, musí se zahájit podrobné zkoumání důvodu této nesrovnalosti. Například takové zkoumání vyžadují rychlosti, které nejsou fyzicky realizovatelné. Pro jeden z druhů nákladných zkoušek může být možné obnovit smysluplná data na základě dokonalejších postupů zpracování.

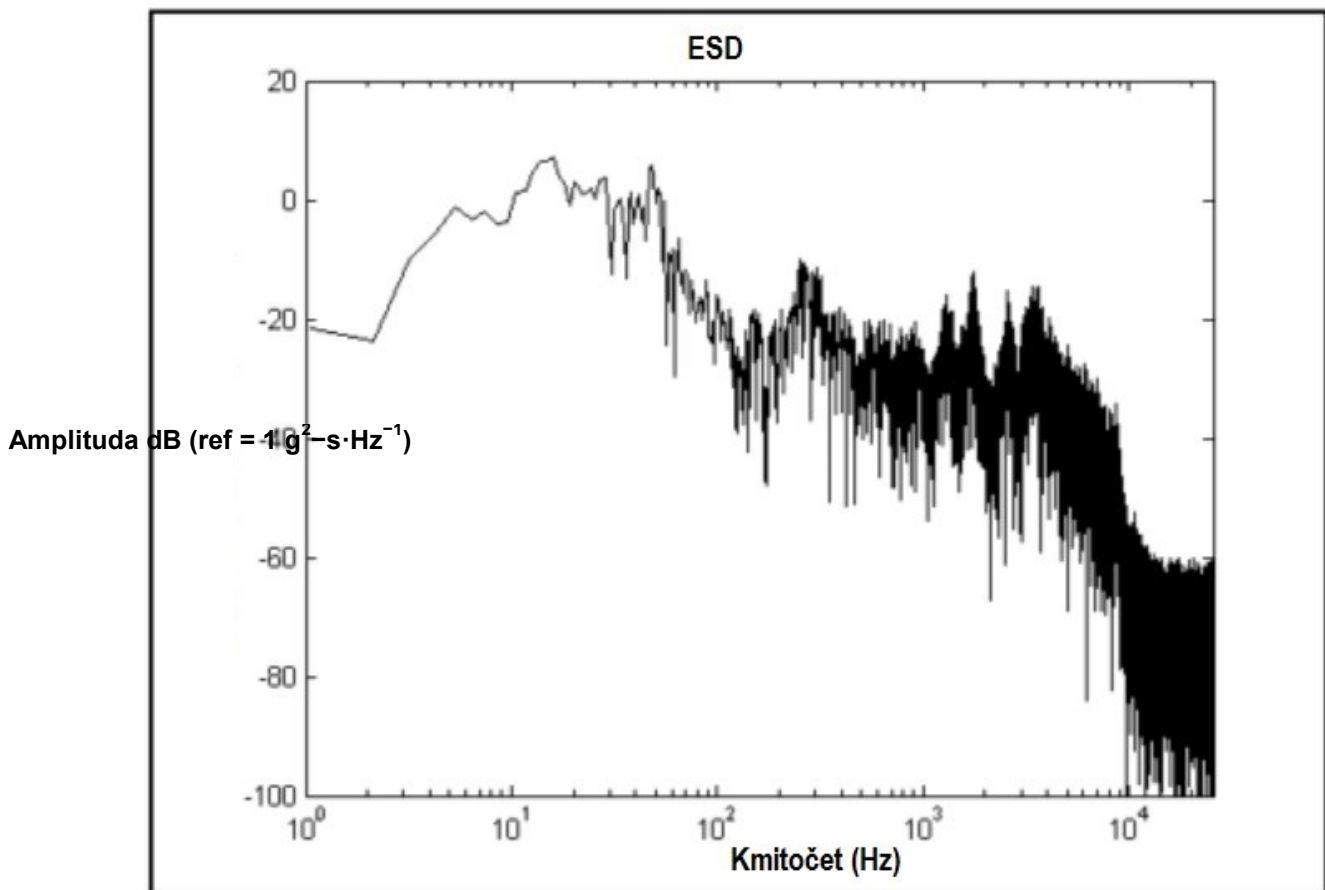
9.B.3.4 Odhad ESD

ESD je jednoblokový periodogram vzorkovaný na jednotném souboru kmitočtů rozložených po požadované šířce pásma a zobrazený jako dvourozměrný graf amplitudy v jednotkách („jednotky²–sekundy·Hz⁻¹“) oproti kmitočtu v Hz. Při určování odhadu musí velikost bloku rychlé Fourierovy transformace zahrnovat celý ráz v intervalu dolní meze šumu měřicího systému T_e , jinak budou nízkokmitočtové složky zkresleny. Výběr šířky pásma analytického filtru může vyžadovat vyplnění nulami za efektivní dobu trvání T_e . Vyplnění nulami má za následek kmitočtovou interpolaci odhadu ESD. Obecně se v časové oblasti předpokládá obdélníkové okno, jsou však přípustná i jiná okna, např. Kaiser, pokud analytik chápe účinky tvaru okna v kmitočtové oblasti, protože násobení v časové oblasti vede ke spirále v kmitočtové oblasti. Popis ESD je užitečný pro srovnání rozdělení energie ve vybraných kmitočtových pásmech mezi náhodnými rázy, za předpokladu, že šířka pásma analýzy kmitočtu je stejná a je zřejmé, že odhady mají přibližně normalizovanou náhodnou chybu 100 %. Obrázek 9.B.6 zobrazuje odhad ESD pro časový průběh rázu na obrázku 9.B.1. Buď (1) průměrováním n sousedních souřadnic ESD

Příloha 9B

(normativní)

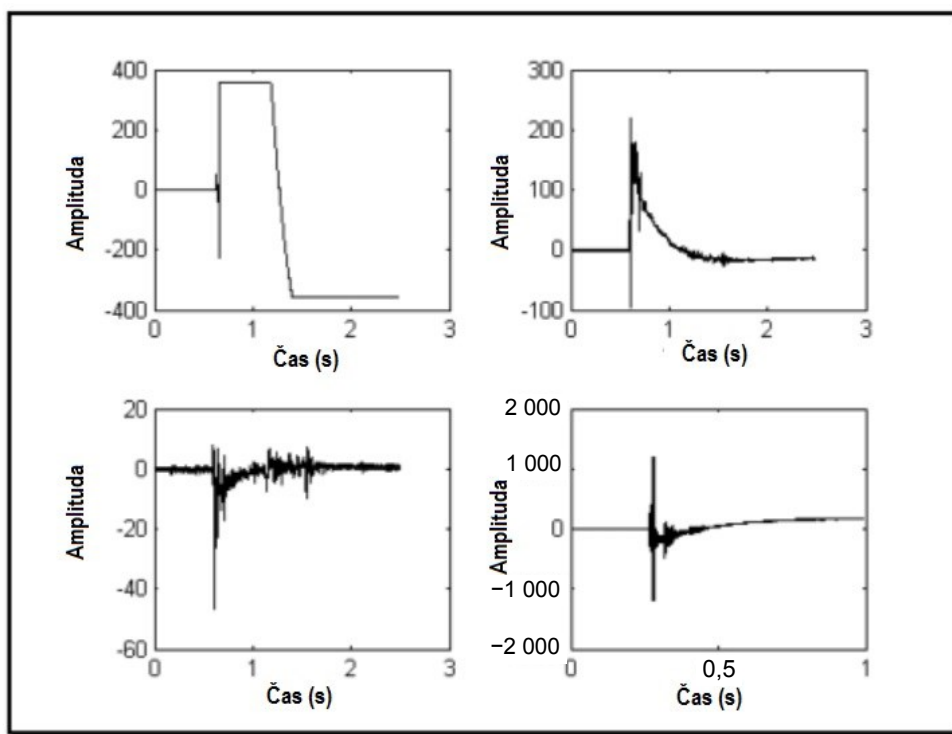
(udržování minima zkreslení odhadu), nebo (2) průměrováním n nezávislých, ale statisticky ekvivalentních odhadů ESD, procento normalizované náhodné chyby lze snížit faktorem $1/\sqrt{n}$. Frekvenční průměrování pro odhady periodogramu je dobře definováno v článku 9.7.1, odkaz j. Odhady ESD pro segmenty dolní meze šumu nejeví tendenci být zvláště užitečné pro ověření platnosti měřicího systému kvůli nepopsatelnému chování dolní meze šumu. Pro účely ověření platnosti by měl odhad ESD zobrazovat správné charakteristiky kmitočtové oblasti. Zejména oblast DC by měla být odstraněna, pokud byla odstraněna složka DC časového průběhu, a pokud není aktivní vyhlazování, měly by být odstraněny maximální úrovně šířky pásma. Pokud maximální úrovně šířky pásma vykazují nárůst, je docela možné, že vyhlazování je aktivní za předpokladu, že časový průběh nebyl dříve filtrován. Odhad ESD je třeba vypočítat na základě časového průběhu z filtru horní propusti, která nebyla nijak omezena digitálním filtrováním.



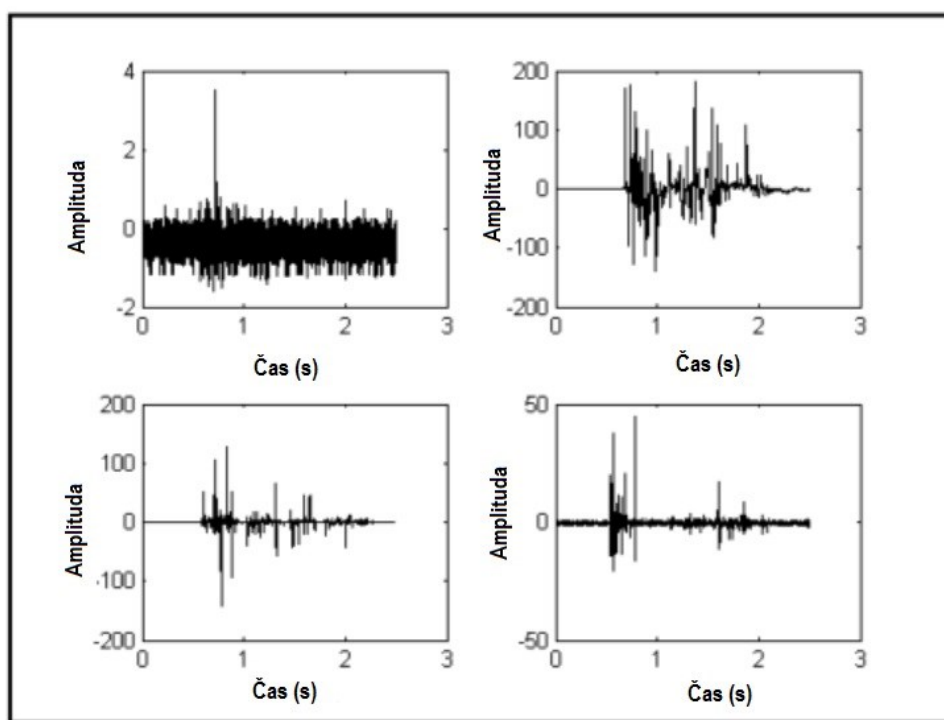
OBRÁZEK 9.B.6 – Odhad ESD rázu

9.B.4 IDENTIFIKACE A VLASTNOSTI NEOBVYKLÉHO MĚŘENÍ RÁZU

V průběhu zkoumání přibližně 216 mechanických rázů z jedné zkušební série (viz čl. 9.7.1, odkaz c je změna ve formě časového průběhu podstatná a vyžaduje posouzení analytika pro vypracování specifikace, pro kterou syntézu rázů, může být vhodný který elektrodynamický budič.

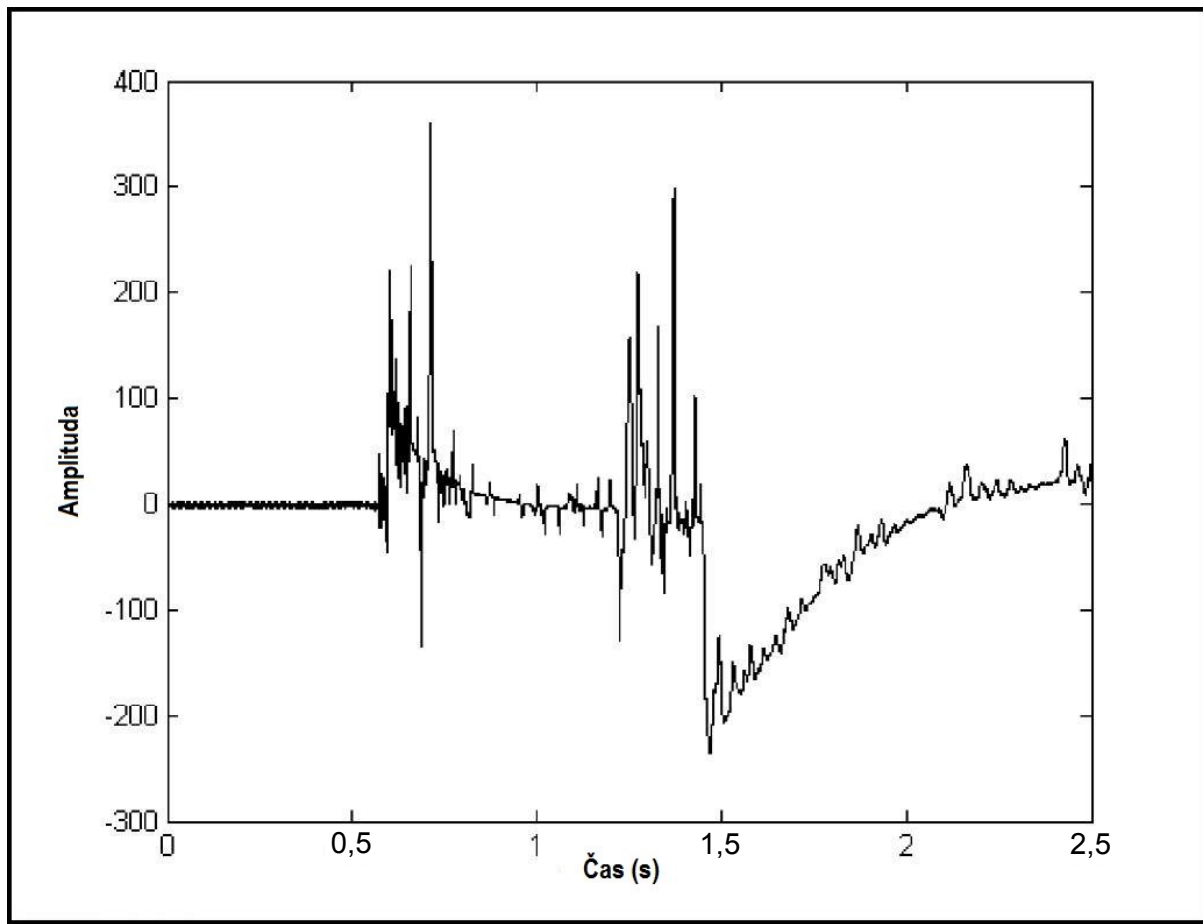


OBRÁZEK 9.B.7 – Měření vstupního přetížení kondicionování signálu oříznutím



OBRÁZEK 9.B.8 – Měření ztracených signálů nebo signálů se šumem

Příloha 9B
(normativní)



OBRÁZEK 9.B.9 – Kombinace přetížení zesilovače a šumu

Obrázky 9.B.7 až 9.B.9 zobrazují typické neobvyklé časové průběhy související s kondicionováním signálu nebo problémy se snímačem. Předpokládá se identifikace problému a obecně je založena na vizuálním zkoumání časového průběhu.

Na základě podobných zobrazení musí být všechny tyto časové průběhy odmítnuty a před pokračováním v měření musí být identifikován zdroj problému. Obrázek 9.B.8 znázorňuje šum v systému, který by mohl pocházet z uvolněného konektoru nebo dokonce z chybějícího senzoru. Je třeba opět odmítnout časové průběhy měření tohoto tvaru. Měření časových průběhů s několika jasně identifikovanými „špičkami“ šumu lze často vyškoleným analytikem „opravit“ a použít.

Konečně obrázek 9.B.9 znázorňuje kombinaci přetížení zesilovače a rozpadu šumu. Toto měření musí být opět odmítnuto.

STATISTICKÁ A PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HLEDISKA PRO VYPRACOVÁNÍ MEZÍ PŘI ODHADECH PŘEDPOKLÁDANÝCH A ZPRACOVANÝCH ÚDAJŮ

9.C.1 ROZSAH

9.C.1.1 Účel

Tato příloha poskytuje informace týkající se statistické a pravděpodobnostní charakterizace souboru údajů za účelem vymezení „horní meze“ souboru údajů. Tato horní mez může být následně použita pro obálkový postup pro vypracování specifikací (tato příloha neposkytuje žádné pokyny pro "obálkové postupy", kde "obálkový postup" je definován jako postup poskytující polynomiální interpolaci spektrální informace pro definici bodu zlomu použitou přímo při řízení budiče). Ačkoli níže uvedené odhady mezních hodnot mohou být použitelné v celé řadě různých nezávislých proměnných, pro usnadnění se předpokládá, že nezávislá proměnná je označena jako „frekvence“. Pro jiné nezávislé proměnné, např. čas, bude možná nutné při stanovení mezí vzít v úvahu sériovou korelaci v odhadech. Předpokládá se, že vstup je empirický a typický pro jeden z více náhodných procesů s neznámou pravděpodobnostní specifikací (tj. pokud je známa pravděpodobnostní struktura náhodných procesů, statistické úvahy obsažené v tomto dokumentu by nebyly relevantní).

9.C.1.2 Použití

Informace v této příloze jsou obecně použitelné pro dva nebo více odhadů v kmitočtové oblasti, které jsou buď předpovídány na základě daných informací, nebo na základě měření v časové oblasti zpracovaných v kmitočtové oblasti podle vhodné metodiky, např. pro stacionární náhodnou vibraci by zpracování bylo ASD; pro velmi krátký přechodový jev může být zpracování SRS, ESD nebo FS. Vzhledem k odhadům v kmitočtové oblasti umožní informace v této příloze stanovit statisticky správným způsobem horní meze souboru údajů s možností pravděpodobnostní interpretace. Statisticky podložené dolní meze mohou být stanoveny na datovém souboru kladné amplitudy, např. odhady ASD nebo SRS, převrácením amplitud a postupováním jako v případě stanovení horních mezí, následným převrácením výsledné „horní meze“ pro požadovanou statisticky podloženou dolní mez. Při použití údajů amplitudy v dB, představuje proces inverze změnu znaménka pro amplitudu a následné použití postupu stanovení „horní meze“ tak, že při obrácení znaménka se získá požadovaná statisticky podložená dolní mez.

9.C.2 VYPRACOVÁNÍ

9.C.2.1 Volba omezení souboru odhadů

Předpokládá se, že analytik jasně definoval cíl hodnocení předpovědi a/nebo měření, tj. poskytnout statisticky realizovatelný odhad mezí. Odhady předpovědí, odhady měření nebo kombinace odhadů předpovědi a měření mohou být posuzovány stejným způsobem. Předpokládá se, že nejistota v jednotlivých měřeních (chyba zpracování) nemá vliv na meze. U naměřených údajů v polních podmínkách digitálně zpracovaných tak, aby byly získány odhady ASD, SRS, ESD nebo FS pro záznamy jednoho vzorku, je nezbytné shrnout celkovou statistiku „podobných“ odhadů vybraných tak, aby nedošlo ke zkreslení mezí. Protože nadměrný rozptyl odhadu

Příloha 9C

(normativní)

při jakékoli nezávislé proměnné hodnotě může vést k příliš konzervativním nebo nesmyslným mezím v závislosti na zvoleném postupu, je tato volba „podobných odhadů“ způsob, jak řídit rozptyl v konečných odhadech meze. Aby se zajistilo, že podobné odhady nebudou fyzikálně ovlivněny, mohou být místa měření vybrána náhodně, v souladu s cíli měření. Rovněž lze podobné odhady definovat jako (1) odhady na jednom místě materiálu, které bylo získáno opakovanými zkouškami za v zásadě stejných experimentálních podmínek, (2) odhady materiálu, které byly získány z jedné zkoušky, pokud jsou odhady provedeny a) na několika sousedních místech vykazujících určitou homogenitu odezvy, nebo b) v „zónách materiálu“ tj. body podobné odezvy na různých místech, nebo (3) nějaká kombinace (1) a (2). V každém případě podobné odhady předpokládají, že mezi odhady v požadovaném kmitočtovém pásmu existuje určitý stupeň homogenity.

9.C.2.2 Podmínky procesu zpracování odhadů

Aby se zajistilo, že stanovení mezí po určení souboru „podobných odhadů“ bude smysluplné, lze použít následující seznam předpokladů.

- a) Všechny odhady jsou definovány pro stejnou šířku pásma a pro stejnou nezávislou proměnnou (to se označuje jako "pevný návrh").

POZNÁMKA

„Náhodný návrh“ umožňuje, aby se nezávislá proměnná mezi odhady lišila, a pro posouzení vztahu mezi odhady vyžaduje principy neparametrických regresních technik bez rozdělení.

- b) Nejistota nebo chyba při zpracování jednotlivých odhadů (náhodná chyba nebo chyba zkreslení při zpracování) meze významně neovlivňují.

POZNÁMKA

U odhadů vycházejících z Fourierova modelu, jako jsou ASD, ESD nebo FS, bude přesnost odhadu definována pomocí statistických stupňů volnosti. Například základní odhad periodogramu má dva statistické stupně volnosti, ale prostřednictvím průměrování bloků (v čase) pomocí Welchova postupu nebo průměrování sousedních kmitočtů (v kmitočtu), lze statistické stupně volnosti v odhadu zvýšit s následným poklesem v odhadu náhodné chyby, ale potenciálním zvýšením odpovídající chyby v odhadu chyby zkreslení. Při provádění odhadů je důležité, aby byla chyba zpracování v určitém smyslu minimalizována (nebo optimalizována) buď prodloužením (pokud je to možné) délky zpracování stacionárního náhodného časového průběhu, nebo zvětšením odhadované šířky pásma průměrováním kmitočtu. V případě odhadů, které nejsou založeny na Fourierově modelu, jako je SRS, existuje jen málo pokynů pro zpracování výběru šířky pásma, s výjimkou pokynů založených na fyzikálních úvahách pro systémy s jedním stupněm volnosti. V těchto případech se doporučuje volba různých faktorů tlumení spolu s šířkami pásma a porovnání mezí.

- c) Jednotlivé odhady z daného měření nejsou ve vzájemném vztahu, tj. neexistuje žádná sériová korelace s ohledem na nezávislou proměnnou.

POZNÁMKA

U odhadů vycházejících z Fourierova modelu je tento předpoklad obvykle splněn kvůli „ortogonalitě“ Fourierovy transformace. Pro odhady, které

Příloha 9C
(normativní)

nevycházejí z Fourierova modelu, např. SRS, je určitá sériová korelace v odhadech nezbytná.

- d) Transformované odhady jsou často více v souladu s předpoklady postupů stanovování mezí. Například použití logaritmické transformace k získání odhadů v dB obecně ponechá odhad nastavený na daném kmitočtu blíže k normálnímu rozložení.
- e) Téměř „optimální odhady meze“ mohou být potenciálně určeny přepracováním dostupných informací z časových průběhů změnou mezery nezávislé proměnné, tj. šířka pásma analýzy. V případě predikce by to znamenalo interpolaci daných predikčních odhadů.
- f) K dispozici jsou parametrické a neparametrické odhady mezí. Analytik by měl vybrat jeden nebo více odhadů mezí, které nejlépe odpovídají (a) požadované interpretaci vyjádření mezí a (b) charakteru souboru „podobných odhadů“.

9.C.2.3 Předpoklady statistického odhadu parametrické horní meze

Ve veškerých vzorcích pro odhad statistické horní meze souboru N predikcí nebo zpracovaných odhadů na jediném kmitočtu v rámci celkové odhadované šířky pásma,

$$\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$$

se předpokládá, že (1) budou odhady transformovány logaritmicky, aby se celkový soubor měření přiblížil těm, které byly odebrány z normálního rozložení a (2) chyba zkreslení výběru měření je zanedbatelná. Protože „normální“ a „t“ rozdělení jsou symetrické, platí níže uvedené vzorce pro dolní mez změnou znaménka velikostí průměru a směrodatné odchylky na mínus. Zde se předpokládá, že všechny odhady jsou na jednom kmitočtu nebo pro jednu šířku pásma a že odhady mezi šířkami pásma jsou nezávislé, takže každá uvažovaná šířka pásma může být zpracována jednotlivě a výsledky shrnuty na jednom grafu po celé šířce pásma jako funkce kmitočtu. Pro

$$y_i = \log_{10}(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

odhad střední hodnoty m_y pro skutečnou střední hodnotu μ_y je dán vztahem

$$m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

a nezkreslený odhad standardní odchylky s_y pro skutečnou standardní odchylku σ_y je dán vztahem

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - m_y)^2}{N - 1}}$$

9.C.2.3.1 NTL – horní mez normální jednostranné tolerance

Horní mez normální jednostranné tolerance (NTL) pro poměr β hodnot souboru, které budou překročeny s koeficientem spolehlivosti γ , je dána vztahem

$$NTL(N, \beta, \gamma) = 10^{m_y + s_y k_{N, \beta, \gamma}}$$

Příloha 9C

(normativní)

kde $k_{N,\beta,\gamma}$ je koeficient normální jednostranné tolerance uvedený v tabulce 9.C.1 pro vybrané hodnoty N , β a γ . *NTL* se nazývá horní interval jednostranné normální tolerance (původního souboru odhadů), pro který 100β procent hodnot bude ležet pod mezí se 100γ procentní spolehlivostí. Pro $\beta = 0,95$ a $\gamma = 0,50$ se označuje jako mez 95/50.

Tabulka (tabulka 9.C.1), rozšířená verze z článku 9.7.1, odkaz b, obsahuje hodnotu „ k “ pro zvolené N , β , γ . Obecně by tato metoda odhadu neměla být použita pro malé N s hodnotami β a γ blízkými 1, protože je pravděpodobné, že bude porušen předpoklad normality logaritmické transformace odhadů.

TABULKA 9.C.1 – Koeficienty horní meze normální jednostranné tolerance

N	$\gamma = 0,50$			$\gamma = 0,90$			$\gamma = 0,95$		
	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$
3	1,50	1,94	2,76	4,26	5,31	7,34	6,16	7,66	10,55
4	1,42	1,83	2,60	3,19	3,96	5,44	4,16	5,14	7,04
5	1,38	1,78	2,53	2,74	3,40	4,67	3,41	4,20	5,74
6	1,36	1,75	2,48	2,49	3,09	4,24	3,01	3,71	5,06
7	1,35	1,73	2,46	2,33	2,89	3,97	2,76	3,40	4,64
8	1,34	1,72	2,44	2,22	2,75	3,78	2,58	3,19	4,35
9	1,33	1,71	2,42	2,13	2,65	3,64	2,45	3,03	4,14
10	1,32	1,70	2,41	2,07	2,57	3,53	2,35	2,91	3,98
11	1,32	1,70	2,40	2,01	2,50	3,44	2,28	2,82	3,85
12	1,32	1,69	2,39	1,97	2,45	3,37	2,21	2,74	3,75
13	1,31	1,69	2,39	1,93	2,40	3,31	2,16	2,67	3,66
14	1,31	1,68	2,38	1,90	2,36	3,26	2,11	2,61	3,58
15	1,31	1,68	2,38	1,87	2,33	3,21	2,07	2,57	3,52
16	1,31	1,68	2,38	1,84	2,30	3,17	2,03	2,52	3,46
17	1,31	1,68	2,37	1,82	2,27	3,14	2,00	2,49	3,41
18	1,30	1,67	2,37	1,80	2,25	3,11	1,97	2,45	3,37
19	1,30	1,67	2,37	1,78	2,23	3,08	1,95	2,42	3,33
20	1,30	1,67	2,37	1,77	2,21	3,05	1,93	2,40	3,30
21	1,30	1,67	2,36	1,75	2,19	3,03	1,91	2,37	3,26
22	1,30	1,67	2,36	1,74	2,17	3,01	1,89	2,35	3,23
23	1,30	1,67	2,36	1,72	2,16	2,99	1,87	2,33	3,21
24	1,30	1,67	2,36	1,71	2,15	2,97	1,85	2,31	3,18
25	1,30	1,67	2,36	1,70	2,13	2,95	1,84	2,29	3,16
26	1,30	1,66	2,36	1,69	2,12	2,94	1,82	2,28	3,14
27	1,30	1,66	2,35	1,68	2,11	2,92	1,81	2,26	3,12
28	1,30	1,66	2,35	1,67	2,10	2,91	1,80	2,25	3,10

Příloha 9C
(normativní)

N	$\gamma = 0,50$			$\gamma = 0,90$			$\gamma = 0,95$		
	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$
29	1,29	1,66	2,35	1,66	2,09	2,90	1,79	2,23	3,08
30	1,29	1,66	2,35	1,66	2,08	2,88	1,78	2,22	3,06
32	1,29	1,66	2,35	1,64	2,06	2,86	1,76	2,20	3,03
34	1,29	1,66	2,35	1,63	2,05	2,84	1,74	2,18	3,01
36	1,29	1,66	2,35	1,62	2,03	2,82	1,72	2,16	2,98
38	1,29	1,66	2,35	1,61	2,02	2,81	1,71	2,14	2,96
40	1,29	1,66	2,35	1,60	2,01	2,79	1,70	2,13	2,94
42	1,29	1,66	2,34	1,59	2,00	2,78	1,69	2,11	2,92
44	1,29	1,66	2,34	1,58	1,99	2,77	1,67	2,10	2,91
46	1,29	1,66	2,34	1,57	1,98	2,76	1,66	2,09	2,89
48	1,29	1,66	2,34	1,57	1,97	2,74	1,65	2,08	2,88
50	1,29	1,65	2,34	1,56	1,97	2,73	1,65	2,07	2,86
55	1,28	1,64	2,33	1,54	1,94	2,70	1,62	2,04	2,83
60	1,28	1,64	2,33	1,53	1,93	2,68	1,60	2,02	2,80
65	1,28	1,64	2,33	1,52	1,91	2,67	1,59	2,00	2,78
70	1,28	1,64	2,33	1,51	1,90	2,65	1,58	1,99	2,76
75	1,28	1,64	2,33	1,50	1,89	2,64	1,57	1,97	2,74
80	1,28	1,64	2,33	1,49	1,88	2,63	1,56	1,96	2,73
85	1,28	1,64	2,33	1,48	1,88	2,62	1,55	1,95	2,71
90	1,28	1,64	2,33	1,48	1,87	2,61	1,54	1,94	2,70
95	1,28	1,64	2,33	1,47	1,86	2,60	1,53	1,93	2,69
100	1,28	1,64	2,33	1,47	1,86	2,60	1,52	1,92	2,68
500	1,28	1,64	2,33	1,36	1,74	2,44	1,38	1,76	2,47
1 000	1,28	1,64	2,33	1,34	1,71	2,41	1,35	1,73	2,43
∞	1,28	1,64	2,33	1,34	1,71	2,41	1,35	1,73	2,43

POZNÁMKA

Hodnoty tabulky malý vzorek $3 \leq N \leq 50$ a velký vzorek $50 < N$.

9.C.2.3.2 NPL – horní mez normální předpovědi

Horní mez normální předpovědi (NPL) je hodnota x (pro původní datový soubor), která překročí další předvídanou nebo měřenou hodnotu s koeficientem spolehlivosti γ a je dána vztahem

$$NPL(N, \gamma) = 10^{m_y + s_y \sqrt{1 + \frac{1}{N}} t_{N-1; \alpha}}$$

kde $\alpha = 1 - \gamma$. $t_{N-1; \alpha}$ je proměnná „studentova t rozdělení“ s $N-1$ stupni volnosti při $100\alpha = 100(1-\gamma)$ procentním bodu rozdělení. Tento odhad z důvodu předpokladů jeho odvození vyžaduje pečlivý výklad týkající se měření provedených v daném místě nebo v dané zóně odhadů (článek 9.7.1, odkaz b).

Příloha 9C
(normativní)

9.C.2.4 Postupy statistického odhadu neparametrické horní meze

Pokud existuje důvod se domnívat, že odhad při daném kmitočtu nebude po logaritmické transformaci dostatečně normálně rozdělen, aby bylo možné použít parametrické meze definované výše, je třeba zvážit neparametrické meze, tj. meze, které nezávisí na předpokladech týkajících se rozdělení odhadovaných hodnot. V tomto případě není nutné transformovat odhady údajů. Všechny předpoklady týkající se volby odhadů jsou použitelné pro neparametrické odhady. Dalším zpracováním lze vypočítat dolní meze.

9.C.2.4.1 Obálka (ENV) – horní mez

Maximální horní mez se stanoví výběrem maximální odhadované hodnoty v souboru údajů

$$ENV(N) = \max \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$$

Hlavní nevýhodou tohoto odhadu je to, že distribuční vlastnosti souboru odhadů jsou zanedbány, takže není stanovena žádná pravděpodobnost překročení této hodnoty. V případě odlehlých hodnot ve stanoveném odhadu může být $ENV(N)$ příliš konzervativní. $ENV(N)$ je rovněž citlivý na šířku pásma odhadů.

9.C.2.4.2 Mez tolerance bez rozdělení (DFL) – horní mez tolerance bez rozdělení

Mez tolerance bez rozdělení, která používá původní netransformované hodnoty vzorku, je definována jako horní mez, pro kterou bude alespoň zlomek β všech hodnot vzorku menší než maximální předpokládaná nebo měřená hodnota s koeficientem spolehlivosti γ . Tato mez je založena na ordinálních statistických úvahách.

$$DFL(N, \beta, \gamma) = x_{max}; \gamma = 1 - \beta^N$$

kde x_{max} je maximální hodnota souboru odhadů, β je zlomková část pod x_{max} a γ je koeficient spolehlivosti. N , β a γ nejsou nezávisle volitelné, ale

- a) při daném N a za předpokladu hodnoty β , $0 \leq \beta \leq 1$ lze stanovit koeficient spolehlivosti;
- b) při daném N a γ lze stanovit poměr β ;
- c) při daném β a γ lze počet vzorků stanovit tak, aby byly poměr a spolehlivost vyhovující (pro návrh statistického experimentu).

$DFL(N, \beta, \gamma)$ nemusí mít smysl pro malé vzorky dat, $N \leq 13$ a poměrně velké β , $\beta > 0,95$. $DFL(N, \beta, \gamma)$ je citlivá na odhadovanou šířku pásma.

9.C.2.4.3 Empirická mez tolerance (ETL) – horní empirická mez tolerance

Empirická mez tolerance používá původní hodnoty vzorku a předpokládá, že předpovídaný nebo měřený soubor odhadů je složen z N měřicích bodů na M šířkách pásem kmitočtové analýzy, pro celkový počet odhadovaných hodnot NM . To je

$$\{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1M}; x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2M}; x_{N1}, x_{N2}, \dots, x_{NM}\}$$

kde m_j je průměrný odhad v j -té kmitočtové šířce pásma ve všech N měřicích bodech

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, M$$

m_j se používá k sestavení souboru odhadů normalizovaných na jednotlivé šířky pásma rozlišení kmitočtu. To je

$$\{u\} = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1M}, u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2M}, u_{N1}, u_{N2}, \dots, u_{NM}\}$$

kde $u_{ij} = x_{ij} / m_j$; $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, M$

Normalizovaný soubor odhadů $\{u\}$ je řazen od menších ke větším a $u_\beta = u_{(k)}$, kde $u_{(k)}$ je k -tý prvek v pořadí souboru $\{u\}$ definovaný pro $0 < \beta = k/MN \leq 1$. Pro každou šířku pásma rozlišení kmitočtu pak $ETL(\beta) = u_\beta m_j = x_{\beta j}$; $j = 1, 2, \dots, M$.

Použití m_j znamená, že hodnota $ETL(\beta)$ pro j překračuje β procent hodnot s 50% spolehlivostí. Pokud je vybrána jiná hodnota než m_j , může se úroveň spolehlivosti zvýšit. Pro použití této meze je důležité, aby soubor odhadů byl homogenní, tj. mají přibližně stejný rozptyl ve všech kmitočtových pásmech. Obecně platí, používat tuto mez pouze pokud je počet měřicích bodů N větší než 10.

9.C.3 PŘÍKLAD

9.C.3.1 Soubor vstupních zkušebních dat

Tabulka 9.C.2 představuje homogenní tabulku čísel s normálním rozdělením jednotkového rozptylu kolem střední hodnoty 3,5 s $N = 14$ řádky a $M = 5$ sloupci (řádky mohou představovat čtrnáct jednotlivých zkušebních měření a sloupce mohou představovat zkušební hodnoty v pěti souborech dat). Tabulka 9.C.2 se používá pro stanovení horní meze v článcích 9.C.3.2 a 9.C.3.3 níže.

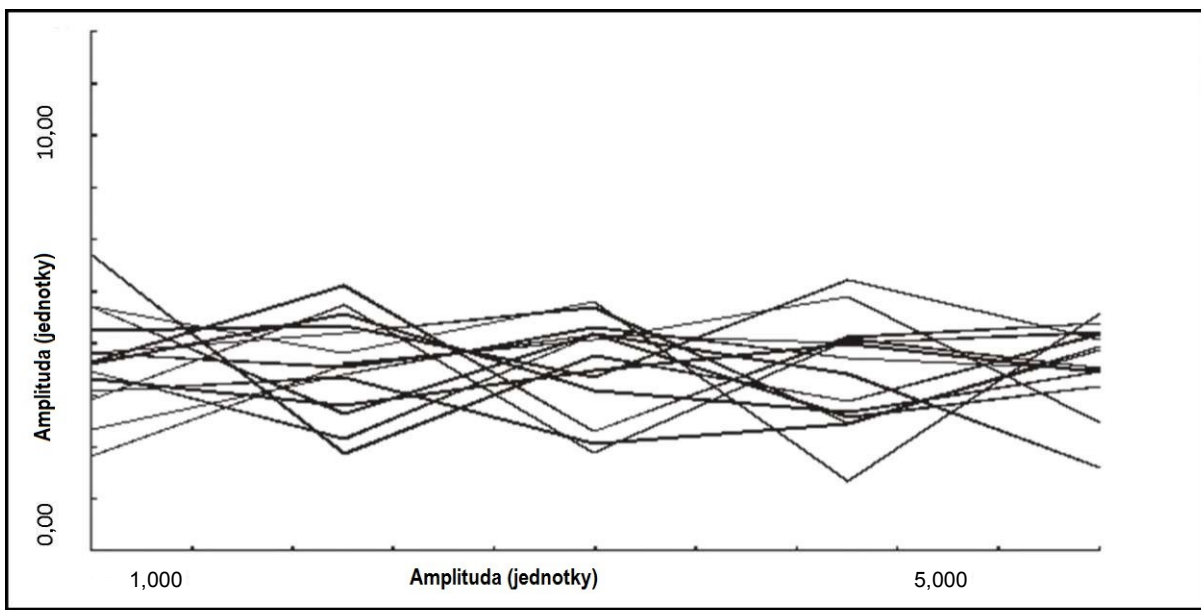
TABULKA 9.C.2 – Soubor vstupních zkušebních dat

Soubor dat 1	Soubor dat 2	Soubor dat 3	Soubor dat 4	Soubor dat 5
3,067 4	3,363 6	2,059 0	2,443 5	3,880 3
1,834 4	3,613 9	4,071 1	4,915 1	2,490 9
3,625 3	4,566 8	3,100 1	2,694 9	3,480 5
3,787 7	3,559 3	4,190 0	4,028 7	3,451 8
2,353 5	3,404 4	4,315 6	3,719 5	3,500 0
4,690 9	2,667 7	4,211 9	2,578 1	3,182 1
4,689 2	3,790 2	4,790 2	1,329 3	4,595 0
3,462 4	2,163 8	4,168 6	3,440 8	1,626 0
3,827 3	4,214 3	4,690 8	2,489 4	3,928 2
3,674 6	5,123 6	2,297 5	4,114 5	4,395 6
3,313 3	2,808 2	3,480 2	4,007 7	4,231 0
4,225 8	4,358 0	3,343 3	5,192 4	4,077 9
2,911 7	4,754 0	1,895 9	4,091 3	3,540 3
5,683 2	1,906 3	3,757 3	2,856 4	4,177 1

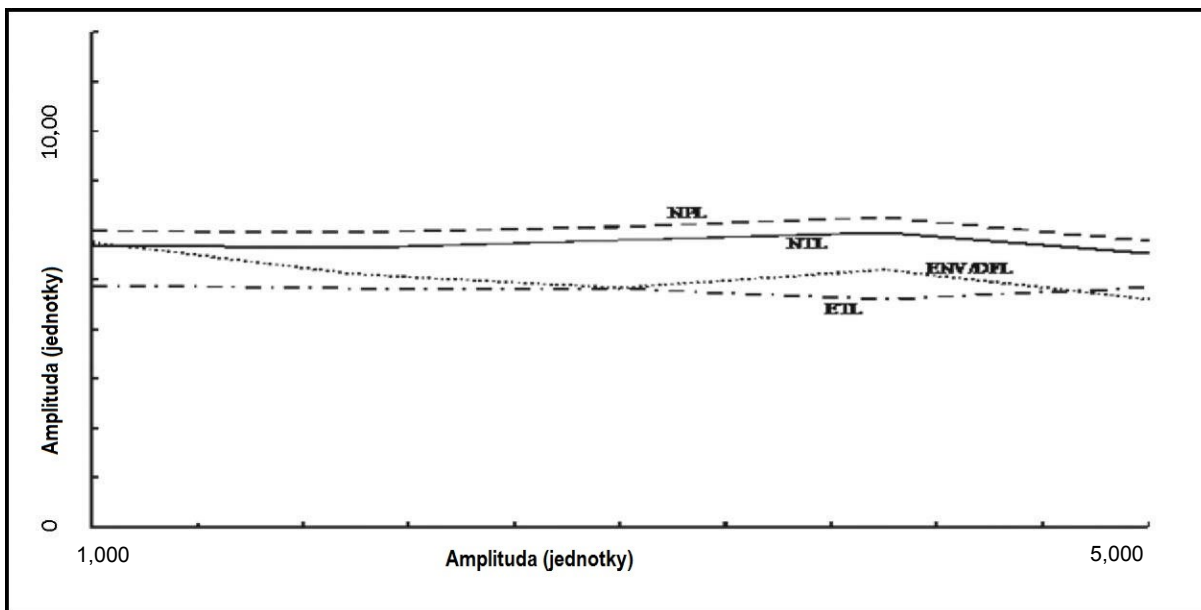
Příloha 9C
(normativní)

9.C.3.2 Horní parametrické meze

Horní mez normální jednostranné tolerance (*NTL*) se počítá jako mez 95/50 s 50% spolehlivostí, že alespoň 95 procent hodnot bude ležet pod touto mezí pro $k_{N,\beta,\gamma} = 1,68$ z tabulky 9.C.1. Horní mez normální předpovědi (*NPL*) se počítá s koeficientem spolehlivosti 0,95 při 95procentním bodu rozdělení, kde $t_{N-1;\alpha} = 1,771$. Obrázek 9.C.1 zobrazuje data a obrázek 9.C.2 zobrazuje dvě parametrické horní meze.



OBRÁZEK 9.C.1 – Soubor vstupních zkušebních dat



OBRÁZEK 9.C.2 – Horní parametrické a neparametrické meze

POZNÁMKA

Stupeň konzervativnosti v horní mezi normální předpovědi nad mezí normální tolerance.

9.C.3.3 Horní neparametrické meze

Na obrázku 9.C.2 je zobrazena mez obálky (*ENV*) spolu s horní mezí tolerance bez rozdělení (*DFL*) pro podíl β souboru nastavený na 0,95 a koeficient spolehlivosti γ o hodnotě 0,51 pro počet vzorků $N = 14$. To představuje jednu křivku se dvěma významy. 95% horní empirická mez tolerance (*ETL*) je rovněž zobrazena na obrázku 9.C.2, kde alespoň 95 procent hodnot bude touto mezí překročeno s 50% spolehlivostí. Údaje jsou pro účely srovnání zobrazeny na obrázku 9.C.2.

9.C.3.4 Poznatky pozorování

„Plochosť“ horních mezí na obrázku 9.C.2 svědčí o homogenitě údajů v tabulce 9.C.2. Z obrázku 9.C.2 je zřejmé, že horní meze pro vybrané parametry nejsou „statisticky ekvivalentní“. Ze dvou odhadů horní meze je upřednostňována *NTL*, pokud lze prokázat, že logaritmická transformace souboru údajů je přibližně v normálním rozdělení. Blízkost neparametrických obálek svědčí rovněž o homogenitě údajů v tabulce 9.C.2, kromě toho, alespoň v tomto případě prokazují nestatistická *ENV*, statisticky podložené *DFL* a *ETL*, že v zásadě souhlasí s magnitudou horní meze. U nehomogenních souborů údajů se nepředpokládá, že by *ETL* souhlasila s *ENV* nebo *DFL*. U malých souborů údajů se *ETL* může lišit v závislosti na tom, zda se parametr „*k*“ zaokrouhlí nahoru nebo dolů.

9.C.4 DOPORUČENÉ POSTUPY

9.C.4.1 Doporučené statistické postupy pro odhady horní meze

Článek 9.7.1, odkaz b poskytuje podrobnou diskusi o výhodách a nevýhodách odhadu horních mezí. Návodů v tomto odkazu jsou doporučeny. Ve všech případech se údaje pečlivě zakreslují, s jasným uvedením metody stanovení horní meze a předpokladů použité metody.

- Když N je dostatečně velký, tj. $N \geq 7$, horní mez se stanovuje pomocí výrazu pro *DFL* pro zvolené $\beta \geq 0,90$ tak, že $\gamma \geq 0,50$.
- Když N není dostatečně velký, aby splňoval kritérium v bodě a), horní mez se stanovuje pomocí výrazu pro *NTL*. Vybere se β a $\gamma \geq 0,50$. Varianty β určí stupeň konzervativnosti horní meze.
- Pro $N > 10$ a koeficient spolehlivosti 0,50 je horní mez stanovená na základě *ETL* přijatelná a může být nahrazena horní mezí stanovenou pomocí *DFL* nebo *NTL*. Při používání *ETL* je důležité zkoumat a potvrdit homogenitu odhadů v kmitočtových pásmech.

9.C.4.2 Koeficienty nejistoty

Je-li důvěra v údaje nízká nebo je soubor údajů malý, mohou se přidat k výsledným horním mezím koeficienty nejistoty. Mohou být přidány koeficienty řádově od 3 dB do 6 dB. Článek 9.7.1, odkaz b doporučuje pro stanovení naměřených údajů použít koeficient nejistoty 5,8 dB (vycházející z nejistot „let-let“ 3 dB a nejistot „bod-bod“ 5 dB) se změřenými údaji zajištěného letu pro určení maximálního předpokládaného okolního prostředí používajícího normální mez tolerance. Je důležité, aby byly

Příloha 9C

(normativní)

všechny nejistoty jasně definovány a aby nejistoty nebyly superponovány na odhady, které již představují nejistotu.

10 METODA 404 – KONSTANTNÍ ZRYCHLENÍ

OBSAH

10.1	ROZSAH PLATNOSTI	256
10.1.1	Účel	256
10.1.2	Použití	256
10.1.3	Omezení	256
10.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	256
10.2.1	Vlivy prostředí	256
10.2.2	Použití naměřených údajů	256
10.2.3	Posloupnost	256
10.2.4	Výběr zkušebního postupu	257
10.2.5	Řízení	257
10.3	NÁROČNOSTI	258
10.3.1	Všeobecná ustanovení	258
10.3.2	Podpůrné hodnocení	258
10.3.3	Zkušební úrovně	258
10.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	258
10.4.1	Povinné	258
10.4.2	Jsou-li požadované	259
10.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	259
10.5.1	Tolerance	259
10.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	259
10.5.3	Zkoušení subsystémů	260
10.5.4	Vlivy zemské přitažlivosti a koeficient zatížení	260
10.5.5	Příprava zkoušky	260
10.5.6	Postup	260
10.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	261
10.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	261

Přílohy

Příloha 10A	KONSTANTNÍ ZRYCHLENÍ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	264
-------------	--	-----

10.1 ROZSAH PLATNOSTI

10.1.1 Účel

Účelem této metody je reprodukovat akcelerační prostředí, kterému jsou vystaveny systémy, subsystémy a zařízení, dále nazývané „materiál“, za předepsaných provozních podmínek.

10.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat předepsanému akceleračnímu prostředí bez nepřijatelné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik. Metoda je vhodná pro materiál, který je nainstalován v letadlech, vrtulnících, letadlových podvěsech, na řízených střelách odpalovaných ze země a na střelách při jejich volném letu.

10.1.3 Omezení

Tato zkušební metoda nevěnuje pozornost rychlosti změny zrychlení. Tato metoda také nezahrnuje postupy pro kombinované zkoušení statické akcelerace a vibrací – odkaz v článku 10.7.

10.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

10.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam nehodlá být všezahrnující, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou objevit při vystavení materiálu akceleračnímu prostředí:

- a) pružné deformace, které zasahují do provozu materiálu;
- b) trvalé deformace a lomy, které materiál vyřadí z provozu nebo zničí;
- c) lomy upevňovacích prvků, týkající se bezpečnosti;
- d) zkraty a rozpojené obvody;
- e) výkyvy v úrovních indukčních a kapacitních odporů;
- f) vadná funkce relé;
- g) zablokování nebo ohnutí mechanismů nebo servořízení;
- h) prosakování těsnění spojů;
- i) odchylky v regulaci tlaku a průtoku;
- j) kavitace čerpadel;
- k) pozměnění dynamických charakteristik tlumičů a izolátorů.

10.2.2 Použití naměřených údajů

Kde je to účelné, doporučuje se k rozpracování zkušebních úrovní použít údaje naměřené v polních podmínkách. Pokud je cílem dosáhnout přesné simulace, pak je mimořádně důležité použít údaje naměřené v polních podmínkách. Doporučuje se získat dostatečné údaje naměřené v polních podmínkách pro přiměřený popis podmínek, podle kterých se má materiál hodnotit a kterým má být vystaven. Jako minimální se doporučuje získat údaje o provozní úrovni zrychlení, jeho době trvání a orientaci.

10.2.3 Posloupnost

Zrychlení může být potenciálně destruktivní. Směrnice pro zkoušku by měla stanovit jeho místo v posloupnosti zkoušek.

10.2.4 Výběr zkušebního postupu

Pro zkoušky zrychlení existují dva postupy. Otáčivá centrifuga nebo vozík – sánky na kolejnicích jsou nejběžnější zkušební zařízení a metody k dosažení vyžadovaného konstantního zrychlení. Tyto dva postupy nedávají nutně totožný akcelerační výstup, protože centrifuga je rotační pohyb a vozík vytváří lineární zrychlení. Je na zodpovědném orgánu, aby vybral vhodné zkušební zařízení podle zkoušeného předmětu a účinků, které se mají simulovat.

10.2.4.1 Postup I – Centrifuga

Centrifuga vytváří akcelerační zatížení rotací kolem pevné osy. Směr zrychlení je vždy směrem ke středu otáčení centrifugy radiální, zatímco směr zatížení vyvolaného zrychlením je vždy radiální směrem od středu otáčení. Jestliže je zkoušený předmět připevněn přímo na zkušební rameno, je vystaven jak rotačnímu, tak translačnímu pohybu. Směr zrychlení a vyvolaného zatížení je vzhledem ke zkoušenému předmětu konstantní, protože rotační rychlost je daná, ale zkoušený předmět se otáčí s každou otáčkou ramene o 360 stupňů.

Určité centrifugy mají protiběžné přípravky namontované na zkušebním rameni a určené ke korigování rotace zkoušeného předmětu. Při takovém uspořádání udržuje zkoušený předmět vzhledem k prostoru stálý směr, ale směr zrychlení a vyvolané zatížení rotují s každou otáčkou ramene 360 stupňů kolem zkoušeného předmětu.

10.2.4.2 Postup II – Vozík (saně)

Zařízení složené z vozíku (saní) a kolejové dráhy vytváří lineární zrychlení ve směru pohybu saní. Zkoušený předmět připevněný na saních je vystaven stejné úrovni zrychlení jako saně. Zkušební úroveň zrychlení a doba trvání jeho působení při této úrovni jsou závislé na délce zkušební trati a na systému pohonu saní.

Toto uspořádání může produkovat významné vibrační prostředí. Tyto vibrace mohou být silnější, než jsou vibrace v běžném prostředí provozního používání. Zvláštní pozornost je třeba věnovat konstrukci upevnění tak, aby se zkoušený předmět oddělil od tohoto vibračního prostředí. Pro měření funkčních charakteristik zkoušeného předmětu během zkoušky se požaduje telemetrické a/nebo zodolněné přístrojové vybavení.

10.2.5 Řízení

10.2.5.1 Postup I – Centrifuga

Kde je to během zkoušky nezbytné, musí se zrychlení kontrolovat použitím vhodných snímačů. Změny zrychlení se musí řídit v rámci tolerančních požadavků z článku 10.5.1.1.

Doby nárůstu a poklesu rychlosti se doporučuje regulovat tak, aby příčná zrychlení byla nižší než zrychlení předepsaná ve směru podél osy zkoušení.

10.2.5.2 Postup II – Vozík (saně)

Kde je to během zkoušky nezbytné, musí se zrychlení kontrolovat použitím vhodných snímačů. Změny zrychlení se musí řídit v rámci tolerančních požadavků z článku 10.5.1.2.

10.3 NÁROČNOSTI

10.3.1 Všeobecná ustanovení

Pokud je to účelné, úrovně zkoušení a jeho trvání se musí založit na využití projektovaných profilů provozního použití a dalších důležitých dostupných údajích. Jestliže takové údaje nejsou k dispozici, výchozí náročnosti zkoušení je třeba najít v příloze 10A. Tyto náročnosti by se měly používat ve spojení s příslušnými informacemi uvedenými v AECTP-240. Tyto náročnosti se doporučuje považovat za výchozí hodnoty do doby, než se získají naměřené údaje. Kde je to nezbytné, mohou se tyto náročnosti v pozdější etapě doplnit o údaje získané přímo z programu měření prostředí.

10.3.2 Podpůrné hodnocení

Je třeba poznamenat, že vybraná zkouška nemusí být nevyhnutelně dostačující simulací kompletního prostředí, a proto tedy může být nutné výsledky zkoušek doplnit podpůrným hodnocením.

10.3.3 Zkušební úrovně

Obecně zkouška zahrnuje dva stupně náročnosti:

Náročnost 1: Provedení při mezním zrychlení – materiál v provozu.

Účelem je ověřit správný provoz materiálu, zatímco je vystaven takovým mezním zrychlením, se kterými se může setkat při provozním nasazení a ověřit, zda se nevyskytnou žádné trvalé deformace.

Mezní zrychlení je maximální zrychlení, kterému by měla konstrukce materiálu odolat bez trvalých deformací.

Náročnost 2: Provedení při extrémním zrychlení – materiál nemusí být v provozu.

Účelem je ověřit odolnost materiálu vůči extrémnímu zrychlení.

Extrémní zrychlení je maximální zrychlení, kterému by konstrukce materiálu měla odolat bez lomů, ale může mít trvalé deformace. Je to mezní zrychlení vynásobené součinitelem 1,5.

10.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

10.4.1 Povinné

- a) umístění řídicího snímače zrychlení;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) pravouhlý souřadný systém spojený se zkoušeným předmětem a jeho počátek;
- d) doba předběžného kondicionování;
- e) zda se požaduje nebo nepožaduje provoz zkoušeného předmětu během zkoušky;
- f) plánovaná provozní ověřování: výchozí, průběžná a konečné, především pro výchozí a závěrečná ověření určit, zda se mají ověření uskutečnit na zkoušeném předmětu instalovaném na zkušebním zařízení;
- g) nezbytné referenční kontroly rozměrů, výchozí a konečné;

h) stanovení náročnosti zkoušení.

10.4.2 Jsou-li požadované

- a) zvláštní charakteristiky kompletace zkoušeného předmětu;
- b) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- c) údaje vztahující se k radiálnímu akceleračnímu gradientu;
- d) nutné údaje týkající se doby nárůstu a poklesu rychlosti.

10.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

10.5.1 Tolerance

10.5.1.1 Postup I – Centrifuga

Dosažené zrychlení by mělo být zrychlení požadované, v rozmezí $\pm 10\%$, ve všech místech zkoušeného předmětu, při nastavení rychlosti otáčení a vzdálenosti r . Zrychlení způsobené zemskou přitažlivostí se nebere v úvahu.

Pokud je velikost materiálu vzhledem k délce zkušební ramene značná, měla by Směrnice pro zkoušku požadovat, aby požadovanému zrychlení $\pm 10\%$ byly vystaveny pouze určité citlivé body.

10.5.1.2 Postup II – Vozík (saně)

Dosažené zrychlení by mělo být zrychlení požadované v rozmezí $\pm 10\%$ ve všech místech zkoušeného předmětu.

10.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět se doporučuje namontovat na zkušební zařízení tak, jak je instalován v provozu. Z bezpečnostních důvodů věnovat pozornost tomu, aby zkoušený předmět nebyl katapultován ze zkušebního zařízení při utržení připevňovacích bodů. Použité pojistné zařízení by nemělo během zkoušení vyvolávat žádné dodatečné zatížení. Výpočet zatížení se doporučuje provést na zkušebním uspořádání před zkouškou.

Při použití centrifugy se doporučuje kabely a trubky mezi komutátorem a zkoušeným předmětem pevně připojit k ramenu centrifugy. Termíny přední strana, zadní strana, levá a pravá strana označují strany zkoušeného předmětu ve vztahu k pravoúhlým osám náležejícím k nosiči.

10.5.2.1 Postup I – Centrifuga

Orientace zkoušeného předmětu na centrifuze musí být následující:

- 1 Dopředné zrychlení: přední strana zkoušeného předmětu ve směru ke středu centrifugy.
- 2 Zpětné zrychlení: 180° od výše uvedené pozice.
- 3 Zrychlení směrem nahoru: horní strana zkoušeného předmětu ve směru ke středu centrifugy.
- 4 Zrychlení směrem dolů: 180° od výše uvedené pozice.
- 5 Zrychlení směrem doleva: levá strana zkoušeného předmětu ve směru ke středu centrifugy.

- 6 Zrychlení směrem doprava: pravá strana zkoušeného předmětu ve směru ke středu centrifugy.

10.5.2.2 Postup II – Vozík (saně)

Orientace zkoušeného předmětu na vozíku musí být následující:

- 1 Zpětné zrychlení: přední strana zkoušeného předmětu ve směru k počátku trati.
- 2 Dopředné zrychlení: 180° od výše uvedené pozice.
- 3 Zrychlení směrem nahoru: horní strana zkoušeného předmětu ve směru ke konci trati.
- 4 Zrychlení směrem dolů: 180° od výše uvedené pozice.
- 5 Zrychlení směrem doleva: levá strana zkoušeného předmětu ve směru ke konci trati.
- 6 Zrychlení směrem doprava: pravá strana zkoušeného předmětu ve směru ke konci trati.

10.5.3 Zkoušení subsystémů

Subsystémy materiálu se mohou vystavit různým náročnostem. V takovém případě by Směrnice pro zkoušku měla stanovit náročnost zvlášť pro každý subsystém.

10.5.4 Vlivy zemské přitažlivosti a koeficient zatížení

Kde je pravděpodobné, že funkční charakteristiky materiálu budou ovlivněny směrem zemské přitažlivosti nebo koeficientem zatížení (mechanizmy, tlumiče atd.), musí být tyto zohledněny kompenzací nebo vhodnou simulací.

10.5.5 Příprava zkoušky

10.5.5.1 Předběžné kondicionování

Pokud není stanoveno jinak, doporučuje se zkoušený předmět stabilizovat v jeho výchozích podmínkách určených Směrnicí pro zkoušku.

10.5.5.2 Výchozí, průběžné a konečné ověřování funkčních charakteristik

Tato ověření zahrnují kontroly a revize určené Směrnicí pro zkoušku. Konečné ověření se provádí poté, co byl materiál vrácen v normálních řízených atmosférických podmínkách do klidového stavu a dosáhl teplotní stability.

10.5.6 Postup

Postupné kroky slouží k aplikaci jak v uspořádání se saněmi, tak v uspořádání s vozíkem.

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět tak, aby směr zrychlení byl rovnoběžný s osou určenou Směrnicí pro zkoušku.
- Krok 2 Provést výchozí ověření.
- Krok 3 Po stanovenou dobu aplikovat požadované zrychlení. Zkoušený předmět má být v provozu, pokud to požaduje Směrnice pro zkoušku.
- Krok 4 Provést konečné ověření.

Krok 5 Pokud není stanoveno jinak, aplikovat konstantní zrychlení v každém z pěti zbývajících směrů. Pořadí aplikace není nařízené, ale je účelné začít s nejnižší úrovní zrychlení.

Krok 6 Ve všech případech zaznamenat informace požadované Směrnicí pro zkoušku.

10.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku v průběhu zkoušky konstantního zrychlení i po ní.

10.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

Rogers J. D. et al.: VIBRAFUGA – Kombinované vibrační a odstředivé zkoušení (VIBRAFUGE – Combined Vibration and Centrifuge Testing), 60th Shock and Vibration Symposium Proceedings, SAVIAC, 1989, díl III, strana 63.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 10A
(normativní)

KONSTANTNÍ ZRYCHLENÍ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se používá jen tehdy, když v počátečních etapách programu nejsou ještě k dispozici naměřená data a tyto informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat naměřená data přímo na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí ze specifických platforem a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

TABULKA 10.A.1 – Náročnost zkoušení 1 (mezní) zrychlení (a_s)

Nosič	Vpřed	Vzad	Nahoru	Dolů	Doleva	Doprava
Lehký letoun	3	5	5	3	5	5
Vrtulový letoun	1	1,5	10	8,5	5	5
Proudový dopravní letoun	1,5	2	8	5	3	3
Bítevní letoun	10	15	15	15	15	15
Vnější podvěsy						
křídlové	15	20	20	20	20	20
trupové	10	15	15	15	15	15
Vrtulník	2	2	7	3	4	4
Vnější podvěsy	2	2	7	3	4	4
Střely (volný let)						
proti letadlům	30	10	50	50	50	50
proti střelám	50	10	100	100	100	100
proti pozemním cílům	10	10	20	20	20	20

POZNÁMKY

- 1 Doba trvání: není-li určeno jinak, doba trvání musí být přiměřená k provádění ověření podrobně uvedených ve Směrnici pro zkoušku.
- 2 Údaje v tabulce zrychlení jsou odvozeny z více zdrojů.

11 METODA 405 – STŘELBA ZE STŘELNÝCH ZBRANÍ

OBSAH

11.1	ROZSAH PLATNOSTI	267
11.1.1	Účel	267
11.1.2	Použití	267
11.1.3	Omezení	267
11.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	267
11.2.1	Vlivy prostředí	267
11.2.2	Využití naměřených údajů	267
11.2.3	Posloupnost	268
11.2.4	Odůvodnění pro postupy a parametry	268
11.2.5	Výběr zkušebních postupů	268
11.2.6	Druhy simulací odezvy materiálu vznikající při střelbě	269
11.2.7	Řízení	270
11.3	NÁROČNOSTI	271
11.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	271
11.4.1	Povinné	271
11.4.2	Jsou-li požadované	272
11.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	272
11.5.1	Tolerance	272
11.5.2	Podmínky pro instalaci zkoušeného předmětu	273
11.5.3	Zkoušení subsystémů	274
11.5.4	Příprava zkoušky	274
11.5.5	Postupy	274
11.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	277
11.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	277

Přílohy

Příloha 11A	POSTUP I – PŘÍMÉ REPRODUKOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ O ODEZVĚ MATERIÁLU	280
Příloha 11B	POSTUP II – STATISTICKY GENEROVANÝ OPAKOVANÝ HLAVNÍ (DETERMINISTICKÝ) IMPULZ PLUS ZBYTKOVÝ (NÁHODNÝ) IMPULZ	291
Příloha 11C	POSTUP III – SPEKTRUM RÁZOVÉ ODEZVY OPAKOVANÉHO IMPULZU (SRS)	305

Příloha 11D	POSTUP IV – NÁHODNÁ VIBRACE VYSOKÉ ÚROVNĚ, SOR, NBROR A SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	314
-------------	--	-----

11.1 ROZSAH PLATNOSTI

11.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat odezvy prostředí při střelbě vznikající v systémech, subsystémech, součástech a celcích – dále nazývaných „materiál“, během stanovených provozních podmínek.

11.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat opakovanému prostředí střelby bez nepřijatelné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik.

11.1.3 Omezení

Není možné simulovat skutečné odezvy prostředí při provozním nasazení střelné zbraně kvůli omezením při upevnění nebo kvůli fyzikálním omezujícím podmínkám, které mohou zabránit uspokojivé aplikaci buzení ze střelby na zkoušený předmět. Tato zkušební metoda není určena k simulaci teplotních účinků nebo účinků tlakové vlny vznikajících při výstřelu.

11.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

11.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, pokud je materiál vystaven prostředí vznikajícímu při střelbě.

- a) odírání vodičů;
- b) uvolňování upevňovacích prvků;
- c) přerušovaná funkce elektrických kontaktů;
- d) dotýkání se a zkratování elektrických součástí;
- e) deformace těsnění;
- f) konstrukční deformace;
- g) únava konstrukce a konstrukčních prvků;
- h) optický posun;
- i) tvorba trhlin a prasklin;
- j) uvolnění částecek nebo součástí, které se mohou usazovat v obvodech nebo mechanismech;
- k) nadměrný elektrický šum.

11.2.2 Využití naměřených údajů

K rozpracování zkušebních úrovní pro Postupy I, II, III a IV se doporučuje využít údaje naměřené při střelbách v polních podmínkách. Kde je cílem dosáhnout přesné simulace odezev, tam je použití údajů naměřených v polních podmínkách zvláště důležité. Doporučuje se získat dostatečné údaje naměřené v polních podmínkách pro přiměřený popis podmínek, kterým bude materiál vystaven a které se mají hodnotit. Kvalitu údajů naměřených při střelbě v polních podmínkách se doporučuje ověřit v souladu s článkem 11.7, odkaz c ještě předtím, než se rozpracují úrovně laboratorních zkoušek.

11.2.3 Posloupnost

Odezva ze střelby může ovlivnit funkční charakteristiky materiálu, když se materiál zkouší v podmínkách dalších prostředí, jako například vibrace, rázy, teplota, vlhkost, tlak, elektromagnetické vlivy atd. Je nezbytné, aby materiál, který je pravděpodobně citlivý na kombinaci prostředí, byl zkoušen současně příslušnými kombinacemi prostředí.

Kde se má za to, že kombinovaná zkouška není nutná nebo není rozumné ji konfigurovat, a kde se požaduje hodnotit účinky střelby společně s ostatními prostředími, doporučuje se jednotlivý zkoušený předmět vystavit příslušným podmínkám všech prostředí postupně.

Pořadí aplikace zkoušek se doporučuje zvážit tak, aby bylo kompatibilní s profilem prostředí životního cyklu. Jestliže přetrvávají pochybnosti o pořadí zkoušek, pak se doporučuje zkoušení střelby uskutečnit bezprostředně po dokončení vibračních zkoušek.

11.2.4 Odůvodnění pro postupy a parametry

Odezva ze střelby je charakterizována vysokouúrovňovými, nestacionárními, časově proměnnými vibracemi nebo opakovanými rázy, které se obecně vzato superponují na okolním vibračním prostředí. Odezva ze střelby má základní kmitočtové prvky v rychlosti střelby zbraně a jejich harmonických. Okolní vibrace mají poměrně nízkou úroveň energie, rozloženou docela rovnoměrně v kmitočtech jiných, než jsou základní kmitočtové prvky po celém pásmu měření. Odezva materiálu ze střelby je závislá na dynamických charakteristikách samotného materiálu. Pro prostředí při střelbě se považuje za prostředí časově proměnné, protože obvykle má nestacionární hladinu efektivní hodnoty (rms), která je podstatně výše než úroveň vibrací vyvolaných okolním prostředím nebo letounem po poměrně kratší časový interval. Jedna alternativa je vzít v úvahu údaje o odezvě na vnější prostředí jako řadu dobře definovaných impulzů s konkrétní četností opakování. Za tohoto předpokladu není obvykle snadné provést analýzu dat, pokud jde o stacionární analýzu, jako je odhad autospektrální hustoty nebo přechodová analýza prostředí, pokud jde o spektrum rázové odezvy. Jestliže analýza naměřených údajů skončí závěrem, že střelbou vyvolané prostředí znamená pouze nepatrné zvýšení úrovně okolních vibrací s žádnou snadno rozpoznatelnou časovou charakteristikou impulzů, doporučuje se pro specifikování zkoušky využít metody analýzy ustálených náhodných vibrací nebo Postup IV.

11.2.5 Výběr zkušebních postupů

Postupy jsou dány v pořadí podle preference založené na způsobilosti zkušebního zařízení reprodukovat prostředí při střelbě. Nesprávný výběr zkušebních postupů může vést k závažnému nadlimitnímu nebo podlimitnímu zkoušení.

Nestacionární, časově proměnné vibrace:

- Postup I: Přímé reprodukování naměřených údajů o odezvě materiálu.
- Postup II: Statisticky generovaný opakovaný hlavní (deterministický) impulz plus zbytkový (náhodný) impulz.
- Postup III: Spektrum rázové odezvy opakovaného impulzu (SRS) – Stacionární vibrace.

Postup IV: Náhodná vibrace vysoké úrovně, sinusová na náhodné (SOR), úzkopásmová náhodná na náhodné (NBROR).

Dá se předpokládat, že tyto postupy pokryjí celý rozsah zkoušení materiálu, vystaveného prostředí střelby. Například v případech silných odezv materiálu na prostředí střelby s vysoce citlivými prvky jsou vhodné pouze Postupy I a II.

Použití těchto postupů vyžaduje, aby se údaje o odezvě materiálu měřily v pevných bodech materiálu. Upevnění materiálu při zkoušce se také vyžaduje takové, aby uspořádání vstupního buzení prostředím bylo velmi podobné uspořádání při měřeních v provozních i laboratorních podmínkách.

Postup I se doporučuje jako nejvhodnější zkušební postup, protože zajišťuje nejpresnější reprodukování dynamických odezv materiálu.

Postup II se doporučuje jako druhý nejvhodnější, protože zajišťuje značnou přesnost reprodukování dynamických odezv materiálu, kromě toho poskytuje přizpůsobivost, co se týká převodu impulzů a délky střelecké salvy na náhodné jevy.

Postup III je méně hodnotný než Postupy I a II, protože charakteristika odezvy materiálu na střelbu v časové oblasti se nedá při použití metody SRS simulovat tak přesně, jako při komplexním generování časově závislých průběhů. Ale Postup III se může použít tam, kde omezení daná zkušebním zařízením zabraňují použití Postupů I a II.

Postup IV je vhodný, pokud je materiál vzdálený od zdroje buzení ze střelby a údaje naměřené v příslušných pevných bodech materiálu ukazují, že náhodné vibrační prostředí vznikající při střelbě je jen mírně nad nejvyšší úrovní měřených náhodných vibrací. Postup IV je také vhodný pro letadlové střelné zbraně při absenci měřených údajů. Příloha 11D poskytuje směrnici pro výchozí předpokládané prostředí vznikající při střelbě z letadlových zbraní a náročnost zkoušení tam, kde nejsou k dispozici měřené údaje.

Při aplikaci těchto postupů se předpokládá, že dynamické odezvy materiálu jsou dobře známy, především rezonance materiálu a vazba těchto rezonancí na rychlost střelby a její harmonické. Doporučuje se, aby se informace o dynamických odezvách materiálu využívaly při výběru postupu a navrhování zkoušky využívající tuto zkušební metodu.

11.2.6 Druhy simulací odezvy materiálu vznikající při střelbě

Následující odstavce podávají stručný popis každého druhu postupu simulace střelby.

Postup I – Přímé reprodukování naměřených údajů o odezvě materiálu

Odezva materiálu vznikající při skutečné střelbě se reprodukuje pro dosažení co nejpresnější simulační reprodukce časového průběhu zrychlení měřené odezvy na střelbu. Směrnici poskytuje příloha 11A.

Postup II – Statisticky generovaný opakovaný hlavní (deterministický) impulz plus zbytkový (náhodný) impulz

Charakteristiky odezvy materiálu na skutečnou střelbu se statisticky modelují pomocí typicky vytvářeného „souboru impulzů“, získáním časově proměnné střední hodnoty „impulzu“ a přidružených zbytkových hodnot s použitím nestacionárního zpracování dat. Statistický model odezvy na střelbu se simuluje pro dosažení velmi dobré

reprodukce naměřeného časového průběhu zrychlení ze střelby. Směrnici poskytuje příloha 11B.

Postup III – Spektrum rázové odezvy opakovaného impulzu (SRS)

Naměřený časový průběh zrychlení ze střelby se pro účely analýzy rozdělí na jednotlivé impulzy. Hodnoty maximax spektra rázové odezvy se vypočítávají z jednotlivých impulzů, aby charakterizovaly prostředí při střelbě s jedinečným SRS. Vytváří se časový průběh zrychlení, který má trvání rovnající se jednotlivému měřenému impulzu střelby, a který projevuje charakteristické SRS ze střelby. Charakteristický SRS impulz ze střelby se opakuje v rychlosti střelby. Směrnici poskytuje příloha 11C.

Postup IV – Náhodná vibrace vysoké úrovně, SOR, NBROR

Směrnice poskytnutá v Metodě 401 se musí použít tehdy, pokud v měřených odezvách ze skutečné střelby není indikován žádný tvar impulzu nebo pokud je materiál daleko od střelné zbraně a projevují se pouze náhodné vibrace vysoké úrovně. Typické pro Postup IV je to, že rychlost střelby zbraně se nemůže stanovit z revize časového průběhu odezvy měřené v polních podmínkách. Při nedostatku měřených údajů o odezvách poskytuje příloha 11D směrnici pro výchozí náročnost zkoušení.

11.2.7 Řízení

11.2.7.1 Strategie řízení

Dynamické buzení se řídí v rozsahu určených mezí vzorkováním dynamických odezev a pohybů zkoušeného předmětu ve stanovených místech. Tato místa mohou být v místech upevnění materiálu nebo v jejich těsné blízkosti (pro analýzu řízených vstupů) nebo ve stanovených místech materiálu (pro analýzu řízených odezev). Dynamické reakční pohyby mohou být při jednobodovém řízení snímány v jediném místě nebo při vícebodovém řízení v několika místech.

Strategie řízení závisí na:

- výsledcích předběžných vibračních nebo rezonančních znaleckých posouzení provedených na zkoušeném předmětu a jeho upevňovacích prvcích;
- splnění specifikace zkoušení v rámci tolerancí uvedených v článku 11.5.1;
- schopnostech zkušebního zařízení.

11.2.7.2 Varianty řízení

Jednobodové řízení

Jednobodové řízení se požaduje pro Postupy I až III a volitelně pro Postup IV. Jediný bod odezvy se musí vybrat tak, aby představoval pevný bod materiálu, z něhož byly získány provozní údaje o odezvách nebo na němž byly založeny předpovědi.

Vícebodové řízení

V případech, kdy je materiál daleko od zdroje buzení ze střelby a údaje naměřené v příslušných pevných bodech indikují náhodné vibrační prostředí mírně vyšší než okolní prostředí, může být vícebodové řízení pro Postup IV vhodné. Vícebodové řízení bude založeno na strategii řízení a na průměru ASD z vybraných bodů řízení.

11.2.7.3 Metody řízení

Řízení vibrací s otevřeným regulačním obvodem

Použití metod pro Postupy I až III bude obecně vyžadovat počítač s digitálně analogovým a analogově digitálním rozhraním s analogovým výstupem vedoucím přímo k řízení budiče. Zpracování signálu se provádí off-line nebo otevřeným regulačním obvodem, kde výsledný signál pro řízení budiče bude do paměti ukládán jako digitální signál. Během zkoušení bude zpětnovazební odezva monitorovat pouze podmínky přerušení.

Řízení vibrací s uzavřeným regulačním obvodem

Pro Postup IV se má používat řízení vibrací s uzavřeným regulačním obvodem. Protože čas zpětné vazby závisí na počtu stupňů volnosti, na analýze a na přenosových pásmech, je důležité vybrat tyto parametry tak, aby se v průběhu zkoušky mohly dodržet zkušební tolerance a dosáhnout přesnosti řízení zkoušky. Body zpětnovazební odezvy se budou monitorovat a využívat jak pro podmínky řízení, tak pro podmínky přerušení.

11.3 NÁROČNOSTI

Náročnosti zkoušení budou založeny na použití dostupných dat nebo dat získaných přímo z programu získání dat o prostředí. Pokud tyto údaje nejsou k dispozici, výchozí náročnosti zkoušek a návod je možné nalézt v příloze 11D. Pro případy, kdy se potřebná data shromáždila a vyžaduje se přesná simulace, poskytují návod pro zkoušení přílohy 11A až 11C. Je třeba poznamenat, že vybraná zkouška nemusí být nutně dostačující simulací úplného prostředí; tudíž pro doplnění výsledků zkoušek může být nezbytné podpůrné hodnocení.

11.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

11.4.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) orientace zkoušeného předmětu vzhledem k osám zkoušení;
- d) zda se požaduje nebo nepožaduje provoz zkoušeného předmětu během zkoušky;
- e) požadovaná provozní ověření: výchozí, průběžná, konečná;
- f) požadovaná vstupní a závěrečná prohlídka zkoušeného předmětu a podmínky zkoušení;
- g) údaje požadované k provedení zkoušky;
- h) doba předběžného kondicionování a jeho podmínky;
- i) použití izolačních upevnění a jejich charakteristika;
- j) stanovení náročnosti zkoušení;
- k) stanovení kritérií poruch;
- l) strategie řízení;
- m) podmínky prostředí, ve kterých se bude provádět zkoušení;
- n) konkrétní znaky zkušebního zařízení (budič, upevnění, vzájemná propojení atd.).

11.4.2 Jsou-li požadované

- a) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- b) tolerance, pokud se liší od tolerancí uvedených v článku 11.5.1.

11.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

11.5.1 Tolerance

Pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, tolerance aplikované na izolovanou rychlost střelby, rozmítanou nebo nerozmítanou, jsou $\pm 2,5$ %. Kompletní soustava řídicích parametrů, ověřování, řízení, záznamy atd. by neměly vytvářet nejistoty překračující jednu třetinu hodnot tolerancí stanovených v článcích 11.5.1.1 až 11.5.1.4.

11.5.1.1 Postup I – Přímé reprodukování naměřených údajů o odezvě materiálu

- a) Časová oblast: Zabezpečit dobu trvání jednoho impulzu v rozmezí $\pm 2,5$ % z naměřené doby trvání střelby.
- b) Amplitudová oblast: Zabezpečit, aby časový průběh reakčních špiček zkoušeného předmětu byl v rozsahu ± 10 % z naměřeného časového průběhu špiček střelby.
- c) Kmitočtová oblast: Vypočítat průměrnou spektrální hustotu energie (ESD) nad souborem vytvořeným z časového průběhu odezvy materiálu, která je v rámci ± 3 dB z odhadu průměrné ESD založeného na měřeném časovém průběhu odezvy na střelbu. V případech, kdy nelze žádný takový soubor dat vytvořit, vypočítat autospektrální hustotu (ASD) ze srovnávacích záznamů časového průběhu a zajistit, aby data byla patřičně zpracována pomocí okenní transformace kvůli redukci spektrálního rozptylu. Tolerance pro analýzu ASD jsou ± 3 dB.

11.5.1.2 Postup II – Statisticky generovaný opakovaný impulz

- a) Časová oblast: Zabezpečit dobu trvání jednoho impulzu v rozmezí $\pm 2,5$ % z naměřené doby trvání střelby.
- b) Amplitudová oblast: Zabezpečit, aby časový průběh reakčních špiček materiálu byl v rozsahu ± 10 % z naměřeného časového průběhu špiček střelby.
- c) Kmitočtová oblast: Vypočítat průměrnou spektrální hustotu energie (ESD) nad souborem vytvořeným z časového průběhu odezvy materiálu, která je v rámci ± 3 dB z odhadu průměrné ESD založeného na měřeném časovém průběhu odezvy na střelbu.

11.5.1.3 Postup III – Spektrum rázové odezvy opakovaného impulzu (SRS)

- a) Časová oblast: Zabezpečit dobu trvání jednoho impulzu v rozmezí ± 5 % z naměřené rychlosti střelby.
- b) Amplitudová oblast: Zabezpečit, aby časový průběh reakčních vrcholů materiálu byl v rozsahu ± 10 % z naměřeného časového průběhu reakčních vrcholů střelby.
- c) Kmitočtová oblast: Zabezpečit, aby maximax SRS vypočítaný nad časovým průběhem odezvy materiálu z jednoho simulovaného impulzu střelby byl v rámci $+3$ dB a -1 dB ze středního SRS vypočteného přes soubor údajů o odezvě materiálu naměřených v polních podmínkách. Použít analýzu SRS s nejméně 1/6 oktávovým kmitočtovým rozestupem.

11.5.1.4 Postup IV – Náhodná vibrace vysoké úrovně, SOR, NBROR

- a) Časová oblast: Zajistit, aby efektivní hodnota amplitudy měřená v řídicím bodu na ose zkoušení byla v rozmezí $\pm 5\%$ z předvolené efektivní hodnoty. Podobně zajistit, aby maximální odchylka efektivní hodnoty v upevňovacích bodech na ose zkoušení byla $\pm 10\%$ z předvolené efektivní hodnoty.
- b) Amplitudová oblast: Zajistit, aby amplitudové rozdělení okamžitých hodnot náhodné vibrace v řídicích bodech bylo jmenovité Gaussovo. Použít amplitudové rozdělení, které obsahuje všechny výskyty až do 2,7 standardních odchylek. Udržovat výskyty větší než 3,5 standardních odchylek na minimu.
- c) Kmitočtová oblast: Zajistit, aby analýza autospektrální hustoty (ASD) časového průběhu odezvy zkoušeného předmětu byla v rozmezí ± 3 dB z ASD vypočtené z údajů naměřených při střelbě v polních podmínkách nebo z předpokládaného prostředí při střelbě. Povolit překročení až do ± 6 dB nad 500 Hz, ale omezit nahromadění všech lokálních překročení na 5 % z celkového zkušebního kmitočtového pásma. Použít maximální šířku pásma analytického filtru 5 Hz a pokusit se dosáhnout počtu nezávislých řídicích statistických stupňů volnosti (DOF) větší než 100. Zajistit, aby ASD měřená podél dvou příčných pravouhlych os s použitím stejného počtu DOF jako pro řízení, byla menší než 25 % z určené ASD řídicího bodu přes 90 % celkové šířky pásma.

11.5.2 Podmínky pro instalaci zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět se může měnit od jednotlivých materiálových položek až ke konstrukčním sestavám obsahujícím několik materiálových položek různých druhů. Doporučuje se, aby zkušební postupy braly v úvahu následující:

- upevnění by mělo simulovat skutečné montážní upevnění použité při provozním nasazení, včetně antivibračních vložek a utahovacích momentů, pokud připadají v úvahu;
- veškerá propojení, vodiče, trubky atd. se doporučují instalovat takovým způsobem, aby vyvolávaly na zkoušeném předmětu napětí a deformace podobné těm, které se vyskytují při provozním nasazení;
- umožnění buzení zkoušeného předmětu současně podél několika os použitím více než jednoho vibračního budiče;
- uložení zkoušeného předmětu při nízkých kmitočtech pro zamezení celkové rezonance zkušebního upevnění a využití rámu pro záznam sil;
- směr zemské přitažlivosti nebo faktor zatížení se mohou zohlednit pomocí kompenzace nebo vhodnou simulací. Pro manévry letadel vyvolávající vysoká zrychlení mohou být účinky zemské přitažlivosti podstatné a vyžadují provést se zkoušeným předmětem samostatné akcelerační zkoušky.

11.5.2.1 Zkušební uspořádání

Všeobecná ustanovení

Pokud nestanovuje Směrnice pro zkoušku jinak, musí se zkoušený předmět připevnit k vibračnímu budiči prostřednictvím pevných přípravků schopných přenášet předepsané vibrační stavy. Upínací přípravky by měly vnášet vibrace do skříní, stěn a/nebo antivibračních vložek, aby simulovaly tak přesně, jak je to možné vibrace

přenášené do materiálu při provozním nasazení. Jestliže se to požaduje, materiál chráněný před vibracemi těmito prostředky by měl vyhovět příslušným zkušebním požadavkům také jako zkoušený předmět natvrdo připevněný k upínači.

Podvěsy

Pokud je zkoušeným materiálem podvěs, použít následující pokyny:

Je-li to účelné, zkoušení se musí provádět ve třech vzájemně kolmých osách se závěsnými oky v normální přepravní poloze. Zavěsit podvěs za nosnou konstrukci prostřednictvím jeho běžných závěsných ok, háků a kyvných podpěr, které simulují provozní upevňovací zařízení. Zkušební uspořádání musí být takové, aby způsob posunu, rotace nebo vibrace tuhého tělesa pro kombinovanou konstrukci byl mezi 5 Hz a 20 Hz. Vibrace se musí aplikovat do podvěsu pomocí tyče nebo jiného vhodného montážního přípravku tak, aby probíhaly z vibračního budiče do relativně pevného, konstrukčně podepřeného bodu na povrchu podvěsu. Eventuálně se může podvěs natvrdo připevnit přímo k budiči s využitím jeho normálních závěsných ok a vhodného přípravku. Tuhost montážního přípravku musí být taková, aby jeho vyvolané rezonanční kmitočty byly co nejvyšší a nerušily odezvu podvěsu. U všech metod se musí použít odpalovací kolejničky jako součást zkušebního zařízení tam, kde je to vhodné. Pro podvěs v tomto zkušebním uspořádání může být obtížné simulovat odezvu, s výjimkou Postupu IV.

11.5.3 Zkoušení subsystémů

Pokud to stanovuje Směrnice pro zkoušku, subsystémy materiálu se mohou zkoušet odděleně. Jednotlivé subsystémy se mohou vystavit rozdílným úrovním střelby. V takovém případě by měla Směrnice pro zkoušku určovat úroveň střelby zvlášť pro každý subsystém.

11.5.4 Příprava zkoušky

11.5.4.1 Předběžné kondicionování

Zkoušený materiál se doporučuje stabilizovat na jeho výchozí klimatické a jiné podmínky určené Směrnicí pro zkoušku.

11.5.4.2 Ověřování funkčních charakteristik

Veškerá ověřování funkčních charakteristik a prohlídky se doporučuje provádět tak, jak stanovuje Směrnice pro zkoušku. Konečná provozní ověřování se doporučují uskutečnit poté, co byl zkoušený předmět za podmínek předběžného kondicionování vrácen do klidového stavu a dosáhl teplotní stability.

11.5.5 Postupy

Směrnice pro zkoušku by měla určit, zda zkoušený předmět má nebo nemá být během zkoušení v provozu. Nepřetržité vibrační zkoušení střelbou může způsobit nerealistické poškození materiálu, jako například nerealistické zahřívání antivibračních vložek. Buzení se doporučuje přerušovat fázemi klidu, stanovenými Směrnicí pro zkoušku. Další podrobnosti ke každému z postupů uvedených v článcích 11.5.5.1 až 11.5.5.4 lze najít v přílohách 11A, 11B, 11C a 11D v uvedeném pořadí.

11.5.5.1 Postup I – Přímé reprodukování naměřených údajů o odezvě materiálu

- Krok 1 Opatřit si údaje o odezvách naměřených v polních podmínkách v digitální podobě. Obecně vzato pro vstup do vibračního řídicího systému to bude vyžadovat digitalizaci kompletní měřené materiálové akcelerační odezvy.
- Krok 2 Provést kondicionování zkoušeného předmětu v souladu s článkem 11.5.4.1.
- Krok 3 Vybrat strategii řízení, řídicí a monitorovací body v souladu s články 11.2.7.1, 11.2.7.2 a 11.2.7.3.
- Krok 4 Uskutečnit provozní ověření v souladu s článkem 11.5.4.2.
- Krok 5 Namontovat zkoušený předmět na vibrační budič v souladu s článkem 11.5.2.
- Krok 6 Stanovit zobrazení časového průběhu řídicího signálu vibračního budiče nutného k zajištění požadované akcelerační odezvy ze střelby.
- Krok 7 Aplikovat řídicí signál jako vstupní napětí a ve vybraných řídicích a monitorovacích bodech měřit akcelerační odezvu zkoušeného předmětu.
- Krok 8 Ověřit, zda odezva zkoušeného předmětu je v rámci povolených tolerancí určených v člancích 11.5.1 a 11.5.1.1.
- Krok 9 V souladu se Směrnicí pro zkoušku aplikovat simulaci střelby v době zapnutí a v době vypnutí a celkovou dobu trvání zkoušky. V souladu se Směrnicí pro zkoušku provést provozní a funkční ověření.
- Krok 10 Opakovat předchozí kroky pro každou další osu stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 11 Vždy zaznamenat požadované informace.

11.5.5.2 Postup II – Statisticky generovaný opakovaný impulz

- Krok 1 Vytvořit statistické znázornění údajů naměřených v polních podmínkách jako střední (deterministický) plus zbytkový (náhodný) impulz. Obecně vzato pro vstup do vibračního řídicího systému to bude vyžadovat off-line postup sestavený pro vytvoření souboru impulzů založených na měřených údajích.
- Krok 2 Provést předběžné kondicionování zkoušeného předmětu v souladu s článkem 11.5.4.1.
- Krok 3 Vybrat strategii řízení, řídicí a monitorovací body v souladu s články 11.2.7.1, 11.2.7.2 a 11.2.7.3.
- Krok 4 Uskutečnit provozní ověření v souladu s článkem 11.5.4.2.
- Krok 5 Namontovat zkoušený předmět na vibrační budič v souladu s článkem 11.5.2.
- Krok 6 Stanovit zobrazení časového průběhu řídicího signálu vibračního budiče nutného k zajištění požadované akcelerační odezvy ze střelby.
- Krok 7 Aplikovat řídicí signál jako vstupní napětí a ve vybraných řídicích a monitorovacích bodech měřit akcelerační odezvu zkoušeného předmětu.
- Krok 8 Ověřit, zda odezva zkoušeného předmětu je v rámci povolených tolerancí určených v člancích 11.5.1 a 11.5.1.2.

- Krok 9 V souladu se Směrnicí pro zkoušku aplikovat simulaci střelby v době zapnutí a v době vypnutí a celkovou dobu trvání zkoušky. V souladu se Směrnicí pro zkoušku provést provozní a funkční ověření.
- Krok 10 Opakovat předchozí kroky pro každou další osu stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 11 Vždy zaznamenat požadované informace.

11.5.5.3 Postup III – Spektrum rázové odezvy opakovaného impulzu (SRS)

- Krok 1 Rozdělit údaje naměřené v polních podmínkách na jednotlivé impulzy a vypočítat SRS nad jednotlivými impulzy s použitím součinitelů útlumu 5 %, 2 %, 1 %, a 0,5 % nebo $Q = 10, 25, 50$ a 100.
- Vypočítat statistickou střední hodnotu SRS pro každý příslušný použitý součinitel útlumu.
 - Porovnat střední hodnotu SRS pro každý ze součinitelů útlumu pro stanovení převládajících kmitočtů a pro získání odhadu doby trvání nebo „půlcyklového obsahu“, zahrnujícího jednotlivé převládající kmitočty. Jednotlivý vybraný impulz jako výsledek rozdělení údajů naměřených v polních podmínkách na jednotlivé impulzy, je možné použít pro každý ze součinitelů útlumu místo středního rázového spektra.
 - Pro stanovení doby trvání „vlnky“ charakterizovat časový průběh SRS s použitím odhadu doby trvání nebo „půlcyklového obsahu“ a pro charakterizaci amplitudy vybrat buď střední SRS nebo jednotlivý impulz. Tento postup předpokládá, že generování úplného průběhu SRS je založeno na vlnkách, amplitudově modulovaných sinusových funkcích.
- Krok 2 Provést předběžné kondicionování zkoušeného předmětu v souladu s článkem 11.5.4.1.
- Krok 3 Vybrat strategii řízení, řídicí a monitorovací body v souladu s články 11.2.7.1, 11.2.7.2 a 11.2.7.3.
- Krok 4 Uskutečnit provozní ověření v souladu s článkem 11.5.4.2.
- Krok 5 Namontovat zkoušený předmět na vibrační budič v souladu s článkem 11.5.2.
- Krok 6 Kompenzovat řídicí signál budiče.
- Krok 7 Vložit časově závislý řídicí signál SRS prostřednictvím řídicího systému buzení v rychlosti střelby zbraně a měřit akcelerační odezvu zkoušeného předmětu ve vybraných řídicích a monitorovacích bodech.
- Krok 8 Ověřit, zda odezva zkoušeného předmětu je v rámci povolených tolerancí určených v člancích 11.5.1 a 11.5.1.3.
- Krok 9 V souladu se Směrnicí pro zkoušku aplikovat simulaci střelby v době zapnutí a v době vypnutí a celkovou dobu trvání zkoušky. V souladu se Směrnicí pro zkoušku provést provozní a funkční ověření.
- Krok 10 Opakovat předchozí kroky pro každou další osu stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 11 Vždy zaznamenat požadované informace.

11.5.5.4 Postup IV – Náhodná vibrace vysoké úrovně, SOR, NBROR

- Krok 1 Vypočítat zkušební úroveň ASD.
- Z naměřených údajů o odezvě materiálu na střelbu s použitím analýzy šířky pásma 2 000 Hz s maximálním rozlišením 5 Hz vypočítat odhad autospektrální hustoty nebo vypočítat předpokládanou 2 000 Hz autospektrální hustotu.
 - Z naměřených údajů vygenerovat zkušební spektrum náhodných vibrací nebo z předpovědi spektrální hustoty vytvořit zkušební spektrum skládající se ze širokopásmové náhodné základny se čtyřmi superponovanými diskrétními kmitočtovými vrcholy, které se vyskytují v základní rychlosti střelby zbraně a s prvními třemi harmonickými z rychlosti střelby.
- Krok 2 Provést předběžné kondicionování zkoušeného předmětu v souladu s článkem 11.5.4.1.
- Krok 3 Vybrat strategii řízení, řídicí a monitorovací body v souladu s články 11.2.7.1, 11.2.7.2 a 11.2.7.3.
- Krok 4 Uskutečnit provozní ověření v souladu s článkem 11.5.4.2.
- Krok 5 Namontovat zkoušený předmět na vibrační budič v souladu s článkem 11.5.2.
- Krok 6 Do příslušného podpůrného softwaru řídicího systému vibračního budiče uložit vibrační zkušební spektrum.
- Krok 7 Aplikovat řídicí signál jako vstup a měřit akcelerační odezvu zkoušeného předmětu ve vybraných řídicích a monitorovacích bodech.
- Krok 8 Ověřit, zda odezva zkoušeného předmětu je v rámci povolených tolerancí určených v článcích 11.5.1 a 11.5.1.4.
- Krok 9 V souladu se Směrnicí pro zkoušku aplikovat simulaci střelby v době zapnutí a v době vypnutí a celkovou dobu trvání zkoušky. V souladu se Směrnicí pro zkoušku provést provozní a funkční ověření.
- Krok 10 Opakovat předchozí kroky pro každou další osu stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 11 Vždy zaznamenat požadované informace.

11.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku v průběhu aplikace simulované střelby a po její aplikaci. Obecně vzato během zkoušení si musí zkoušený předmět udržet provozní a konstrukční neporušenost. Jakýkoli ústupek v provozní a/nebo konstrukční neporušenosti zkoušeného předmětu bude znamenat poruchu předmětu při zkoušce.

11.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) IEST RP-DTE026.1, Použití MIL-STD 810(F), 519 Střelba, Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 2002.
- b) Piersol, A. G., Analýza konstrukční odezvy střel Harpoon na odpalování z letadel, přistávání, let v uchycení a střelbu (Analysis of Harpoon Missile Structural Response to Aircraft Launches, Landings and Captive Flight and

Gunfire), Zpráva Střediska námořní výzbroje (Naval Weapons Center Report #NWC TP 58890, leden 1977.

- c) IES-RP-DTE012.1, Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 1995.
- d) Bendat, J. S., Piersol A. G., Náhodná data: Postupy analýz a měření (Random Data: Analysis and Measurement Procedures), John Wiley and Sons Inc, NY, 1986.

PŘÍLOHY

Příloha 11A
(normativní)

POSTUP I – PŘÍMÉ REPRODUKOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ O ODEZVĚ MATERIÁLU

11.A.1 ROZSAH PLATNOSTI

11.A.1.1 Účel

Tato příloha poskytuje směrnici a základ pro přímé reprodukování naměřených údajů o odezvě materiálu v laboratorní zkoušce na elektrodynamickém vibračním budiči při řízení průběhu otevřeným regulačním obvodem.

11.A.1.2 Použití

Tato metoda je užitečná pro reprodukování odezvy materiálu z jednoho bodu, která se dá charakterizovat jako nestacionární nebo jako časově závislá vibrace. Zrychlení se považuje za měřicí veličinu projednanou ke sledování, třebaže by se mohly použít další veličiny zajišťující, že dynamický rozsah měřené odezvy materiálu bude shodný s dynamickým rozsahem elektrodynamického systému použitého jako vstupní zařízení k reprodukování odezvy materiálu.

11.A.2 PRŮBĚH

11.A.2.1 Základní úvahy pro vymezení prostředí

Předpokládá se, že jakákoli měření provozního prostředí se provádí s pečlivě připraveným materiálem, kde se měření uskutečňuje v předem vybraných bodech na materiálu. Měřicí body projevují minimální místní rezonance a místa měření umožní zjišťování významných celkových materiálových rezonancí. Místa měření se mohou stanovit ještě před provedením jakékoli provozní zkoušky pomocí revize údajů o náhodných vibracích materiálu použitím různě umístěných snímačů zrychlení a různých uspořádání upevnění; lze použít stejné body jako body používané při laboratorních zkouškách. Zajistí se, aby údaje měřené v polních podmínkách byly zpracované pomocí DC vazby, nefiltrované horní propustí a vzorkovány při desetinásobku nejvyššího zájmového kmitočtu. Prověří se, zda křivky časového průběhu naměřených údajů pro jakoukoli indikaci potlačení zobrazení nebo pro jakoukoli funkční zvláštnost snímače zrychlení jako například posuv nuly, nemohou způsobit nějakou potenciální formu mechanického rázu o vysoké úrovni. Jestliže existují v měření snímače zrychlení náznaky anomálií, pečlivě se prozkoumá potenciálně narušený časový průběh zrychlení v souladu s postupy používanými při vymezení údajů o výbuchových rázech. Uplatní se postupy jako například začlenění časového průběhu do zkoumání charakteristik rychlosti a posunu, výpočet vzorkování autospektrální hustoty atd. Další podrobnosti uvádí odkazy. Pokud nejsou žádné náznaky anomálií snímače zrychlení, naměřené provozní údaje jsou zpracované pomocí AC vazby, filtrované horní propustí ve velmi nízkých kmitočtech 1 Hz, vzorkovány při desetinásobku nejvyššího zájmového kmitočtu a umístěny pro další zpracování do digitálních souborů. Horní kmitočtová mez je dána horním mezním limitem vyhlazovacího filtru, který je obecně kolem 2 000 Hz. Příklad simulace střelby využívající metody Postupu I je uveden dále. Tento postup je realizován na osobním počítači se schopností zpracovávat signály a s analogově digitálním a digitálně analogovým rozhraním.

11.A.2.2 Uspořádání zkoušky

Zkoušený předmět vybavený přístroji se instaluje v laboratorním vibračním přípravku a připevní k armatuře elektrodynamického budiče. Zkoušený předmět použitý během laboratorních simulací má stejné uspořádání, jako se používá ke sběru údajů o vibrační odezvě materiálu na střelbu z upevněné zbraně při provozních zkouškách. Pro účely řízení vstupní akcelerační odezvy se piezoelektrický snímač zrychlení instaluje dovnitř zkoušeného předmětu.

11.A.2.3 Vytvoření digitálního souboru vibrační odezvy ze střelby

První krok v procesu simulace je digitalizace naměřených letových údajů k získání časového průběhu amplitud – viz obrázek 11.A.1. Pro dobré rozlišení časového průběhu amplitudy bylo digitální zpracování analogových dat provedeno s použitím 2 000 Hz, 48 dB/oktávu, vyhlazovacího filtru a rychlosti snímání 20 480 vzorků za sekundu. Vyhlazovací filtr by měl mít lineární fázovou charakteristiku.

11.A.2.4 Charakterizace inverzní funkce kmitočtové odezvy řídicí signál budiče / zkoušený předmět

Inverzní funkce kmitočtové odezvy mezi řídicím signálem budiče a akcelerační odezvou zkoušeného předmětu nainstalovaného na budiči se dosáhne vystavením zkoušeného předmětu nízké úrovni rozmítaného sinusového buzení. Rozmítané sinusové buzení se generuje na PC při použití rychlosti snímání 20 480 vzorků za sekundu a délky bloku 2 048 bodů pro dobu trvání přibližně 0,1 s. Rozmítaný sinusový vstup používá počáteční a koncový kmitočet 10 Hz a 2 000 Hz. Rozmítané sinusové buzení je přiváděno přes zesilovač výkonu s využitím digitálně analogového rozhraní PC. Obrázek 11.A.2 představuje rozmítaný sinusový vstup budiče spolu s výslednou odezvou zkoušeného předmětu, obrázek 11.A.2b. Rozmítaný sinusový vstup budiče a odezva zkoušeného předmětu byly digitalizovány s využitím analogově digitálního rozhraní počítače při rychlosti snímání 20 480 vzorků za sekundu a délce bloku 2 048 bodů. Inverzní funkce kmitočtové odezvy $IH(f)$ se odhaduje následovně:

$$IH(f) = E_{dd}(f)/E_{dx}(f)$$

kde

E_{dd} = vstupní energetická spektrální hustota rozmítaného sinusového řídicího signálu budiče $d(t)$;

E_{dx} = energetická spektrální hustota příčně spektrem mezi akcelerační odezvou zkoušeného předmětu $x(t)$ a rozmítaným sinusovým řídicím signálem budiče $d(t)$.

Obrázek 11.A.3 představuje modul a fázi inverzní funkce kmitočtové odezvy. Pro redukci šumu v $IH(f)$, by se měly tři nebo více kalkulací $IH(f)$ zprůměrovat. V laboratorních podmínkách je obvykle poměr signál-šum tak vysoký, že průměrování k redukci úrovně šumu v kalkulaci není nezbytné – viz čl. 11.A.2.10, odkazy b, c.

11.A.2.5 Zúžení inverzní funkce kmitočtové odezvy

Protože software pro zpracování signálu počítá inverzní funkce kmitočtové odezvy mimo snímací rychlost Nyquistova kmitočtu, který je daleko nad frekvenčním zájmovým rozsahem, aplikuje se na inverzní funkci kmitočtové odezvy funkce zúžení.

Příloha 11A

(normativní)

Funkce zúžení odstraňuje nechtěný kmitočtový obsah a šum mimo zájmové frekvenční pásmo 10 Hz až 2 000 Hz.

Modul se redukuje z 2 000 Hz na nulu přes šířku pásma přibližně 200 Hz; vzhledem k tomu, že fáze zůstává konstantní nad 2 000 Hz. Modul a fáze zúžené inverzní funkce kmitočtové odezvy je uvedena na obrázku 11.A.4. Pro optimalizaci údajů uchovávaných v kmitočtové oblasti 10 Hz až 2 000 Hz mohou být potřebné určité experimenty se zúžením konfigurace v zájmu zkušebního zařízení.

11.A.2.6 Kalkulace funkce impulzní odezvy

Funkce impulzní odezvy se generuje vypočítáním inverzní Fourierovy transformace zúžené inverzní funkce kmitočtové odezvy a je zobrazena na obrázku 11.A.5.

11.A.2.7 Kalkulace kompenzovaného řídicího signálu budiče

Kompenzovaný řídicí signál budiče se generuje pomocí konvoluce funkce impulzní odezvy, obrázek 11.A.5, v jednotkách ($V \cdot g^{-1}$) s měřenou odezvou materiálu na střelbu, obrázek 11.A.1 v jednotkách (g). Dá se toho také docílit v kmitočtové oblasti násobnou transformací, tj. $IH(f)$ přeměnou z neokénkového bloku časového průběhu za použití buď postupu „překryj a ulož“ nebo „překryj a přidej“. Kompenzovaný řídicí signál budiče je zobrazen v horní části obrázku 11.A.6.

11.A.2.8 Reprodukování odezvy materiálu ze střelby

S využitím digitálně analogového rozhraní počítače je kompenzovaný řídicí signál budiče vstupem přes zesilovač výkonu k docílení požadované odezvy zkoušeného předmětu na střelbu. Budič je řízen v provozním režimu s otevřenou regulací. Pro nestacionární záznamy nebo časově závislé vibrace krátkého trvání je to dostačující způsob řízení budiče. Obrázek 11.A.6 představuje kompenzovaný řídicí signál budiče společně s výslednou odezvou materiálu. Obrázek 11.A.7 porovnává celkovou provozní měřenou odezvu materiálu na střelbu s odezvou zkoušeného předmětu na laboratorně simulovanou střelbu.

11.A.2.9 Závěr

Pro jednobodová měření odezvy na poměrně přirozeně dynamickém materiálu je metoda přímého reprodukování z odezvy materiálu měřené v provozu téměř optimální. Hlavní výhodou této metody je že umožňuje reprodukování odezvy materiálu, nestacionárních nebo časově závislých vibrací, které je pro vstup do systému řízení vibrací obtížné až nemožné kompletně stanovit a syntetizovat. Hlavní nevýhodou této metody je to, že neexistuje žádný očividný způsob statistického zpracování naměřených údajů o odezvě materiálu, který by zajistil konzervativní zkoušku. Ale konzervativnost se doporučuje do zkoušení zavést tak, že se zpracování provádí v redukované úrovni řetězce zesilovače výkonu budiče a potom se zkoušení provádí ve vyšším řetězci. Předpokladem pro tuto metodu je to, že odezva zkoušeného předmětu, která je výsledkem vstupu budiče, je lineární funkcí řetězce zesilovače výkonu. Tuto předpokládanou linearitu bude třeba před vlastním zkoušením nezávisle ověřit.

11.A.2.10 Odkazy a související dokumenty

- a) IES-RP-DTE012.1: Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 1995.

Příloha 11A
(normativní)

- b) Merritt, R. G., Hertz S. R.: Aspekty střelby, Část 1 Analýzy (Aspects of Gunfire, Part 1. Analysis), NWC TM 6648 Part 1, říjen 1990, Středisko námořních zbraní (Naval Weapons Center), China Lake, CA 93555-6100.
- c) Merritt, R. G., Hertz S. R.: Aspekty střelby, Část 2 Simulace (Aspects of Gunfire, Part 2. Simulation), NWC TM 6648 Part 2, září 1990, Středisko námořních zbraní (Naval Weapons Center), China Lake, CA 93555-6100.

11.A.3 DOPORUČENÉ POSTUPY

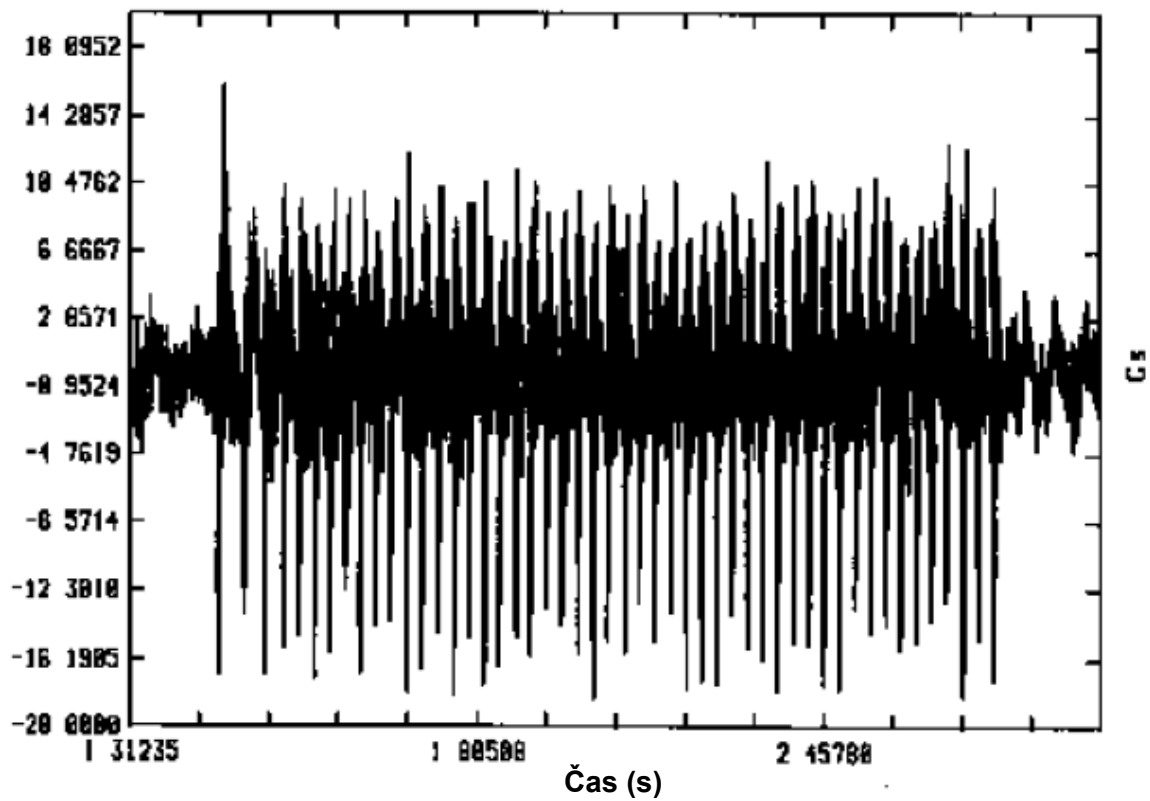
11.A.3.1 Doporučené postupy

Pro měření jednoduché odezvy na poměrně přirozeně dynamickém materiálu se použije Postup I. Tento postup se má použít v případech, kdy laboratorní reprodukování prostředí odezvy je pro potvrzení provozní a konstrukční integrity materiálu v prostředí střelby naprosto nepostradatelné.

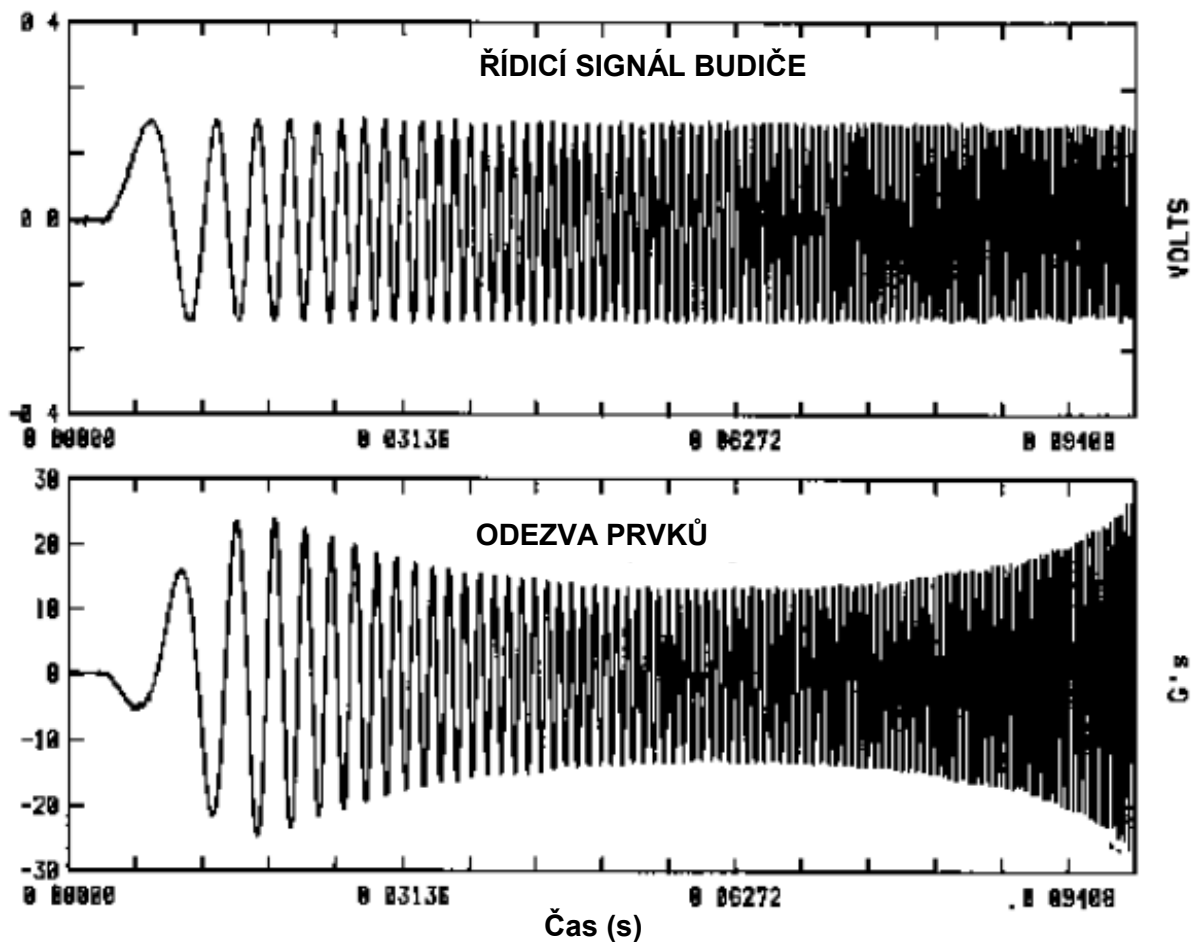
11.A.3.2 Součinitele nejistoty

Jediná významná nejistota v tomto postupu má za následek míru v jaké se měřené prostředí odlišuje od skutečného provozního prostředí. Obvykle není možné získat měřené prostředí z každého myslitelného provozního prostředí.

MĚŘENÁ ODEZVA PRVKŮ STŘELBY



OBRÁZEK 11.A.1 – Digitální letové údaje

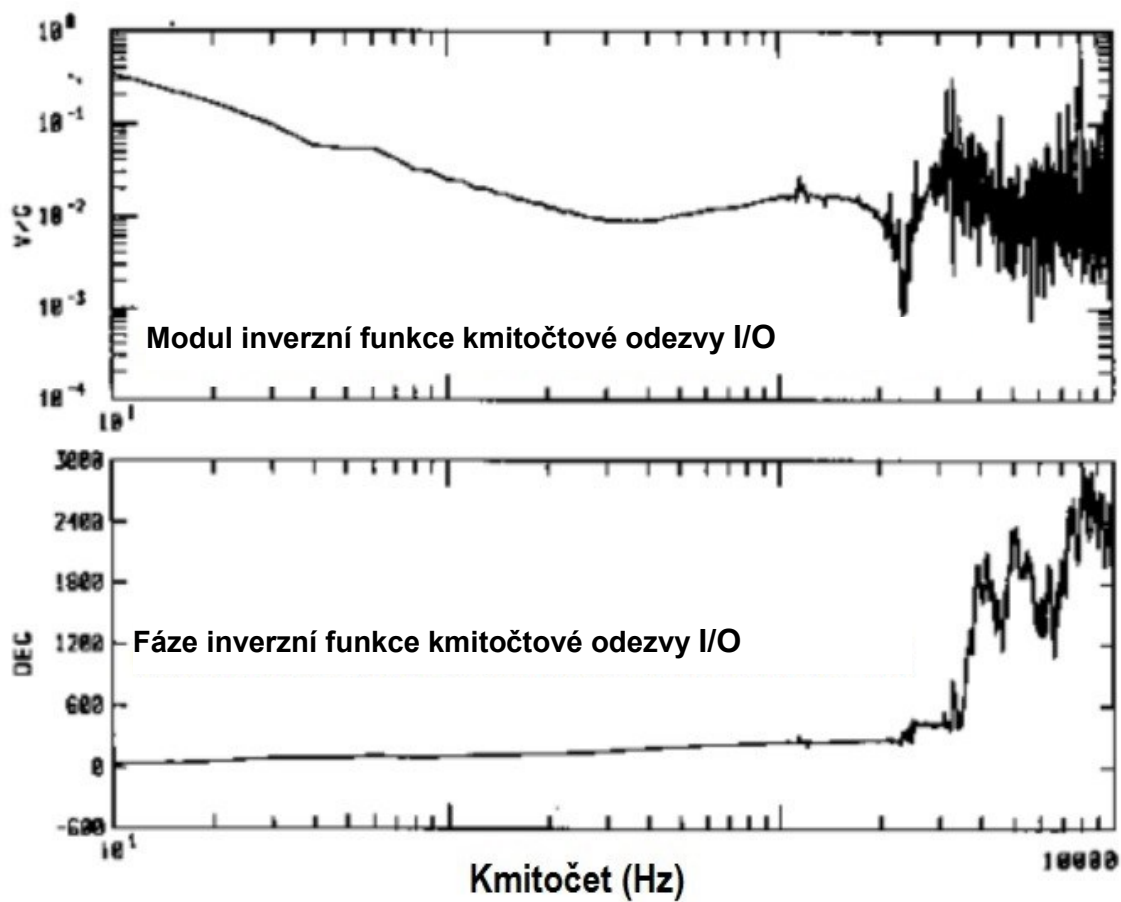


a) Vstup

b) Odezva

OBRÁZEK 11.A.2 – Rozmítaný sinusový vstup budiče s výslednou odezvou zkoušeného předmětu

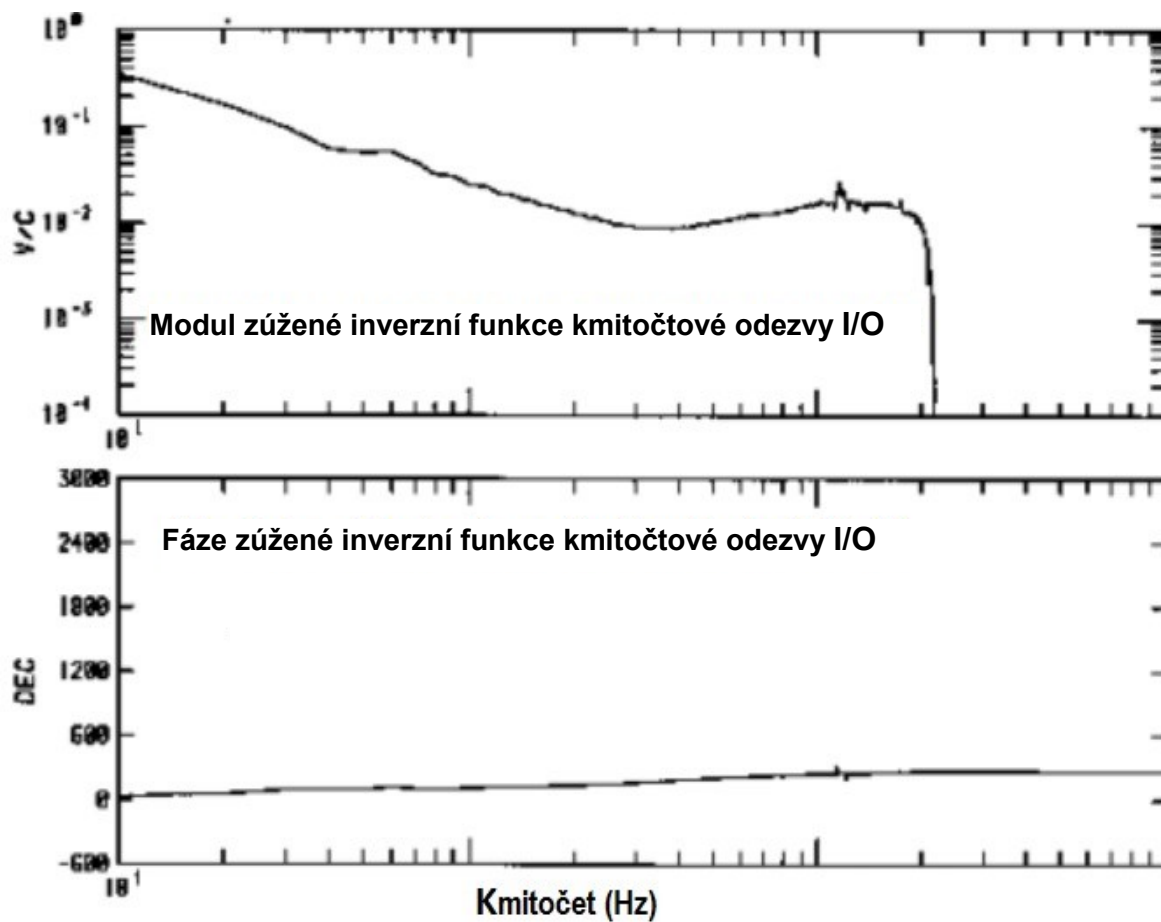
Příloha 11A
(normativní)



a) Modul

b) Fáze

OBRÁZEK 11.A.3 – Modul a fáze inverzní funkce kmitočtové odezvy

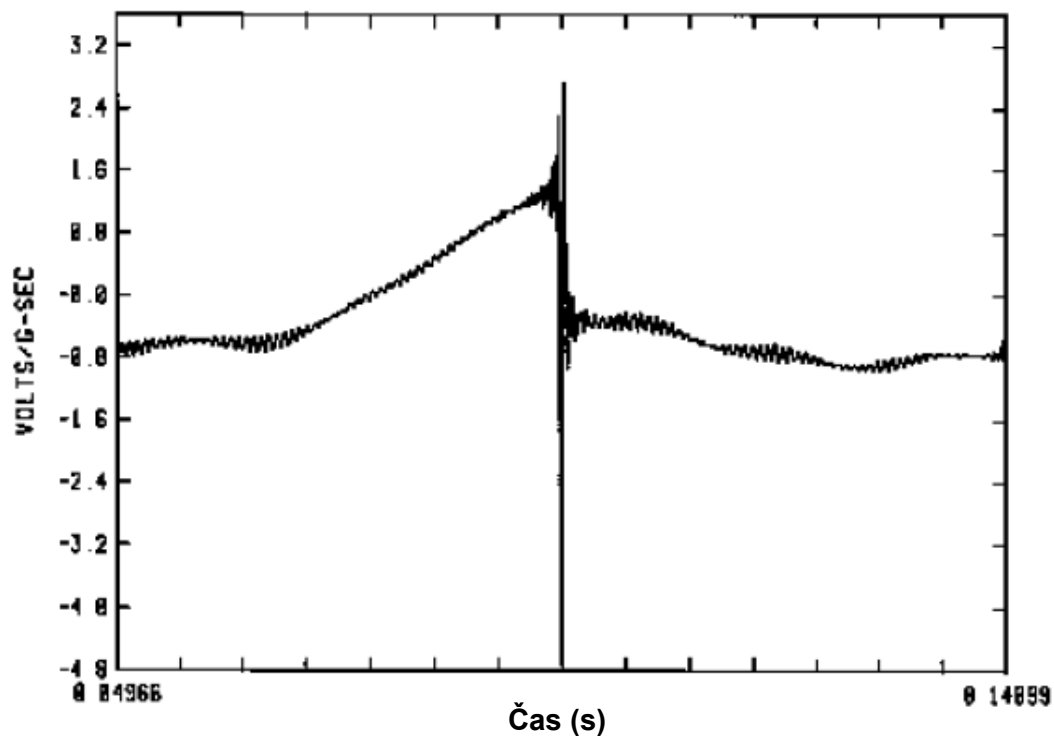


a) Modul

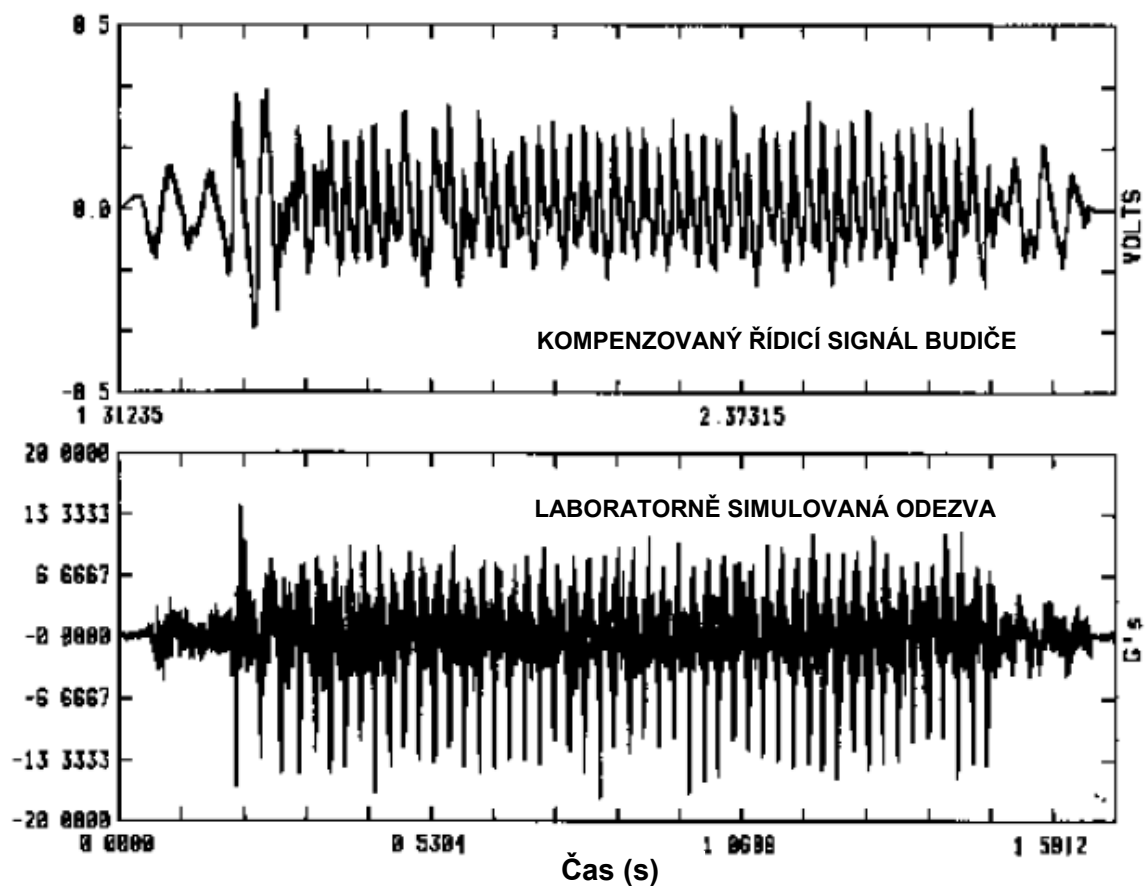
b) Fáze

OBRÁZEK 11.A.4 – Modul a fáze zúžené inverzní funkce kmitočtové odezvy

FUNKCE IMPULZNÍ ODEZVY Z INVERZNÍ XFER FUNKCE



OBRÁZEK 11.A.5 – Funkce impulzní odezvy

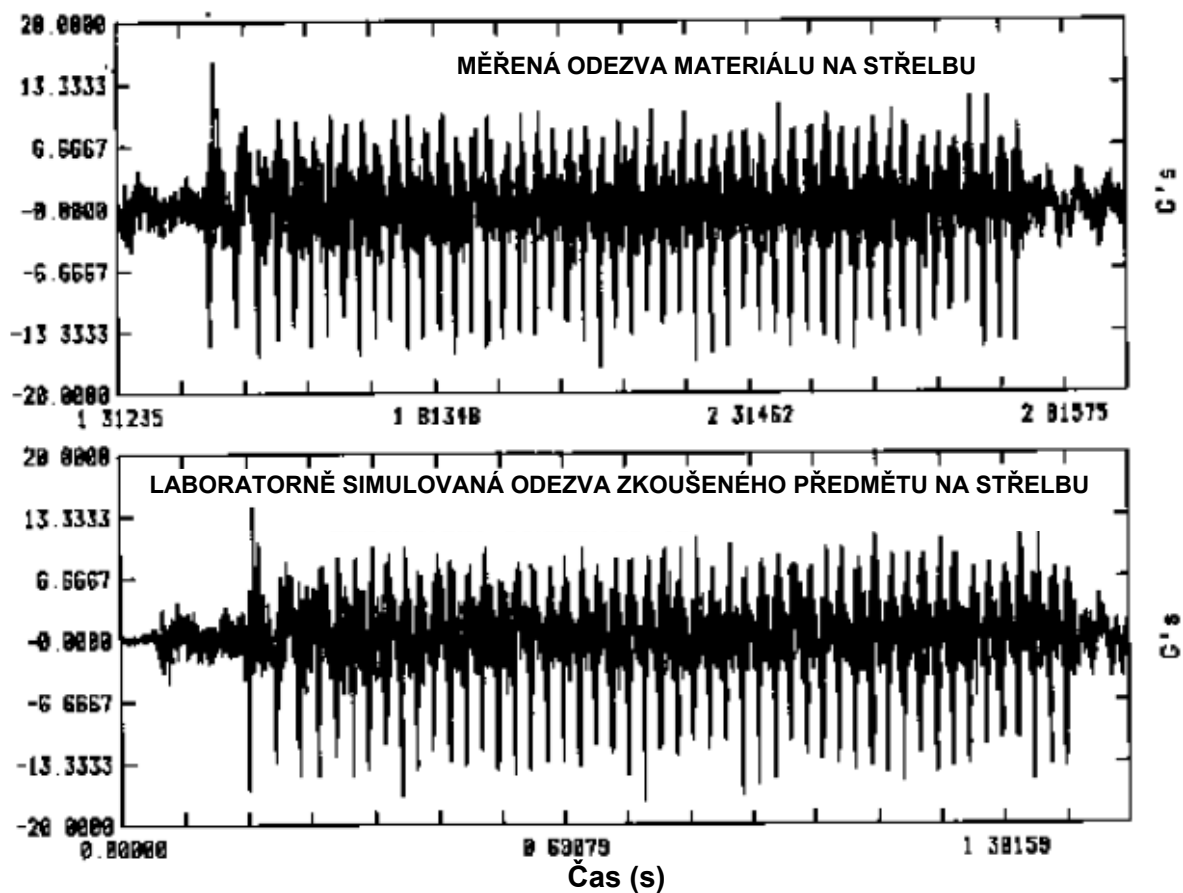


a) Řídicí signál

b) Odezva materiálu

OBRÁZEK 11.A.6 – Kompenzovaný řídicí signál budiče společně s výslednou odezvou zkoušeného předmětu

Příloha 11A
(normativní)



a) Měřená

b) Simulovaná

OBRÁZEK 11.A.7 – Porovnání měřené odezvy materiálu na střelbu s laboratorně simulovanou odezvou zkoušeného předmětu na střelbu

POSTUP II – STATISTICKY GENEROVANÝ OPAKOVANÝ HLAVNÍ (DETERMINISTICKÝ) IMPULZ PLUS ZBYTKOVÝ (NÁHODNÝ) IMPULZ

11.B.1 ROZSAH PLATNOSTI

11.B.1.1 Účel

Tato příloha poskytuje přehled metod z Postupu II, používaných pro simulaci v čase proměnného náhodného procesu, který dává typovou funkci procesu, jenž se může využít ke generování statistických souborů popisujících časově proměnlivý charakter tohoto procesu.

11.B.1.2 Použití

Podrobnosti metody lze najít v čl. 11.B.2.7, odkaz c. Další hlediska k této metodě poskytuje čl. 11.B.2.7, odkazy d, e. Novější objevy jsou konstatovány v čl. 11.B.2.7, odkazy f, g. Byla zde popsána metoda náhodné simulace pro izolovaný náhodný proces s neznámou časovou variací, pro nějž je použitelná funkce jednoduchého výběru z procesu. Funkce jednoduchého výběru je typická pro jednoduché fyzikální uspořádání střelby, pro které není extrapolace na jiné uspořádání stanovena. Přínosy Postupu II jsou definovány níže. Následující odstavce poskytují popis Postupu II a některých jeho omezení:

- a) postup je vhodný k realizaci na osobním počítači používaném k řízení vibračního zařízení;
- b) postup má mnoho znaků obdobných postupu tradiční simulace buzení se stacionárním časovým průběhem, založené na kalkulačním určení autospektrální hustoty;
- c) postup je velmi pružný, pokud jde o délku statisticky ekvivalentních záznamů, které se mohou generovat pro laboratorní reprodukování v provozu měřeného reakčního prostředí;
- d) postup má statistiku, která se snadno interpretuje a která se blíží skutečné statistické proměnlivosti neznámého základního náhodného procesu;
- e) postup se může zobecnit na další formy časově proměnných náhodných procesů se snadným zobrazením souborů;
- f) postup se vzdává minimálního počtu znaků vyššího řádu ze souboru měřených odezev, které se neberou v úvahu jako podstatné pro reprodukci měřených provozních dat prostřednictvím laboratorní simulace odezvy zkoušeného předmětu.

11.B.2 PRŮBĚH

11.B.2.1 Názvosloví

$E\{ \}$	předpokládaná hodnota o velikosti uvedené v závorce
N, N_p	počet impulzů v souboru
N_s	počet simulovaných impulzů
N_t	počet časových bodů v jednom prvku souboru
$P(x,t)$	funkce rozložení pravděpodobnosti pro nestacionární náhodný proces

Příloha 11B

(normativní)

$R_{xx}(\tau, t)$	nestacionární autokorelační funkce
$V[]$	odchylka velikosti v závorkách
$\{x_i(t)\}$	náhodný proces
$x_i(t)$	i -tá typová funkce pro náhodný proces $\{x_i(t)\}$
$X_T(f)$	konečná Fourierova transformace $x(t)$ v časovém intervalu T
$\mu_x(t)$	skutečná časově proměnná střední hodnota
$\mu_x^*(t)$ nebo $\hat{\mu}_x(t)$	odhad časově proměnné střední hodnoty
$\sigma_x(t)$	skutečná časově proměnná standardní odchylka
$\sigma_x^*(t)$ nebo $\hat{\sigma}_x(t)$	odhad časově proměnné standardní odchylky
$\psi_x^2(t)$	skutečná časově proměnná střední kvadratická
$\psi_x^{*2}(t)$ nebo $\hat{\psi}_x^2(t)$	odhad časově proměnné střední kvadratické
T_p	interval stacionárního zápisu snímání v sekundách
$f_1 = 1/T_p$	základní kmitočet stacionárního zápisu snímání v Hz
T	časový interval výběru
$f_c = 1/(2T)$	Nyquistův mezní kmitočet

11.B.2.2 Úvod

Termín „soubor“ ("ensemble") označuje soubor záznamů časového průběhu snímání (vzorků) definovaných v konkrétním časovém intervalu. V případě nestacionárního prostředí je jediný úplný popis prostředí stanovený pomocí:

- statistických odhadů všech pravděpodobnostních momentů procesu jako funkce amplitudy a času ze specifikace $P(x, t)$ nebo
- statistického odhadu časově proměnné autokorelační funkce $R(\tau, t)$. Obecně $P(x, t)$ a $R(\tau, t)$ nejsou dostupné ani přímo v analytické formě, ani prostřednictvím přesného odhadu založeného na omezených v provozu naměřených údajích o odezvě.

Pro praktickou potřebu pro v provozu naměřené prostředí, odhad veličin (1) časově proměnné střední hodnoty, (2) časově proměnné standardní odchylky, (3) časově proměnné efektivní hodnoty, (4) celkové průměrné spektrální hustoty energie a (5) časově proměnné autokorelace pomáhá při charakterizování nestacionárního náhodného procesu, z něhož se vytváří vzorový soubor. Reprodukce některého nebo všech z těchto odhadů z měřeného souboru v procesu simulace obecně bude poskytovat uspokojivou nestacionární zkušební simulaci provozního prostředí.

11.B.2.3 Předpoklady

Předpokládá se, že zrychlení je veličinou měření odezvy materiálu, ale další veličiny měření, např. deformace, mohou být zrovna tak užitečné, pokud jsou schopné zachytit typickou amplitudu nebo zájmovou kmitočtovou oblast.

Následující základní předpoklady byly vytvořeny pro pomoc profesionálům při rozhodování o tom, zda postupy popsané v této příloze jsou použitelné na konkrétní měření a zkušební záměry.

Příloha 11B
(normativní)

- a) V provozu měřená odezva materiálu se získává z měření v „pevných bodech“ zkoušeného předmětu. Termín „pevný bod“ znamená, že:
- (1) lokální odezva materiálu specifická pro umístění měřicích přístrojů včetně strukturální nelinearity v měření odezvy materiálu nepřevládá, a
 - (2) ve vybraném bodu je měřená odezva materiálu typická pro celkovou odezvu materiálu.
- b) Vzorový časový průběh v provozu měřené odezvy materiálu ukazuje zřetelný časově proměnný stav, který se opakuje v časovém intervalu souvztažném s rychlostí střelby zbraně.
- c) Vzorový časový průběh v provozu měřené odezvy materiálu se může rozpadat na soubor záznamů nebo impulzů s kratším časovým průběhem. Impulzy mají podobnou časově proměnnou charakteristiku v totožných časových intervalech od začátku každého impulzu. Metoda rozpadu časového průběhu vzorkování je odleva do uvážení analytika, obvykle se to může docílit prověřením měřených „časovacích“ nebo „spouštěcích“ impulzů pro opakované případy nebo pomocí metody vzájemné korelace aplikované na vzorový časový průběh.
- d) Informace jsou dostupné u uspořádání zkoušeného předmětu vztahujícího se k uspořádání materiálu, pro které byly měřeny provozní údaje o odezvě.
- e) Funkce frekvenční odezvy pro elektrodynamické nebo servohydraulické zkušební budicí zařízení se může specifikovat způsoby pro Postup I nastíněnými v příloze 11A.
- f) Aplikace funkce zkušební kmitočtové odezvy na časový průběh simulované amplitudy se může uskutečnit prostřednictvím:
- (1) Funkce spektrální hustoty energie, kde každý impulz je jednotlivě kompenzován prostřednictvím konvoluce časového průběhu impulzu se systémovou funkcí impulzní odezvy. Impulzy se řetězí do dlouhého časového průběhu výstupního napětí pro vstup do digitálně analogového rozhraní, nebo
 - (2) Konvoluce s dlouhým časovým průběhem, kterou se nejprve generuje nekompensovaný dlouhý časový průběh výstupu, a potom svinutý se systémovou funkcí impulzní odezvy, aby se zajistil kompenzovaný napěťový řídicí signál pro vstup do digitálně analogového rozhraní.

Oba tyto postupy předpokládají, že generování dlouhé kompenzované napěťové křivky má běžet ve vibračním systému s otevřeným regulačním obvodem. Pro toto otevřené uspořádání se navrhuje, aby délka kompenzovaného tvaru vlny nepřekročila pět sekund a aby příslušné přerušovací limity byly ve vibračním systému aktivní. Řízení s uzavřeným regulačním obvodem se stane standardem pro postup se zlepšeními v systému řízení vibrací, vedoucími ke zvýšenému vytváření spektrální hustoty energie s kompenzací průběhu na jednotlivých impulzech. V této době je účelnost tohoto postupu omezena rychlostí procesoru na vstupu a výstupu vibračního systému. Kromě toho se zpracování požaduje pro (1) zdůvodnění ke kvantitativnímu posouzení „přiměřenosti“ simulace v reálném čase, založené na časově proměnných statistických odhadech, a (2) nástroje pro kompenzaci „nedostatečné“ simulace „v reálném čase“, provedenou v reálném čase.

Příloha 11B

(normativní)

- g) Přiměřenost simulace pro splnění specifikace rozporů nebo odchylek mezi statistickými údaji o odezvě materiálu měřené v provozu a odezvou zkoušeného předmětu měřenou při laboratorní simulaci je založena na využití vzorků stejné velikosti nebo na korekci odchylek měření, vycházejících z rozdílné velikosti vzorků.

Stručně řečeno, v současné době je zkušební simulace odezvy materiálu měřené v provozu založena na:

- předběžném generování nekompensovaného zkušebního vzorkovaného časového průběhu;
- kompenzaci zkušebního vzorkovaného časového průběhu;
- řízení vibračního systému otevřenou regulací;
- off-line zpracování vzorkovaného časového průběhu odezvy zkoušeného předmětu pro přímé porovnání se vzorkovaným časovým průběhem odezvy materiálu měřeným v provozu.

11.B.2.4 Modelování a statistika pro popis náhodného procesu odezvy materiálu s variací času

Velmi obecný model pro časově proměnný náhodný proces je tzv. „výrobní model“ („product model“), který ve většině svých základních forem předpokládá, že časově proměnná charakteristika náhodného procesu může být oddělena od kmitočtové charakteristiky náhodného procesu – viz čl. 11.B.2.7, odkaz b. Pro odezvu materiálu na střelbu se může použít taková forma výrobního modelu, která náležitě popisuje tuto odezvu. Postupy užití při tvorbě modelu vyžadují určité zkušenosti. Naneštěstí toto modelování není určeno pro parametrické předpovědi odezvy materiálu v jiných sestavách měřených dat. Základní statistika, která se má použít pro charakterizování prostředí měřené odezvy se souhrnným zobrazením, je stanovena níže. Evidence chyb pro simulaci se může založit na vyjádření odchylek pro veličiny:

- a) časově proměnná střední hodnota;
- b) časově proměnná standardní odchylka;
- c) časově proměnná efektivní hodnota;
- d) funkce průměrné spektrální hustoty energie, může být časově závislá.

Následuje definice výrobního modelu používaná v této souvislosti. Pro diskrétní zpracování se bere t jako proměnná spojitého času; každý prvek souboru se skládá z N_t časových vzorků v časovém intervalu $0 \leq t \leq T_p$. Pozornost je věnována časově proměnnému charakteru kmitočtu v diskrétních časových intervalech, které se mohou podrobněji zkoumat pomocí nestacionární autokorelační funkce. Čl. 11.B.2.7, odkazy c, d, e tuto otázku rozebírají podrobněji. Při využití poznámek v čl. 11.B.2.7, odkaz b, terminologie pro $u(t)$, vzorkovaného časového průběhu ze stacionárního náhodného procesu $\{u(t)\}$ a deterministických časových průběhů $a_1(t)$ a $a_2(t)$, pak obecný časově proměnný náhodný proces $\{x(t)\}$ se může modelovat jako

$$x(t) = a_1(t) + [a_2(t) u(t)]_f \quad (11.B.1)$$

kde $a_1(t)$ je deterministický časový průběh, pokud jde o střední odhad provozního časově proměnného souboru, $a_2(t)$ je deterministický časový průběh, pokud jde o odhad střední odchylky provozního časově proměnného souboru. Profily funkce $a_2(t)$ v časové oblasti, úroveň efektivní hodnoty zbytkových hodnot z provozního

Příloha 11B
(normativní)

souboru po $a_1(t)$ byly z provozního souboru odstraněny. Veličina „ f “ za závorkou ukazuje, že zbytkový údaj je funkcí frekvenčního obsahu a v dále uvedeném popisu f představuje časově proměnný frekvenční obsah ve čtyřech diskrétních a časově stejně dlouhých intervalech. Pro tento model $a_1(t)$, časově proměnná střední hodnota souboru bude nazývána jako „signál“ a $[a_2(t) (u(t))]_f$ jako tvarovaná zbytková hodnota nebo „šum“. Jestliže časově proměnný náhodný proces je silně převládající od deterministické časově proměnné střední hodnoty nebo „signál“, tj. amplituda $a_1(t)$ je v porovnání se zbytkovou hodnotou $[a_2(t) (u(t))]_f$ značná, pak se dají očekávat srovnatelně malé odchylky v časové oblasti v časově proměnné střední hodnotě, standardní odchylce a efektivní hodnotě. Frekvenční obsah by měl být snadno reprodukovatelný. Zbytkový soubor vytvořený odečítáním časově proměnné střední hodnoty z každého vzorkovaného časového průběhu původního souboru je definován, pokud jde o soubor měřený v provozu, následovně:

$$\{r(t)\} = \{x(t) - \mu_x^*(t)\} \quad (11.B.2)$$

Tento zbytkový soubor má následující dvě vlastnosti:

- časově proměnná střední hodnota $\{r(t)\}$ je nula;
- časově proměnná efektivní hodnota $\{r(t)\}$ je časově proměnná standardní odchylka z původního souboru $\{x(t)\}$.

Kritérium časové oblasti pro přezkoušení platnosti simulace je dáno jako odchylka kalkulantů časové oblasti od časově proměnné střední hodnoty, časově proměnné standardní odchylky a časově proměnné efektivní hodnoty. Vyjádření pro tyto kalkulanty a jejich odchylky je uvedeno v rovnicích (11.B.3) až (11.B.8). Nestranný odhad časově proměnné střední hodnoty pro soubor $\{x(t)\}$ k N vzorkům časového průběhu je dán rovnicí

$$\mu_x^*(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.3)$$

a odchylka tohoto kalkulantu je dána jako

$$V[\mu_x^*(t)] = E \left[(\mu_x^*(t) - \mu_x(t))^2 \right] \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.4)$$

kde $\mu_x(t)$ je skutečná časově proměnná střední hodnota procesu.

Odhad časově proměnné standardní odchylky pro tento soubor $\{x(t)\}$ je dán takto:

$$\hat{\sigma}_x(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x_i(t) - \hat{\mu}_x(t))^2]}{N - 1}} \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.5)$$

a odchylka tohoto kalkulantu ve své teoretické podobě může být dána jako

$$V[\hat{\sigma}_x] = E[\{\hat{\sigma}_x(t) - \sigma_x(t)\}^2] \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.6)$$

kde $\sigma_x(t)$ je skutečná nestacionární časově proměnná standardní odchylka procesu.

Nestranný odhad časově proměnné střední kvadratické pro soubor $\{x(t)\}$ je dán rovnicí

$$\hat{\psi}_x^2(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2(t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.7)$$

Příloha 11B
(normativní)

a odchylka tohoto kalkulantu je dána jako

$$V[\hat{\psi}_t(t)] = E \left[\{ \hat{\psi}_x^2(t) - \psi_x^2(t) \}^2 \right] \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (11.B.8)$$

kde $\psi_x^2(t)$ je skutečná nestacionární časově proměnná střední kvadratická procesus.

V kmitočtové oblasti je funkce průměrné spektrální hustoty energie pro soubor $\{x(t)\}$

$$E_{xx}(f) = 2E \left[\left| X_{T_p}(f) \right|^2 \right] \quad 0 < f < f_c \quad (11.B.9)$$

a odchylka tohoto kalkulantu v teoretické formě je dána jako

$$V[\hat{E}_{xx}(f)] = E \left[\{ \hat{E}_{xx}(f) - E_{xx}(f) \}^2 \right] \quad 0 < f < f_c \quad (11.B.10)$$

Při kalkulování těchto odhadů odchylek nebo kvantitativních měření jak „blízko“ je odezva zkoušeného předmětu při laboratorní simulaci k provozní odezvě materiálu, „skutečné“ veličiny nejsou známy, ale mohou se vzít jako zpracovaná v provozu měřená odezva materiálu.

11.B.2.5 Typická aplikace modelu na měřenou odezvu materiálu

Tato část přílohy poskytuje stručný přehled běžného zpracování nezbytného pro uskutečnění úspěšné pravděpodobnostní simulace odezvy materiálu, která má simulovat provozní prostředí měřené odezvy materiálu. Odezva materiálu měřená v provozu, která se má modelovat, je případ padesátiimpulzové $N_p = 50$, střelby s 30 mm náboji znázorněny na obrázku 11.B.1a. Rychlost střelby je přibližně 40 ran za sekundu a stav trvá asi 1,25 s. Tento záznam je digitalizován při 20 480 vzorcích za sekundu s vyhlazovacím filtrem nastaveným na 2 kHz. Z vizuální revize časového průběhu amplitudy je jasné, že záznam má periodickou časově proměnnou charakteristiku. Tento záznam se rozpadá na soubor 50 impulzů, každý o délce asi 25 milisekund, pro které jsou použitelné klasické časově proměnné statistické postupy. Obrázek 11.B.2a obsahuje náčrt typického impulzu, impulzu 37 ze souboru a obrázek 11.B.3a obsahuje jeho zbytkové hodnoty. Obrázek 11.B.4a obsahuje náčrt odhadu střední hodnoty pro tento soubor definovaný v rovnici 11.B.3. Odhad standardní odchylky souboru N záznamů definovaný v rovnici 11.B.5 je uveden na obrázku 11.B.5a. Je to také efektivní hodnota zbytkového souboru. Obrázek 11.B.6a obsahuje náčrt efektivní hodnoty pro tento soubor. Zbytkový soubor se získá odečtením střední hodnoty od každého prvku souboru. Tento zbytkový soubor má nulovou střední hodnotu a nenulovou časově proměnnou efektivní hodnotu totožnou se standardní odchylkou původního souboru.

Je velmi důležité pochopit charakteristiku tohoto zbytkového souboru. Z výše uvedených obrázků by mělo být zřejmé, že měřený soubor má časově proměnnou střední hodnotu, časově proměnnou střední kvadratickou a časově proměnný kmitočet s vyššími kmitočty v počáteční části záznamu. Spektrální hustota energie vypočítaná na původním měřeném souboru a měřený zbytkový soubor odhaluje vliv odstranění časově proměnné střední hodnoty z původního souboru a rozdílnost kmitočtové charakteristiky těchto dvou souborů. Obrázek 11.B.7a poskytuje superpozici obou odhadů spektrální hustoty energie.

Šířka pásma filtru pro odhady spektrální hustoty energie je 5 Hz. Dramatičtější znázornění časového charakteru kmitočtu původního souboru uvádí obrázek 11.B.8a, $T1$ až $T4$. V této analýze je délka impulzu rozdělena na čtyři shodné časové

Příloha 11B
(normativní)

části trvajících každá 6,25 ms a průměrné ESD počítané pro každou část udržuje 20 Hz šířku pásma filtru. Odhady se v souboru zprůměrují bez aplikace zúžení časové oblasti. Jestliže se všechna čtyři spektra superponují jedno na druhé, je jasné, že změna kmitočtu v čase je značná jak pro původní soubor, tak pro zbytkový soubor na obrázku 11.B.9. Zbytkový soubor se zkoumá pro svůj druhý řád nebo korelační vlastnosti v čl. 11.B.2.7, odkazy c, d, e. Běžné kroky používané k provedení simulace v souladu s modelem načrtnutým na obrázku 11.B.1 a k odhadu odchylek v časově proměnné střední hodnotě, standardní odchylce, efektivní hodnotě a v odhadech částečného a celkového spektra energie jsou obsaženy v čl. 11.B.2.7, odkaz c.

Obrázky 11.B.10a a 11.B.10b znázorňují v uvedeném pořadí deterministickou funkci $a_1(t)$ a kalkulační funkci $a_2(t)$. Obrázek 11.B.11a zobrazuje zbytkové údaje předtím, než se profilují a obrázek 11.B.11b zbytkové údaje po aplikaci filtrování. Pouze s využitím informací z čl. 11.B.2.7, odkazy a, b se Fourierova základní i inverzní FFT používají pro stanovení simulovaného zkušební souboru. Segmentování v čase za účelem simulování časově proměnné kmitočtové charakteristiky souboru se zajišťuje pro určité menší nespojitosti v hranicích časového intervalu simulace. Z čl. 11.B.2.7, odkazu e se dá konstatovat, že je také možné rozdělit časově proměnnou charakteristiku v kmitočtové oblasti, která také má za následek určité menší nespojitosti v kmitočtové oblasti.

Výsledky simulace zobrazují dále uvedené obrázky tak, aby umožnily profesionálům věnovat pozornost všeobecné věrnosti simulace. Obrázek 11.B.1b představuje simulovaný soubor s N_p impulzy pro poskytnutí celkového kvalitativního posouzení simulace. Obrázek 11.B.2b a obrázek 11.B.3b poskytují v uvedeném pořadí náčrty typického impulzu číslo 37 a jeho zbytkové hodnoty z tohoto simulovaného souboru. Obrázek 11.B.4b je střední hodnota pro tento soubor, obrázek 11.B.5b je standardní odchylka a obrázek 11.B.6b efektivní hodnota. Obrázky 11.B.7 až 11.B.9 zobrazují měřené údaje s odpovídajícími simulovanými údaji. Obrázek 11.B.12 obsahuje maximální a střední časově proměnné odhady kořenového rozptylu pro časově proměnnou střední hodnotu pro velikosti vzorků 10, 25 a 50 impulzů. To představuje odchylku, která by se mohla předpokládat v každém časovém bodu jako produkt simulace ze souborů tří velikostí.

Příslušné informace pro časově proměnnou standardní odchylku poskytuje obrázek 11.B.13 a pro časově proměnnou efektivní hodnotu obrázek 11.B.14. Obecně vzato pro soubor s N_p vzorkovanými časovými průběhy je maximální kořenová odchylka menší než 2,5 g se střední hodnotou pod 0,75 g. Tyto průběhy většinou ukazují určitý stupeň vyrovnanosti přes časový interval.

11.B.2.6 Realizace

Metoda nastíněná výše se může realizovat předběžným zpracováním dat a generováním souboru simulovaných odezev materiálu na hlavním počítači nebo na osobním počítači. V každém případě musí být simulovaný digitální průběh impulzu vhodně kompenzován postupem popsáním v příloze 11A předtím, než je vydán analogový napěťový signál do budiče. Tento postup stochastické simulace je celkem podrobně propracovaný, ale je určen pro skutečnou stochastickou časově proměnnou laboratorní simulaci odezvy materiálu založenou na měřené provozní odezvě materiálu.

Metoda je flexibilní v tom, že dokáže vytvořit neomezený počet „impulzů“, všechny mírně odlišné, se zkoušením omezeným pouze délkou času; vibrační regulátor může

Příloha 11B

(normativní)

zajistit náležitou simulaci v režimu řízení s otevřenou regulací. Jestliže se předpokládá, že výstup budiče a odezva zkoušeného předmětu se mění lineárně s hlavním ziskem budiče, do stochastické simulace se mohou zavést stupně konzervativnosti zkoušení.

11.B.2.7 Odkazy a související dokumenty

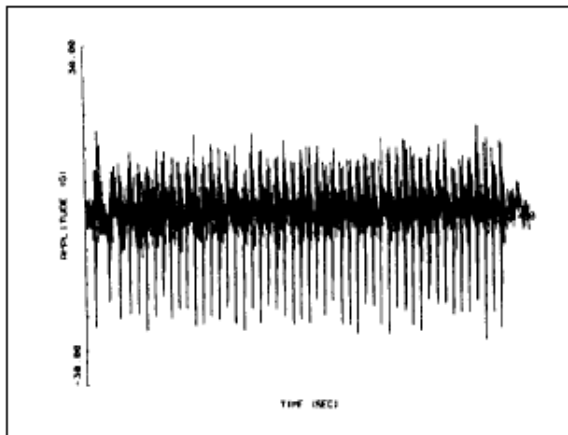
- a) Lanczos C.: Pojednání o Fourierových řadách (Discourse on Fourier Series), Hafner Publishing Company, New York, 1966.
- b) Bendat J. S., Piersol A. G.: Náhodná data: Postupy pro analýzy a měření (Random Data: Analysis and Measurement Procedures), 2. vydání, John Wiley & Sons Inc, New York, 1986.
- c) Merritt R. G.: Simulace souborů pro orientované nestacionární procesy (Simulation of Ensemble Oriented Nonstationary Processes), Část 2, Proceedings of 1994 IES 40th Annual Technical Meeting, Chicago, IL, květen 1994.
- d) Merritt R. G.: Příklad analýzy vzorkovaného nestacionárního časového průběhu (An Example of the Analysis of a Sample Nonstationary Time History), Proceedings of 1994 IES 40th Annual Technical Meeting, Chicago, IL, květen 1994.
- e) Smallwood D. O.: Charakterizace a simulace střelby s použitím časových momentů (Gunfire Characterization and Simulation Using Temporal Moments), Proceedings of the 65th Shock and Vibration Symposium, Volume 1, San Diego, California, listopad 1994.
- f) Smallwood D. O.: Charakterizace a simulace střelby s vlnkami (Characterization and Simulation of Gunfire With Wavelets), Proceedings of the 69th Shock and Vibration Symposium, Volume 1, Minneapolis, MN, říjen 1998.
- g) Merritt R. G.: Poznámka k předpovídání prostředí střelby s využitím impulzní metody (A Note on Prediction of Gunfire Environment Using the Pulse Method), Proceedings of 1999 IEST 45th Annual Technical Meeting, Ontario, California, květen 1999.

11.B.3 DOPORUČENÉ POSTUPY**11.B.3.1 Doporučené postupy**

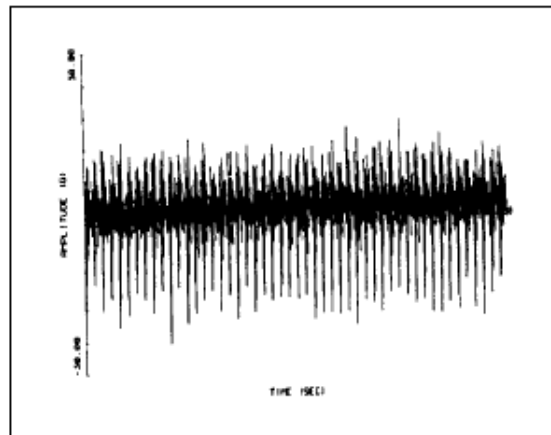
Pro měření jednoduché odezvy na poměrně přirozeně dynamickém materiálu se použije Postup II. Tento postup se má použít v případech, ve kterých statisticky správná laboratorní reprodukce prostředí odezev je naprosto nezbytná pro potvrzení provozní a konstrukční integrity materiálu v prostředí střelby.

11.B.3.2 Součinitele nejistoty

Jediná významná nejistota v tomto postupu vyplývá z míry, jakou se naměřené prostředí odlišuje od skutečného provozního prostředí. Obvykle není možné získat měřené prostředí z každých myslitelných provozních podmínek. Chyby v simulaci jsou nezávislé na proměnlivosti provozního prostředí.

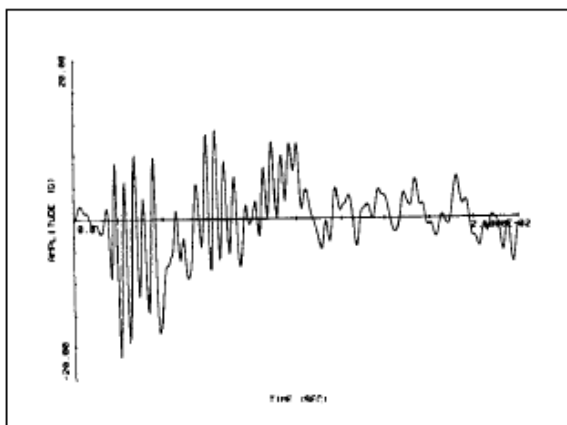


a) Měřené údaje

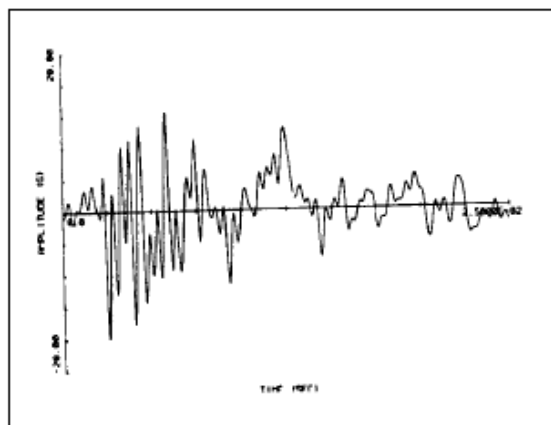


b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.1 – Příklad střelby salvy 50 ks 30 mm nábojů



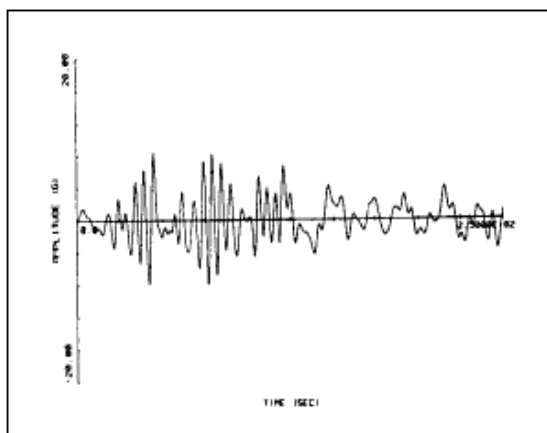
a) Měřené údaje



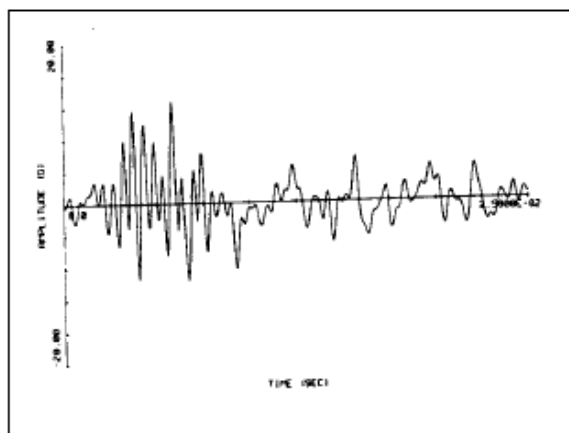
b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.2 – Příklad souboru časového průběhu impulzu (impulz 37)

Příloha 11B
(normativní)

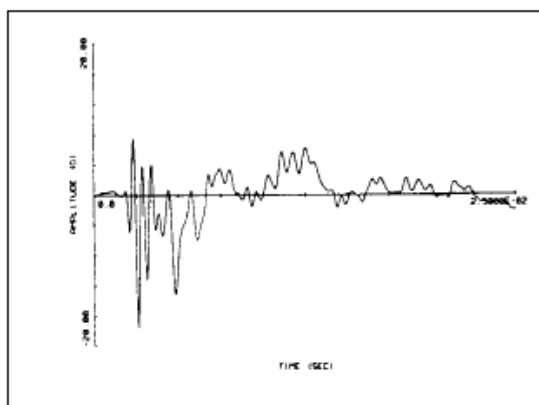


a) Měřené údaje

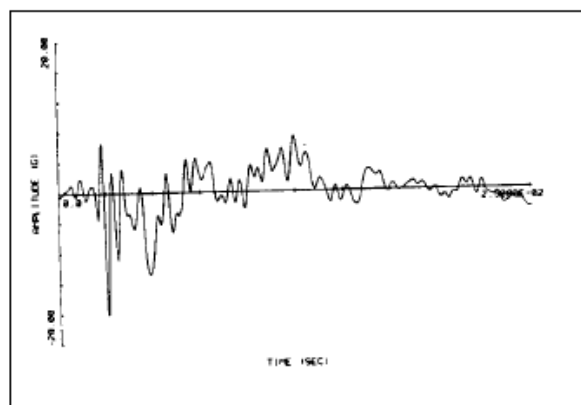


b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.3 – Soubor časového průběhu zbytkových impulzů (impulz 37)

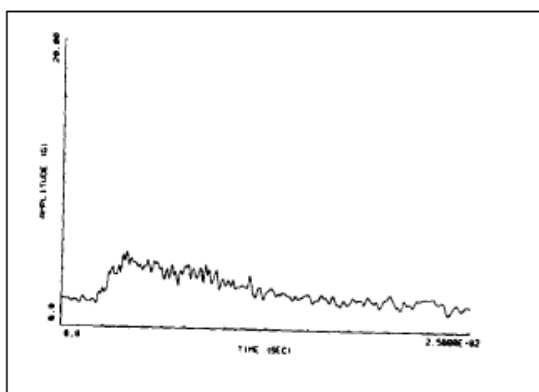


a) Měřené údaje

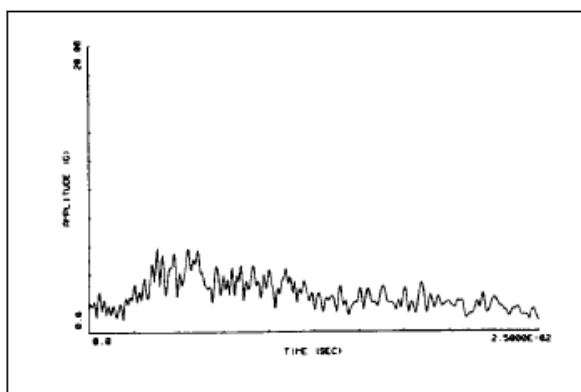


b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.4 – Soubor pro určení časově proměnné střední hodnoty

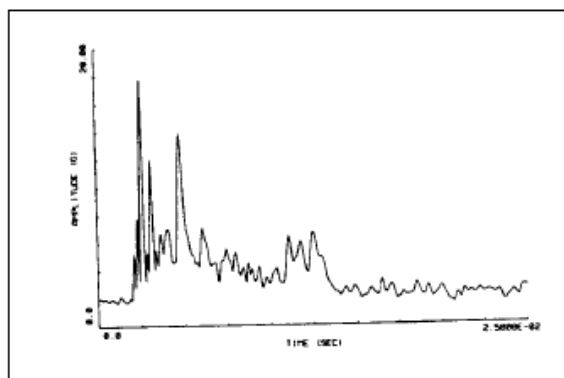


a) Měřené údaje

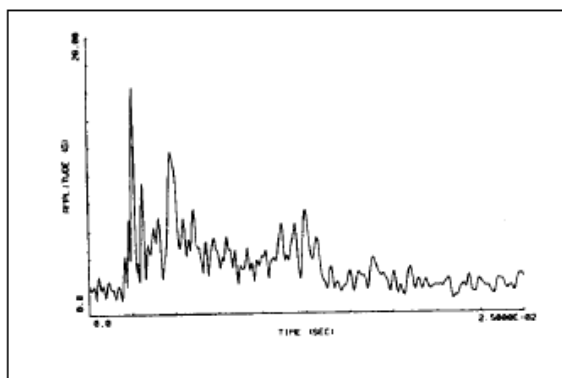


b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.5 – Soubor časově proměnné standardní odchylky

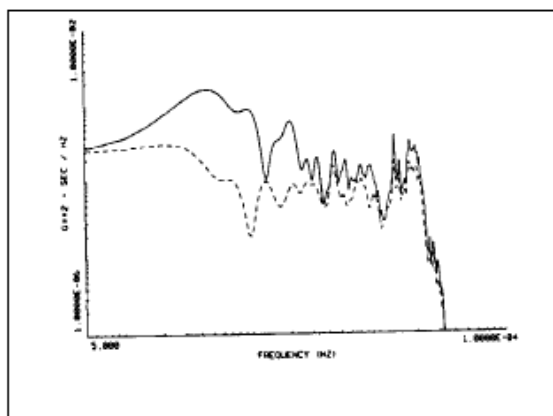


a) Měřené údaje

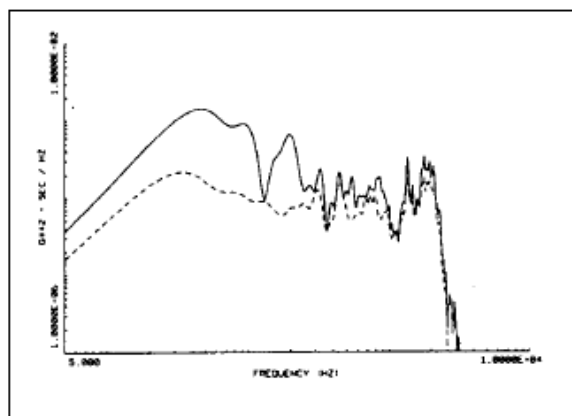


b) Simulované údaje

OBRÁZEK 11.B.6 – Soubor pro určení časově proměnné efektivní hodnoty

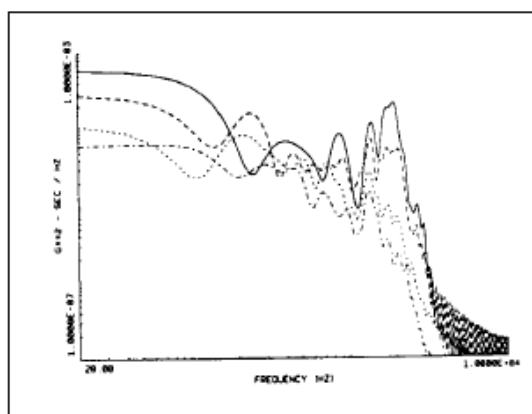


a) Soubor měřených údajů

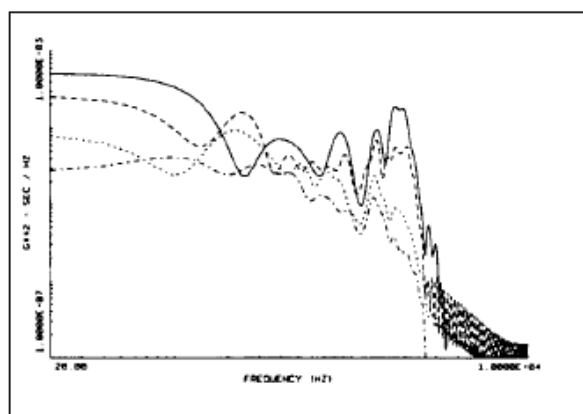


b) Soubor simulovaných údajů

OBRÁZEK 11.B.7 – Určení funkce spektrální hustoty energie



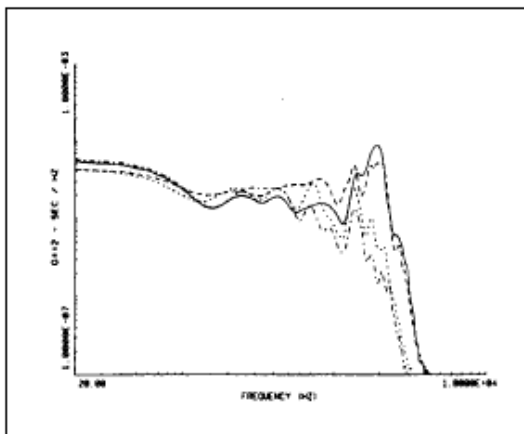
a) Soubor měřených údajů



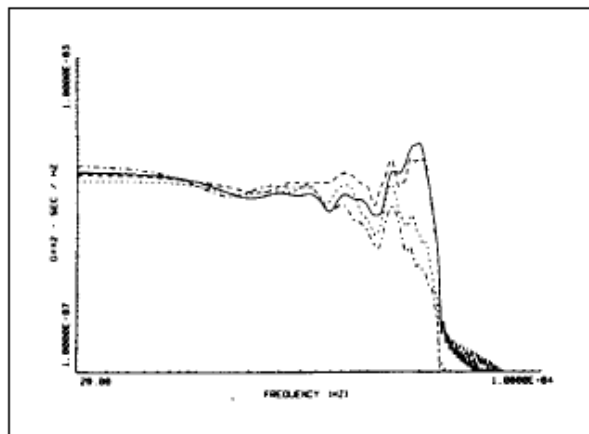
b) Soubor simulovaných údajů

OBRÁZEK 11.B.8 – Určení funkce krátkodobé spektrální hustoty energie

Příloha 11B
(normativní)

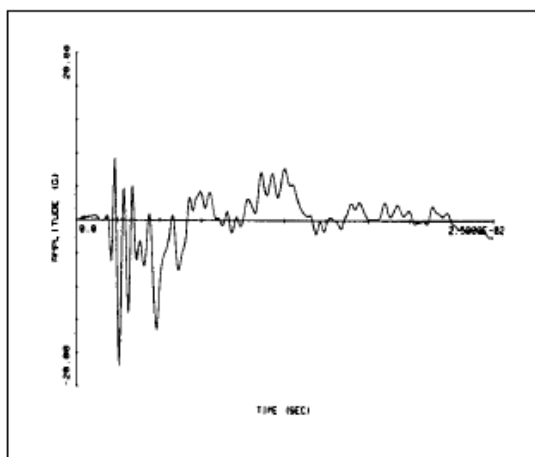


a) Měřený zbytkový soubor

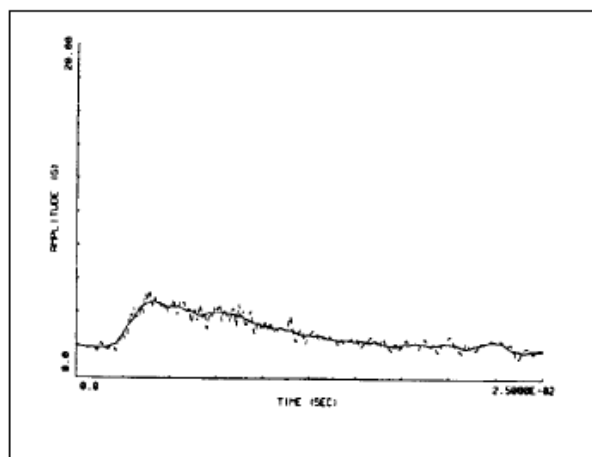


b) Soubor simulovaných údajů

OBRÁZEK 11.B.9 – Určení funkce krátkodobé spektrální hustoty energie

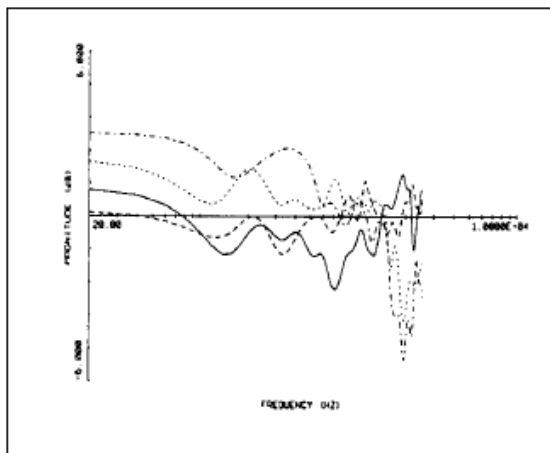


a) $a_1(t)$ – Deterministický signál

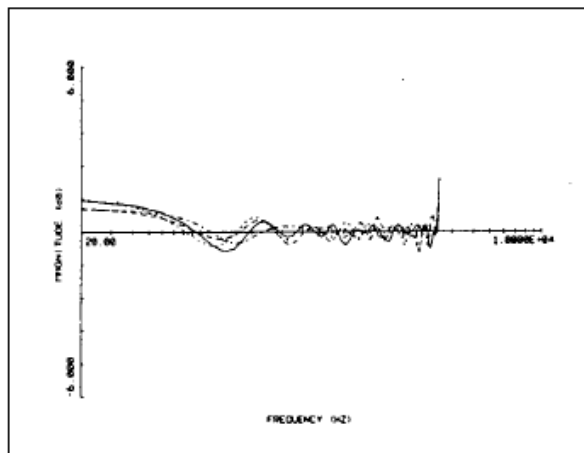


b) $a_2(t)$ – Odhad vyhlazeného zbytkového okna

OBRÁZEK 11.B.10 – Nestacionární model deterministických funkcí

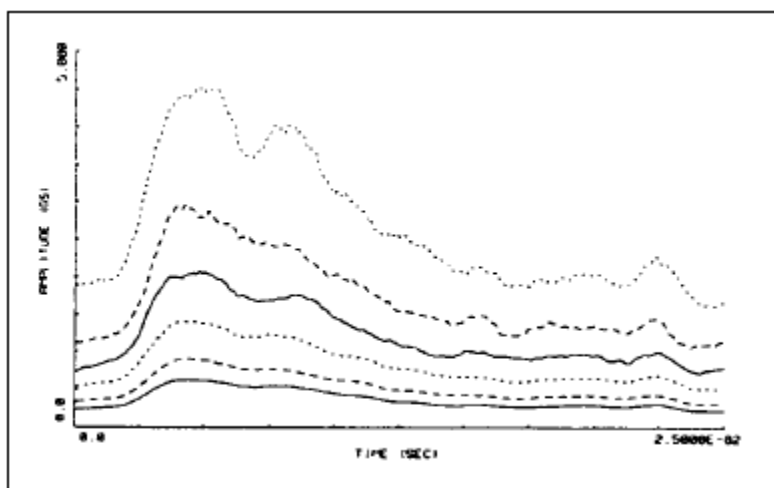


a) Před residuální filtrací



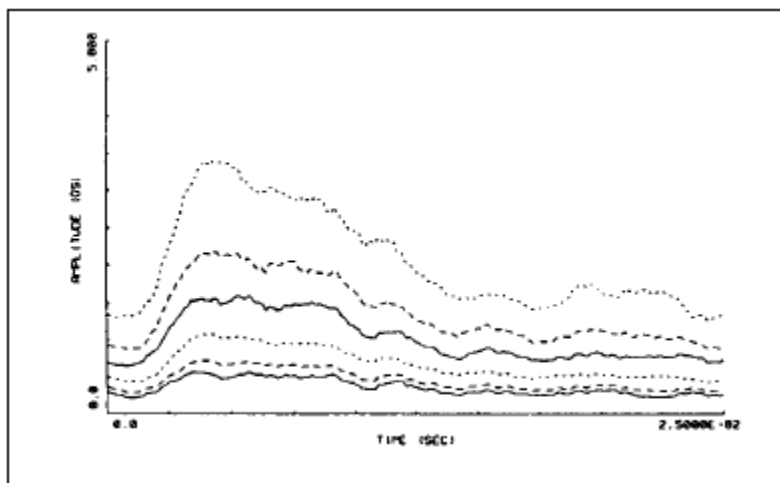
b) Po residuální filtraci

OBRÁZEK 11.B.11 – Segmentovaný poměr ESD

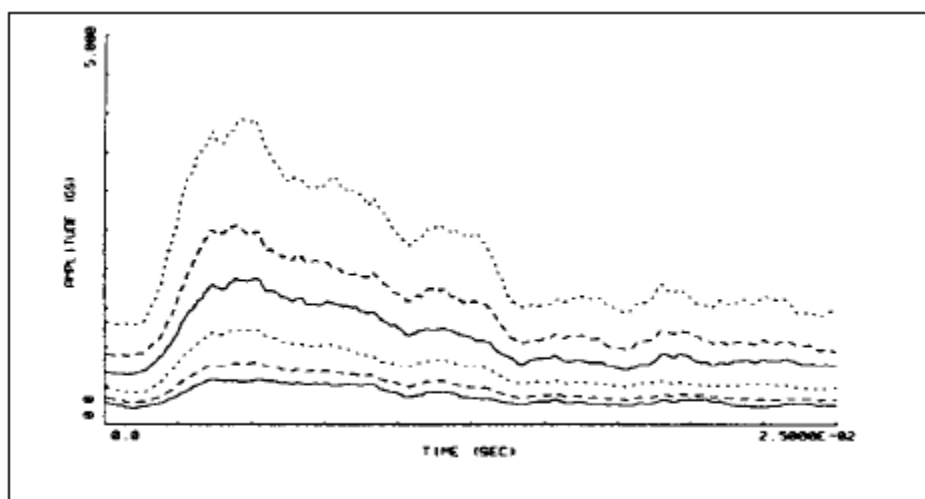


OBRÁZEK 11.B.12 – Vyhlazená simulace základní odchylky pro časově proměnnou střední hodnotu pro fiktivní soubor vzorků o velikosti 10, 25 a 50 a pro časové průběhy maximální a střední

Příloha 11B
(normativní)



OBRÁZEK 11.B.13 – Vyhlazená simulace základní odchyly pro časově proměnnou standardní odchytku pro fiktivní soubor vzorků o velikosti 10, 25 a 50 a pro časové průběhy maximální a střední



OBRÁZEK 11.B.14 – Vyhlazená simulace základní odchyly pro časově proměnnou efektivní hodnotu pro fiktivní soubor vzorků o velikosti 10, 25 a 50 a pro časové průběhy maximální a střední

POSTUP III – SPEKTRUM RÁZOVÉ ODEZVY OPAKOVANÉHO IMPULZU (SRS)

11.C.1 ROZSAH PLATNOSTI

11.C.1.1 Účel

Tato příloha poskytuje přehled metod laboratorní simulace prostředí střelby založené na formě „impulzní metody“.

11.C.1.2 Použití

Stochastická simulační metoda zde popsána pro jednoduchý neznámý časově proměnný náhodný proces, pro který je dostupná jednoduchá vzorkovací funkce. Vzorkovací funkce je typická pro jednoduché fyzikální uspořádání střelby, pro které není vymezena extrapolace na jiná uspořádání. Přínosy Postupu III jsou definovány dále. Následující odstavce poskytují přehled metodologie Postupu III a jeho omezení.

- a) postup je vhodný k realizaci na vibračním řídicím systému s kapacitou rázových spekter odezev (SRS);
- b) má mnoho znaků analogických s postupem tradiční SRS simulace rázů budiče založené na popisu odhadu SRS;
- c) je velmi pružný, co se týká délky statisticky ekvivalentních záznamů, které dokáže generovat pro laboratorní zkoušky, reprodukcující provozní měřené reakční prostředí;
- d) není omezen na jeden tvar impulzu;
- e) anuluje minimální počet znaků vyššího řádu z měřeného souboru odezev, přitom nepovažuje za nezbytné zachovávat reprodukci v provozu naměřených údajů o odezvě prostřednictvím laboratorního zkoušení simulace odezvy zkoušeného předmětu.

11.C.2 PRŮBĚH

11.C.2.1 Úvod

Metoda SRS předpokládá, že časový průběh měřené odezvy materiálu může být rozkládán do souboru jednotlivých impulzů. Hodnoty maximax SRS jsou vypočítány přes soubor impulzů s použitím různých součinitelů útlumu pro pomoc při charakterizaci kmitočtového obsahu jednotlivých impulzů. Střední hodnota SRS se také počítá přes soubor impulzů pro každý součinitel útlumu pro pozdější specifikaci impulzů odezvy materiálu. Při využití dat ze SRS je časový průběh zrychlení syntetizován použitím amplitudově modulovaných sinusových prvků, vlnek nebo tlumených sinusoid. Časový průběh odezvy na zrychlení založený na SRS se pak využívá jako charakteristický impulz odezvy materiálu na střelbu a vstup do zkoušeného předmětu v rychlosti střelby zbraně – viz čl. 11.C.2.8, odkazy b, c.

Výhody postupu

- a) využívá standardní laboratorní zkušební rázové zařízení;
- b) metoda kopíruje kmitočtové charakteristiky měřených údajů o odezvě materiálu;
- c) SRS může být snadno v dokumentech předepsáno a znovu vytvářeno na různých zkušebních zařízeních.

Příloha 11C

(normativní)

Nevýhody postupu

- a) charakter časového průběhu generovaný pomocí vlnek nebo tlumených sinusoid se nedá dobře řídit a nemusí svou formou odpovídat impulzům měřené odezvy materiálu;
- b) do simulace lze zavést pouze málo nebo žádné statistické variace;
- c) reprodukování řady impulzů v rychlosti střelby zbraně může být problémové pro vibrační řídicí systémy, které nejsou konstruované pro takový provozní režim.

Konkrétní příklad simulace odezvy materiálu na střelbu s využitím Postupu III je rozebrán dále. Tento postup je předveden s využitím digitálního systému řízení vibrací se schopností zkoušet SRS, viz čl. 11.C.2.8, odkazy b, c.

11.C.2.2 Uspořádání zkoušky

Zkoušený předmět vybavený přístroji se instaluje do laboratorních vibračních přípravků a připevní k armatuře elektrodynamického budiče. Zkoušený předmět používaný pro laboratorní simulaci má stejné uspořádání jako materiál používaný ke sběru měřených údajů o provozní odezvě. Pro účely měření akcelerační odezvy se dovnitř zkoušeného předmětu nainstaluje piezoelektrický snímač zrychlení.

11.C.2.3 Vytvoření digitálního souboru vibrační odezvy na střelbu

Prvním krokem v tomto simulačním procesu je digitalizace v provozu měřených údajů o odezvě materiálu pro získání časového průběhu zrychlení – viz obrázek 11.C.1. Digitální zpracování analogových dat se provádí při použití 2 kHz, 48 dB/oktáva vyhlazovacího filtru s dolní propustí. Digitální soubor obsahuje stejnosměrná data, nefiltrovaná horní propustí, s rychlostí snímání 20 480 vzorků za sekundu pro dobré výsledky vrcholového časového průběhu. Vyhlazovací filtr by měl mít lineární fázovou charakteristiku.

11.C.2.4 Výpočet spekter rázové odezvy

Pokud zkoumání jednotlivých měřených reakčních impulzů ukazuje podobný charakter impulzů, vybere se pro analýzu typický impulz. SRS je potom vypočítáno přes typický impulz při použití určené analýzy Q v hodnotách 10, 25, 50 a 100. Pro zvýšení statistické jistoty výsledků může být posloupnost impulzů soubor zprůměrovaný v čase. „Střední hodnota“ souboru se bere jako typický impulz a aplikuje se postup výše uvedený. SRS použité v postupu se také může brát jako střední hodnota SRS z neděleného impulzu jednotlivých SRS. Jestliže jsou impulzní charakteristiky velmi rozdílné, potom může být potřebné uskutečnit několik zkoušek závislých na posouzení zkušného analytika.

11.C.2.5 Odhad ekvivalentního půlperiodického obsahu typického impulzu odezvy materiálu při střelbě

Obrázek 11.C.2 ukazuje, že typický impulz odezvy materiálu při střelbě obsahuje sedm převládajících kmitočtů na přibližně 80, 280, 440, 600, 760, 1 360 a 1 800 Hz. 2Q půlvlny pro konstantní amplitudovou sinusovou vlnu zajišťují asi 95 % z maximální SRS amplitudy pro danou SRS Q hodnotu. Odhad ekvivalentního půlperiodického obsahu, který tvoří převládající kmitočty obsažené v měřené odezvě ze střelby, může být stanoven určením takového Q, při kterém vrcholové zrychlení pro konkrétní kmitočet SRS začíná klesat. Q o hodnotě 10 na obrázku 11.C.2 charakterizuje půlperiodický obsah 80 Hz složky. Půlperiodický obsah dalších

převládajících kmitočtů, kromě 1 800 Hz, je zobrazen pomocí Q o velikosti 25. Q o velikosti 50 kvantitativně určuje půlperiodický obsah složky 1 800 Hz.

11.C.2.6 SRS časově závislé generování pro představitele impulzu odezvy materiálu při střelbě

Po odhadu kmitočtového obsahu typického impulzu odezvy materiálu na střelbu, se SRS nestacionární časový průběh impulzu generuje použitím digitálního vibračního řídicího systému, prostřednictvím registrovaného algoritmu slučování vln. SRS impulz s nestálým časovým průběhem je složený z 1/12oktávových vlnek, s většinou z 1/12oktávových složek omezených na tři půlperiody, minimum povolené pro vibrační řídicí systém. Sedm převládajících kmitočtů je omezeno kvůli půlperiodickému obsahu buď 25 ms trváním impulzu odezvy na střelbu při 40 Hz rychlosti střelby nebo na půlperiodickou metodou odhadu vysvětlenou v článku 11.C.2.5. Q s hodnotou 10 je určeno pro složku 80 Hz, Q s hodnotou 25 pro složky (280, 440, 600, 760 a 1 360) Hz a Q s hodnotou 50 pro složku 1 800 Hz. Střední hodnota SRS se počítá přes soubor impulzů pro každý součinitel útlumu $Q = 10, 25, 50$ a 100, aby se charakterizovaly amplitudy SRS. Střední hodnota SRS, která se počítá s využitím analýzy Q s hodnotou 50, se pak vybírá k definování amplitudy SRS pro každou frekvenční složku impulzu simulované odezvy materiálu. Nulová časová prodleva je určena pro každou z 1/12oktávových vlnek. Tabulka 11.C.1 poskytuje definici vlnky pro vytvoření složeného přechodového impulzu a obrázek 11.C.3 zobrazuje SRS složený přechodový impulz z odezvy materiálu na střelbu, vytvořený z definice vlnky.

11.C.2.7 Simulace odezvy konstrukčních součástí při střelbě

Konečný krok v simulaci odezvy materiálu na střelbu je zopakování přechodové střelby ze SRS při rychlosti střelby 40 Hz. Vzhledem k omezením intenzity výstupních impulzů v použitém systému řízení vibrací se nemusí dosáhnout 40 Hz rychlosti střelby. Obrázek 11.C.4 je časový průběh zrychlení, který znázorňuje opakující se charakter SRS metody simulace střelby bez omezení intenzity výstupních impulzů vibračním regulátorem.

Obrázek 11.C.4 byl vytvořen se záměrem vysvětlit SRS přechodový impulz odezvy materiálu při rychlosti střelby zbraně pomocí digitálního rozšíření obrázku 11.C.3. Jestliže vibrační řídicí systém neumožňuje tak rychlé opakování, mohl by se na digitálně simulovanou a budičem kompenzovanou řadu impulzů odezvy materiálu použít postup řízení z přílohy 11A.

11.C.2.8 Odkazy a související dokumenty

- a) IES-RP-DTE012.1: Příručka pro získání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 1995.
- b) Merritt R. G., Hertz S. R.: Aspekty střelby, Část 1 Analýza (Aspects of Gunfire, Part 1. Analysis), NWC TM 6648 Part 1, říjen 1990, Naval Weapons Center, China Lake, CA 93555-6100.
- c) Merritt, R. G., Hertz S. R.: Aspekty střelby, Část 2 Simulace (Aspects of Gunfire, Part 2. Simulation), NWC TM 6648 Part 2, září 1990, Naval Weapons Center, China Lake, CA 93555-6100.

Příloha 11C

(normativní)

11.C.3 DOPORUČENÉ POSTUPY

11.C.3.1 Doporučené postupy

Pro jednobodová měření odezvy materiálu na poměrně jednoduchém dynamickém materiálu se použije Postup III. Tento postup se má použít v případech, kdy je laboratorní reprodukce prostředí odezvy nevyhnutelná pro potvrzení provozní a konstrukční integrity materiálu v prostředí střelby a jestliže zkušební zařízení není způsobilé pro použití Postupů I a II.

11.C.3.2 Součinitele nejistoty

Tento postup nezahrnuje žádnou statistickou nejistotu kromě jakékoli nejistoty v míře srovnání měřeného prostředí s provozním prostředím.

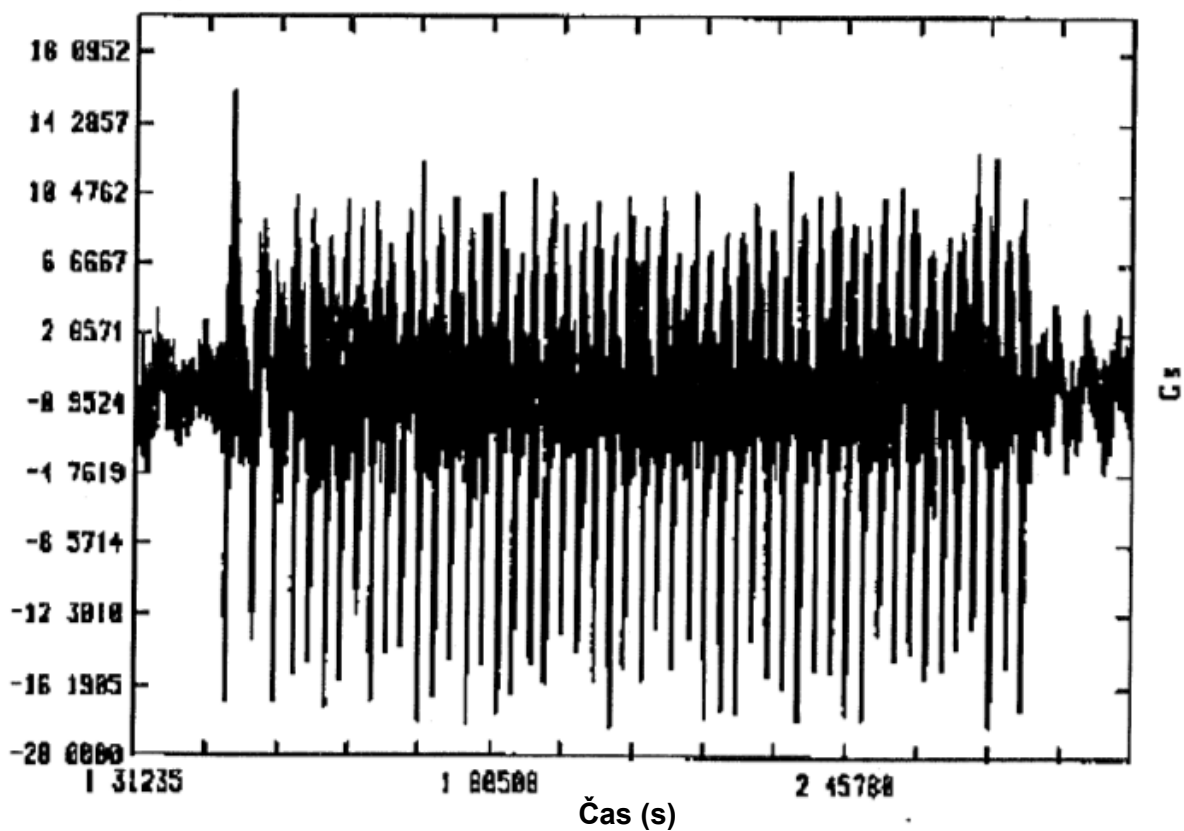
TABULKA 11.C.1 – Stanovení vlnky pro SRS impulz ze střelby

Kmitočet (Hz)	Amplituda zrychlení (g)	Půlperiody	Kmitočet (Hz)	Amplituda zrychlení (g)	Půlperiody
78,75	11,995	3	445,45	34,995	21
83,43	11,803	3	471,94	26,455	3
88,39	11,628	3	500,00	19,999	3
93,64	11,455	3	529,73	21,232	3
99,21	11,285	3	561,23	22,568	3
105,11	11,117	3	594,60	23,988	29
111,36	10,952	3	629,96	18,323	3
117,98	10,777	3	667,42	13,996	3
125,00	10,617	3	707,11	20,448	3
132,43	10,459	3	749,15	29,992	37
140,31	10,304	3	793,70	31,225	3
148,65	10,151	3	840,90	32,509	3
157,49	10,000	3	890,90	33,845	3
166,86	10,814	3	943,87	35,237	3
176,78	11,708	3	1 000,00	36,728	3
187,29	12,662	3	1 059,46	38,238	3
198,43	13,709	3	1 122,46	39,811	3
210,22	14,825	3	1 189,21	41,448	3
222,72	16,051	3	1 259,91	43,152	3
235,97	17,358	3	1 334,84	44,975	49
250,00	18,793	3	1 414,21	37,325	3
264,87	20,324	3	1 498,31	31,010	3
280,62	22,004	13	1 587,40	50,003	3
297,30	18,275	3	1 681,79	80,631	3
314,98	16,901	3	1 781,80	130,017	89
333,71	14,825	3	1 887,75	124,882	3
353,55	13,002	3	2 000,00	119,950	3
374,58	16,653	3			
396,85	21,330	3			
420,45	27,321	3			

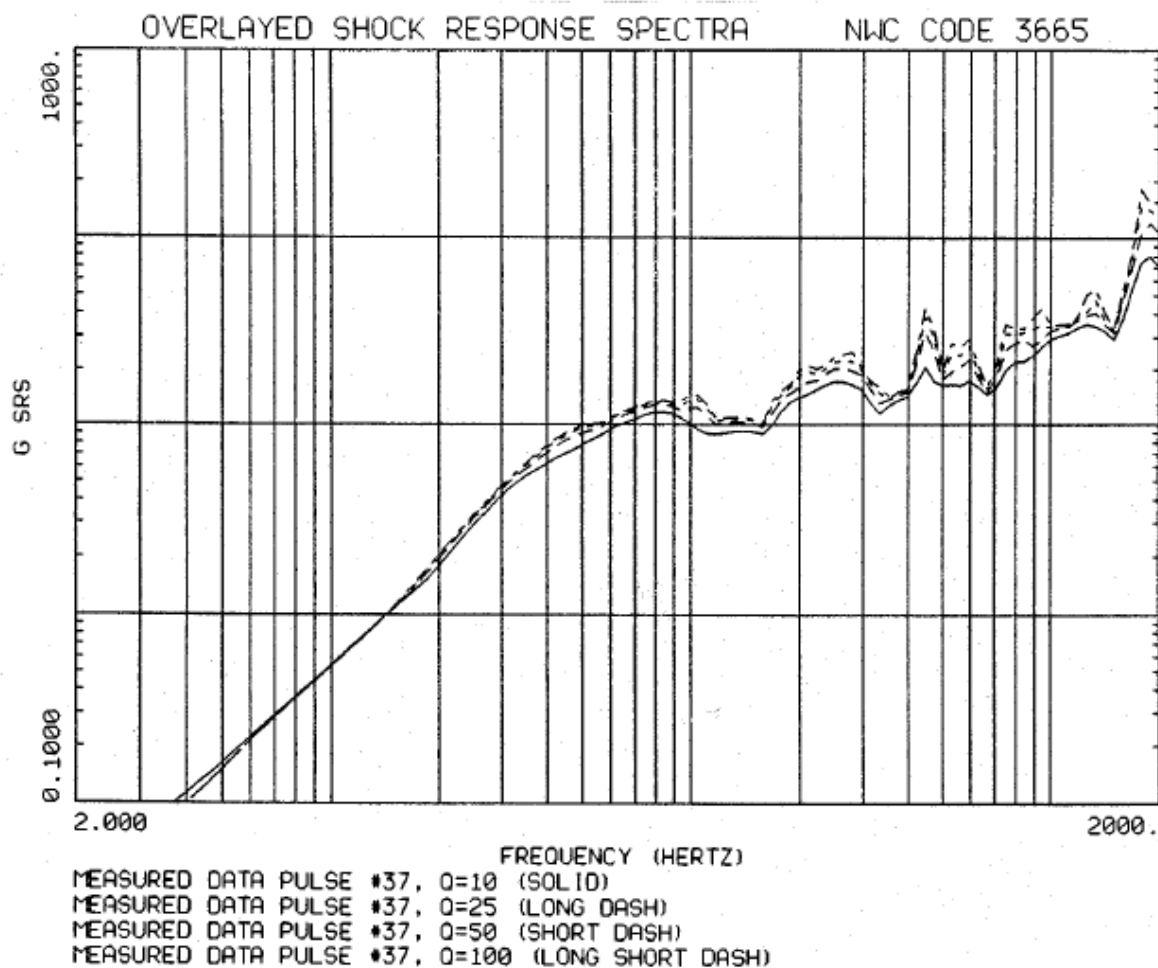
POZNÁMKA

Definice vlnky je založena na tvaru vlnky v registrovaném SRS softwaru, viz čl. 11.C.2.8, odkaz b.

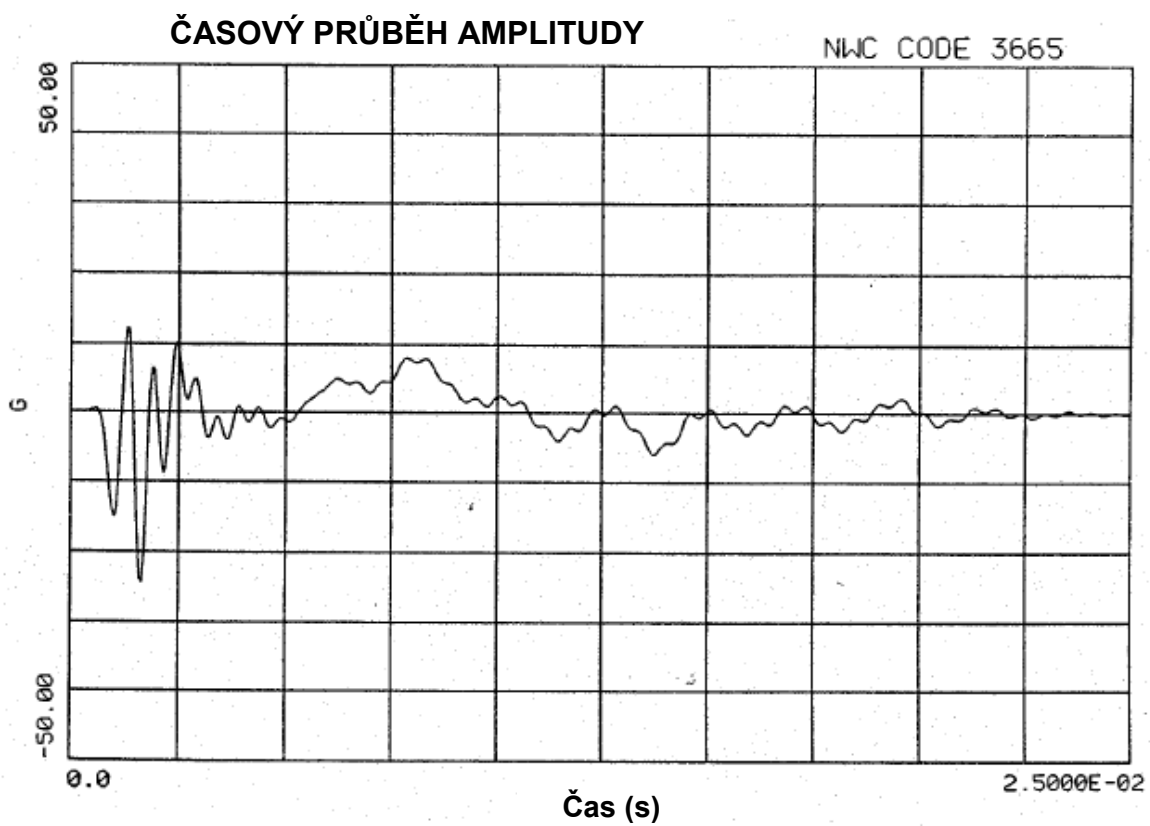
MĚŘENÁ ODEZVA PRVKŮ STŘELBY



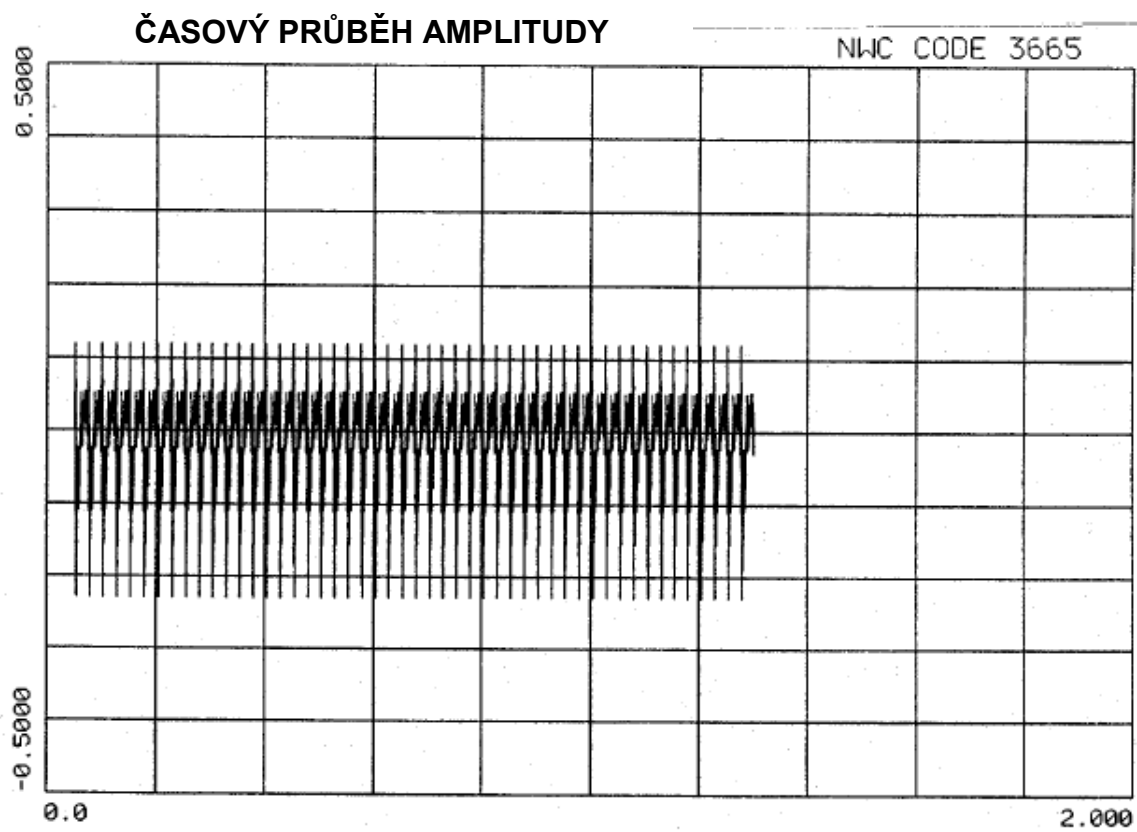
OBRÁZEK 11.C.1 – Digitalizované letové údaje



OBRÁZEK 11.C.2 – Srovnání typického impulzu střelby při použití Q = 10, 25, 50 a 100



OBRÁZEK 11.C.3 – SRS impulz střelby generovaný použitím digitálního regulátoru



OBRÁZEK 11.C.4 – Simulace střelby – impulz SRS

Příloha 11D
(normativní)

POSTUP IV – NÁHODNÁ VIBRACE VYSOKÉ ÚROVNĚ, SOR, NBROR A SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

11.D.1 ROZSAH PLATNOSTI

11.D.1.1 Účel

Tato příloha poskytuje alternativu užití předpokládaných vibračních dat střelby, když nejsou dostupná žádná měřená data, aby se zajistilo, že materiál namontovaný na letadle s palubními zbraněmi může odolat vibračním úrovním způsobeným:

- impulzními přetlaky emitovanými z hlavně zbraně narážející na nosnou konstrukci materiálu, a
- vibracemi nesenými konstrukcí.

Tato příloha také poskytuje alternativu užití náhodné vibrace vysoké úrovně, když spektrum měřených dat neprojevuje žádný význačný diskrétní harmonický obsah.

11.D.1.2 Použití

Tato příloha je použitelná pouze na střelbu z letadel a na materiál nainstalovaný na letadlech s palubními zbraněmi. Směrnice v této příloze se má používat, jen pokud nejsou k dispozici v provozu naměřené údaje o odezvě materiálu nebo nebudou k dispozici ani v raných etapách vývojového programu. Tato příloha není určena pro ospravedlnění použití sinusové na náhodné (SOR) nebo úzkopásmové náhodné na náhodné (NBROR) v případech, v nichž měřená data ukazují širokopásmová spektra spolu se složkami v diskrétních kmitočtech. Informace z této přílohy se doporučuje využívat pouze tehdy, je-li to zásadní pro konstrukci materiálu. Pokud je možnost včas získat výsledky měření odezvy materiálu namontovaného na provozní platformě, náročnost rozpracovanou s použitím informací z této přílohy se doporučuje nahradit náročností vypočítanou z odezvy materiálu zjištěné měřením v provozu a jedním z dalších postupů používaných pro zkoušení. Zejména pokud má provozní prostředí, v němž se měřila odezva materiálu, charakter širokopásmové náhodné vibrace vysoké úrovně bez vlastností, které by umožnily použití Postupu II nebo Postupu III, potom:

- aplikovat Postup I ve formě přechodových vibrací, nebo
- podrobit materiál určené úrovni širokopásmových vibrací vysoké úrovně, založených na odhadech ASD v provozu měřené odezvy materiálu, v časovém intervalu v souladu s předpoklady nízkocyklové únavy ve zrychleném zkoušení nebo jak je určeno ve Směrnici pro zkoušku – viz Metoda 401, Vibrace.

11.D.2 PRŮBĚH

11.D.2.1 Úvod

Tato příloha je v podstatě doplňkovou směrnicí založenou na čl. 11.D.2.5, odkaz a. „Impulzní metoda“ v čl. 11.D.2.5, odkaz a, která zde není obsažena, ale je pokryta čl. 11.D.2.5, odkaz b, který zajišťuje pochopení užití „Impulzní metody“ společně s předvídanými důvody. Článek 11.D.2.5, odkazy c, d poskytují informace vztahující se ke zdroji vibrací ze střelby pro letadla v čl. 11.D.2.5, odkaz a. Postup IV se odlišuje od tří ostatních postupů v tom, že je výsledkem prognostického postupu rozvinutého na základě analýzy poměrně malého souboru měřených dat o odezvě

materiálu na střelbu. Očekávané spektrum proto poskytuje odhady vibrační odezvy materiálu, které mohou být podstatně odlišné od vibrační odezvy konkrétního materiálu měřené v provozu. Pro konkrétní materiál a zbraň nebo pro určité uspořádání materiálu jsou úrovně odezvy materiálu na střelbu obecně náchylné ke značnému stupni nejistoty. Tato nejistota podstatně narůstá v takovém uspořádání střelby, kdy zbraň je blíže než jeden metr od materiálu a materiál je buzen tlakovou nárazovou vlnou.

11.D.2.2 Předpokládané spektrum vibrací při střelbě

Očekávaná spektra střelby se skládají ze širokopásmového spektra představujícího odhad ASD ze stacionární náhodné vibrace spolu se čtyřmi harmonicky spojenými sinusovými vlnami. Obrázek 11.D.1 uvádí zobecněné vibrační spektrum pro vibrace vyvolané střelbou, které vymezuje očekávanou odezvu materiálu na prostředí střelby. Spektrum charakterizují čtyři jednoduché kmitočty, harmonicky spojené, a sinusové vibrační vrcholy superponované na širokopásmovém spektru náhodných vibrací. Vibrační vrcholy jsou kmitočty, které odpovídají jmenovité rychlosti střelby zbraně a prvním třem harmonickým z rychlosti střelby. Typické hodnoty pro každý z těchto parametrů uvedené na obrázku 11.D.1 se mohou stanovit z tabulek 11.D.1, 11.D.2 a 11.D.3 a z obrázků 11.D.2 až 11.D.8. Navrhovaná zobecněná parametrická rovnice pro tři úrovně širokopásmových náhodných vibrací definující spektrum z obrázku 11.D.1 je uvedena v dB pro $g^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$, s odkazem na $1 g^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ takto:

$$10 \log_{10} T_j = 10 \log_{10}(Nf_1E) + H + M + W + J + B_j - 53 \text{ dB} \quad j = 1, 2, 3 \quad (11.D.1)$$

kde parametry jsou definovány v tabulce 11.D.1. Navrhovaná zobecněná parametrická rovnice pro čtyři úrovně jednoduchých kmitočtů, sinus vibrace definující spektrum na obrázku 11.D.1 je uvedena v dB pro $g^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$, s odkazem na $1 g^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ takto:

$$10 \log_{10} P_i = 10 \log_{10} T_3 + K_i + 17 \text{ dB} \quad i = 1, 2, 3 \quad (11.D.2)$$

kde parametry jsou definovány v tabulce 11.D.1.

Klíčové geometrické vztahy, používané ke stanovení očekávaných vibračních spekter, jsou následující čtyři geometrické činitele:

- Vektorová vzdálenost D . Vektorová vzdálenost od hlavně zbraně znamená vzdálenost mezi upevňovacími body materiálu, jak uvádí obrázek 11.D.2. Pro uspořádání obsahující více zbraní, počátek vektoru D se stanovuje od těžiště zbraňových hlavních, jak uvádí obrázek 11.D.3. Obrázky 11.D.7 a 11.D.8 poskytují pro spektra redukční koeficienty příslušející ke vzdálenosti D pro náhodná spektra a pro diskrétní frekvenční spektra (podle uvedeného pořadí).
- Vzdálenost odstupů zbraně h – kolmá na povrch letadla na obrázku 11.D.4.
- Hloubkový parametr R_s . Kolmá vzdálenost od pláště letadla k umístění materiálu uvnitř letadla. Jestliže R_s není známa, použije se $R_s = 76 \text{ mm}$; viz obrázek 11.D.2. Obrázek 11.D.6 poskytuje spektrální redukční koeficienty vztahující se k R_s .
- Ráže zbraně c , v mm nebo palcích.

Šířka pásma vibračních vrcholů, shodující se s okénkovým Fourierovým zpracováním, se doporučuje založit na údajích o odezvě materiálu, naměřených v provozu (jsou-li dostupná).

Příloha 11D

(normativní)

Pokud takové údaje nejsou dostupné, šířky pásem vibračních vrcholů se mohou vypočítat takto:

$$BW_{3dB} = \frac{\pi\sqrt{f}}{4}$$

pro

BW_{3dB} = šířka pásma na úrovni 3 dB, faktor 2, pod vrcholovou úrovní ASD;

f = základní kmitočet f_i nebo jedna z harmonických f_1, f_2, f_3 nebo f_4 .

V případech, kdy se rychlost střelby zbraně během programu vývoje mění, nebo kdy zbraň může střílet s rozmítanou rychlostí střelby, je vhodné:

- a) buď provést sinusové rozmítání v rámci navrhované šířky pásma pro základní a každou harmonickou;
- b) nebo aplikovat úrovně úzkopásmové náhodné vibrace, které zajistí, že šířka pásma rozmítaného kmitočtu nebude příliš velká.

Tento postup může nadhodnotit tyto kmitočty tam, kde se konstrukce upevnění nebo odezva materiálu stávají výrazně nelineární. Podobně pro ty případy, kdy konstrukce upevnění nebo rezonance materiálu se shodují s kmitočty v prostředí střelby, by vibrační odezva materiálu mohla být podhodnocena. Profesionál by měl jasně porozumět dostupným alternativám a vnitřním omezením softwaru vibračního řídicího systému.

11.D.2.3 Doba trvání zkoušky

Pro zkoušku vlivu střelby se použije pro každou ze tří os takovou dobu trvání, která se rovná celkové předpokládané době, po kterou bude materiál v provozu vystaven tomuto prostředí. Tato doba trvání se může konzervativně odhadnout vynásobením předpokládaného počtu úkolových letů s výskytem střelby maximální dobou střelby při každém letu. Počet letů s výskytem střelby bude spojený s plánovanou intenzitou výcviku a bojového nasazení letadla, ale obecně bude blízko k rozsahu 200 až 300 letů. Maximální doba střelby během jednoho letu se může stanovit z tabulky 11.D.2 vydělením celkového počtu nábojů v letadle rychlostí střelby. Jestliže má zbraň více než jednu rychlost střelby, provede se zkouška s použitím obou rychlostí, s dobou trvání zkoušky založenou u každé rychlosti střelby na očekávaném poměru doby v každé rychlosti střelby při provozním nasazení zbraně. Zbraně nesené na letadlech obecně střelí v krátkých dávkách trvajících několik sekund. Zkoušení vlivu prostředí střelby by mělo odrážet druh provozního použití v souladu se Směrnicí pro zkoušku. Například vibrace se doporučuje aplikovat po dobu dvou sekund s následným osmisekundovým časovým úsekem bez aplikace vibrací. Tento cyklus (dvě sekundy vibrací, osm sekund klid) se opakuje tak dlouho, dokud celková doba působení vibrací není rovna době stanovené pro tento typ letadla a jeho provozní nasazení. Toto cyklování zabrání výskytu nerealistických způsobů poruch, vznikajících jako důsledek přehřátí antivibračních vložek nebo náběhu odezvy materiálu do spojitě vibrace. Přerušované vibrace se mohou dosáhnout několika způsobů včetně:

- a) přerušování vstupního signálu budiče;
- b) využití strategie opakování průběhu tvaru vlny dle přílohy 11A pro přechodové vibrace.

11.D.2.4 Metody generování spektra

Odezva materiálu na střelbu je charakterizována širokopásmovou náhodnou vibrací se čtyřmi vibračními vrcholy, které se objevují v prvních třech harmonických a v základním kmitočtu rychlosti střelby palubních zbraní. Většina softwarových systémů pro řízení vibrací v balíčku obsahuje předpis pro provádění vibrační zkoušky střelby založené na této formě předpokládaného SOR spektra. Údaje těchto programových souborů jsou obvykle patentované, ale počítá se s tím, že profesionál jasně pochopí možnosti a omezení tohoto softwaru. Příležitostně bylo zjištěno, že dynamický rozsah vyžadovaný k vytvoření a řízení specifikovaného spektra střelby je mimo možnosti některých dostupných vibračních regulátorů. Způsobem řešení tohoto problému je vložit do vibračního regulátoru širokopásmové náhodné spektrum s výraznými vibračními vrcholy.

V těch kmitočtech, které mají silné vibrační vrcholy, se mohou sinusové vlny elektronicky přidávat do vstupu vibračního zesilovače. Zabezpečí se, aby amplituda těchto sinusových vln byla taková, že vibrační úroveň vytvářená na těchto kmitočtech bude trochu menší než požadovaná spektrální úroveň. Vibrační regulátor může být nastaven tak, aby se dosáhla potřebná zkušební úroveň. Je důležité poznamenat, že P_i je v jednotkách $g^2 \cdot Hz^{-1}$. Pozornost je třeba věnovat stanovení amplitudy sinusových vln v g nebo ekvivalentním vstupním napětí odpovídajícím úrovni g. Tento způsob reprodukování prostředí umožňuje, aby se zkouška vlivu střelby provedla v uzavřeném okruhu s běžně dostupným laboratorním zkušebním vybavením a řídicím softwarovým systémem.

11.D.2.5 Odkazy a související dokumenty

- a) Merritt, R. G.: Poznámky k předpovídání prostředí střelby s použitím impulzní metody (A Note on Prediction of Gunfire Environment Using the Pulse Method), IEST, 40th ATM, Ontario, CA, květen 1999.
- b) Sevy, R. W., Ruddell, E. E.: Nízké a vysoké kmitočty vibrací při střelbě z leteckých zbraní, předpověď a laboratorní simulace (Low and High Frequency Aircraft Gunfire Vibration and Prediction and Laboratory Simulation), AFFDL-TR-74-123, prosinec 1975, DTIC číslo AD-A023-619.
- c) Sevy, R. W., Clark J.: Vibrace při střelbě z letadel (Aircraft Gunfire Vibration), AFFDL-TR-70-131, listopad 1970, DTIC číslo AD-881-879.
- d) Smith, L. G.: Bližší určení vibrací zařízení instalovaných na turbopropových letounech (Vibration Qualification of Equipment Mounted in Turboprop Aircraft), Bulletin „Rázy a vibrace“, část 2, květen 1981.

11.D.3 DOPORUČENÉ POSTUPY

11.D.3.1 Doporučené postupy

V případě vibrací zařízení nainstalovaných na letadle bez dostupných měřených dat se použije Postup IV s metodikou předpovídání.

11.D.3.2 Součinitele nejistoty

Tento postup zahrnuje značnou nejistotu v obecných úrovních v důsledku citlivosti prostředí střelby na parametry zbraně a geometrické uspořádání. Může být vhodné zvýšit úroveň nebo doby trvání za účelem zvýšení stupně konzervativnosti zkoušení. Změny v úrovních, dobách trvání nebo obojího provedené v zájmu zvýšení konzervativnosti zkoušky musí být podpořeny logickými důvody a dokumentací

Příloha 11D

(normativní)

stanovující prostředí. Protože extrémní úrovně předpokládaných spekter nebudou nezbytně zajišťovat zkušební vstupy, které mají vztah s měřenými údaji pro shodnou geometrickou konfiguraci, nejistota v možném poškození podstatně narůstá s nárůstem úrovně předpokládaných spekter, tj. zkoušení tímto postupem může být poněkud nekonzervativní.

TABULKA 11.D.1 – Navržené obecně parametrické rovnice pro vibrace vyvolané střelbou

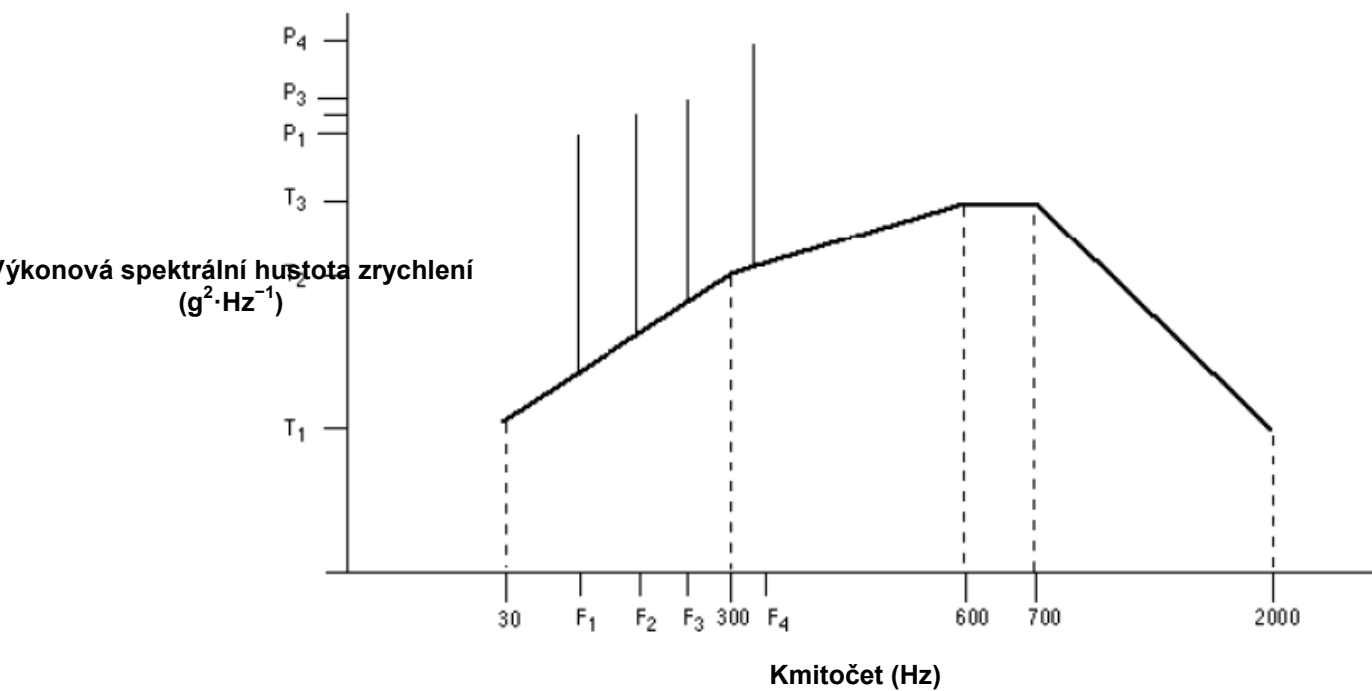
$10 \log_{10} T_j = 10 \log_{10}(Nf_1E) + H + M + W + J + B_j - 53\text{dB}$
$10 \log_{10} P_i = 10 \log_{10} T_3 + K_i + 17\text{dB}$
<p>pro</p> <p>N = maximální počet hustě rozmístěných zbraní střílejících současně. Pro zbraně, které jsou na hostitelském letadle rozptýlené, jako například na kořenech křídel a na zbraňových podvěsech, se stanovují pro každé umístění zbraně zvláštní vibrační zkušební spektra. Vibrační úrovně pro účely zkoušení se vybírají pro zbraň, která vytváří nejvyšší vibrační úrovně</p> <p>E = energie nárazové vlny zbraně (viz tabulka 11.D.3)</p> <p>H = vliv odstupové vzdálenosti zbraně h (viz obrázek 11.D.4)</p> <p>M = vliv umístění zbraně $M = 0$, pokud rovina kolmá na osu hlavně zbraně a umístěná v ústí zbraně neprotíná konstrukci letadla, pak $M = -6$ dB</p> <p>W = vliv hmotnosti zkoušeného předmětu (použije se obrázek 11.D.5). Jestliže je hmotnost materiálu neznámá, použije se $W = 4,5$ kg</p> <p>J = vliv umístění zařízení vzhledem k vnějšímu povrchu letadla (použijí se obrázky 11.D.2 a 11.D.6).</p> <p>B_j = vliv vektoru vzdálenosti od ústí zbraně k umístění materiálu (viz obrázek 11.D.7).</p> <p>f_i = rychlost střelby, kde f_1 = základní kmitočet z tabulky 11.D.2. ($f_2 = 2f_1, f_3 = 3f_1, f_4 = 4f_1$)</p> <p>$T_j$ = zkušební úroveň v $\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ pro $j = 1, 2, 3$</p> <p>P_i = zkušební úroveň pro kmitočet f_i v $\text{g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ pro $i = 1$ až 4</p> <p>K_i = vliv vektoru vzdálenosti na každý vibrační vrchol P_i (viz obrázek 11.D.8)</p>
<p>POZNÁMKY</p> <p>1 Tyto rovnice jsou v metrických jednotkách.</p> <p>2 Výsledné hodnoty dB se vztahují k $1 \text{ g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$.</p>

TABULKA 11.D.2 – Typické uspořádání zbraní spojené s kategoriemi letadel

Typ letadla	Zbraň (počet)	Umístění	Rychlost střelby		Počet nábojů
			ran·min ⁻¹	ran·s ⁻¹	
A-4	MK 12(2)	Kořen křídla	1 000	16,6	100/zbraň
A-7D	M61A1 (1)	Přídř, levá strana	4 000 a 6 000	66,6 a 100	1 020
A-10	GAU-8/A (1)	Přídř	2 100 a 4 200	35 a 70	1 175
A-37	GAU-2B/A(1)	Přídř	6 000	100	1 500
F-4	M61A1 (1)	Přídř	4 000 a 6 000	66,6 a 100	638
F-5E	M39 (2)	Přídř	3 000	50	300/zbraň
F-14	M61A1 (1)	Přídř, levá strana	4 000 a 6 000	66,6 a 100	676
F-15	M61A1 (1)	Kořen pra- vého křídla	4 000 a 6 000	66,6 a 100	940
F-16	M61A1 (1)	Kořen levého křídla	6 000	100	510
F-18	M61A1 (1)	Přídř, nahoře uprostřed	4 000 a 6 000	66,6 a 100	570
F-111	M61A1 (1)	Spodek trupu	5 000	83,3	2 084
MIRAGE	DEFA 554		1 200 a 1 800	20 a 30	
RAFALE	DEFA 791B		2 520	42	
GEPOD 30	GE430 (1) (GAU-8/A)	Podvěš	2 400	40	350
SUU-11/A	GAU-2B/A(1)	Podvěš	3 000 a 6 000	50 a 100	1 500
SUU-12/A	AN-M3(1)	Podvěš	1 200	19	750
SUU-16/A	M61A1 (1)	Podvěš	6 000	100	1 200
SUU-23/A	GAU-4/A (1)	Podvěš	6 000	100	1 200

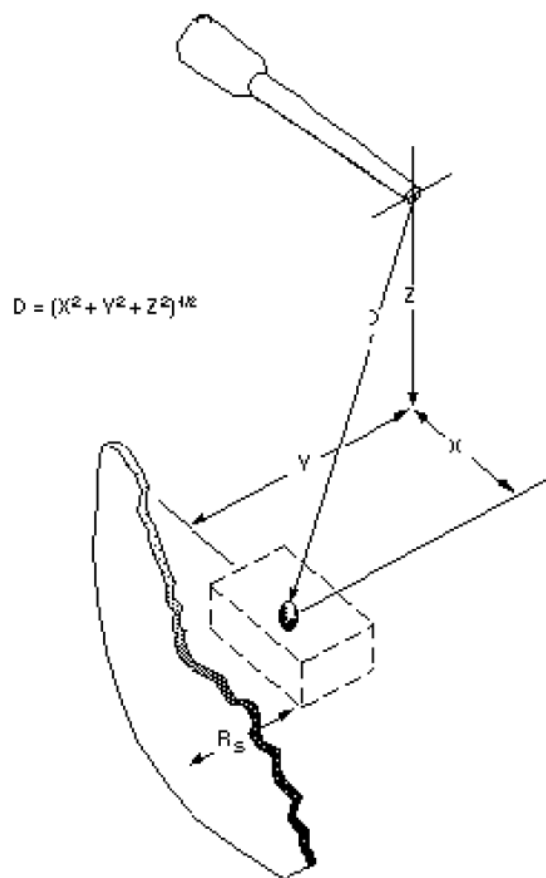
TABULKA 11.D.3 – Technická data zbraní

ZBRAŇ	RÁŽE ZBRANĚ (mm)	ENERGIE TLAKOVÉ VLNY <i>E</i> (Joule)
GAU-2B/A	7,62	6 700
GAU-4/A	20	74 600
GAU-8/A	30	307 500
AN-M3	12,7	26,000
M3	20	83,000
M24	20	80,500
M39	20	74,600
M61A1	20	74,600
MK11	20	86,500
MK12	20	86,500
DEFA 554	30	125,000
DEFA 791B	30	245,000

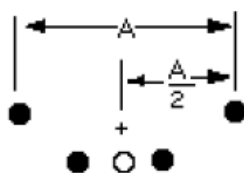
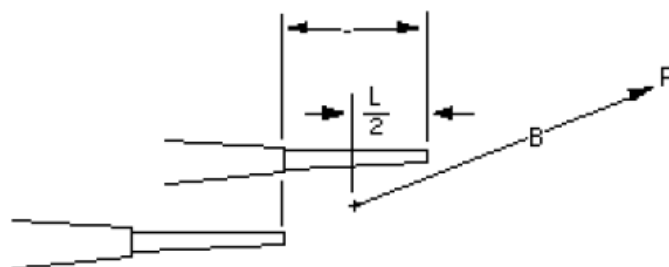


OBRÁZEK 11.D.1 – Zobecněný tvar vibračního spektra vyvolaného střelbou

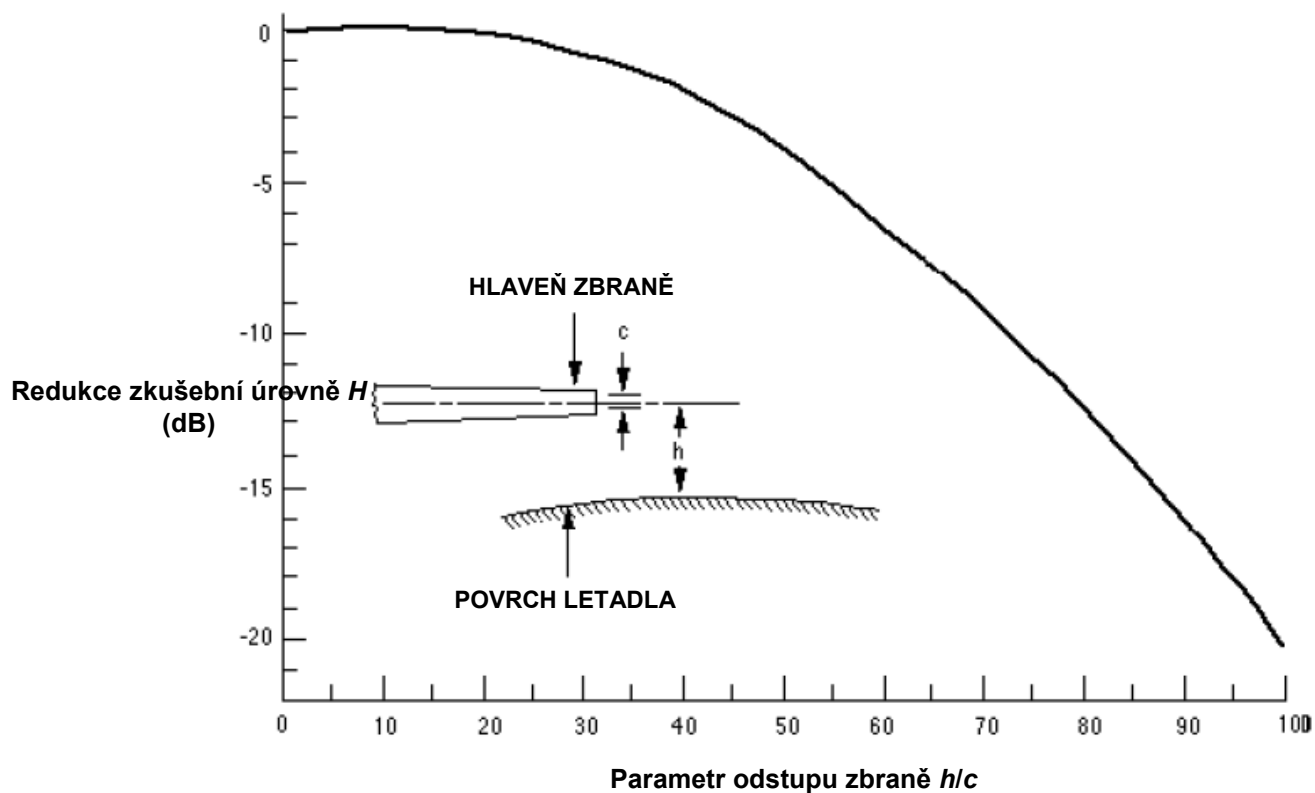
Příloha 11D
(normativní)



OBRÁZEK 11.D.2 – Parametr vzdálenosti (D) a parametr hloubky (R_s)

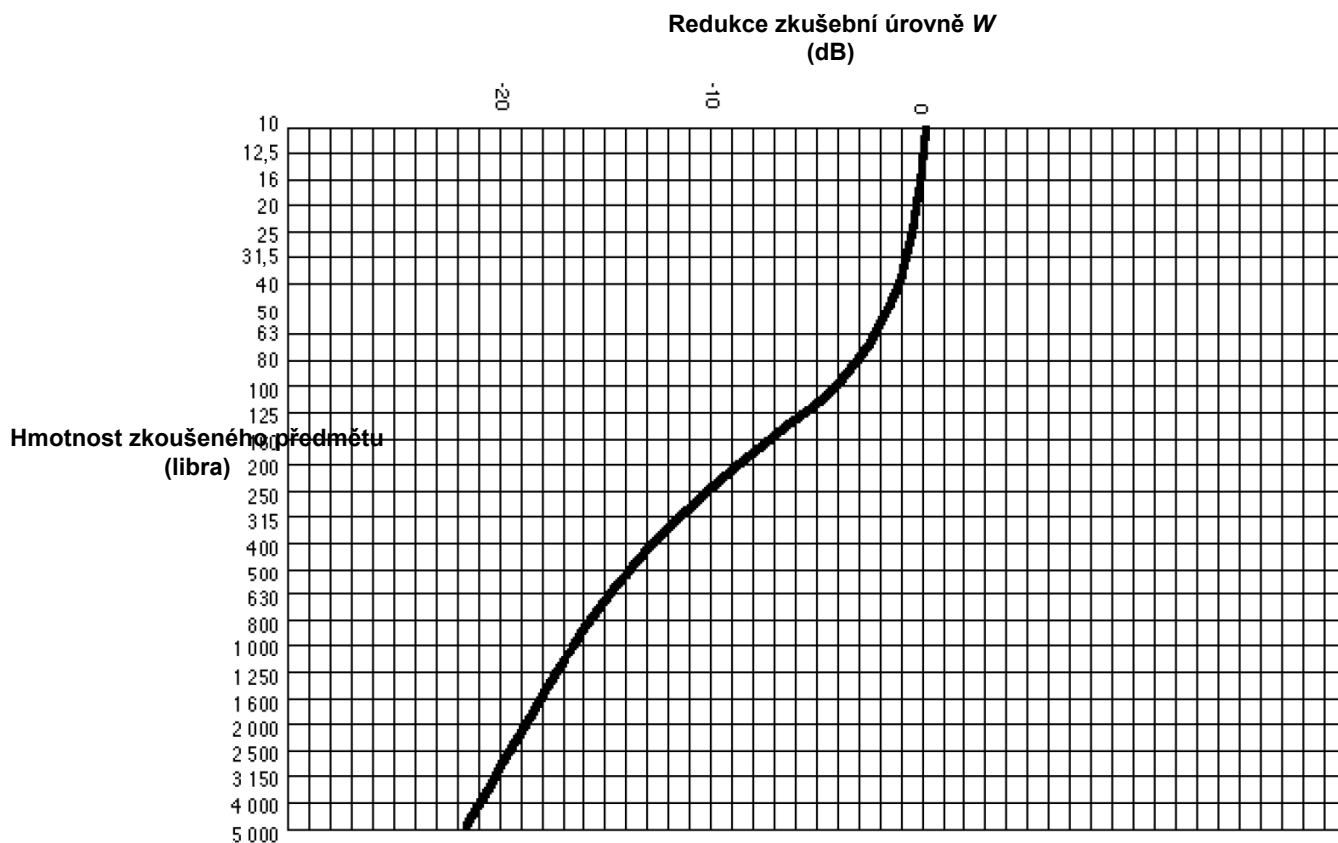


OBRÁZEK 11.D.3 – Skupina úzce seskupených zbraní

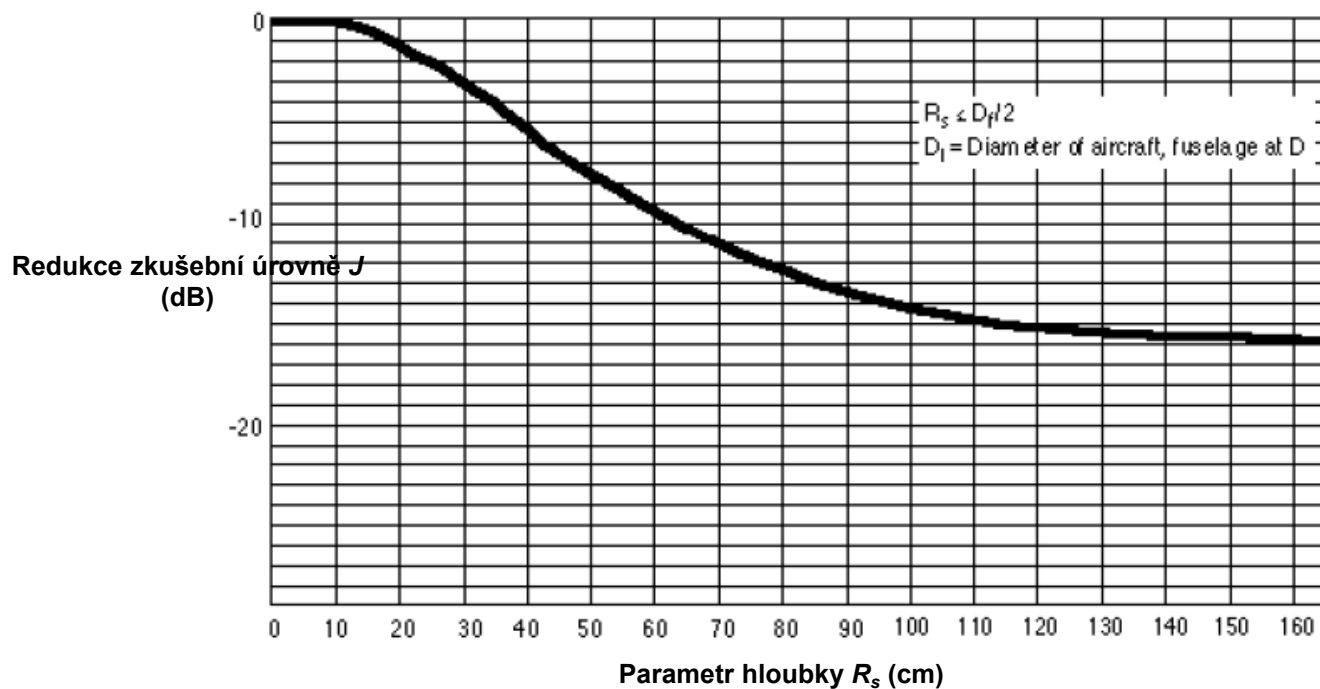


OBRÁZEK 11.D.4 – Redukování zkušební úrovně způsobené parametrem odstupu zbraně

Příloha 11D
(normativní)

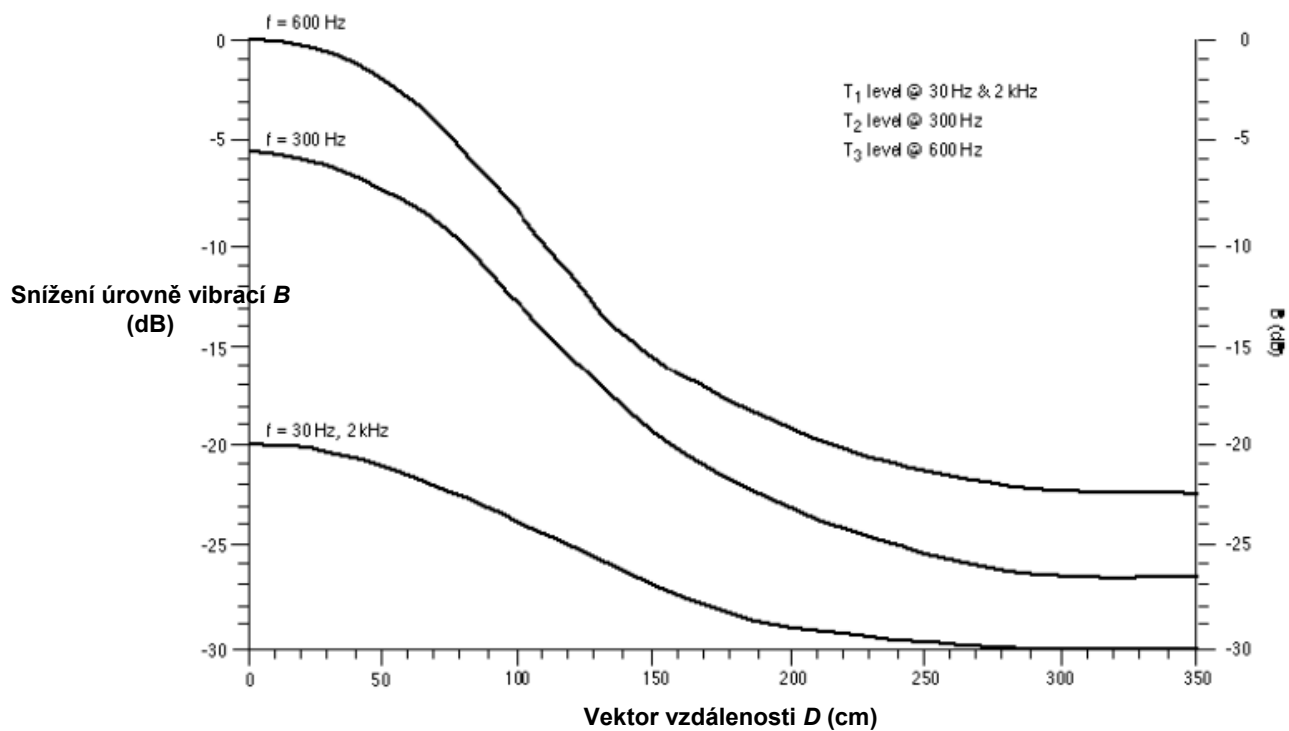


OBRÁZEK 11.D.5 – Redukování zkušební úrovně způsobené zatížením hmotností materiálu

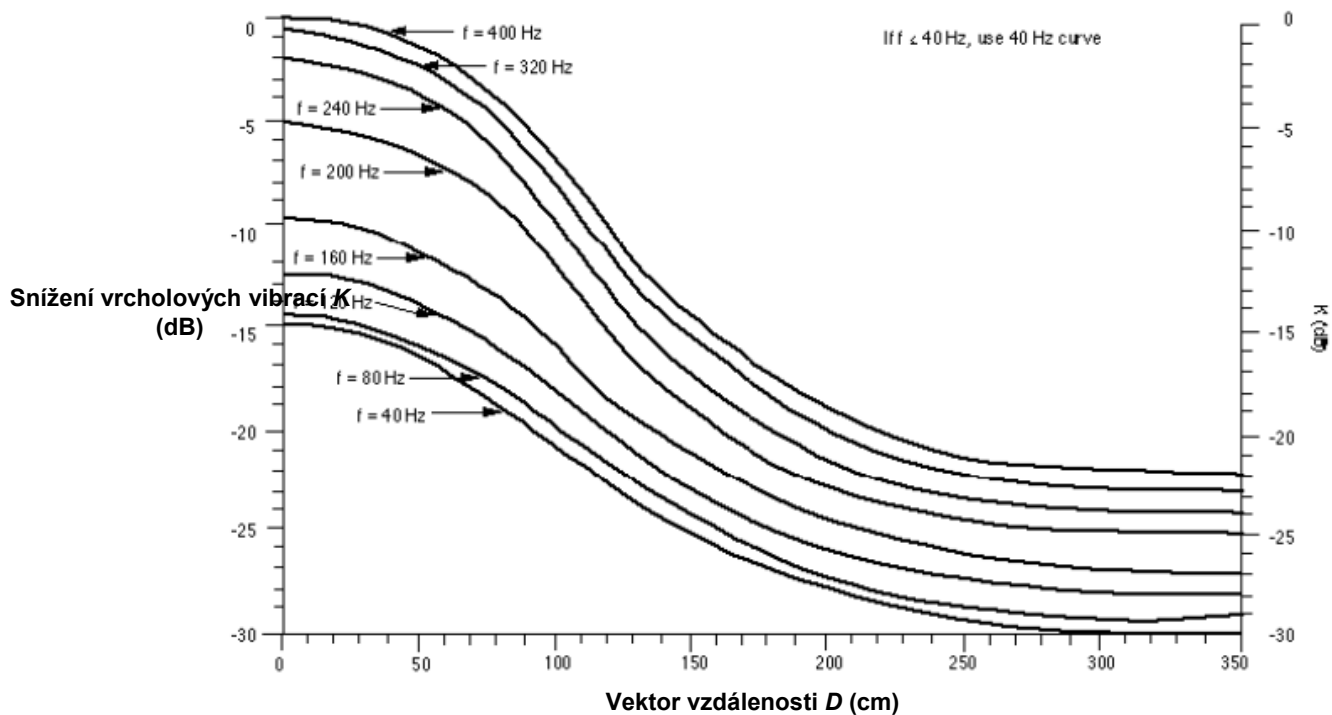


OBRÁZEK 11.D.6 – Redukování zkušební úrovně způsobené parametrem hloubky

Příloha 11D
(normativní)



OBRÁZEK 11.D.7 – Snížení vibrační úrovně s vektorem vzdálenosti od ústí hlavně zbraně



OBRÁZEK 11.D.8 – Redukování vibračních vrcholů střelby se vzdáleností

12 METODA 406 – VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD

OBSAH

12.1	ROZSAH PLATNOSTI	329
12.1.1	Účel	329
12.1.2	Použití	329
12.1.3	Omezení	329
12.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	329
12.2.1	Vlivy prostředí	329
12.2.2	Využití naměřených údajů	329
12.2.3	Posloupnost	329
12.2.4	Výběr zkušebního postupu	329
12.2.5	Provoz materiálu	330
12.3	NÁROČNOSTI	330
12.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	330
12.4.1	Povinné	330
12.4.2	Jsou-li požadované	330
12.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	330
12.5.1	Tolerance	330
12.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	330
12.5.3	Příprava zkoušky	331
12.5.4	Výchozí a konečná ověření	331
12.5.5	Postupy	331
12.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	331
12.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	332

Přílohy

Příloha 12A	VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	334
Příloha 12B	TECHNICKÝ NÁVOD – POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ	335
Příloha 12C	ODVOZENÍ ROVNIC PRO VÝPOČET ZKUŠEBNÍHO PROSTORU	338

12.1 ROZSAH PLATNOSTI

12.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat rázové účinky prostředí přepravy vznikající v systémech, subsystémech, součástech a celcích – dále nazývaných „materiál“, během přepravy jako volného nákladu na vozidlech. Tato metoda především vyhovuje kolizím neupoutaného materiálu s podlahou a bočnicemi nákladního ložného prostoru a s ostatním nákladem.

12.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat prostředí volného nákladu bez nepřijatelné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik. AECTP-100 a 200 poskytují další směrnice pro výběr zkušebního postupu pro popisované vibrační a rázové prostředí při přepravě.

12.1.3 Omezení

Tato metoda se netýká vibrací vyvolaných přepravou zajištěného nákladu nebo přepravou instalovaného materiálu ani jednotlivých rázů nebo kolizí způsobených během manipulace nebo havárií.

12.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

12.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, pokud je materiál vystaven prostředí vznikajícímu při přepravě volného nákladu.

- a) únava materiálu, tvorba trhlin a prasklin;
- b) deformace, zejména dopředu vyčnívajících částí;
- c) uvolňování spojů a uzávěrů;
- d) posunutí součástek;
- e) odírání ploch.

12.2.2 Využití naměřených údajů

Měřené údaje a provozní data by se měly získat pro přizpůsobení doby trvání zkoušky volného nákladu založené na informacích z LCEP. Tabulkové parametry pro amplitudové řízení zkoušky volného nákladu jsou obecné a nejsou přizpůsobeny konkrétnímu vozidlu nebo přepravní platformě.

12.2.3 Posloupnost

V jakékoli posloupnosti zkoušení se zkouška volného nákladu plánuje tak, aby co nejvěrněji odpovídala profilům projektovaného provozního použití. Avšak pokud se má za to, že tato zkouška by pravděpodobně vytvářela kritické poruchy materiálu, její místo v posloupnosti se doporučuje změnit.

12.2.4 Výběr zkušebního postupu

Výběr zkušebních postupů je určován uspořádáním zkoušeného předmětu.

Nabízí se dva postupy. Tyto dva modely se navzájem liší pouze v instalaci zkoušeného předmětu. Otáčivý synchronní pohyb se má použít u obou druhů zkoušek.

Tyto dva druhy zkoušek jsou:

Postup I: Zařízení vhodná ke klouzání (např. předměty s pravoúhlým průřezem).

Postup II: Zařízení vhodná k valení (např. předměty s kruhovým průřezem).

12.2.5 Provoz materiálu

Pokud Směrnice pro zkoušku nestanoví jinak, materiál není během zkoušení v provozu.

12.3 NÁROČNOSTI

Zkušební úrovně jsou výsledkem rychlosti otáčení plošiny pro zkoušení balení ve zkušebním zařízení a mohou záviset na jednotlivých přístrojích a uspořádání zkoušeného předmětu. Doba zkoušení se stanoví s využitím profilů projektovaného provozního použití. Náročnosti zkoušení jsou uvedeny v příloze 12A.

12.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

12.4.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) orientace zkoušeného předmětu vzhledem k ose otáčení zkušební plošiny;
- d) provozní ověření: výchozí, konečné;
- e) údaje požadované k provedení zkoušky;
- f) monitorovací body na zkoušeném předmětu (pokud jsou);
- g) podmínky a doba předběžného kondicionování (pokud se požaduje);
- h) stanovení náročnosti zkoušení včetně doby trvání zkoušky;
- i) stanovení kritérií poruch;
- j) uspořádání ohrady u zařízení na zkoušení balení.

12.4.2 Jsou-li požadované

Tolerance, pokud se liší od tolerancí uvedených v článku 12.5.1.

12.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

12.5.1 Tolerance

Tolerance rychlosti otáčení je ± 2 otáčky za minutu.

12.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Postup I: Za použití vhodných upevňovacích přípravků popsanych v příloze 12B se zkoušený předmět umístí na ocelovou zkušební stolicí pro zkoušení balení (viz příloha 12B). Dřevěné nárazové stěny a bočnice se musí umístit tak, aby umožnily nárazení pouze na jednu stranu ohrazení (bez odrážení) a zabránily otáčení zkoušeného předmětu až o 90 stupňů kolem svislé osy. Při zkoušení několika předmětů se tyto nesmí oddělovat pomocí postranních desek. Zkoušený předmět se umístí do své nejpravděpodobnější přepravní orientace. Pokud nelze takovou orientaci stanovit, uloží se zkoušený předmět na stolicí s nejdelší osou zkoušeného předmětu rovnoběžně s podélnou osou stolice.

Postup II: Za použití vhodných upevňovacích přípravků popsaných v příloze 12B se zkoušený předmět umístí na ocelovou zkušební stolicí pro zkoušení balení (viz příloha 12B). Dřevěné nárazové stěny a bočnice se musí umístit tak, aby vytvořily pravouhlý zkušební prostor (viz vzorec pro výpočet rozměrů prostoru v příloze 12B). Zkoušený předmět se umístit na zkušební stolicí nahodilým způsobem. Protože část poškození, které se vyskytnou při zkoušení těchto předmětů, vzniká následkem vzájemného narážení zkoušených předmětů, doporučuje se, aby počet zkoušených předmětů byl větší než tři.

12.5.3 Příprava zkoušky

Zkouška se nesmí zahájit na ocelové stolici, která je silně poškozena nebo prodřená.

Pokud není určeno jinak, doporučuje se v rámci předběžného kondicionování zkoušený předmět stabilizovat na jeho výchozí podmínky stanovené Směrnicí pro zkoušku.

12.5.4 Výchozí a konečná ověření

Tato ověření zahrnují kontroly a prohlídky stanovené Směrnicí pro zkoušku.

12.5.5 Postupy

12.5.5.1 Postup I

Krok 1 Provést předběžné kondicionování v souladu s článkem 12.5.3.

Krok 2 Provést výchozí ověření v souladu s článkem 12.5.4.

Krok 3 Umístit zkoušený předmět na zkušební stolicí pro zkoušení balení, jak je stanoveno v článku 12.5.2.

Krok 4 Provozovat stolicí po dobu stanovenou ve Směrnicí pro zkoušky. Po uplynutí poloviny určené doby zkoušení se zkouška musí zastavit, zkoušený předmět se musí otočit o 90 stupňů kolem zkušební svislé osy (s využitím stejných zkušebních zábran, popsaných výše), a zkouška pokračuje.

Krok 5 Provést závěrečná ověření podle článku 12.5.4.

Krok 6 Vždy zaznamenat požadované informace.

12.5.5.2 Postup II

Krok 1 Provést předběžné kondicionování v souladu s článkem 12.5.3.

Krok 2 Provést výchozí ověření v souladu s článkem 12.5.4.

Krok 3 Umístit zkoušený předmět na stolicí zařízení pro zkoušení balení, jak je stanoveno v článku 12.5.2.

Krok 4 Provozovat stolicí po dobu stanovenou ve Směrnicí pro zkoušky. Po uplynutí poloviny z celkové určené doby zkoušení se zkouška musí zastavit, zkoušené předměty se musí ještě jednou umístit náhodným způsobem a zkouška pokračuje.

Krok 5 Provést závěrečná ověření podle článku 12.5.4.

Krok 6 Vždy zaznamenat požadované informace.

12.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku v průběhu i po ukončení zkoušky volného nákladu.

12.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) Connon, W. H.: Vibrační tabulky pro volný náklad na pozemních vozidlech (Ground Vehicle Loose Cargo Vibration Schedules), Zpráva USACSTA-6277, AD Number B114819, leden 1987.
- b) Charles, D., Neale, M.: Alternativy zkoušení volného nákladu (Loose Cargo Test Options), 65. symposium „Rázy a vibrace“ (65th Shock and Vibration Symposium Proceedings), SAVIAC, díl I, strana 233, 1994.
- c) White, G. O.: Charakterizace zařízení pro zkoušení balení TECOM (TECOM Package Tester Characterization), US Army Aberdeen Test Center, Report ATC-7883, AD Number B217688, září 1996.

PŘÍLOHY

Příloha 12A
(normativní)

VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se má používat jen tehdy, jestliže nejsou v počátečních etapách programu k dispozici naměřená data a informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat data naměřená na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí ze specifických platform a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

Náročnost obsažená v této příloze je založena na údajích naměřených na předmětech náchylných ke klouzání i na předmětech náchylných k valení a je vhodná jak pro Postup I, tak pro Postup II. Tato náročnost představuje přepravu volného nákladu na vzdálenost 240 km na taktických kolových vozidlech po nerovném terénu.

- Rychlost otáčení zkušební stolice, otáčivý synchronní pohyb: (300 ± 2) otáček za minutu.
- Doba trvání zkoušky: 20 minut.

Pro účely schvalovacích zkoušek bezpečnosti munice musí být zkoušený předmět zkoušen v horizontální a/nebo vertikální orientaci (je-li to vhodné). Pro postupný zkušební program musí být zkoušený předmět při zkoušce orientován vodorovně po dobu 10 minut a následně po dobu 10 minut svisle. Pro zkušební program jiný než postupný, se musí polovina zkoušených vzorků zkoušet ve vodorovné orientaci po dobu 20 minut a druhá polovina se musí zkoušet ve svislé orientaci.

TECHNICKÝ NÁVOD – POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Simulace tohoto prostředí vyžaduje použití zařízení pro zkoušení balení nebo rovnocenného hydraulického zkušebního zařízení, které uděluje zkušební stolici rotační pohyb s hodnotou vrchol-vrchol 25,4 mm (1 palec) při kmitočtu 5 Hz. Tento pohyb se uskutečňuje ve svislé rovině. Termín „hromadné zkoušené předměty“ se týká totožných zkoušených předmětů, a ne směsice nesouvisejících předmětů.

- (1) Typické zkušební zařízení je zobrazeno na obrázku 12.B.1. Toto zařízení je běžně zmiňováno jako zařízení pro zkoušení balení. Požadované upevňování je takové, jak je zobrazeno a nezajišťuje předmět ke zkušební stolici zkušebního zařízení. Bariéra proti svislému nárazu není určena jako dorazová plocha, ale má zabránit zkoušenému předmětu opustit zkušební zařízení. Vzdálenost k této zadržovací bariéře by měla být dostatečná pro zabránění stálému narážení, ale přesto by měla zabránit jednomu nebo více zkoušeným předmětům před „pochodováním“ pryč od ostatních. Výška zkušební ohrady (bočnice, dorazová stěna a zadržovací bariéra) má být nejméně o 5 cm vyšší než je výška zkoušeného předmětu, aby se zabránilo nerealistickému narážení zkoušeného předmětu na horní část ohrady.
- (2) Zkušební stolice zkušebního systému se musí zakrýt plechem z oceli válcované za studena tloušťky 5 až 10 mm. Plech se musí zajistit šrouby s horními částmi hlav mírně pod povrchem. Šrouby musí být ve vhodných roztečích kolem čtyř hran a přes střední plochu, aby se zabránilo membránovému chvění ocelového plechu.
- (3) Pro zkoušené předměty s kruhovým průřezem musí být dorazové stěny a bočnice umístěny tak, aby vytvořily pravouhlý zkušební prostor. Velikost zkušebního prostoru se stanovuje pomocí řady rovnic dále uvedených. Odvození těchto rovnic uvádí příloha 12C. Hodnoty S_W a S_B se určují na základě geometrie zkoušeného předmětu tak, aby se zajistilo realistické narážení zkoušeného předmětu do dorazových stěn a do jiných zkoušených předmětů. Typická hodnota jak pro S_W , tak pro S_B je 25 mm.

Pro stanovení rozměrů zkušebního prostoru se musí použít následující vzorce.

Pro počet zkoušených předmětů $N > 3$ se požadovaný štíhlostní poměr R_r vypočítává z rovnice (12.B.1):

$$R_r = \frac{N L}{0,767L N^{1/2} - 2S_W - (N - 1)S_B} \quad (12.B.1)$$

kde

R_r = požadovaný štíhlostní poměr;

L = délka zkoušeného předmětu (cm);

N = počet zkoušených předmětů;

S_W = volné místo mezi zkoušeným předmětem a stěnou (cm);

S_B = volné místo mezi zkoušenými předměty navzájem (cm).

Příloha 12B

(normativní)

Skutečný štíhlostní poměr zkoušeného předmětu R_a se vypočítá z:

$$R_a = L/D \quad (12.B.2)$$

kde

R_a = skutečný štíhlostní poměr;

D = průměr zkoušeného předmětu (cm).

Skutečný štíhlostní poměr R_a je nezávislý na počtu zkoušených předmětů N .

Jestliže je skutečný štíhlostní poměr zkoušeného předmětu R_a větší než požadovaný poměr R_r , vypočtený v rovnici (12.B.1), pak:

$$X = 0,767L N^{1/2} \quad (12.B.3)$$

kde

X = délka každé strany pravoúhlého zkušebního prostoru.

Jestliže je skutečný štíhlostní poměr zkoušeného předmětu R_a menší než požadovaný poměr R_r , vypočtený v rovnici (12.B.1), pak:

$$X = N D + 2S_W + (N - 1)S_B \quad (12.B.4)$$

Pro hodnoty $N \leq 3$ se požadovaný štíhlostní poměr R_r vypočítá z rovnice (12.B.5):

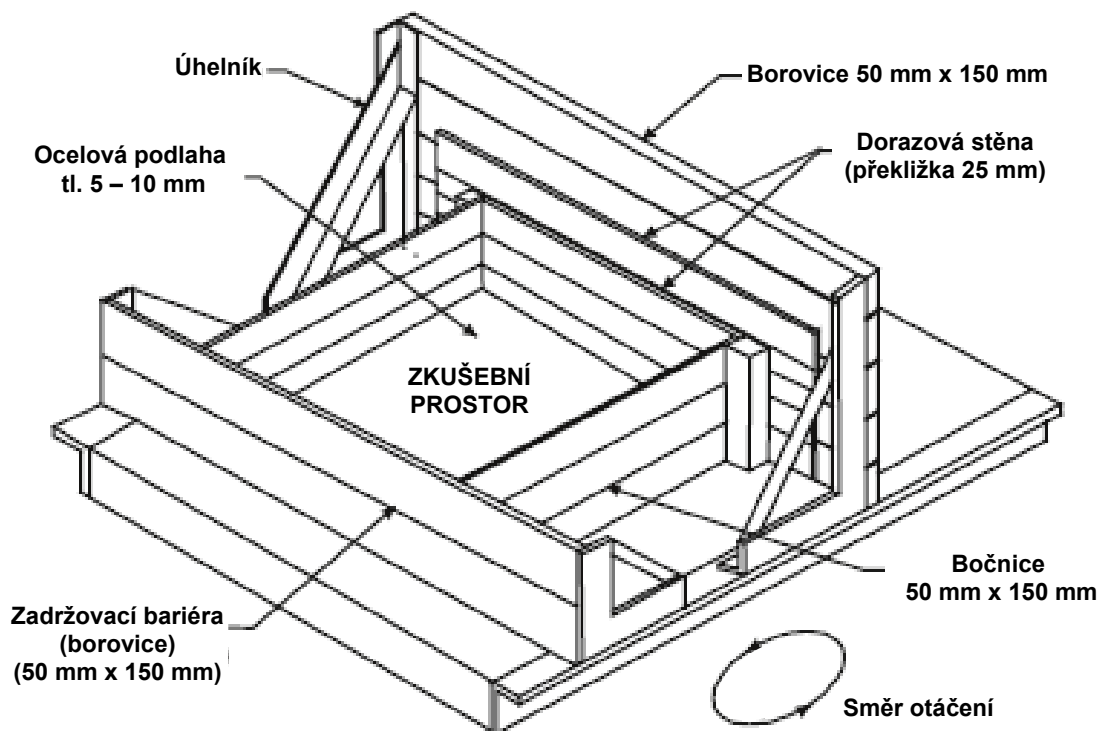
$$R_r = \frac{N L}{1,5L - 2S_W - (N - 1)S_B} \quad (12.B.5)$$

Jestliže je skutečný štíhlostní poměr zkoušeného předmětu R_a větší než požadovaný poměr R_r , vypočtený v rovnici (12.B.5), pak:

$$X \geq 1,5L \quad (12.B.6)$$

Jinak: X se vypočítá z rovnice (12.B.3).

Obecně: pokud je skutečný štíhlostní poměr L/D větší než 4, jsou vhodné rovnice (12.B.3) nebo (12.B.6) (v závislosti na počtu zkoušených předmětů).



OBRÁZEK 12.B.1 – Typické zařízení na zkoušení balení

Příloha 12C
(normativní)

ODVOZENÍ ROVNIC PRO VÝPOČET ZKUŠEBNÍHO PROSTORU

Původně byl výpočet velikosti zkušebního prostoru pro více ($N > 3$) zkoušených předmětů s kruhovým průřezem prováděn podle rovnice:

$$X = 0,767L N^{1/2} \quad (12.C.1)$$

kde

X = délka každé strany pravoúhlého zkušebního prostoru (cm);

L = délka zkoušeného předmětu (cm);

N = počet zkoušených předmětů.

Rovnice byla původně odvozena pro zkoušení štíhlých předmětů (např. muničních nábojů) a není vhodná pro předměty s malým štíhlostním poměrem, kde je skutečná štíhlost zkoušeného předmětu R_a definována rovnicí:

$$R_a = L/D \quad (12.C.2)$$

kde

R_a = skutečný štíhlostní poměr zkoušeného předmětu;

D = průměr zkoušeného předmětu (cm).

Skutečný štíhlostní poměr je nezávislý na počtu zkoušených předmětů N .

Pro jakýkoli zkoušený předmět se může šířka zkušebního prostoru definovat jako:

$$W = N D + 2S_W + (N - 1)S_B \quad (12.C.3)$$

kde

W = požadovaná šířka pravoúhlého zkušebního prostoru (cm);

S_W = volné místo mezi zkoušeným předmětem a stěnou (cm);

S_B = volné místo mezi zkoušenými předměty navzájem (cm).

Štíhlostní poměr požadovaný pro stanovení, jestli je zkušební prostor závislý na délce nebo šířce zkoušeného předmětu, je možné vypočítat s využitím R určeného z rovnice (12.C.2) a jeho prohlášením za požadovanou hodnotu R_r .

$$R_r = L/D \quad (12.C.4)$$

Tedy:

$$D = L/R_r \quad (12.C.5)$$

Dosazením do rovnice (12.C.3):

$$W = (N L/R_r) + 2S_W + (N - 1)S_B \quad (12.C.6)$$

Řešení pro R_r :

$$R_r = \frac{N L}{W - 2S_W - (N - 1)S_B} \quad (12.C.7)$$

Příloha 12C
(normativní)

Průměr zkoušeného předmětu se stává kritickým činitelem vždy, když je hodnota W totožná s hodnotou X nebo větší. Protože hodnota R_r je nepřímo úměrná k W , dosáhne maximální hodnoty, když W dosáhne ve vztahu k X minimální hodnotu, nebo když W je rovno X . Spojením rovnic (12.C.1) a (12.C.7):

$$R_r = \frac{N L}{0,767L N^{1/2} - 2S_W - (N - 1)S_B} \quad (12.C.8)$$

Jestliže má zkoušený předmět skutečný štíhlostní poměr R_a větší než je požadovaný poměr R_r , ke stanovení zkušebního prostoru se použije rovnice (12.C.1). Jinak se zkušební prostor stanovuje pomocí rovnice (12.C.3).

Odvození se také může provést, jestliže je počet zkoušených předmětů $N \leq 3$. Pro tento případ byl původní výpočet zkušebního prostoru založen na:

$$X \geq 1,5L \quad (12.C.9)$$

Požadavek na W se může přesto definovat pomocí rovnice (12.C.3). Kritická hodnota pro R_r se může vypočítat vložení hodnoty X z rovnice (12.C.9) jako hodnoty pro W do rovnice (12.C.7). To dává:

$$R_r = \frac{N L}{1,5L - 2S_W - (N - 1)S_B} \quad (12.C.10)$$

Jestliže má zkoušený předmět skutečný štíhlostní poměr R_a větší než je požadovaný poměr R_r , ke stanovení zkušebního prostoru se použije rovnice (12.C.9). Jinak se zkušební prostor stanovuje pomocí rovnice (12.C.3).

13 METODA 408 – PŘEPRAVA ROZMĚRNÝCH KOMPLETŮ

OBSAH

13.1	ROZSAH PLATNOSTI	341
13.1.1	Účel	341
13.1.2	Použití	341
13.1.3	Omezení	341
13.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	341
13.2.1	Vlivy prostředí	341
13.2.2	Využití naměřených údajů	341
13.2.3	Posloupnost	342
13.2.4	Zkušební zařízení	342
13.2.5	Úprava popruhů	342
13.2.6	Instalace rozměrné sestavy	342
13.3	NÁROČNOSTI	342
13.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	342
13.4.1	Povinné	342
13.4.2	Jsou-li požadované	343
13.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	343
13.5.1	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	343
13.5.2	Postup	343
13.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	343
13.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	343

Přílohy

Příloha 13A	PŘEPRAVA ROZMĚRNÝCH KOMPLETŮ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	346
-------------	--	-----

13.1 ROZSAH PLATNOSTI

13.1.1 Účel

Účelem této metody je reprodukovat vibrační a rázové prostředí, kterému jsou vystaveny rozměrné komplety materiálu instalované nebo přepravované na kolových nebo pásových vozidlech. V této metodě se určený typ vozidla používá k zajištění mechanického buzení do instalovaného nebo přepravovaného kompletu.

13.1.2 Použití

Tato zkouška je vhodná pro:

- a) materiál obsahující rozměrné sestavy;
- b) materiál tvořící značnou část celkové hmotnosti vozidla;
- c) materiál tvořící integrovanou součást vozidla.

U materiálu se požaduje, aby prokázal svou přiměřenost odolávat stanoveným podmínkám pohybu v terénu bez nepříjemné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik.

Tato zkušební metoda je také vhodná tam, kde laboratorní zkoušky jako například zkušební metoda 401 – Vibrace nebo zkušební metoda 406 – Volně ložený náklad nejsou účelné nebo nákladově rentabilní.

AECTP-100 a 200 poskytují další směrnici pro výběr zkušebního postupu pro podmínky pohybu v terénu.

13.1.3 Omezení

Nejsou stanovena žádná omezení.

13.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

13.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, pokud je materiál vystaven podmínkám pohybu v terénu.

- a) odírání vodičů;
- b) uvolňování spojovacích prvků;
- c) přerušování elektrických kontaktů;
- d) vzájemný dotyk a krátká spojení elektrických součástí;
- e) deformace uzávěrů;
- f) únava konstrukce a konstrukčních prvků;
- g) optické vychýlení;
- h) uvolňování součástí;
- i) nadměrný elektrický šum.

13.2.2 Využití naměřených údajů

Pokud je to účelné, doporučuje se použít pro přizpůsobení zkušebních úrovní provozní údaje naměřené v polních podmínkách. Dostačující údaje by se měly získat pro přiměřený popis podmínek, kterým bude materiál vystaven a ve kterých bude hodnocen v každé etapě profilu prostředí životního cyklu. Získané měřené údaje a informace by měly být jako minimálně dostačující k vysvětlení odchylek dat

způsobených rozdělení stavu a stáří přepravní platformy, nosnosti a upevňovacího systému, provozního personálu a provozních podmínek prostředí.

13.2.3 Posloupnost

Zkouška se bude skládat z několika částí, zahrnujících různé povrchy cest, přepravní vzdálenosti a rychlosti vozidla a v některých případech různá vozidla. Pořadí aplikace každé části se doporučuje zvážit a učinit ho kompatibilní s profilem prostředí životního cyklu.

13.2.4 Zkušební zařízení

Při přípravě zkoušky se musí vzít do úvahy zkušební povrchy, které jsou k dispozici v konkrétní zkušební lokalitě vybrané k provádění zkoušky. Rovněž výběr zkušebního povrchu a souvisejících zkušebních vzdáleností musí odpovídat stanoveným typům vozidel a jejich očekávanému použití.

13.2.5 Úprava popruhů

Během zkoušky je důležité reprodukovat nepříznivější uspořádání než je to, které by mohlo vzniknout při běžném používání. Například nadměrné utážení upevňovacích pásů během přepravy by mohlo zabránit posouvání zkoušeného předmětu / zkoušených předmětů v průběhu zkoušky a takto omezit následky poškození; naopak uvolnění napětí pásů při provozním použití by mohlo vytvářet prostředí opakovaných rázů.

13.2.6 Instalace rozměrné sestavy

Zkoušený předmět se doporučuje instalovat do vozidla nebo na vozidlo v jeho projektovaném uspořádání. Jestliže sestava má být umístěna uvnitř skříně nebo jestliže jsou k sestavě v jejím provozním uspořádání připevněna další zařízení, pak se doporučuje tyto položky také nainstalovat v jejich projektované konfiguraci.

13.3 NÁROČNOSTI

Vojenská vozidla spadají do následujících obecných skupin:

- a) Pozemní kolová vozidla střední pohyblivosti, která jsou značnou část jejich života provozována na běžných zpevněných komunikacích.
- b) Pozemní kolová vozidla vysoké pohyblivosti, která jsou provozována jak na komunikacích, tak v terénních podmínkách.
- c) Pásová vozidla.

Vzdálenosti a rychlosti spolu s jakýmkoli omezeními v oblasti klimatických podmínek se musí formulovat pro každý typ vozidla a musí pokrývat všechny významné druhy povrchů, jako jsou hladké vozovky, komunikace s nerovným povrchem a terén.

Veškeré takové volby a přípravy pro zkoušení musí odsouhlasit orgán zodpovídající za dodržování požadavků v oblasti vlivů prostředí.

Typický soubor podmínek zkoušení uvádí příloha 13A.

13.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

13.4.1 Povinné

- a) identifikace předmětu/předmětů, který se má / které se mají zkoušet;
- b) druh zkoušky: vývojová, schvalovací atd.;
- c) zda se mají provádět provozní ověření a kdy;

- d) typ vozidla / typy vozidel, který se má / které se mají zkoušet a související zatěžovací stav/stavy;
- e) podmínky zkoušení pro každé vozidlo a související tolerance pro přepravní vzdálenost a rychlost vozidla;
- f) uspořádání materiálu v průběhu zkoušky;
- g) klimatické podmínky provádění zkoušky, pokud jsou jiné než okolní podmínky;
- h) další důležité údaje požadované pro provedení zkoušky a provozních ověření;
- i) přehled kritérií poruch.

13.4.2 Jsou-li požadované

Žádné se nestanovují.

13.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

13.5.1 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět musí být na nebo ve vozidle nainstalovaný tak, jak stanovuje Směrnice pro zkoušku.

13.5.2 Postup

- Krok 1 Prohlédnout zkoušený předmět a uskutečnit každé požadované provozní ověření.
- Krok 2 Vozidlo se zkoušeným předmětem vystavit stanoveným podmínkám zkoušení.
- Krok 3 Provést požadovaná provozní ověření.
- Krok 4 Provést předepsanou prohlídku zkoušeného předmětu k odhalení jakýchkoli škodlivých následků.
- Krok 5 Vždy zaznamenat požadované informace.

13.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku, a to jak v průběhu, tak po ukončení aplikace podmínek zkoušení přepravy rozměrných kompletů.

13.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

Provozní postup zkoušení (Test Operations Procedure (TOP)) 01-1-011B: Zařízení pro zkoušení vozidel ve zkušebním centru v Aberdeenu a Yumě. (Vehicle Test Facilities at Aberdeen Test Center and Yuma Test Center), AD No. 1043599, 12. prosinec 2017.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 13A
(normativní)

PŘEPRAVA ROZMĚRNÝCH KOMPLETŮ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se má používat jen tehdy, jestliže nejsou v počátečních etapách programu k dispozici naměřená data a informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat data naměřená na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí ze specifických platforem a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

Typické zkušební okruhy pro zkoušku přepravy rozměrných sestav jsou uvedeny v tabulce 13.A. Vozidlo s instalovaným zkoušeným předmětem musí projet požadovaný zkušební okruh / požadované zkušební okruhy takovou rychlostí, s takovou dobou jízdy nebo na takovou vzdálenost, které jsou stanoveny Směrnicí pro zkoušku. Zajistí se, aby doba trvání zkoušky na každém zkušebním okruhu a rychlost jízdy vozidla byly v souladu s variantami činnosti z profilu prostředí životního cyklu. Jestliže informace o provozu z LCEP nejsou dostupné, může se použít předem určená standardní náročnost zkoušení. Odkaz v čl. 13. 7 poskytuje popis vhodných zkušebních okruhů. Jestliže není tolerance rychlosti jízdy po zkušebním okruhu stanovena Směrnicí pro zkoušku, je typická tolerance okruhové rychlosti $\pm 10\%$ ze stanovené rychlosti vozidla.

Standardní náročnost zkoušení – Minimální standardní náročnost zkoušení se definuje při jízdě zkušebního vozidla po každém z pěti uvedených zkušebních okruhů stanovenou rychlostí a celou délku okruhu (viz tabulka 13.A). Rychlost/rychlosti jízdy vozidla použítá/použité pro zkoušky je stanovena / jsou stanoveny v tabulce 13.A, ledaže by rychlost překročila podmínky bezpečné jízdy; v takovém případě se maximální bezpečná provozní rychlost dohodne s organizací požadující provedení zkoušky. Požadavek na celkovou ujetou vzdálenost se může doplnit opakovanými jízdami přes kratší úseky zkušebního okruhu. Ale jednotlivé okruhy musí mít přiměřenou délku, aby se působilo na celou délku vozidla a aby se simulovala typická jízda po souvislém povrchu vozovky. Opakované jízdy vozidla přes příliš krátké úseky zkušebního okruhu nejsou přípustné. Celková kumulovaná vzdálenost pro všech pět okruhů je přibližně 10 km. Pokud není Směrnicí pro zkoušku určeno jinak, posloupnost zkoušení na různých okruzích není stanovena.

TABULKA 13.A – Sekce zkušebního okruhu

Zkušební okruh	Rychlost vozidla (km·h⁻¹)	Délka okruhu (m)
Silně zvlněná vozovka (150 mm vlny, 2 m od sebe)	8	1 204
Mírně zvlněná vozovka (50 mm)	16	1 250
Radiální vlny (50 mm až 100 mm)	24	366
Třípalcové boule (75 mm)	32	1 158
Belgické pavé (dlážděná dráha)	32	6 005

14 METODA 413 – AKUSTICKÝ ŠUM KOMBINOVANÝ S TEPLOTOU A VIBRACEMI

OBSAH

14.1	ROZSAH PLATNOSTI	349
14.1.1	Účel	349
14.1.2	Použití	349
14.1.3	Omezení	349
14.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	349
14.2.1	Vlivy prostředí	349
14.2.2	Využití naměřených údajů	350
14.2.3	Posloupnost	350
14.2.4	Odůvodnění postupu a parametrů	350
14.2.5	Provoz materiálu	351
14.3	NÁROČNOSTI	351
14.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	352
14.4.1	Povinné	352
14.4.2	Jsou-li požadované	352
14.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	352
14.5.1	Tolerance	352
14.5.2	Řízení	352
14.5.3	Podmínky instalace	352
14.5.4	Účinky zemské přitažlivosti	353
14.5.5	Příprava zkoušky	353
14.5.6	Postupy	353
14.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	354
14.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	354
 Přílohy		
Příloha 14A	ODVOZENÍ ZKUŠEBNÍCH PARAMETRŮ	356
Příloha 14B	POŽADAVKY NA ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ	364

14.1 ROZSAH PLATNOSTI

14.1.1 Účel

Účelem této zkoušky je reprodukovat prostředí vyvolané ve vnitřním zařízení podvěsů a střel, dále nazývaném „materiál“, jestliže je přepravován vně vysokovýkonných letadel během stanovených provozních podmínek.

Pro dosažení přesné simulace kombinuje tato zkušební metoda buzení akustického šumu s mechanickými vibracemi a s prouděním kondicionovaného vzduchu tak, aby se vyvolávaly požadované mechanické a teplotní odezvy ve vnitřních zařízeních zkoušeného předmětu. Tato zkušební metoda je také schopná reprodukovat změny ve vibračních a teplotních odezvách, které vznikají v průběhu konkrétních profilů letových úkolů.

14.1.2 Použití

Tato metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat stanovenému prostředí bez nepříjemné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik.

Principy této zkušební metody se také mohou využít pro simulaci dalších vibračních prostředí, jako jsou například prostředí vyvolaná za letu střely.

AECTP-100 a 200 poskytují doplňující návod pro výběr postupu zkoušení pro konkrétní prostředí.

14.1.3 Omezení

Tam, kde se tato zkouška používá pro simulaci aerodynamických turbulencí, nemusí být vhodná pro zkoušení skořepinových konstrukcí vystavených přímému působení akustického šumu.

14.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

14.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, pokud je materiál vystaven tomuto kombinovanému prostředí.

- a) odírání kabelů;
- b) únava součástí;
- c) porušení propojení součástí vodiči;
- d) tvoření trhlin na deskách s tištěnými spoji;
- e) poruchy na součástech vlnodů;
- f) vysokocyklová únavová porucha na plochách malých desek;
- g) vysokocyklová únavová porucha malých konstrukčních prvků;
- h) optické vychýlení;
- i) uvolňování malých částic, které se mohou usazovat v elektrických obvodech a mechanismech;
- j) nadměrný elektrický šum.

14.2.2 Využití naměřených údajů

Pokud je to účelné, měly by se využít pro zpracování zkušebních úrovní údaje naměřené v polních podmínkách. Je zvláště důležité používat údaje naměřené v polních podmínkách tam, kde je cílem přesná simulace. Parametry a profily jsou ovlivněny druhem podvěsu, instalací na letadle, výkonností letadla a podmínkami úkolu. Informace o odvozování profilu podává příloha 14A. Jestliže nejsou dostupná naměřená letová data, dostačující informace pro stanovení profilu a zkušebních úrovní poskytuje příloha 14A.

14.2.3 Posloupnost

Tato zkouška je navržena pro simulaci hlavních účinků prostředí, které jsou vyvolávány v úplně zkompletovaných podvěsech v průběhu vnější přepravy na letounech. Ale pokud vznikne potřeba podrobit zkoušený předmět dalším zkouškám vlivu prostředí, potom se doporučuje, aby pořadí aplikace zkoušek bylo kompatibilní s profilem prostředí životního cyklu.

14.2.4 Odůvodnění postupu a parametrů

14.2.4.1 Odůvodnění zkoušky

Tato zkouška je především určena k reprodukování hlavních odezev měřených za letu na vnitřních zařízeních úplně zkompletovaných podvěsů a k zajištění realistické simulace příslušných letových podmínek prostřednictvím působení akustického šumu, vibrací a teplotního kondicionování.

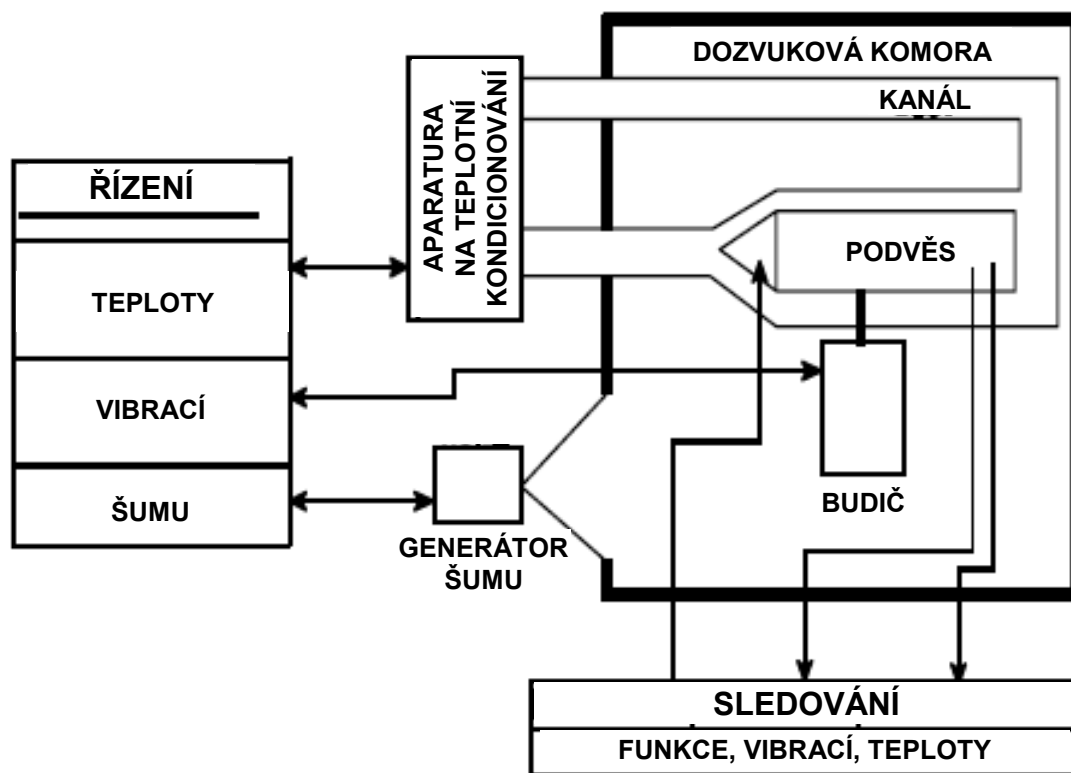
Uspořádání zkoušeného předmětu při této zkoušce je uvedeno na obrázku 14.1. Akustický šum se aplikuje využitím akustického pole dozvukové komory, zatímco nízkofrekvenční buzení podvěsu se vyvolává mechanickým vibračním budičem. To většinou představuje provozní prostředí, v němž nízkofrekvenční buzení (nižší než asi 100 Hz) je běžně výsledkem mechanického vstupu přes upevňovací místa. Ve vyšších kmitočtech jsou převažující zdroje provozního buzení výsledkem aerodynamického proudění nad vnějším povrchem obložení podvěsu a v této zkušební metodě se simulují pomocí pole akustického šumu. Podrobnější popis požadavků na zkušební zařízení podává příloha 14B.

14.2.4.2 Zkušební parametry

Všechny parametry prostředí jsou řízeny z odezev zkoušeného předmětu. Tedy buzení vibrací a akustického šumu se doporučuje řídit tak, aby docházelo k požadovaným vibračním odezvám vnitřního zařízení. Řízení teploty by se normálně mělo dosáhnout na tenkém vnějším segmentu povrchu, protože časové konstanty a ztrátový výkon během výkonu na fázích budou významně ovlivňovat teplotu vnitřních součástí.

Tedy parametry požadované k úplnému stanovení podmínek zkoušení jsou:

- a) Teplotní profil, pokud jde o konstantní teploty, frekvence teplotních změn během přechodných období a dobu trvání pro každý prvek úkolu.
- b) Vibrační odezva, pokud jde o spektrum, úroveň rms zrychlení, umístění a dobu trvání pro každý prvek úkolu.



OBRÁZEK 14.1 – Typické rozmístění zkušebního zařízení

14.2.4.3 Předběžné zkoušky

Řízení podmínek zkoušení je odvozeno z odezev podvěsu. Proto tedy by měl být typický podvės použitelný pro předběžné zkoušky za účelem stanovení požadovaných podmínek buzení. Někdy může být nezbytné řídit vibrační odezvu podvěsu z vnějších míst, jako například v opěrných bodech konstrukce. V tomto případě se požaduje, aby charakteristika vnějšího řízení byla stanovena po nastavení referenčních podmínek na vnitřních místech. Předběžná zkouška se doporučuje provádět v souladu s článkem 14.5.6.1.

14.2.5 Provoz materiálu

Jestliže je to stanoveno, zkoušený předmět by měl být během provozních simulací fungující a jeho funkční charakteristiky by se měly měřit a zaznamenávat.

14.3 NÁROČNOSTI

Úrovně a doby trvání zkoušení se doporučuje stanovit s využitím údajů získaných přímo z programu sběru dat o prostředí, z tabulek mezinárodních klimatických standardů (ISA) nebo jejich ekvivalentů, z dalších vhodných měřených letových dat nebo z kritických konstrukčních stavů odvozených z projektovaných profilů prostředí životního cyklu. Tyto profily zkoušení se doporučuje odvozovat v souladu s postupem uvedeným v příloze 14A.

14.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

14.4.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) druh zkoušky: vývojová, spolehlivostní atd.;
- d) doba, po kterou má být zkoušený předmět během zkoušky v provozu;
- e) požadovaná ověření provozu: výchozí, průběžná, konečná;
- f) údaje požadované k provedení zkoušky včetně způsobu instalace zkoušeného předmětu;
- g) monitorovací a řídicí body nebo postup výběru těchto bodů;
- h) stanovení kritérií poruch;
- i) výchozí klimatické podmínky, z AECTP-300 nebo z naměřených dat;
- j) výchozí klimatické podmínky odvozené z AECTP-300 nebo z naměřených dat.

14.4.2 Jsou-li požadované

- a) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- b) tolerance, pokud se liší od tolerancí uvedených v článku 14.5.1.

14.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

14.5.1 Tolerance

Tolerance se doporučuje stanovit pro všechny významné vibrační, akustické, teplotní a časové parametry. Jestliže nebudou tolerance dodrženy, musí se zjištěné odchylky zaznamenat v protokolu o provedené zkoušce.

14.5.1.1 Vibrace

Pro širokopásmové náhodné prvky zkoušky by tolerance měly být v souladu s tolerancemi uvedenými v Metodě 401 Vibrace.

14.5.1.2 Akustický šum

Pro dozvukové prvky akustických polí zkoušky by tolerance měly být v souladu s tolerancemi uvedenými v Metodě 402 Akustický šum.

14.5.1.3 Teplota

Pro nepřechodné teplotní prvky zkoušky by tolerance měly být v souladu s tolerancemi uvedenými v AECTP-300, Metoda 300. Pro teplotní přechodná stadia se doporučuje tolerance stanovit ve Směrnici pro zkoušku.

14.5.1.4 Doba trvání

Doba trvání zkoušky musí být v toleranci $\pm 2\%$ nebo jedna minuta z předepsaného požadavku, podle toho, co je menší.

14.5.2 Řízení

Parametry prostředí požadované pro řízení podmínek zkoušení jsou stanoveny v článku 14.2.4.2. Odvození těchto parametrů udává příloha 14A.

14.5.3 Podmínky instalace

Podmínky instalace jsou obsaženy v článku 14.5.6 a podepřeny dalšími údaji v příloze 14B.

14.5.4 Účinky zemské přitažlivosti

Jestliže jsou funkční charakteristiky materiálu ovlivněny gravitací, pak se doporučuje použít při zkoušce takovou orientaci zkoušeného předmětu, která je totožná s provozní orientací.

14.5.5 Příprava zkoušky

14.5.5.1 Předběžné kondicionování

Není-li stanoveno jinak, doporučuje se zkoušený předmět stabilizovat do výchozího stavu stanoveného ve Směrnici pro zkoušku. Viz také AECTP-300, Metoda 300.

14.5.5.2 Prohlídky a ověřování funkce

Prohlídka se může provést před a po zkoušce. Požadavky na tyto prohlídky by měla určit Směrnice pro zkoušku. Jestliže se takové prohlídky vyžadují provést i během zkoušení, pak se doporučuje také stanovit časové intervaly pro jejich provádění.

14.5.6 Postupy

14.5.6.1 Předběžná zkouška

Předběžná zkouška se musí provádět na typickém zkoušeném předmětu dále uvedeným způsobem a za účelem stanovení řídicích parametrů.

- Krok 1 Použít přiměřeně AECTP-300. Ten stanoví reakční teplotu zkoušeného předmětu, která se má použít při zahájení zkoušky.
- Krok 2 Nainstalovat přístrojové vybavení na nebo do typického zkoušeného předmětu, podobně jako u měření používaných ke stanovení provozního prostředí.
- Krok 3 Nainstalovat typický zkoušený předmět do dozvukové komory, jak je stanoveno v článku 14.5.6.2, kroky 1, 2 a 4.
- Krok 4 V případě, že přístup dovnitř zkoušeného předmětu není možný, vybavit zkoušený předmět přístroji zvenku tak, jak určuje Směrnice pro zkoušku. Spektrální data z těchto vnějších míst se možná budou muset použít jako základ pro řízení vibrací pro skutečný provozní zkoušený předmět.
- Krok 5 Aplikovat akustický šum s mechanickými vibracemi pro doplnění nízkofrekvenčního buzení, dokud se u přístrojů umístěných uvnitř nedosáhne požadované vibrační spektrum.
- Krok 6 Zaznamenat úroveň akustického tlaku a vibrační spektra potřebná k dosažení požadovaných vnitřních vibračních odezev.
- Krok 7 Vždy zaznamenat a analyzovat data, jak je stanoveno.
- Krok 8 Vyjmout zkoušený předmět z komory.

14.5.6.2 Provozní zkouška

Zkoušený předmět musí být vystaven následujícímu postupu:

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět do komory s využitím provozních upevňovacích bodů, jak stanovuje Směrnice pro zkoušku.
- Krok 2 Upravit propojení ke zkoušenému předmětu, jako jsou vodiče, hadice atd. tak, že vyvolají u zkoušeného předmětu podobná dynamická omezení a zatížení, jako když je materiál nainstalovaný v provozních podmínkách.

- Krok 3 Nainstalovat na stanovená místa zkoušeného předmětu měřiče zrychlení a teplotní snímače.
- Krok 4 Nainstalovat teplotní kanál přes zkoušený předmět, zabezpečit stejnou mezeru a také aby propojení ke zkoušenému předmětu příliš neblokovala tuto mezeru. Kanál by neměl vytvářet zkoušenému předmětu žádná další omezení.
- Krok 5 Připojit kanál pro teplotní kondicionování k přívodnímu kanálu.
- Krok 6 Uzavřít komoru, uvést do chodu zařízení pro teplotní kondicionování a stabilizovat zkoušený předmět na požadovanou teplotu.
- Krok 7 Provést zkoušku s použitím parametrů stanovených v článku 14.5.6.1, krok 5 a s požadovanými teplotními profily, jak je určeno ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 8 Zaznamenat všechna data, jak je určeno ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 9 Vyjmout zkoušený předmět z komory a vykonat kontrolní prohlídku po zkoušce stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.

14.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku v průběhu i po ukončení aplikace zkušebních podmínek.

14.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

IEST RP-DTE040.1: Akustické zkoušení vysoké intenzity (High-Intensity Acoustics Testing), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, leden 2003.

PŘÍLOHY

Příloha 14A
(normativní)

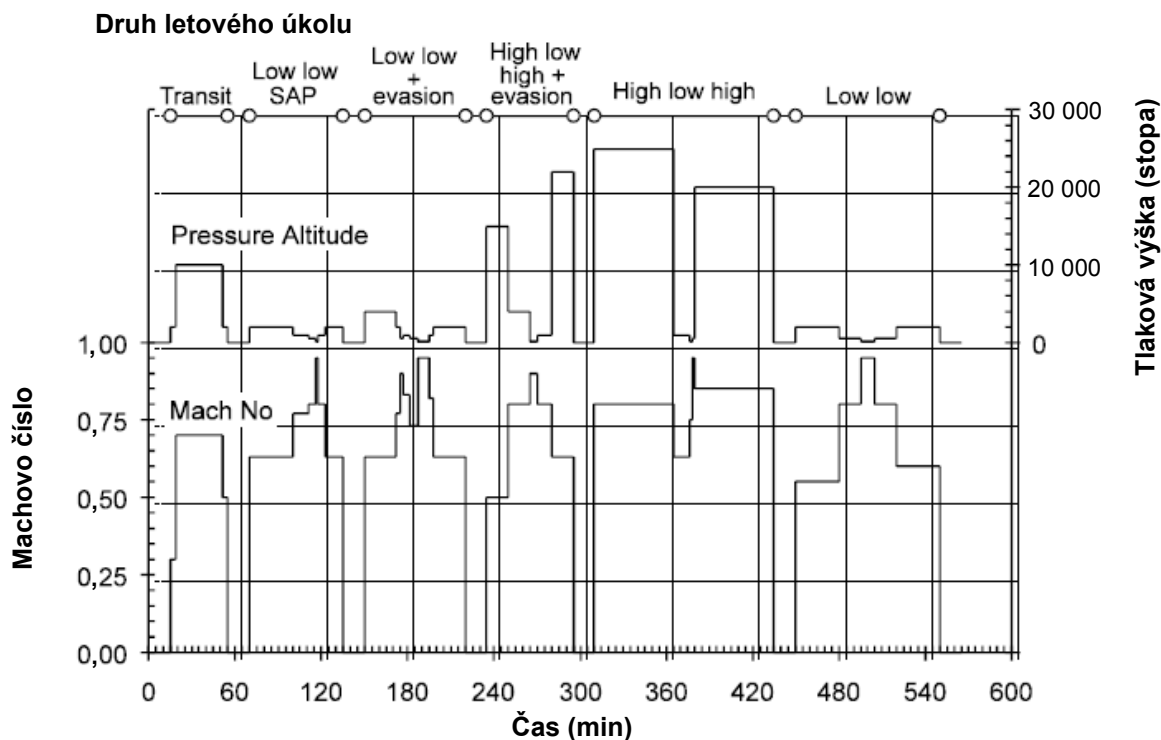
ODVOZENÍ ZKUŠEBNÍCH PARAMETRŮ

14.A.1 ROZSAH PLATNOSTI

Tato příloha definuje postupy, pomocí nichž se mohou stanovit náročnosti zkoušení akustickými, vibračními a teplotními cykly. Hlavní aplikace postupu je odvození náročností zkoušení a zkušebních cyklů pro zkoušení podvěsů, střel a dalších leteckých zbraní. Postup může být také vhodný pro letecký materiál, u něhož jsou hlavním působícím prostředím vibrace nebo kinetické zahřívání vyvolané aerodynamickým prouděním. Náročnosti odvozené s použitím postupu z této přílohy se také mohou převzít pro mechanické vibrace (Metoda 401), pokud se kombinují se zkoušením vlivu teploty.

14.A.2 DATOVÉ POŽADAVKY

Data požadovaná pro stanovení náročnosti zkoušení vibračními a teplotními cykly jsou podrobnější údaje o instalaci v letadle, profily úkolových letů, počet jednotlivých druhů úkolových letů a údaje o výšce nebo teplotních podmínkách.



VYSVĚTLIVKY

Transit = přeprava;

Low low = přilet v přízemní výšce, odlet po provedení zteče v přízemní výšce;

evasion = únik;

High low high = přilet ve velké výšce, provedení zteče v přízemní výšce a po úhybném manévru odlet ve velké výšce;

Pressure Altitude = tlaková výška;

Mach No = Machovo číslo.

OBRÁZEK 14.A.1 – Letové profily pro šest ilustračních úkolů

Příloha 14A
(normativní)

Profily letových úkolů je nutné definovat, pokud jde o rychlost letu, výšku a čas. Vysvětlující profily jsou uvedeny na obrázku 14.A.1. Typické profily letových úkolů jsou často vytýčeny ve specifikaci technických požadavků na podvěsy, střely a další letecké zbraně. Další zdroj přiměřených informací je výrobce letadla. Navíc je řada profilů typických úkolových letů, vhodných pro zkoušení spolehlivosti, uvedena v MIL-HDBK-781, odkaz v článku 14.A.5. Co se týká zdrojových stavů, neměly by překročit kapacitu nosného letadla s požadovanou výzbrojí.

Podíl každého druhu letového úkolu v rámci provozního života materiálu se musí stanovit, aby se toto rozdělení mohlo odrazit v podmínkách zkoušení. Ilustrativní použití podvěsů poskytuje tabulka 14.A.1. Tyto údaje byly odvozeny z britských dat poskytnutých Velitelstvím logistiky RAF. Takové informace jsou běžně obsaženy ve specifikacích technických požadavků na podvěsy, střely a další letecké zbraně.

Údaje o jmenovitých výškově teplotních podmínkách lze získat z tabulek mezinárodních klimatických standardů (ISA). Pro podmínky extrémních výšek a teplot je možné odkázat na AECTP-230 (Část 2311). Tato část rovněž udává rozsah teplot na úrovni mořské hladiny, kterým může být vystavena výzbroj při nasazení po celém světě.

TABULKA 14.A.1 – Ilustrativní použití podvěsů

Letový manévr	Počet úkolů za rok	Doba trvání nejdelšího úkolu (min)	Doba trvání nejkratšího úkolu (min)	Průměrná doba trvání úkolu (min)	Podíl na celkovém počtu úkolů (%)	Podíl na celkové době trvání (%)
Přeprava ve velkých výškách	1	40	40	40	3	2
Útok na pozemní cíl následující po stálém leteckém hlídkování	7	85	65	74	19	18
Útok na pozemní cíl s únikem	7	85	60	69	19	17
Útok na pozemní cíl	8	100	60	74	21	21
Nálet HI-LO-HI s únikem	4	100	60	84	11	12
Nálet HI-LO-HI	10	125	45	83	27	30
VYSVĚTLIVKA HI-LO-HI – přílet ve velké výšce, provedení zteče v přízemní výšce a po úhybném manévru odlet ve velké výšce.						

Příloha 14A
(normativní)

14.A.3 TEPLOTNÍ PROFIL

Pro každou etapu profilu letového úkolu výška letu umožní stanovit okolní teplotu. S využitím letové rychlosti v každé výšce je možné vypočítat teplotu izolace pláště z následujících výrazů:

$$T_r = T_a \left[1 + \frac{r(\gamma - 1)M^2}{2} \right]$$

kde

T_r = adiabatická teplota vnější vrstvy pláště (°K nebo °R);

T_a = teplota okolního vzduchu jako funkce výšky (°K nebo °R);

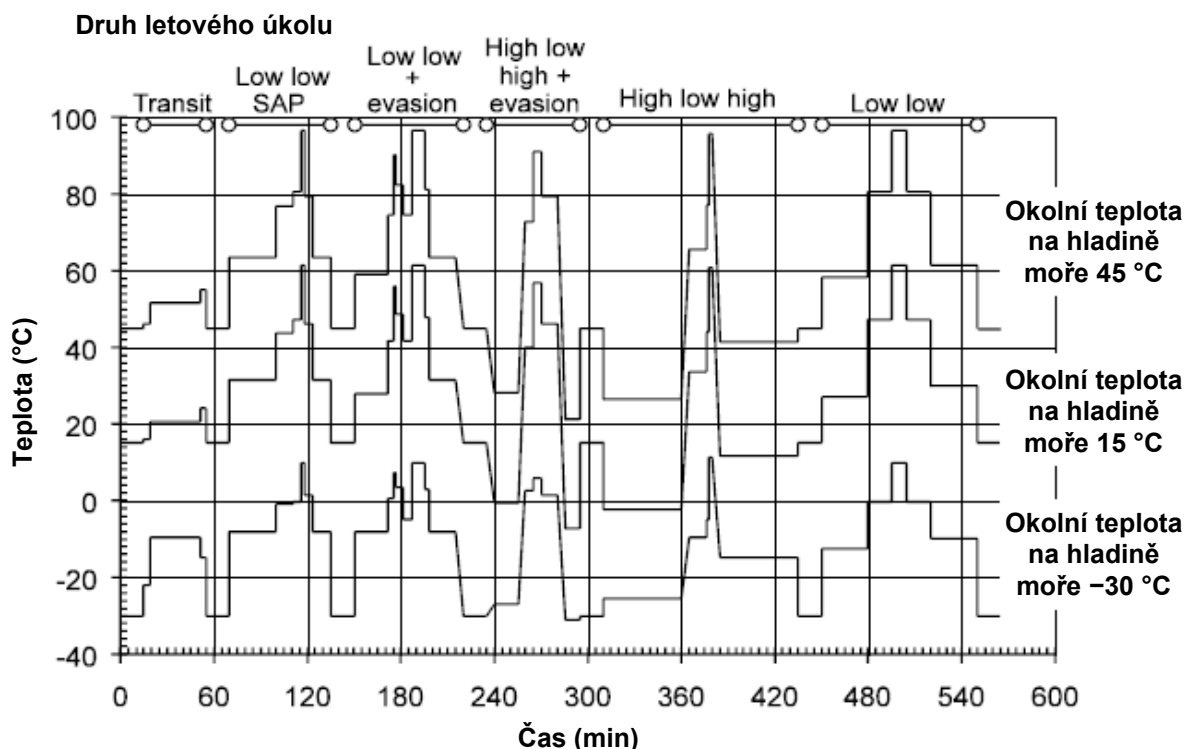
r = izolační faktor;

γ = koeficient měrného tepla vzduchu (1,4) pro standardní podmínky;

M = Machovo číslo.

Při nedostatku dalších informací se obvykle může předpokládat hodnota izolačního faktoru 0,9. To redukuje výše uvedený výraz na:

$$T_r = T_a(1 + 0,18M^2)$$



VYSVĚTLIVKY

Transit = přeprava;

Low low = přilet v přízemní výšce, odlet po provedení zteče v přízemní výšce;

evasion = únik;

High low high = přilet ve velké výšce, provedení zteče v přízemní výšce a po úhybném manévru odlet ve velké výšce.

OBRÁZEK 14.A.2 – Teplotní profily pro šest ilustračních druhů úkolů

Příloha 14A
(normativní)

Po stanovení teplotních podmínek pro každou etapu letového úkolu, je možné nakreslit teplotní profil povrchu materiálu pro celý letový úkol. Teplotní profily pro šest ilustračních letových úkolů jsou zobrazeny na obrázku 14.A.2. Protože malé odchylky v teplotě povrchu se nemusí okamžitě projevit na teplotách vnitřních součástí, je možné kombinovat teplotní podmínky a vytvořit letový úkol s kombinovanou teplotou, který bude zahrnovat jednak stabilní teplotní situace, jednak doprovodné frekvence změn teploty v každé etapě.

Tam, kde se požaduje pokrýt celosvětové provozní podmínky, může být teplotní cyklus vylepšený zavedením cyklických odchylek pro znázornění různých teplot na úrovni mořské hladiny, jak je uvádí obrázek 14.A.2.

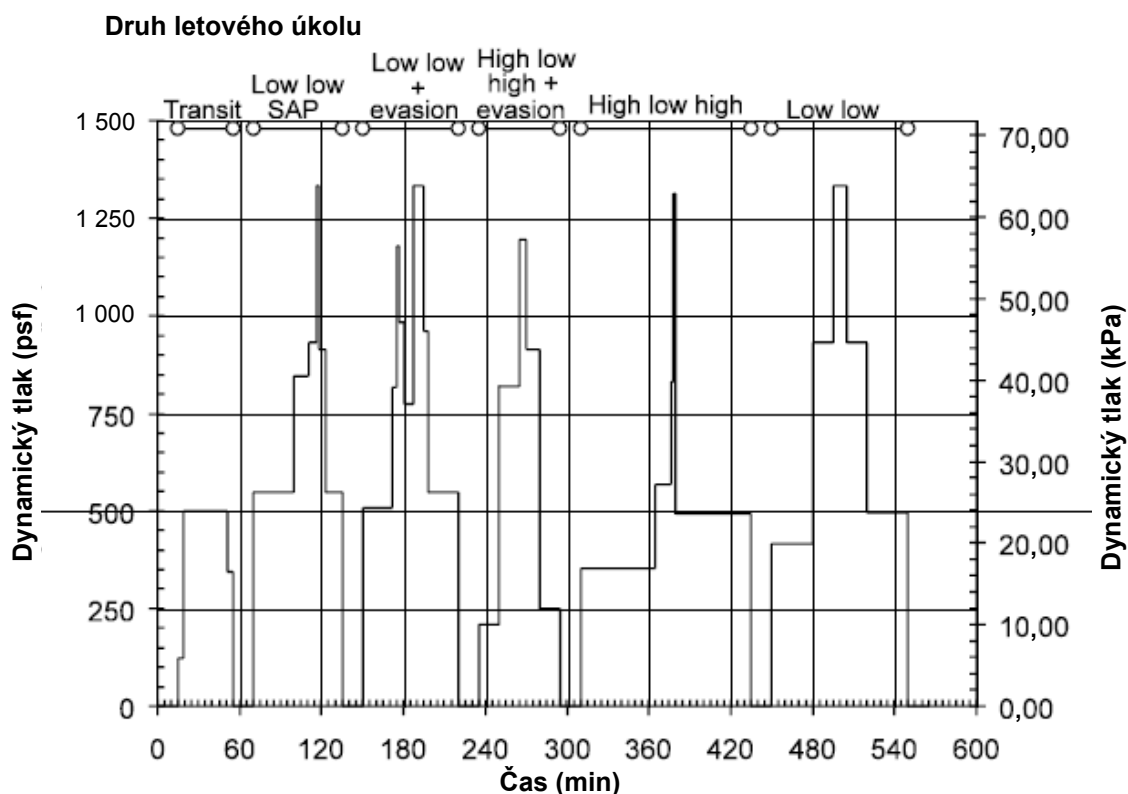
K udržení typických podmínek, především pro účely zkoušení spolehlivosti, nebude základní teplotní cyklus normálně zahrnovat pouze extrémní kladné a záporné teploty na úrovni hladiny moře. Pravděpodobnost provozu mimo venkovní teplotu na úrovni hladiny moře by měla vycházet ze stanovení počtu cyklů v každém stavu. Cykly založené na teplých nebo studených teplotních úrovních by měly být prokládány s cykly vnější teploty tak, že každá situace je pravidelně rozdělena po celém životním cyklu podvěsu.

14.A.4 VIBRAČNÍ PROFIL

Pro každou etapu profilu letového úkolu se mohou tlak, výška a rychlost vzduchu použít pro rozdělování vibračních letových dat do příslušného profilu. Vytvářené vibrační náročnosti jsou určeny k tomu, aby představovaly odezvy podvěsu vznikající za letu. Pro účely laboratorních zkoušek se kombinovaná akustická a mechanická buzení používají ke generování profilu požadované vibrační odezvy. Přesný poměr požadovaného akustického a mechanického buzení bude záviset na dostupných zařízeních.

Vibrační náročnosti, kterým je podvěs vystaven, se mění během letového úkolu se změnami v letovém dynamickém tlaku, které mohou sledovat například profily z obrázku 14.A.3. Vibrační náročnosti také závisí na počtu kritérií nezávislých na úkolovém letu, jako jsou například geometrie a konstrukce podvěsu, místo a osa měření. Z toho vyplývá, že vhodná měřená letová vibrační data se požadují pro podvěs, jestliže je vystaven zvláštním letovým podmínkám. Naměřené náročnosti pak mohou být proměřeny podle profilů letových úkolů požadovaných pro účely zkoušení, jako jsou ty, které uvádí obrázek 14.A.4. Obrázek 14.A.5 ukazuje typické vibrační spektrum, které se může vytvořit z ilustračních vibračních dat.

Příloha 14A
(normativní)



VYSVĚTLIVKY

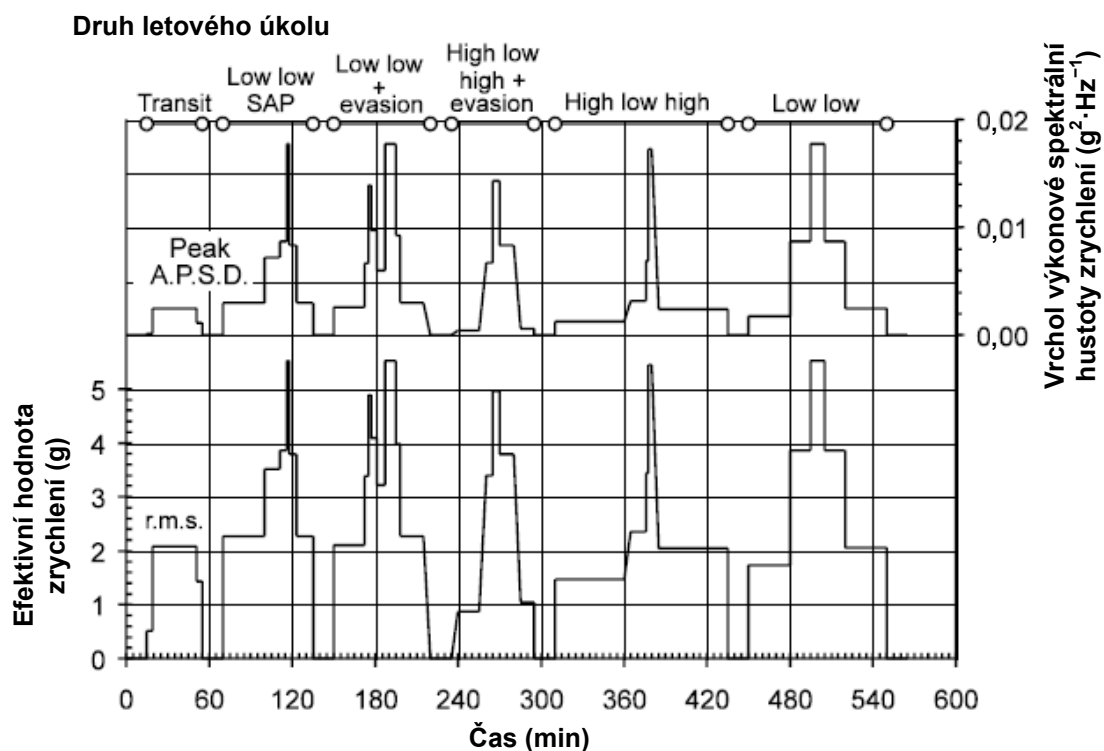
Transit = přeprava;

Low low = přilet v přízemní výšce, odlet po provedení zteče v přízemní výšce;

evasion = únik;

High low high = přilet ve velké výšce, provedení zteče v přízemní výšce a po úhybném manévru odlet ve velké výšce.

OBRÁZEK 14.A.3 – Ilustrační úkoly ekvivalentní dynamickému tlaku volného proudění



VYSVĚTLIVKY

Transit = přeprava;

Low low = přilet v přízemní výšce, odlet po provedení zteče v přízemní výšce;

evasion = únik;

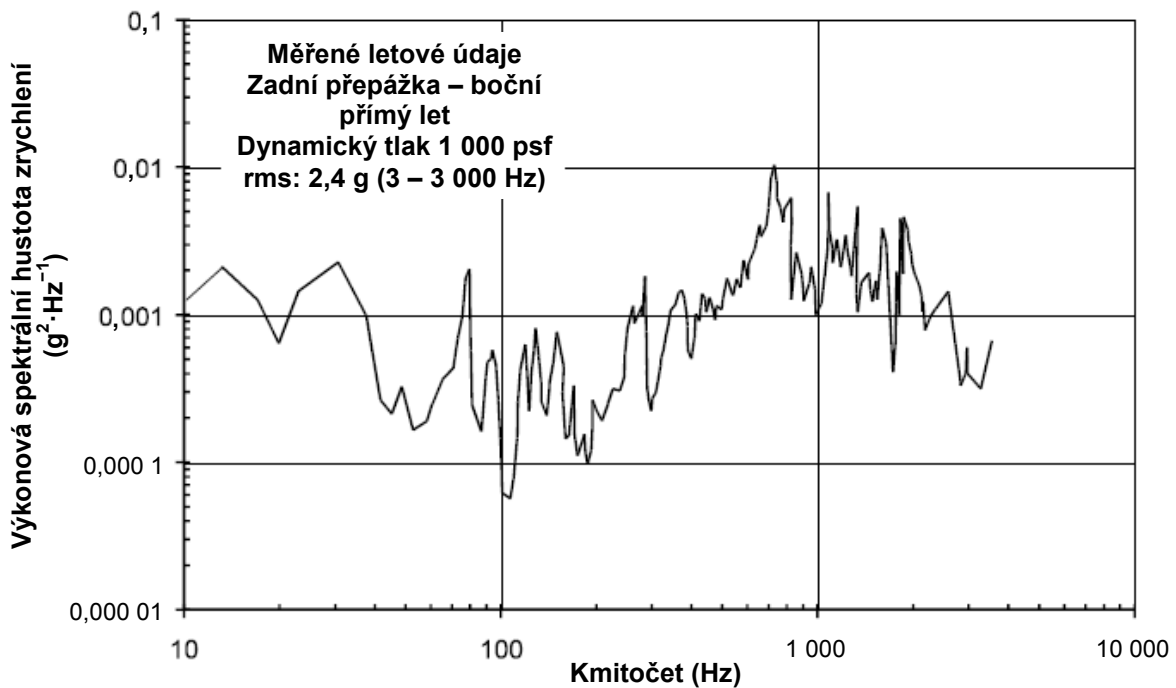
High low high = přilet ve velké výšce, provedení zteče v přízemní výšce a po úhybném manévru odlet ve velké výšce;

Peak A.P.S.D. = vrchol výkonové spektrální hustoty zrychlení;

r.m.s. = efektivní hodnota zrychlení.

OBRÁZEK 14.A.4 – Ilustrační profily náročnosti vibrační zkoušky

Příloha 14A
(normativní)



OBRÁZEK 14.A.5 – Ilustrační spektrum náročnosti vibrační zkoušky

Přibližný vztah mezi letovým dynamickým tlakem a náročností vibrací je uveden dále:

$$\text{Zrychlení, efektivní hodnota} = B q$$

$$\text{Zrychlení, ASD} = C q^2$$

kde

B, C = konstanty pro dané uspořádání letadla nebo podvěsu;

q = letový dynamický tlak.

Mezi letovým dynamickým tlakem q , rychlostí letadla a výškou platí vztah:

$$q = \frac{1}{2} \rho_0 V^2 = \frac{1}{2} \gamma P M^2$$

kde

ρ_0 = atmosférická hustota na úrovni hladiny moře ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

V = ekvivalentní rychlost vzduchu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

P = tlak vzduchu v určené výšce (Pa);

M = skutečné Machovo číslo letadla;

γ = koeficient měrného tepla vzduchu (1,4) pro standardní podmínky.

Pro podmínky dle ISA:

$$q = 70,9 M^2 (1 - 2,256 \times 10^{-5} h)^{5,2561}$$

kde pro výšku h v metrech vyjde tlak q v kPa.

Při nedostatku vhodných měřených dat o letových vibracích, mohou být náhradní informace odvozeny z AECTP-240, Část 246/2.

14.A.5 ODKAZY

MIL-HDBK-781A: Zkoušky spolehlivosti – metody, plánování a prostředí pro technický rozvoj, schvalování a výrobu (Reliability Test Methods, Plans, and Environments for Engineering Development, Qualification and Production), USA Department of Defense, 1. duben 1996.

Příloha 14B
(normativní)

POŽADAVKY NA ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

14.B.1 ÚVOD

Tato zkušební metoda je navržena pro poskytnutí věrného přiblížení k vibračnímu a teplotnímu prostředí letu, kterému jsou vystaveny vnitřní součásti materiálu nainstalovaného zvenku na letounech.

14.B.2 VIBRAČNÍ PODMÍNKY

Hlavním zdrojem vibrací při provozu je buzení z aerodynamického proudění působící na celý nechráněný povrch materiálu. V podmínkách laboratorních zkoušek jsou tyto vibrace simulovány akustickým polem dozvukové komory.

Akustické buzení v nízkých kmitočtech v dozvukové komoře je obvykle omezeno velikostí komory, nízkofrekvenčním zúžením pásma systému na generování šumu a dosažitelností výkonu. Navíc velmi nízké kmitočty, které vyplývají například z ohybu křídel a pylonu a torzních režimů, jsou mechanicky spřažené prostřednictvím připojení podvěsu. Nízkofrekvenční energii se doporučuje aplikovat na zkoušený předmět pomocí mechanického budiče pracujícího ve jmenovitém kmitočtovém rozsahu 5 Hz až 100 Hz.

Mechanické vibrace se aplikují přes lehkou spojku připojenou k pevnému bodu na zkoušeném předmětu. Tato jednodílná spojka by měla být tuhá v ose vibrace, ale měla by umožňovat boční pohyb zkoušeného předmětu.

Akustické a mechanické podněty se nastaví tak, aby bylo dosaženo požadované složené vibrační odezvy ve stanoveném vnitřním místě / stanovených vnitřních místech.

14.B.3 TEPLOTNÍ PODMÍNKY

Běžný způsob generování šumu o vysoké intenzitě v dozvukové komoře vyžaduje použití poměrně velkého průtoku vzduchu komorou. Za účelem dosažení požadovaných teplotních podmínek na povrchu zkoušeného předmětu je nezbytné zkoušený předmět umístit do uzavřeného prostoru a řídit teplotu uvnitř tohoto prostoru. Tento uzavřený prostor musí být fakticky transparentní k akustickému šumu.

Pro docílení rychlých teplotních změn na povrchu zkoušeného předmětu a pro snížení ztrát z proudění kondicionovaného vzduchu se dává přednost tomu, aby akusticky transparentní kryt byl připojen do uzavřeného okruhu s výměníkem /výměníky tepla.

Řízení teploty bude obvykle zavedeno s teplotním senzorem připojeným k části vnějšího povrchu zkoušeného předmětu. Výkon zařízení pro teplotní kondicionování by měl být dostačující k zajištění toho, aby teplotní odezva této části povrchu sledovala nejrychlejší teplotní změny v rámci stanovených tolerancí.

14.B.4 ÚVAHY O KONSTRUKCI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Konstrukce dozvukové komory musí zahrnovat přiměřenou konstrukční hmotnost a tlumení tak, aby spektrum šumu nebylo příliš ovlivněno vibracemi vnitřních ploch komory. Toho se dá dosáhnout tím, že se zabezpečí, aby základní rezonanční kmitočty stěn komory byly nižší než nejnižší požadovaný kmitočet při akustické zkoušce.

Příloha 14B
(normativní)

Buzení v nízkých kmitočtech se aplikuje mechanicky; z toho vyplývá, že nízkofrekvenční odezva komory není tak kritická jako u standardní akustické zkoušky. Minimální velikost komory pro dané spektrum vibračních odezev se může vybrat pro mezní kmitočet při nebo pod přechodem mezi mechanickým a akustickým buzením. Rozměry komory požadované pro přizpůsobení zkoušeného předmětu mohou být omezujícím faktorem a poměr hlavních rozměrů komory musí zajistit přiměřenou modální hustotu v nejnižších kmitočtech akustického šumu.

Sekci vedoucí teplotně kondicionovaný vzduch uvnitř komory se doporučuje konstruovat tak, aby odolala dlouhodobému vystavení akustického šumu. Navíc může být žádoucí začlenit do vnějšího vedení odhlučnění k minimalizaci přenosu šumu do oblastí mimo komoru.

15 METODA 415 – VÝBUCHOVÝ RÁZ

OBSAH

15.1	ROZSAH PLATNOSTI	368
15.1.1	Účel	368
15.1.2	Použití	368
15.1.3	Omezení.....	368
15.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	368
15.2.1	Úvod	368
15.2.2	Využití naměřených údajů	371
15.2.3	Posloupnost.....	373
15.2.4	Výběr postupů zkoušení	373
15.2.5	Okolnosti výběru postupu	375
15.3	NÁROČNOSTI	375
15.3.1	Všeobecná ustanovení	375
15.3.2	Podmínky zkoušení – Doba trvání a modelování přechodového rázového spektra.....	376
15.3.3	Konkrétní postupy – Osy zkoušení, doba trvání a počet rázových jevů.....	377
15.3.4	Pomocné hodnocení	378
15.3.5	Izolační systém.....	378
15.3.6	Zkoušení subsystémů	379
15.3.7	Uspořádání materiálu	379
15.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	379
15.4.1	Povinné	379
15.4.2	Jsou-li požadované	380
15.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	380
15.5.1	Tolerance a odhad zkušební úrovně	380
15.5.2	Řízení.....	382
15.5.3	Podmínky instalace zkoušeného materiálu	382
15.5.4	Účinky zemské přitažlivosti.....	384
15.5.5	Příprava zkoušky	384
15.5.6	Postupy	385
15.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	388
15.6.1	Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací	389
15.6.2	Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací	389

15.6.3	Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením ...	389
15.6.4	Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem	389
15.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	389

Přílohy

Příloha 15A	VÝBUCHOVÝ RÁZ – TECHNICKÝ NÁVOD	392
-------------	---------------------------------------	-----

15.1 ROZSAH PLATNOSTI

15.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat účinky komplexních přechodových odezev o vysoké amplitudě a vysokém kmitočtu vznikající v systémech, subsystémech, součástech a celcích, dále nazývaných „materiál“, během stanovených provozních podmínek při vystavení výbuchovým rázům z pyrotechnických výbušnin nebo ze střelivinou aktivovaných zařízení.

15.1.2 Použití

Tato metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat prostředí výbuchových rázů bez nepřijatelné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik. Doplnující technický návod je obsažen v čl. 15.7, odkazy a, b a v příloze 15A. AECTP-100 a 200 poskytují směrnici pro výběr zkušebního postupu pro prostředí výbuchového rázu.

15.1.3 Omezení

Vzhledem k vysoce specializované povaze výbuchových rázů se aplikují až po pečlivém zvážení informací obsažených v následujících odstavcích. Obecně není možné simulovat některý ze skutečných provozních prostředí výbuchových rázů, protože omezení daná přípravky a fyzikální omezení mohou zabránit uspokojivé aplikaci výbuchových rázů na zkoušený předmět.

- a) Tato metoda nezahrnuje účinky rázů, kterým je materiál vystaven v důsledku jakýchkoli mechanických rázů, přechodových vibrací, rázů při lodní přepravě nebo EMI. Pro tyto druhy rázů se vyhledají vhodné metody v tomto standardu.
- b) Tato metoda nezahrnuje vlivy, kterým jsou vystaveny roznětné systémy citlivé na rázy z výbušných zařízení. Rázové zkoušky bezpečnosti a funkce roznětek a jejich prvků se mohou provádět podle jiných vhodných národních nebo mezinárodních standardů výslovně zaměřených na zkoušení vlivů prostředí na roznětné systémy.
- c) Tato metoda nezahrnuje zvláštní ustanovení pro provádění zkoušek výbuchových rázů při vysokých nebo nízkých teplotách.
- d) Tato metoda není určena k aplikaci pro zkoušení kosmických dopravních prostředků s posádkou, viz čl. 15.7, odkaz b a přílohu 15A, odkaz I.
- e) Tato metoda se netýká druhotných účinků, jako jsou například vyvolaná tlaková vlna, EMI a tepelné jevy.
- f) Tato metoda se netýká vlivů balistického rázu na materiál.

15.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

15.2.1 Úvod

Vzhledem k vysoce jedinečné formě prostředí je úvodní diskuze určena k popsání prostředí.

15.2.1.1 Důvody pro zkoušení výbuchového rázu

Zkoušky výbuchového rázu zahrnující pyrotechnická, výbušná nebo střelivinou aktivovaná zařízení se provádějí:

- a) Pro stanovení míry jistoty, že materiál může konstrukčně a funkčně odolat málo častým rázovým vlivům způsobeným výbuchem výbušných zařízení na konstrukčním uspořádání, ke kterému je materiál upevněn.
- b) Pro experimentální odhad úrovně křehkosti materiálu vztahující se k výbuchovému rázu, aby se mohly k ochraně konstrukční a funkční integrity materiálu použít postupy tlumící rázy.

15.2.1.2 Definice výbuchového rázu

Pyroráz¹ je často zmiňovaný jako „pyrotechnický ráz“. Pro účely tohoto dokumentu má iniciace výbušných zařízení za následek účinek, který je nazýván jako výbuchový ráz. Výbuchový ráz se týká lokalizované intenzivní mechanické přechodové odezvy způsobené výbuchem výbušných zařízení na přilehlé konstrukci.

Řada zařízení je schopná přenášet intenzivní přechodové jevy na materiál. Obecně je výbuchový ráz způsoben: (1) výbušným zařízením, nebo (2) střelivinou aktivovaným zařízením, uvolňujícím uloženou deformační energii a přímo spojeným s konstrukcí. Pro objasnění, střelivinou aktivované zařízení zahrnuje položky jako je například držák, který uvolňuje deformační energii způsobující konstrukční odezvu větší než je odezva obdržená ze samotného výbuchu střeliviny. Zdroj buzení se může popsat, pokud jde o jejich prostorové rozložení, jako: bodové zdroje, liniové zdroje nebo kombinované bodové a liniové zdroje – viz příloha 15A, odkaz I. Bodové zdroje zahrnují výbušné šrouby, oddělovací matice, vytahovače a zasouvače čepů, odstřihovače šroubů a kabelů a pyrotechnicky aktivované technické systémy. Liniové zdroje zahrnují pružné lineární kumulativní nálože (FLSC), pomalu detonující bleskovice (MDF) a výbušná přenosová vedení. Kombinované bodové a liniové zdroje zahrnují páskové V-svorníky (Marmon). Zatížení z výbušných zařízení může být doprovázeno uvolněním konstrukční deformační energie z konstrukčního předpětí mezi konstrukčními prvky nebo jejich nárazem v důsledku aktivace výbušných zařízení. Zkušební metoda se používá k hodnocení materiálu, který má být pravděpodobně vystaven během své životnosti jednomu nebo více výbuchovým rázům.

Výbuchové rázy jsou vesměs omezeny na kmitočtový rozsah mezi 100 Hz a 1 000 000 Hz a mají dobu trvání od 50 mikrosekund do ne více než 20 milisekund. Amplitudy akcelerační odezvy na výbuchový ráz mohou být v rozsahu od 300 g do 300 000 g. Časový průběh akcelerační odezvy na výbuchový ráz obecně bude velmi oscilující a bude mít dobu náběhu blízkou se k 10 mikrosekundám. Obecně vytváří výbuchové rázy v materiálu napěťové vlny, které vybudí materiál k odezvě do velmi vysokých kmitočtů s vlnovými délkami o velikosti řádově mikroelektronického čipu. Vzhledem k omezené změně rychlosti v konstrukci vyplývající z odpalování výbušných zařízení a k lokalizované povaze výbušných zařízení, konstrukční rezonance materiálu nižší než 500 Hz běžně nebudou buzeny. Materiálová soustava bude podrobena velmi malým posunům s drobnými konstrukčními poškozeními. Akcelerační prostředí výbuchového rázu v blízkosti materiálu bude obvykle silně závislé na uspořádání materiálu. Materiál nebo jeho části mohou být v blízkém nebo vzdáleném poli od výbušného zařízení; prostředí

¹ Poznámka: V originálu „pyroshock“; v textu ČOS je místo v češtině nepoužívaného termínu „pyroráz“ nebo termínu s užším významem „pyrotechnický ráz“ termín „pyroshock“ překládán jako „výbuchový ráz“.

výbuchového rázu v blízkém poli je nejnáročnější, ve vzdáleném poli je nejméně náročné.

15.2.1.3 Vlastnosti výbuchového rázu

Výbuchový ráz je fyzikální jev charakterizovaný celkovou materiálovou a mechanickou odezvou v bodech konstrukce. Výbušné zařízení vytváří extrémní lokální tlak s možným vyzařováním tepla a elektromagnetickým vyzařováním v bodech nebo podél přímky. Tento extrémní lokální tlak vytváří téměř okamžité generování lokálních nelineárních deformací materiálu o velké amplitudě doprovázených přenosem napěťových vln o velké amplitudě a vysokém kmitočtu, které vytváří odezvu s velkým zrychlením, nízkou rychlostí a krátkého trvání dále od bodového nebo liniového zdroje. Vlastnosti výbuchového rázu jsou:

- a) Poblíž zdroje vznikající napěťové vlny v konstrukci způsobené vysokými deformačními rychlostmi v materiálu, nelineární materiálová oblast, které se šíří do blízkého pole a mimo něj.
- b) Vysoké kmitočty 100 Hz – 1 000 000 Hz a značně širokopásmový kmitočtový vstup.
- c) Vysoké zrychlení 300 g – 300 000 g s nízkou konstrukční rychlostí a výchylkou odezvy.
- d) Krátká doba trvání, typicky < 20 milisekund.
- e) Vysoká zbytková konstrukční akcelerační odezva (po výbuchovém jevu).
- f) Bodový nebo přímkový vstupní zdroj, který je vysoce lokalizovaný.
- g) Velmi vysoká impedance konstrukčního řídicího bodu P/v , kde P je velká síla nebo tlak výbuchu a „ v “ je malá konstrukční rychlost. U zdroje může být impedance podstatně menší, jestliže je rychlost materiálových částic velká.
- h) Časové průběhy odezev vzdálenějších od zdroje jsou přirozeně vysoce náhodné, tj. s malou opakovatelností, a jsou velmi závislé na detailech uspořádání.
- i) Odezva v bodech na konstrukci je značně ovlivněna nespojitostmi konstrukce.
- j) Konstrukční odezva z ionizace plynů při výbuchových jevech může být doprovázena značným vyzařováním tepla a elektromagnetické energie.

15.2.1.4 Třídění výbuchových rázů podle intenzity

Charakter odezvy na výbuchové rázy naznačuje, že materiál nebo jeho konstrukční prvky se mohou třídit podle umístění v „blízkém poli“ nebo „vzdáleném poli“ vzhledem k výbušnému zařízení. Termíny „blízké pole“ a „vzdálené pole“ se vztahují k intenzitě rázů v bodě odezvy a intenzita je obvykle neznámá funkce vzdálenosti od zdroje a konstrukční konfigurace mezi zdrojem a bodem odezvy.

- a) **Blízké pole.** V blízkém poli výbušného zařízení je odezva určována účinky šíření napěťové vlny v konstrukci materiálu. Materiál nebo nějaká část materiálu jsou v blízkém poli silného výbušného zařízení, jestliže jsou ve vzdálenosti do 15 cm od místa výbuchu zařízení nebo jeho části v případě vedené nálože. Pokud do konstrukce nezasahují žádné trhliny, dá se předpokládat, že materiál podstoupí vrcholová zrychlení více než 5 000 g a podstatnou spektrální kapacitu přes 100 000 Hz. Blízké pole méně silných výbušných zařízení se může uvažovat v rámci 7,5 cm od místa výbuchu

zařízení nebo jeho části, s následnou redukcí ve vrcholových úrovních zrychlení a spektrálních úrovních.

- b) **Vzdálené pole.** Ve vzdáleném poli výbušného zařízení je odezva výbuchového rázu určována kombinací účinků šíření napěťové vlny a účinků konstrukční rezonanční odezvy. Materiál nebo nějaká jeho část jsou ve vzdáleném poli silného výbušného zařízení, jestliže jsou ve vzdálenosti větší než 15 cm od místa výbuchu zařízení nebo jeho části, v případě vedené nálože. Pokud do konstrukce nezasahují žádné trhliny, dá se předpokládat, že materiál podstoupí vrcholová zrychlení mezi 1 000 g a 5 000 g a podstatnou spektrální kapacitu přes 10 000 Hz. Vzdálené pole méně silných výbušných zařízení se může uvažovat ve vzdálenosti větší než 7,5 cm od místa výbuchu zařízení nebo jeho části, s následnou redukcí ve vrcholových úrovních zrychlení a spektrálních úrovních. V případě potřeby je vzdálené pole výbušného zařízení charakterizováno výše uvedenými účinky mechanické konstrukční rezonanční odezvy. Pokud do konstrukce nezasahují žádné trhliny, dá se předpokládat, že materiál podstoupí vrcholová zrychlení nižší než 1 000 g a většinu spektrální kapacity do 10 000 Hz.

15.2.1.5 Vlivy prostředí

Následující pojednání není určené k tomu, aby zahrnovalo vše, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, když je materiál vystaven výbuchovému rázu.

Obecně má výbuchový ráz potenciál k vytváření nepříznivých účinků na veškerou elektroniku. Úroveň nepříznivých účinků narůstá s úrovní a dobou trvání výbuchového rázu, a klesá s nárůstem vzdálenosti od výbušného zařízení. Doba trvání výbuchového rázu, který vytváří v materiálu napěťové vlny s vlnovou délkou odpovídající vlnové délce přirozeného kmitočtu mikroelektronických součástí uvnitř materiálu, bude zvyšovat nepříznivé účinky. Obecně konstrukční uspořádání přenáší pružné vlny a není ovlivněno výbuchovým rázem. Příklady problémů spojených s výbuchovým rázem zahrnují:

- a) Poruchy materiálu jako důsledek zničení konstrukční integrity mikroelektronických součástí.
- b) Poruchy materiálu jako důsledek přenosu vibrací.
- c) Poruchy materiálu jako důsledek chybové funkce nebo poškození obvodové desky a poruchy elektronických konektorů. Příležitostně mohou nečistoty vymetené výbuchovým rázem na obvodové desce způsobit krátké spojení.
- d) Poruchy materiálu jako důsledek trhlin a lomů na krystalických, keramických, epoxidových nebo skleněných povlacích.

15.2.2 Využití naměřených údajů

Tato část poskytuje podklad a návod pro využití údajů naměřených při zkoušení výbuchového rázu a komentář pro případy, ve kterých nejsou měřené údaje k dispozici. Pro výbuchový ráz jsou výbušná zařízení navrhována do celkové konfigurace materiálu a musí fungovat pro specifické účely. V tomto případě je jednodušší získat měřené údaje během takových příležitostí jako je laboratorní vývoj. V případě potřeby mohou být naměřené údaje o výbuchovém rázu snadno dostupné a měly by být zpracovány a použity k největšímu možnému rozšíření Směrnice pro zkoušku.

15.2.2.1 Měřené údaje o výbuchovém rázu jsou dostupné

- a) Jestliže jsou naměřené údaje dostupné, mohou se data zpracovávat s využitím spektra rázové odezvy (SRS), Fourierova spektra (FS) nebo spektrální hustoty energie (ESD). Pro technické a historické účely se SRS stalo standardem pro zpracování měřených dat. V následující diskuzi se předpokládá, že SRS je zpracovatelský nástroj. Obecně je hlavní zájmovou veličinou maximax SRS spektrum, neomezené zrychlení nebo pseudorychlost. SRS požadované pro zkoušku se stanoví z analýzy časového průběhu měřeného zrychlení prostředí. Po pečlivém vymezení dat je třeba se ujistit, že v časových průbězích amplitudy nejsou žádné anomálie a SRS vypočítat. Příloha 15A, odkaz f poskytuje informaci, pokud jde o vymezení údajů o výbuchovém rázu. Analýzy se budou provádět pro $Q = 10$ v posloupnosti přirozených kmitočtů v intervalech nejméně 1/6 oktávy, a ne s větším rozlišením než 1/12 oktávy, odstup kroků nejméně 100 Hz až 20 000 Hz a nepřekročí 100 000 Hz. Když je dostupný dostačující počet typických rázových spekter, využije se vhodná statistická metoda, obecně obalování, ke stanovení požadovaného zkušební spektra. Metoda 403, příloha 9C popisuje statistické metody. Parametrickou statistiku lze použít, pokud lze prokázat, že data uspokojivě odpovídají předpokládanému základnímu rozdělení pravděpodobnosti. Například se zkušební úroveň může založit na maximálním předvídaném prostředí stanoveném jako totožné nebo větší než 95percentilní úroveň v nejméně 50 % času, to je pojetí tolerančního intervalu. Pokud se může zformátovat normální nebo logaritmicko-normální rozložení, Metoda 403, příloha 9C, odvozená z přílohy 15A, odkaz g, poskytuje metodu pro kalkulaci zkušební úrovně.
- b) Jestliže nejsou k dispozici dostatečná data pro statistickou analýzu, použije se navýšení přes maximum z dostupných spektrálních dat k zohlednění variability prostředí a vytvoří se zkušební spektrum. Navýšení je založeno na odborných posudcích a mělo by se podpořit zdůvodněním pro posouzení. Je často výhodné obalit SRS výpočtem maximax spekter přes vzorová spektra a přidat +6 dB růstové rezervy k maximax obálce SRS.
- c) Při využití zkoušky výbuchového rázu se z časového průběhu stanoví doba trvání efektivních přechodových T_e . Pro všechny postupy časový průběh amplitudy výbuchového rázu použitý pro analýzy SRS bude mít trvání T_e . Navíc měřená data se budou shromažďovat pro trvání T_e před výbuchovým rázem a trvání T_e po výbuchovém rázu pro následné analýzy. Obecně každá jednotlivá osa ze tří kolmých os bude mít přibližně stejné rázové zkušební SRS a průměrnou účinnou dobu trvání jako důsledek všesměrových vlastností výbuchového rázu v Postupu I a Postupu II. Pro Postup III se může tvar rázového zkušební SRS měnit s osami. Při použití Postupu IV se musí použít metoda rázového buzení složených přechodových SRS. Klasické impulzní tvary rázu nejsou přijatelnou náhradou za žádný zkušební postup založený na SRS.

15.2.2.2 Měřené údaje o výbuchovém rázu nejsou dostupné

Jestliže není dostupná žádná databáze pro konkrétní uspořádání, zkoušející se musí při předepisování výbuchové zkoušky spolehnout na konfigurační podobnost a všechny související naměřené údaje. Vzhledem k citlivosti výbuchového rázu na uspořádání soustavy a široké proměnlivosti obsažené v měřeních výbuchových

rázů, musí zkoušející postupovat opatrně. Jako základní návod pro zkoušení výbuchových rázů poskytuje obrázek 15.A.10 odhady SRS pro čtyři typické aplikace výbušných zařízení s bodovým zdrojem ve vzdušném prostoru. Obrázek 15.A.11 podává informace o útlumu vrcholů SRS a rampy SRS se vzdáleností od zdroje pro bodové zdroje z obrázku 15.A.10. Informace na obrázku 15.A.10 a na obrázku 15.A.11 pocházejí z přílohy 15A, odkaz n. Příloha 15A, odkaz n také doporučuje, aby útlum vrcholu SRS přes spoje byl 40 % pro každý spoj, až do tří spojů, a aby nedošlo k útlumu SRS rampy. Obrázek 15.A.12 poskytuje stupeň útlumu časového průběhu vrcholové odezvy jako funkce vzdálenosti přenosové cesty rázu od zdroje pro sedm konstrukčních uspořádání pro vzdušný prostor. Tyto informace jsou shrnutím z přílohy 15A, odkaz o. Zákon podobnosti SES nebo zákon podobnosti RLDS mohou poskytovat návod – viz článek 15.3.2.2.

Ve většině případů jsou buď Postup II nebo Postup III optimálními postupy pro zkoušení s minimálním rizikem podstatného podlimitního nebo nadlimitního zkoušení. Jestliže Postup I není volitelnou možností, musí zkoušející opatrně postoupit k Postupu II nebo Postupu III podle směrnic pro každou tuto metodu. Další užitečné informace týkající se zkušebních postupů obsahuje čl. 15.7, odkaz a. Ve skutečnosti se zkušební přechodová považuje za vyhovující, pokud je SRS totožné nebo větší než stanovený požadavek na SRS přes minimální kmitočtový rozsah 100 Hz až 20 000 Hz a doba trvání zkušební přechodové je v rámci 20 % z doby trvání normální odezvy výbuchového rázu pro ostatní uspořádání.

15.2.3 Posloupnost

Výbuchový ráz obvykle působí těsně u konce životního cyklu, s výjimkou případů uvedených v profilu životního cyklu. Normálně se zkoušky výbuchového rázu plánují na závěr posloupnosti zkoušek, ledaže by materiál musel být konstruován k tomu, aby odolal mimořádně vysokým úrovním výbuchových rázů, u nichž se vibrace a další rázová prostředí považují za jmenovitá. Zkoušky výbuchového rázu se mohou považovat za nezávislé na ostatních zkouškách vzhledem k jejich jednoznačně a přesně vymezené povaze a důvody pro provádění zkoušek kombinovaným prostředím budou vzácné. Je dobrou praxí vystavit jednotlivý zkoušený předmět postupně všem příslušným podmínkám prostředí, jestliže nezávislost ostatních zkoušek se nedá přesvědčivě zdůvodnit.

Kromě toho se zkoušky provádějí při okolní teplotě v místě zkoušení, pokud není stanoveno jinak nebo pokud zde není důvod se domnívat, že buď vysoká, nebo nízká provozní teplota může zvýšit úroveň prostředí výbuchového rázu.

Tato metoda nezahrnuje poučení související s posloupností zkoušek pro neplánovaná přerušení zkoušky v důsledku selhání výbušného zařízení nebo mechanického zkušebního zařízení v případech, kdy se výbuchový ráz simuluje mechanicky. Obecně platí, že při selhání výbušného zařízení nebo při přerušení, které se vyskytnou během mechanického rázového impulzu, je třeba opakovat tento rázový impulz. Je nutné věnovat pozornost tomu, aby napětí vyvolaná přerušeným rázovým impulzem nezneškodila výsledky následných zkoušek. Především je třeba zkontrolovat funkčnost materiálu a prověřit celkovou integritu materiálu, aby se zajistila stejná integrita jako před zkouškou. Zaznamenají se a analyzují údaje o tomto přerušení předtím, než se bude pokračovat v posloupnosti zkoušek.

15.2.4 Výběr postupů zkoušení

Výběr zkušební postupu je určován mnoha činiteli včetně provozního prostředí a druhu materiálu. O těchto a dalších činitelích se pojednává ve všeobecných požadavcích AECTP-100 a v definici prostředí v AECTP-240. Tato metoda zahrnuje čtyři zkušební postupy.

15.2.4.1 Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

Reprodukování výbuchových rázů pro prostředí blízkého pole s použitím skutečného materiálu a přiřazeného výbušného zařízení v provozním uspořádání (Postup I) je určeno ke zkoušení materiálu včetně mechanického, elektrického, hydraulického a elektronického, v provozním režimu a ve skutečném uspořádání. Fyzická návaznost zkoušeného předmětu a výbušného zařízení se udržuje v laboratorní zkoušce. Při Postupu I je materiál nebo některá jeho část umístěna v blízkém poli výbušného/výbušných zařízení.

15.2.4.2 Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

Reprodukování výbuchových rázů pro prostředí blízkého pole s použitím skutečného materiálu, ale s přiřazeným výbušným zařízením izolovaným od zkoušeného předmětu (Postup II) je určeno ke zkoušení materiálu včetně mechanického, elektrického, hydraulického a elektronického, v provozním režimu, ale se simulovaným konstrukčním uspořádáním. Obvykle to bude minimalizovat náklady na zkoušení, protože bude poškozeno méně sestav materiálu a/nebo platform spojených se zkoušeným předmětem. Zkušební sestava se může použít pro opakované zkoušky při měnících se úrovních. Měl by se využít každý pokus uplatnit tento postup pro reprodukování skutečné platformy nebo konstrukčního uspořádání materiálu prostřednictvím skutečné zkoušky. Jestliže by to bylo příliš nákladné nebo nepraktické, použijí se modelované zkoušky s ohledem na detaily uspořádání v procesu modelování. Především – pro zkoušku je potřebná pouze ta část konstrukce, na kterou se přímo působí, při jejím provádění se může předpokládat, že zbytek konstrukce nebude mít vliv na odezvu materiálu. V případě potřeby se pro zkoušení materiálu mohou využít zvláštní výbušná zařízení, jako jsou například rovná ocelová deska, k níž je připevněn materiál a připojena pyrotechnická nálož. Při Postupu II se předpokládá, že materiál nebo některá jeho část je umístěna v blízkém poli výbušného/výbušných zařízení.

15.2.4.3 Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

Postup III je reprodukování výbuchového rázu pro prostředí vzdáleného pole s mechanickým zařízením simulujícím amplitudy vrcholového zrychlení výbuchového rázu a kmitočtový obsah. Výbuchový ráz se může aplikovat použitím konvenční amplitudy velkého zrychlení nebo zařízení pro frekvenční buzení. Čl. 15.7, odkaz „a“ poskytuje popis zařízení pro rázový vstup, jejich výhod a omezení. Postup III typicky vylučuje elektrodynamické budiče vzhledem k jejich omezenému kmitočtovému rozsahu. V Postupu III se předpokládá, že všechny části materiálu leží ve vzdáleném poli výbušného/výbušných zařízení.

15.2.4.4 Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

Postup IV je reprodukování výbuchového rázu pro prostředí vzdáleného pole s použitím elektrodynamického budiče pro simulaci poměrně nízkých kmitočtů konstrukčních rezonančních odezev na výbušné zařízení. Ve všech případech je nezbytné s pomocí provozních měření ověřit, že simulace využívající budič je typická pro samotnou rezonanční odezvu platformy. V Postupu IV se předpokládá, že

všechny části materiálu leží ve vzdáleném poli výbušného/výbušných zařízení. Samotný materiál je vystaven rezonanční odezvě konstrukční platformy.

15.2.5 Okolnosti výběru postupu

Na základě požadavků na výsledky zkoušky se stanoví, který zkušební postup je vhodný. Zaznamenají se jakékoli konstrukční nespojitosti, které mohou posloužit ke zmírnění účinků výbuchového rázu na materiál, a zvolí se postup založený na skutečném provozním uspořádání materiálu. V některých případech se bude výběr postupu řídit praktičností zkoušky. Je třeba zvážit všechna prostředí výbuchových rázů, očekávaná během životního cyklu materiálu, a to jak v logistických, tak v provozních režimech. V každém případě jedna zkouška bude považovaná za dostačující pro odzkoušení přes celou amplitudu a celý kmitočtový rozsah vystavení materiálu. Měřená nebo očekávaná odezva se nerozděluje na výbuchový ráz do jednotlivých amplitud nebo kmitočtových rozsahů a na každou jednotlivou amplitudu nebo kmitočtový rozsah se aplikují odlišné zkušební metody. Při výběru postupu se zvažuje následující:

- a) Provozní účel materiálu. Z dokumentů, obsahujících požadavky na materiál, se vymezí, jaké funkce má materiál vykonávat buď během, nebo po vystavení prostředím výbuchového rázu.
- b) Umístění ve vztahu k výbušnému zařízení. Stanoví se, zda je materiál nebo jeho část umístěna v blízkém nebo vzdáleném poli výbušného zařízení – viz definici v článku 15.2.1.4.

Jestliže je materiál nebo jeho část umístěna v blízkém poli výbušného zařízení, bez izolování od materiálu a jestliže neexistují žádná data měřená v polních podmínkách, aplikuje se pouze Postup I nebo II.

Jestliže je materiál umístěn v blízkém poli výbušného zařízení a data měřená v polních podmínkách existují, aplikuje se Postup III, pokud zpracovávaná data podporují amplitudovou a kmitočtovou kapacitu zkušebních zařízení.

Jestliže je materiál umístěn ve vzdáleném poli a je vystaven výhradně konstrukční odezvě, aplikuje se Postup IV, pokud zpracovávaná data podporují rychlost, výchylku a kmitočtový rozsah elektrodynamického budiče. Jestliže data nepodporují omezení elektrodynamického budiče, aplikuje se Postup III.

- c) Provozní účel. Zkušební data požadují, aby se stanovilo, zda provozní účel materiálu byl splněn.

15.3 NÁROČNOSTI

15.3.1 Všeobecná ustanovení

Pokud je to účelné, úrovně a doba trvání zkoušení budou přizpůsobeny nebo stanoveny s využitím projektovaných profilů provozního použití a dalších významných údajů. Případy výbuchových rázů jsou navrhovány do celkového uspořádání materiálu s dobře vymezenou posloupností výskytu. Pokud nejsou měřené údaje dostupné, je třeba se podívat na přílohu 15A nebo na poskytované odkazy. Veškeré informace by se měly používat ve spojení s příslušnými informacemi uvedenými v AECTP-240. Jakmile bude na základě dokumentů

stanovujících požadavky na materiál a na základě procesu přizpůsobení vybraný jeden ze čtyř postupů výbuchového rázu, dokončí se proces přizpůsobení identifikováním příslušných úrovní parametrů, vhodných podmínek zkoušení a zkušebních metod použitelných pro tento postup. U zkoušení výbuchového rázu je třeba věnovat mimořádnou péči zvažování detailů v procesu přizpůsobení. Tyto volby se založí na dokumentech, stanovujících požadavky na materiál, na LCEP, na dokumentaci o provozním prostředí a na informacích týkajících se tohoto postupu. Při výběru zkušebních úrovní se bere ohled na následující.

15.3.2 Podmínky zkoušení – Doba trvání a modelování přechodového rázového spektra

SRS a účinné trvání přechodové T_e se odvodí z měření provozního prostředí materiálu nebo, pokud je to k dispozici, z dynamicky modelovaných měření podobného prostředí. Vzhledem k průvodnímu velmi vysokému stupni nahodilostí spojených s odezvou na výbuchový ráz, musí se věnovat mimořádná pozornost dynamickému modelování podobných jevů. U výbuchových rázů existují dva známé zákony podobnosti pro použití s odezvou z výbuchového rázu, které mohou být užitečné, jestliže se využívají opatrně – viz čl. 15.7, odkaz b a příloha 15A, odkaz I.

15.3.2.1 Modelování zdrojové energie výbuchového rázu (SES)

První zákon podobnosti je Modelování zdrojové energie (SES), kde se SRS upravuje ve všech kmitočtech podílem celkové uvolňování energie ze dvou různých zařízení. Pro E_r a E_n jako celkové energie ve dvou výbuchových rázových zařízeních je vztah mezi upravenými úrovněmi SRS při daném přirozeném kmitočtu f_n , a vzdálenosti D_1 dán následujícím výrazem:

$$SRS_n(f_n|E_n, D_1) = SRS_r(f_n|E_r, D_1) \sqrt{\frac{E_n}{E_r}}$$

Při použití tohoto vztahu se předpokládá, že buď nárůst, nebo pokles celkové energie výbuchových rázových zařízení se bude propojovat do konstrukce přesně stejným způsobem. Nadměrná energie z jednoho zařízení přejde do konstrukce na rozdíl od energie rozptýlené nějakým jiným způsobem, například vzduchem.

15.3.2.2 Lokační distanční modelování odezvy výbuchového rázu (RLDS)

Druhý zákon podobnosti je Lokační distanční modelování odezvy (RLDS), kde se SRS modeluje ve všech kmitočtech pomocí empiricky odvozené funkce vzdálenosti mezi dvěma zdroji. Pro D_1 a D_2 jako vzdálenosti od výbuchového rázového zařízení je vztah mezi upravenými úrovněmi SRS při daném přirozeném kmitočtu f_n dán následujícím výrazem:

$$SRS(f_n|D_2) = SRS(f_n|D_1) \exp \left\{ \left[-8 \times 10^{-4} f_n^{(2,4 f_n^{-0,105})} \right] (D_2 - D_1) \right\}$$

Při využívání tohoto vztahu se předpokládá, že D_1 a D_2 lze snadno definovat jako v případě výbuchového zařízení s bodovým zdrojem. Obrázek 15.A.9 z čl. 15.7, odkaz b zobrazuje poměr $SRS(f_n|D_2)$ k $SRS(f_n|D_1)$ jako funkci přirozeného kmitočtu f_n pro vybrané úrovně členu $(D_2 - D_1)$. Z tohoto grafu je jasné, že jakmile přirozený kmitočet stoupá, je výrazný pokles v poměru pro určité $(D_2 - D_1) > 0$, a jakmile $(D_2 - D_1)$ vzrůstá, útlum se stává podstatným. Pokud se tento modelový vztah použije pro předpověď mezi dvěma uspořádáními, velmi se spoléhá na (1) podobnost uspořádání a na (2) podobnost druhu výbuchového zařízení. Odkaz I

v příloze 15A a příklad uvedený v tomto odkazu se doporučuje konzultovat předtím, než se tento modelový vztah aplikuje.

15.3.3 Konkrétní postupy – Osy zkoušení, doba trvání a počet rázových jevů

15.3.3.1 Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

Pro Postup I se zkoušený předmět podrobí dostatečnému počtu přiměřených rázů tak, aby se splnily stanovené podmínky zkoušení. Mohou se využít následující pokyny. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům pouze zřídka, se provede jeden ráz pro každé podmínky příslušného prostředí. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům častěji, a existuje málo dostupných dat pro zdůvodnění počtu výbuchových rázů, se aplikují tři nebo více rázů v podmínkách každého prostředí, založeného na očekávaném provozním použití. Přiměřený zkušební ráz pro každou osu je jeden, který dává SRS, jenž je totožné nebo větší než požadované zkušební SRS přes stanovené kmitočtové pásmo, pokud se použije pro časový průběh zkušebního rázu doba trvání na stanovené úrovni T_e a pokud účinná doba trvání rázu je v rámci 20 % ze stanovené úrovně T_e . Určí se SRS pro $Q = 10$ a pro alespoň 1/6oktávové kmitočtové intervaly. Účelem zkoušky je přezkoušet fyzikální a funkční integritu materiálu ve skutečném uspořádání v blízkém poli výbuchového rázového zařízení.

15.3.3.2 Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

Pro Postup II se zkoušený předmět podrobí dostatečnému počtu přiměřených rázů tak, aby se splnily stanovené podmínky zkoušení. Mohou se využít následující instrukce. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům pouze zřídka, se provede jeden ráz pro každé podmínky příslušného prostředí. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům častěji, a existuje málo dostupných dat pro zdůvodnění počtu výbuchových rázů, se aplikují tři nebo více rázů v podmínkách každého prostředí, založeného na očekávaném provozním použití. Přiměřený zkušební ráz pro každou osu je jeden, který dává SRS, jenž je totožné nebo větší než požadované zkušební spektrum přes stanovené kmitočtové pásmo, pokud se použije pro časový průběh zkušebního rázu doba trvání na stanovené úrovni T_e a pokud účinná doba trvání rázu je v rámci 20 % ze stanovené úrovně T_e . Určí se maximax SRS pro $Q = 10$ a pro alespoň 1/6oktávové kmitočtové intervaly. Účelem zkoušky je přezkoušet fyzikální a funkční integritu materiálu v simulovaném pyrotechnickém uspořádání v blízkém poli výbuchového rázového zařízení.

15.3.3.3 Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

Pro Postup III se zkoušený předmět podrobí dostatečnému počtu přiměřených rázů tak, aby se splnily stanovené podmínky zkoušení. Mohou se využít následující instrukce. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům pouze zřídka, se provede jeden ráz pro každé podmínky příslušného prostředí. Pro materiál, který bude pravděpodobně daným výbuchovým jevům vystaven častěji, a existuje málo dostupných dat pro zdůvodnění počtu výbuchových rázů, se aplikují tři nebo více rázů v podmínkách každého prostředí, založeného na očekávaném provozním použití. Zkušební požadavky na měřenou odezvu lze uspokojit podél více než jedné osy s jednoduchým uspořádáním rázové zkoušky.

Proto tedy je možné si představit, že nejméně tři opakování zkušebního rázu vyhoví požadavkům pro všechny směry všech tří ortogonálních os. Při druhé krajnosti se požaduje celkem devět rázů, jestliže každý ráz vyhoví pouze zkušebním požadavkům v jednom směru jedné osy. Pokud se požadované spektrum zkoušení uspokojí současně ve všech směrech, opakování tří rázů požadavkům zkoušky vyhoví. Jestliže požadavek může být uspokojen pouze v jednom směru, je povoleno změnit uspořádání zkoušky a využít tři dodatečné rázy ke splnění spektrálního požadavku v dalším směru. Přiměřený zkušební ráz je jeden, který dává SRS, jenž je totožné nebo větší než požadované zkušební spektrum přes stanovené kmitočtové pásmo. Určí se maximax SRS pro $Q = 10$ a pro alespoň 1/6oktávové kmitočtové intervaly. Účelem zkoušky by mělo být přezkoušet fyzikální a funkční integritu systému při pyrotechnickém rázu ve vzdáleném poli výbuchového rázového zařízení.

15.3.3.4 Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

Pro Postup IV se zkoušený předmět podrobí dostatečnému počtu přiměřených rázů tak, aby se splnily stanovené podmínky zkoušení. Mohou se využít následující instrukce. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům pouze zřídka, se provede jeden ráz pro každé podmínky příslušného prostředí. Pro materiál, který bude pravděpodobně vystaven daným výbuchovým jevům častěji, a existuje málo dostupných dat pro zdůvodnění počtu výbuchových rázů, se aplikují tři nebo více rázů v podmínkách každého prostředí, založeného na očekávaném provozním použití. Měřená odezva nebude všesměrová. Pro Postup IV se to může povolit, ale je vysoce nepravděpodobné současně plnit zkušební požadavky podél více než jedné osy s jednoduchým uspořádáním rázové zkoušky. Proto tedy je možné si představit, že nejméně tři opakování zkušebního rázu vyhoví požadavkům pro všechny směry všech tří ortogonálních os. Při druhé krajnosti se požaduje celkem devět rázů, jestliže každý ráz vyhoví pouze zkušebním požadavkům v jednom směru jedné osy. Pokud se požadované spektrum zkoušení může uspokojit současně ve všech směrech, opakování tří rázů požadavkům zkoušky vyhoví. Jestliže požadavek může být uspokojen pouze v jednom směru, je povoleno změnit uspořádání zkoušky a využít tři dodatečné rázy ke splnění spektrálního požadavku v dalším směru. Přiměřený zkušební ráz je jeden, který dává SRS, jenž je totožné nebo větší než požadované zkušební spektrum přes stanovené kmitočtové pásmo. Určí se maximax SRS pro $Q = 10$ a pro alespoň 1/6oktávové kmitočtové intervaly. Účelem zkoušky by mělo být přezkoušet fyzikální a funkční integritu systému při výbuchovém rázu, kde nízkofrekvenční konstrukční odezva platformy je primárním vstupem do materiálu.

15.3.4 Pomocné hodnocení

Je třeba poznamenat, že vybraný postup zkoušení nemůže poskytnout dostačující simulaci úplného prostředí a v důsledku toho může být pro doplnění výsledků zkoušky nezbytné pomocné hodnocení. V případě výbuchového rázu to může být obtížné, protože metodika předvídání pro toto prostředí je v plenkách. Existující metodika předvídání je založena v první řadě na výsledcích empirických zkoušek s několika náležitými analytickými modely.

15.3.5 Izolační systém

Materiál určený pro použití s protirázovými izolačními systémy nebo ve speciálním konstrukčním izolačním uspořádání se doporučuje normálně zkoušet s izolátory nebo tlumiči rázů na svém místě nebo ve speciálním konstrukčním izolačním uspořádání.

Zkoušený předmět se doporučuje zkoušet bez izolátorů, jestliže provádění zkoušek výbuchového rázu s příslušnými izolátory není účelné, nebo jestliže vysokofrekvenční dynamické charakteristiky instalace materiálu jsou vysoce proměnlivé. Další možností je zkoušet zkoušený předmět v konstrukčním uspořádání při upravené náročnosti stanovené ve Směrnici pro zkoušku. Určování upravené náročnosti je problematický postup, jestliže není uspořádání materiálu velmi standardní a zákony podobnosti se nedají použít.

15.3.6 Zkoušení subsystémů

Pokud je to stanoveno ve Směrnici pro zkoušku, subsystémy materiálu se mohou zkoušet odděleně a mohou být vystaveny různým úrovním výbuchových rázů. Jestliže je zvolen tento postup, mimořádná pozornost se musí věnovat správnému definování hraničních podmínek subsystému vzhledem k citlivosti úrovní výbuchového rázu na upevňovací body na hranicích subsystému.

15.3.7 Uspořádání materiálu

Zkoušený předmět se pro zkoušku výbuchového rázu uspořádá tak, jak se předpokládá v provozních podmínkách, přičemž se věnuje zvláštní pozornost detailům montáže materiálu k platformě. Proměnlivost odezvy výbuchového rázu je obzvláště citlivá na detaily uspořádání materiálu a platformy.

15.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

15.4.1 Povinné

15.4.1.1 Před zkouškou

Následující informace se požadují pro správné provedení zkoušky výbuchového rázu.

Všeobecné informace.

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) druh zkoušky: vývojová, schvalovací atd.;
- d) zda má být zkoušený předmět během zkoušky v provozu nebo ne;
- e) podmínky balení, je-li to vhodné;
- f) prováděná provozní ověření, kdy provádět (je-li to vhodné);
- g) strategie řízení;
- h) stanovení kritérií poruch.

Konkrétně pro tuto metodu.

- a) Zkušební sestava (uspořádání zkoušený předmět / platforma) – její podrobné uspořádání včetně:
 - (1) umístění výbuchového zařízení;
 - (2) umístění materiálu vzhledem k výbuchovému zařízení;
 - (3) konstrukční přenosové cesty mezi výbuchovým zařízením a materiálem a každého obecného vazebního uspořádání mezi výbuchovým zařízením a platformou a mezi platformou a materiálem včetně stanovení konstrukčních spojů;
 - (4) vzdálenosti nejbližších částí materiálu k výbuchovému zařízení.

- b) Výbuchové prostředí včetně:
 - (1) druhu výbuchového zařízení;
 - (2) velikosti nálože výbuchového zařízení – jestliže je nálož relevantní;
 - (3) akumulované deformační energie v základním zařízení – jestliže působí nábojový jev;
 - (4) prostředků pro iniciaci výbuchového zařízení;
 - (5) očekávaných EMI nebo teplotních působení.
- c) Doba trvání výbuchového rázu, pokud se používá Postup III nebo Postup IV nebo velikost a rozložení nálože výbuchového zařízení, pokud se používá Postup I nebo Postup II.
- d) Obecné uspořádání materiálu včetně měřicích bodů na materiálu nebo poblíž něj.

15.4.1.2 Během zkoušky

Pro účely vyhodnocení zkoušky se zaznamenávají odchylky od plánovaných nebo předběžných postupů nebo od úrovní parametrů, včetně každé procedurální odchylky, která se vyskytne.

15.4.1.3 Po zkoušce

Po zkoušce se zaznamenávají následující informace.

Obecné.

Informace dříve uvedené.

Konkrétně u této metody.

- a) předchozí zkušební metody, kterým byl konkrétní zkoušený předmět vystaven;
- b) doba trvání každého vystavení nebo počet konkrétních vystavení;
- c) každý neobvyklý jev v naměřených údajích, např. vysoká úroveň šumu přístrojů atd.;
- d) stav zkoušeného předmětu při každé vizuální kontrole;
- e) zkušební úrovně s pomocnou analýzou měření;
- f) výsledky provozních ověření.

15.4.2 Jsou-li požadované

Počet současných tolerancí zkoušeného materiálu, jestliže se liší od tolerancí v článku 15.5.1.

15.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

15.5.1 Tolerance a odhad zkušební úrovně

Dále jsou uvedeny pokyny pro zkušební tolerance výbuchového rázu pro čtyři postupy. Veškeré tolerance jsou stanoveny na maximax zrychlení SRS. Jakékoli tolerance určené na pseudorychlost SRS musí být odvozeny z tolerancí na maximax zrychlení SRS a musí být shodné s těmito tolerancemi. Zkušební tolerance se stanovují, pokud jde o tolerance jednotlivých měření. Pro jakoukoli řadu měření definovanou z hlediska "zóny" (viz příloha 15A, odkaz g) může být tolerance stanovena z hlediska průměru měření v rámci "zóny". Je však třeba poznamenat, že se ve skutečnosti jedná o zmírnění tolerance jednotlivého měření a že jednotlivá měření mohou být podstatně mimo toleranci, zatímco průměr je v toleranci. Obecně

při stanovování zkušebních tolerancí založeném na zprůměrování více než dvou měření uvnitř zóny, nemělo by toleranční pásmo překročit 95/50 horní hranice jednostranné normální tolerance vypočítané pro logaritmičticky přeměněné odhady SRS, ani nemá být menší než střední hodnota minus 1,5 dB. Použití zónových tolerancí a průměrování musí mít pomocnou dokumentaci připravenou školeným analytikem. Je nutno připomenout, že podle čl. 15.7, odkaz b je běžná praxe v letectví udávat tolerance na maximax SRS jako +6 dB a -6 dB pro $f_n < 3$ kHz a +9 dB a -6 dB pro $f_n > 3$ kHz s tím, že nejméně 50 % hodnot SRS bude překračovat jmenovité podmínky zkoušky.

15.5.1.1 Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

Jestliže jsou k dispozici předešlé měřené údaje nebo byla realizována řada výbuchových rázů, všechna akcelerační maximax SRS vypočítaná s 1/12oktávovým kmitočtovým rozlišením mají být v rozsahu -3 dB až +6 dB přes minimálně 80 % celkové šířky kmitočtového pásma od 100 Hz do 20 kHz. Pro zbývajících 20 % šířky kmitočtového pásma mají být všechna SRS v rozsahu -6 dB až +9 dB.

15.5.1.2 Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

Jestliže jsou k dispozici předešlé měřené údaje nebo byla realizována řada výbuchových rázů, všechna akcelerační maximax SRS vypočítaná s 1/12oktávovým kmitočtovým rozlišením mají být v rozsahu -3 dB až +6 dB přes minimálně 80 % celkové šířky kmitočtového pásma od 100 Hz do 20 kHz. Pro zbývajících 20 % šířky kmitočtového pásma mají být všechna SRS v rozsahu -6 dB až +9 dB.

15.5.1.3 Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

Jestliže jsou k dispozici předešlé měřené údaje nebo byla realizována řada výbuchových rázů, všechna akcelerační maximax SRS vypočítaná s 1/12oktávovým kmitočtovým rozlišením mají být v rozsahu -1,5 dB až +3 dB přes minimálně 80 % celkové šířky kmitočtového pásma od 100 Hz do 10 kHz. Pro zbývajících 20 % šířky kmitočtového pásma mají být všechna SRS v rozsahu -3 dB až +6 dB.

15.5.1.4 Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

Jestliže jsou k dispozici předešlé měřené údaje nebo byla realizována řada výbuchových rázů, všechna akcelerační maximax SRS vypočítaná s 1/12oktávovým kmitočtovým rozlišením mají být v rozsahu -1,5 dB až +3 dB přes minimálně 90 % celkové šířky kmitočtového pásma od 10 Hz do 2 kHz. Pro zbývajících 10 % šířky kmitočtového pásma mají být všechna SRS v rozsahu -3 dB až +6 dB.

15.5.1.5 Data dostačující pro odhad zkušebních úrovní

Pokud je dostupný dostatečný počet typických rázových spekter, využije se pro stanovení požadovaného zkušebního spektra vhodná statistická metoda (obecně metoda obálek křivek). Odpovídající statistické metody popisuje Metoda 403, příloha 9C. Obecně se parametrická statistika může využít, pokud se data jeví jako dostatečně vhodná pro předpokládané základní pravděpodobnostní rozložení. Například v určitých standardech jsou zkušební úrovně založeny na maximálním očekávaném prostředí určeném jako stejné nebo větší než 95percentilní úroveň s koeficientem jistoty nejméně 0,50. Toto je přístup využívající úroveň horních tolerancí. Jestliže se může zdůvodnit normální nebo logaritmičticky-normální rozložení, potom postup pro kalkulaci takové zkušební úrovně poskytuje příloha 15A, odkaz g.

15.5.1.6 Data nedostačující pro odhad zkušebních úrovní

Pokud nejsou pro statistickou analýzu dostupná dostatečná data, využije se pro stanovení požadovaného zkušební spektra odpovídajícího proměnlivosti prostředí zvýšení nad maximální hodnotu z dostupných spektrálních dat. Míra navýšení je založena na technickém posouzení, které by mělo být zdůvodněno. V takových případech je často výhodné vytvořit obálku SRS vypočítáním maximax spektra přes vzorová spektra a přidat k obálce maximax SRS rezervu +6 dB.

15.5.2 Řízení

Strategie řízení je závislá na druhu zkoušky a uspořádání materiálu. Obecně je to zkoušení s otevřeným regulačním obvodem z dříve konfigurovaných zkoušek používaných k porovnávání náročnosti zkoušení.

15.5.3 Podmínky instalace zkoušeného materiálu

15.5.3.1 Zkušební zařízení

Výbuchový ráz se může aplikovat s použitím skutečných výbuchových zařízení v projektovaném nebo simulovaném uspořádání, konvenčních zkušebních vstupních jednotek vytvářejících vysokou amplitudu a kmitočet zrychlení nebo elektrodynamického budiče. Výbuchové rázové zařízení může obsahovat rázovou trubici s tlakovým plynem, spojení kov na kov, simulátor výbuchových rázů pracující na principu výbuchu, elektrodynamický budič, skutečné výbuchové zařízení ve zmenšeném modelu, skutečné výbuchové zařízení v provozním modelu nebo zařízení s jiným druhem aktivace. Pro Postup I nebo Postup II se musejí odkazy příslušné k zbrojním zařízením konzultovat. Pro Postup III je třeba se řídit pokyny uvedenými v postupu. Čl. 15.7, odkaz a poskytuje informace o alternativních zkušebních vstupních jednotkách, jejich výhodách a omezeních. V tomto postupu se předpokládá, že všechny části materiálu leží ve vzdáleném poli výbuchového zařízení. Využijí se pokyny v této metodě; čl. 15.7, odkaz a poskytuje doplňující informace pro zdůvodnění takového zkoušení. Pro Postup IV se předpokládá, že všechny části materiálu leží ve vzdáleném poli výbuchového zařízení a že měřená nebo očekávaná data jsou v souladu s kmitočtovým omezením elektrodynamického budiče 2 000 Hz navíc k omezením amplitudy zrychlení. Je také důležité vzít na vědomí, že pro rozměrnější materiál může rychlost vstupu z budiče překročit rychlost z materiálu ve skutečném prostředí výbuchového rázu. Pro materiál citlivý na rychlost to může představovat nadlimitní zkoušení. V následujících odstavcích ta část zkušebního zařízení, která odpovídá za předání výbuchového rázu do materiálu, bude nazývána rázové ústrojí. Takové rázové ústrojí zahrnuje v Postupu I a II výbuchové rázové zařízení a upevňovací sestavu, v Postupu III mechanický budič a upevňovací sestavu a v Postupu IV elektrodynamický budič a upevňovací sestavu.

15.5.3.2 Kalibrace

Je nezbytné zabezpečit, aby rázové ústrojí bylo pro dosažení shody se stanovenými požadavky na zkoušení podle vybraného postupu kalibrováno. Postup I se může použít bez předběžné rázové kalibrace v případech, kdy jsou detaily uspořádání v souladu s plánem zkoušek. Avšak Postup I se doporučuje použít s předběžnou rázovou kalibrací v případech, kdy jsou technické prostředky postradatelné a dodatečné náklady na zkoušku nejsou přehnané, aby pro materiál byla zajištěna přesná zkušební simulace. Pro Postup II bude nezbytné ještě předtím, než se zkoušený předmět upevní na rezonanční desku, připevnit simulovaný zkoušený předmět a získat měřená data za podmínek zkoušení pro porovnání s očekávanou zkušební odezvou. Musí se postupovat opatrně tak, aby předzkušební rázy

neznehodnotily uspořádání rezonanční desky. Pro Postup III je kalibrace rozhodující. Předtím, než se zkoušený předmět připevní k rázovému ústrojí, bude nezbytné připevnit simulovaný zkoušený předmět a získat měřená data za podmínek zkoušení pro porovnání s očekávanou zkušební odezvou. Pro Postup IV, využívající metodu SRS s odpovídajícími omezeními účinné doby trvání přechodových jevů, je kalibrace nezbytná. Předtím, než se zkoušený předmět připevní k rázovému ústrojí, bude nezbytné připevnit simulovaný zkoušený předmět a získat měřená data za podmínek zkoušení pro porovnání s očekávanou zkušební odezvou. Pro Postup II, Postup III a Postup IV je třeba kalibrační zatížení odstranit a potom uskutečnit rázovou zkoušku na skutečném zkoušeném předmětu.

15.5.3.3 Přístrojové vybavení

Obecně pro výbuchové rázy platí, že zrychlení bude veličina měřená pro splnění specifikace, přitom je nutné zajistit, aby provedená měření zrychlení poskytovala smysluplná data, tj. aby měřená data byla náležitě potvrzena – viz příloha 15A, odkaz f. V případě nutnosti se mohou použít propracovanější zařízení, jako například laserový rychloměr. V těchto případech je třeba věnovat zvláštní pozornost přístrojové amplitudě a požadavkům na kmitočtový rozsah, aby se učinilo zadost požadavkům na měření a analýzu.

Snímač zrychlení

- a) Příčná citlivost menší nebo rovna 5 %.
- b) Amplitudová linearita do 10 % z rozsahu 5 % až 100 % špičkové amplitudy zrychlení požadované pro zkoušení.
- c) Pro všechny postupy výbuchového rázu je přímá kmitočtová odezva v rámci ± 10 % napříč kmitočtovým rozsahem 10 Hz až 20 000 Hz. Zařízení mohou být buď piezoelektrického typu nebo piezodoporového typu. (Zkušenosti ukazují, že platná měření výbuchového rázu v blízkém poli výbuchového zařízení se provádějí velmi obtížně).
- d) Je nezbytné používat měřicí zařízení odpovídající požadavkům a držet se pokynů poskytnutých ve výše uvedených odstavcích.

Kondicionování signálu

Použije se kondicionování signálu kompatibilní s požadavky na přístrojové vybavení materiálu. Zejména filtrování bude souhlasné s požadavky na časový průběh odezev. Využijí se požadavky na kondicionování signálu slučitelné s požadavky a směrnici uvedenými v odstavcích výše. Zejména je třeba věnovat mimořádnou pozornost filtrování akceleračních signálů buď (1) přímo v upevňovacím bodu, tj. mechanické filtrování k redukci velmi vysokých kmitočtů přiřazených k výbuchovému rázu, nebo (2) na výstupu zesilovače. Signál do zesilovače by se nikdy neměl filtrovat kvůli obavě z filtrování špatně naměřených dat a neschopnosti zjistit špatně naměřená data. Signál získaný po kondicionování signálu se musí před digitalizací filtrovat vyhlazovacím filtrem.

15.5.3.4 Analýza dat

Digitalizovaný analogový napěťový signál nebude zkreslen (aliasing jev) víc než je 5% chyba měření v zájmovém kmitočtovém pásmu (100 Hz až 20 kHz).

Filtry použité pro splnění požadavků na digitalizaci dat musí mít lineární charakteristiku fázového posuvu.

Filtry použité pro splnění požadavků na digitalizaci dat musí mít plochost propustného pásma v rozmezí jednoho dB napříč kmitočtovým rozsahem stanoveným pro měřič zrychlení (viz článek 15.5.3.3).

Analytické postupy budou v souladu s požadavky a pokyny, uvedenými v odstavcích této metody; doplňující informace je možné najít v příloze 15A, odkaz f. Zejména časové průběhy amplitudy zrychlení výbuchového rázu budou vymezeny v souladu s postupy poskytnutými v odstavcích této metody. Každý časový průběh amplitudy bude začleněn do detekce jakýchkoli anomálií v měřicím systému, například lom vodičů, překročení rychlosti otáčení zesilovače, potlačené zobrazení dat, nevysvětlitelné odchylky měřiče zrychlení atd. Časové průběhy ucelené amplitudy se porovnají s kritérii uvedenými v odstavcích této metody. Pro Postup I a Postup II ke zjišťování emisí z vnějších zdrojů se uspořádá měřič zrychlení bez čidla a upraví se jeho odezva stejným způsobem jako pro měřené odezvy jiných měřičů zrychlení. Jestliže tento snímač zrychlení měří něco jiného, než šum velmi nízké úrovně, je jisté, že měření zrychlení byla zkreslena neznámým zdrojem šumu.

15.5.3.5 Zkušební sestava

Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

V tomto postupu se materiál zkouší ve skutečném celkovém uspořádání. Pro instalaci je třeba zajistit, aby se dodržely podmínky provozního upevnění.

Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

V tomto postupu se materiál namontuje na rovnou desku (nebo jiné vhodné simulační zařízení) buď v izolovaném, nebo v neizolovaném uspořádání v závislosti na provozních podmínkách.

Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

V tomto postupu se dodržují postupy a instrukce pro instalaci materiálu pro rázovou zkoušku. Podrobnosti instalačních postupů budou záviset na uspořádání zkušebního zařízení.

Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

V tomto postupu se dodržují postupy a instrukce pro instalaci materiálu pro rázovou zkoušku s elektrodynamickým budičem.

15.5.4 Účinky zemské přitažlivosti

Vzhledem k teoreticky možným vysokým úrovním zrychlení při výbuchových rázech, nemá zemská přitažlivost žádný vliv na zkušební sestavu nebo na analýzu zkušebních dat. Pouze v případech, kdy je samotný materiál citlivý na zemskou přitažlivost a provoz materiálu závisí na směru zemské přitažlivosti ve vztahu k orientaci materiálu, se doporučuje uvažovat o vlivu zemské přitažlivosti.

15.5.5 Příprava zkoušky

15.5.5.1 Úvodní kroky

Před zahájením jakéhokoli zkoušení, je třeba přezkoumat informace k přípravě zkoušky ve Směrnici pro zkoušku, aby bylo možné vymezit detaily zkoušky (například postupy, uspořádání zkoušeného předmětu, úroveň výbuchových rázů, počet výbuchových rázů).

- a) Vybrat vhodný zkušební postup.

- b) Stanovit odpovídající úroveň výbuchových rázů pro zkoušku ještě před kalibrací pro Postup II, Postup III a Postup IV z dříve zpracovaných dat (jsou-li dostupná).
- c) Zabezpečit, aby zařízení pro kondicionování a záznam signálu výbuchového rázu mělo dostatečný amplitudový rozsah a šířku kmitočtového pásma. Odpovídající odhad vrcholového signálu a přístrojového rozsahu může být obtížný. Obecně neexistuje žádná obnova dat z oříznutého signálu, ale jestliže je kondicionování signálu mimo rozsah, je obvykle možné získat smysluplné výsledky pro signál 20 dB nad šumovým prahem měřicího systému. V některých případech mohou být vhodná redundantní měření, jedno měření mimo rozsah a jedno měření nacházející se v nejlepším odhadu pro vrcholový signál. Šířka kmitočtového pásma většiny záznamových zařízení je obvykle snadno dostupná, ale je třeba se ujistit, že vstupní filtr zařízení neomezuje kmitočtovou šířku pásma signálu.

15.5.5.2 Ověřování před zkouškou

Veškeré zkoušené předměty vyžadují ověření před zkouškou ve standardních okolních podmínkách k zajištění základních dat. Ověření se provede následujícím způsobem.

- a) Provést kompletní vizuální prohlídku se zvláštní pozorností na každou oblast mikroelektronických obvodů. Konkrétně věnovat pozornost uspořádání jejich připevnění k platformě a možným přenosovým cestám napětí.
- b) Zdokumentovat výsledky ověření shody se Všeobecnými požadavky.
- c) Kde je to účelné, instalovat zkoušený předmět do zkušebního přípravku.
- d) Provést provozní ověření podle schváleného Programu zkoušky společně s jednoduchými zkouškami pro zjištění, že měřicí systém reaguje správně.
- e) Zdokumentovat výsledky ověření shody se Všeobecnými požadavky.
- f) Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, přistoupit k první zkoušce. Pokud nefunguje, vyřešit problém a začít znovu krokem 1.
- g) Vyjmout zkoušený předmět a pokračovat kalibrací (s výjimkou v případě Postupu I bez kalibrace).

15.5.6 Postupy

Následující postupy poskytují základ pro sběr nezbytných informací týkajících se platformy a zkoušeného předmětu při výbuchovém rázu.

15.5.6.1 Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

- Krok 1 Při výběru podmínek zkoušky dodržovat pokyny k této metodě zkoušky. Jestliže se nepředpokládá žádná kalibrace, namontovat (1) zkoušený předmět do skutečného uspořádání materiálu použitého v tomto postupu, nebo (2) dynamicky podobný zkoušený předmět, jestliže se má před zkouškou provést kalibrace. Zvolit měřič zrychlení a analytické metody splňující kritéria, načrtnutá v předchozích odstavcích k této metodě; doplňující informace obsahuje příloha 15A, odkaz f.
- Krok 2 Provést funkční ověření zkoušeného předmětu.
- Krok 3 Podrobit zkoušený předmět (v jeho provozním režimu) zkušebním přechodovým jevům prostřednictvím výbuchového zařízení.

- Krok 4 Zaznamenat nezbytné údaje, které ukazují, že rázové přechodové jevy splňují nebo překračují očekávané zkušební úrovně. To zahrnuje fotografie zkušebního uspořádání, záznamy o zkoušce a grafy skutečných rázových přechodových jevů. Pro sestavy s rázovou izolací jako součástí zkoušeného předmětu provést měření a/nebo prohlídky pro ujištění, že tyto sestavy tlumí výbuchové rázy.
- Provést funkční ověření zkoušeného předmětu. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách.
 - Jestliže se pro kalibraci zkušebního uspořádání použije dynamicky podobný zkoušený předmět, opakovat kroky 3, 4 a 5, a to pro statistickou jistotu minimálně třikrát. Pokud se splní požadované zkušební tolerance zaměnit náhradní zkoušený předmět za skutečný zkoušený předmět a opakovat kroky 3, 4 a 5, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku.
 - Zdokumentovat zkušební cyklus.

15.5.6.2 Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

- Krok 5 Dodržovat pokyny uvedené v této metodě (další informace viz čl. 15.7, odkaz a). Vybrat podmínky zkoušky a kalibrovat rázové ústrojí následovně:
- Zvolit měřiče zrychlení a analytické metody, splňující kritéria nastíněná v předchozích odstavcích k této metodě; doplňující informace jsou obsaženy v příloze 15A, odkaz f.
 - Namontovat kalibrační zátěž (skutečný zkoušený předmět, vyřazený zkoušený předmět nebo tuhou pomocnou hmotu) na zkušební zařízení podobným způsobem, jako skutečný zkoušený předmět. Jestliže je zkoušený předmět normálně montován na rázových tlumičích k utlumení výbuchového rázu, zabezpečit funkčnost tlumičů v průběhu zkoušky.
 - Provádět kalibrační rázy až do doby, kdy dvě po sobě jdoucí aplikace rázu do kalibračního zatížení vytváří křivky, které po zpracování algoritmem SRS splňují nebo překračují očekávané zkušební podmínky pro nejméně jeden směr jedné osy.
 - Vyjmout kalibrační zátěž a nainstalovat na rázové ústrojí skutečný zkoušený předmět, přitom věnovat značnou pozornost detailům upevnění.
- Krok 6 Provést funkční ověření zkoušeného předmětu.
- Krok 7 Vystavit zkoušený předmět v jeho provozním režimu zkušebním výbuchovým rázům.
- Krok 8 Zaznamenat nezbytná data, která ukazují, že rázové přechodové jevy splňují nebo překračují očekávané zkušební úrovně. Jestliže se dané požadavky týkají více než jedné osy, prověřit odezvy v ostatních osách, aby se zajistilo splnění podmínek zkoušky. Zahrnout sem také fotografie zkušebního uspořádání, záznamy o zkoušce a záznam skutečných rázových přechodových jevů. Pro sestavy s rázovou izolací jako součástí zkoušeného předmětu provést měření nebo prohlídky pro ujištění, že tyto izolátory tlumí výbuchové rázy.

Krok 9 Provést funkční ověření zkoušeného předmětu. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách.

Krok 10 Jestliže se pro kalibraci zkušebního uspořádání použije dynamicky podobný zkoušený předmět, opakovat kroky 3, 4 a 5, a to pro statistickou jistotu minimálně třikrát (pro každou ze tří os). Pokud se splní požadované zkušební tolerance, zaměnit náhradní zkoušený předmět za skutečný zkoušený předmět a opakovat kroky 3, 4 a 5 (pro každou ze tří os), jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku.

Krok 11 Zdokumentovat zkušební cyklus.

15.5.6.3 Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

Krok 12 Dodržovat pokyny uvedené v této metodě (další informace viz čl. 15.7, odkaz a). Vybrat podmínky zkoušky a kalibrovat rázové ústrojí následovně:

- a) Zvolit měřiče zrychlení a analytické metody, splňující kritéria nastíněná v předchozích odstavcích k této metodě; doplňující informace jsou obsaženy v příloze 15A, odkaz f.
- b) Namontovat kalibrační zátěž (skutečný zkoušený předmět, vyřazený zkoušený předmět nebo tuhou pomocnou hmotu) na zkušební zařízení podobným způsobem, jako u skutečného materiálu. Jestliže je materiál normálně montován na rázových tlumičích k utlumení výbuchového rázu, zabezpečit funkčnost tlumičů v průběhu zkoušky.
- c) Provádět kalibrační rázy až do doby, kdy dvě po sobě jdoucí aplikace rázu do kalibračního zatížení vytváří křivky, které po zpracování algoritmem SRS splňují nebo překračují očekávané zkušební podmínky pro nejméně jeden směr jedné osy.
- d) Vyjmout kalibrační zátěž a nainstalovat na rázové ústrojí skutečný zkoušený předmět, přitom věnovat značnou pozornost detailům upevnění.

Provést funkční ověření zkoušeného předmětu.

Vystavit zkoušený předmět v jeho provozním režimu zkušebním výbuchovým rázům.

Zaznamenat nezbytná data, která ukazují, že rázové přechodové jevy splňují nebo překračují očekávané zkušební úroveň. Jestliže se dané požadavky týkají více než jedné osy, prověřit odezvy v ostatních osách, aby se zajistilo splnění podmínek zkoušky. Zahrnout sem také fotografie zkušebního uspořádání, záznamy o zkoušce a záznam skutečných rázových přechodových jevů. Pro sestavy s rázovou izolací jako součástí zkoušeného předmětu provést měření a/nebo prohlídky pro ujištění, že tyto izolátory tlumí výbuchové rázy.

Provést funkční ověření zkoušeného předmětu. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách.

Jestliže se pro kalibraci zkušebního uspořádání použije dynamicky podobný zkoušený předmět, opakovat kroky 3, 4 a 5, a to pro statistickou jistotu minimálně třikrát. Pokud se splní požadované zkušební tolerance, zaměnit náhradní zkoušený předmět za skutečný

zkoušený předmět a opakovat kroky 3, 4 a 5, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku.

Zdokumentovat zkušební cyklus.

15.5.6.4 Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

Krok 13 Dodržovat pokyny uvedené v této metodě; doplňující informace viz odkazy v příloze 15A. Vybrat podmínky zkoušky a kalibrovat rázové ústrojí následovně:

- a) Zvolit měřiče zrychlení a analytické metody, splňující kritéria nastíněná v předchozích odstavcích k této metodě; doplňující informace jsou obsaženy v příloze 15A, odkaz f.
- b) Namontovat kalibrační zátěž (skutečný zkoušený předmět, vyřazený zkoušený předmět nebo tuhou pomocnou hmotu) na elektrodynamický budič podobným způsobem, jako u skutečného materiálu. Jestliže je materiál normálně montován na rázových tlumičích k utlumení výbuchového rázu, zabezpečit funkčnost tlumičů v průběhu zkoušky.
- c) Vytvořit vlnku SRS nebo časový průběh tlumené sinusově kompenzované amplitudy založené na požadovaném zkušebním SRS.
- d) Provádět kalibrační rázy až do doby, kdy dvě po sobě jdoucí aplikace rázu do kalibračního zatížení vytváří křivky, které po zpracování algoritmem SRS splňují nebo překračují odvozené zkušební podmínky pro nejméně jeden směr jedné osy.
- e) Vymout kalibrační zátěž a nainstalovat na elektrodynamický budič skutečný zkoušený předmět, přitom věnovat značnou pozornost detailům upevnění.

Provést funkční ověření zkoušeného předmětu.

Vystavit zkoušený předmět v jeho provozním režimu zkušební elektrodynamické simulaci výbuchových rázů.

Zaznamenat nezbytná data, která ukazují, že rázové přechodové jevy splňují nebo překračují odvozené zkušební úrovně. Jestliže se dané požadavky týkají více než jednu osy, prověřit odezvy v ostatních osách, aby se zajistilo splnění podmínek zkoušky. Zahrnout sem také fotografie zkušebního uspořádání, záznamy o zkoušce a záznam skutečných rázových přechodových jevů. Pro sestavy s rázovou izolací jako součástí zkoušeného předmětu provést měření a/nebo prohlídky pro ujištění, že tyto izolátory tlumí výbuchové rázy.

Provést funkční ověření zkoušeného předmětu. Zaznamenat údaje o funkčních charakteristikách.

Jestliže se pro kalibraci zkušebního uspořádání použije dynamicky podobný zkoušený předmět, opakovat kroky 3, 4 a 5, a to pro statistickou jistotu minimálně třikrát. Pokud se splní požadované zkušební tolerance, zaměnit náhradní zkoušený předmět za skutečný zkoušený předmět a opakovat kroky 3, 4 a 5, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku.

Zdokumentovat zkušební cyklus.

15.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Kromě instrukcí uvedených výše se pro pomoc při vyhodnocování výsledků zkoušky poskytují následující informace. Analyzuje se každá porucha na zkoušeném předmětu, aby se splnily požadavky na technická data systému, a vezmou se v úvahu dále uvedené informace.

15.6.1 Postup I – Blízké pole se skutečnou konfigurací

Provede se pečlivé vyhodnocení každé poruchy v konstrukčním uspořádání zkoušeného předmětu, například v připevnění nebo upínání, které nemohou přímo způsobit funkční poruchu materiálu, ale které by mohly vést k poruchám v podmínkách jeho provozního nasazení. Pečlivě se vyšetří všechny poruchy, které jsou výsledkem emisí EMI.

15.6.2 Postup II – Blízké pole se simulovanou konfigurací

Provede se pečlivé vyhodnocení každé poruchy v konstrukčním uspořádání zkoušeného předmětu, například v připevnění nebo upínání, které nemohou přímo způsobit funkční poruchu materiálu, ale které by mohly vést k poruchám v podmínkách jeho provozního nasazení. Pečlivě se vyšetří všechny poruchy, které jsou výsledkem emisí EMI.

15.6.3 Postup III – Vzdálené pole s mechanickým zkušebním zařízením

Mechanická simulace rázů bude obecně vytvářet drsnější nízkofrekvenční prostředí s poměrně velkou rychlostí a výchylkou, než je u skutečných případů výbuchových rázů, a z toho vyplývá, že jakékoliv konstrukční poruchy mohou spíše souviset se závadami, konstatovanými v předepsaných rázových zkouškách SRS popsanych v Metodě 403. Je potřeba zřetelně rozpoznat konstrukční poruchy, které mohou být výsledkem pouze nadlimitního zkoušení v nízkofrekvenčním prostředí.

15.6.4 Postup IV – Vzdálené pole s elektrodynamickým budičem

Elektrodynamická rázová simulace bude obecně vytvářet drsnější nízkofrekvenční prostředí s poměrně velkou rychlostí, než je u skutečných případů výbuchových rázů, a z toho vyplývá, že jakékoliv konstrukční poruchy mohou spíše souviset se závadami, konstatovanými v předepsaných rázových zkouškách SRS popsanych v Metodě 403. Je potřeba zřetelně rozpoznat konstrukční poruchy, které mohou být výsledkem pouze nadlimitního zkoušení v nízkofrekvenčním prostředí.

15.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) IES-RP-DTE032.1: Metody zkoušení výbuchového rázu (Pyroshock Testing Techniques), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), USA, 1. září 2002.
- b) NASA-STD-7003: Kritéria zkoušení výbuchového rázu (Pyroshock Test Criteria), Americký národní letecký a vesmírný správní úřad (USA National Aerospace and Space Administration), 18. květen 2003.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 15A
(normativní)

VÝBUCHOVÝ RÁZ – TECHNICKÝ NÁVOD

15.A.1 ROZSAH PLATNOSTI

Tato příloha je vytvořena pro poskytnutí technického návodu k všeobecným úvahám a terminologii existující v oblasti zkoušení výbuchových rázů během několika posledních let, jenž je podpořen odkazy v této příloze.

15.A.1.1 Všeobecné úvahy – terminologie

Jednotlivá měřená prostředí

Obecně bude zrychlení odezvy experimentální měřicí proměnná pro výbuchové rázy. Tento výběr měřicí proměnné nevyklučuje další měřicí veličiny, jako například rychlost, posun nebo deformace, aby nemohly být v analogovém režimu měřeny a zpracovávány, pokud jsou interpretace, způsobnosti a omezení měřených veličin jasné. Zvláštní pozornost je třeba věnovat vysokofrekvenčnímu prostředí, vytvářenému výbuchovým zařízením a způsobnosti měřicí soustavy přesně zaznamenat odezvy materiálu. Příloha 15A, odkaz f podrobně uvádí porovnání postupů měření výbuchových rázů a doporučuje se ho realizovat.

Následující termíny budou užitečné v diskuzi vztahující se k analýze měření odezev ze zkoušení výbuchových rázů. Pro usnadnění definování těchto termínů je každý z termínů vysvětlen na typickém měření výbuchových rázů. Obrázek 15.A.1 poskytuje graf časového průběhu amplitudy zrychlení z měřeného výbuchového rázu vzdáleného pole s přístrojovým šumovým prahem zobrazeným před výbuchovým rázem, při výbuchovém rázu a s následným šumovým prahem po výbuchovém rázu. Je důležité získat měřená data včetně jak měření šumu před výbuchovým rázem, tak kombinovaného šumu po výbuchovém rázu a nízkourovňové zbytkové konstrukční odezvy. První a poslední svislá čára představují shodné časové intervaly pro dobu trvání před výbuchovým rázem, při výbuchovém rázu a po výbuchovém rázu vybrané pro analýzu. Časový interval před výbuchovým rázem obsahuje šumový práh přístrojové soustavy a slouží jako referenční úroveň měřeného signálu. Časový interval výbuchového rázu zahrnuje všechny významné energie odezev případu. Časový interval po výbuchovém rázu má stejnou dobu trvání jako časový interval před výbuchovým rázem a zahrnuje šum měřicí soustavy kromě jistého zbytkového šumu výbuchového rázu nepatřícího k energii odezvy na výbuchový ráz. V některých případech, kdy amplitudové úrovně před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu jsou v porovnání s výbuchovým rázem podstatné, výbuchový ráz byl zmírněn nebo šum měřicí soustavy je vysoký, může identifikace výbuchového rázu vyžadovat kritické technické posouzení, vztahující se k zahájení a ukončení případu výbuchového rázu. V každém případě je analýza naměřených údajů o prostředí před a po výbuchovém rázu ve spojení s naměřenými údaji o výbuchovém rázu nevyhnutelná. Ověřují se veškerá data shromážděná o výbuchovém rázu. Příloha 15A, odkaz f poskytuje instrukce. Jedním z nejpřirozenějších a nejcitlivějších kritérií pro ověření platnosti je sjednocení časového průběhu signálu po odstranění malých zbytkových odchylek. Jestliže má výsledný sjednocený signál nulová křížení a nemá snahu se stát neohraničeným, pak výbuchový ráz složil první validační zkoušku. Obrázek 15.A.2 poskytuje graf rychlosti pro výbuchový ráz z obrázku 15.A.1.

Příloha 15A
(normativní)

- a) **Účinná doba trvání přechodového jevu.** Pro výbuchový ráz je "účinná doba trvání přechodového jevu" T_e minimální časový úsek obsahující všechny významné hodnoty časového průběhu amplitudy. T_e začíná na šumovém prahu přístrojové soustavy, právě před výchozím nejvýznamnějším měřením a pokračuje k bodu, kde časový průběh amplitudy je kombinací měřeného šumu a podstatně utlumené konstrukční odezvy. Pro stanovení relevantního měřeného údaje pro definování případu výbuchového rázu je potřebný zkušený analytik. Čím je doba trvání výbuchového rázu delší, tím více nízkofrekvenčních údajů se uchovává, což může být důležité pro úvahy o zkouškách ve vzdáleném poli. Pro úvahy o zkouškách v blízkém poli bude vzhledem k vyššímu rozsahu měřicí soustavy účinná doba trvání přechodového jevu mnohem kratší. Amplitudové kritérium vyžaduje, aby obálka časového průběhu amplitudy po výbuchovém rázu nebyla více než 12 dB nad šumovým prahem měřicí soustavy znázorněné v časovém průběhu amplitudy před výbuchovým rázem. Metoda 403, příloha 9A poskytuje další popis T_e .

Na obrázku 15.A.1 se zdají být nejméně dva logické okamžiky, v nichž by mohl být výbuchový ráz ukončen. První okamžik je bezprostředně po ukončení vysokofrekvenčního údaje, druhý je svislá čára na obrázku 15.A.1 přibližně 3,5 ms po začátku výbuchového rázu. Druhý okamžik je dán třetí svislou čarou na obrázku 15.A.1, asi 6,6 ms po začátku výbuchového rázu a poté, co byla část zdánlivých nízkofrekvenčních konstrukčních odezev utlumena. Tato posouzení, založená na zkoumání časového průběhu amplitudy, využívají amplitudové kritérium a kmitočtové kritérium. Obrázek 15.A.3 obsahuje graf amplitudy absolutní hodnoty výbuchového rázu v dB versus čas. Tento obrázek zobrazuje obtížnost přijít s přesnými kritérii pro stanovení účinné doby trvání výbuchového rázu. Výchozí prahová úroveň šumu není v záznamu nikdy obsažena. Obrázek 15.A.1 zobrazuje rozdíl mezi zpracováním dvou rozdílných výbuchových rázů se SRS, tj. výbuchového rázu krátkého trvání a výbuchového rázu dlouhého trvání. Je jasné, že jediný významný rozdíl je poblíž 100 Hz. Hodnota SRS v nižších přirozených kmitočtech může být docela citlivá na účinnou dobu trvání přechodového jevu, zatímco SRS ve vyšších přirozených kmitočtech je obecně necitlivé na účinnou dobu trvání přechodového jevu.

- b) **Analýza spektra rázových odezev (SRS).** Příloha 15A, odkaz k definuje absolutní akcelerační maximax SRS a poskytuje příklady SRS vypočítaných pro klasické impulzy. Hodnota SRS v daných netlumených přirozených oscilačních kmitočtech f_n je definována jako absolutní hodnota maxima pozitivních a negativních akceleračních odezev hmoty pro daný základní vstup do tlumeného jednoduchého intervalu nezávislého systému. Základní vstup je měřený ráz stanoveného trvání (stanovené trvání by mělo být účinné trvání). Pro zpracování dat odezvy výbuchového rázu se absolutní zrychlení maximax SRS stalo základním analytickým deskriptorem. V tomto popisu měření výbuchového rázu jsou hodnoty maximax absolutního zrychlení vynášeny jako souřadnice „y“, s netlumeným přirozeným kmitočtem jednoho stupně nezávislého systému se základním vstupem vynášeným podél osy „x“.

Úplnější popis výbuchového rázu a potenciálně užitečnější pro porovnávání poškození způsobených výbuchovým rázem ve vzdáleném poli se může

Příloha 15A
(normativní)

získat vymezením pseudorychlostního spektra odezev. Toto spektrum se kreslí na čtyřsouřadnicový papír, kde na dvojici kolmých os je pseudorychlostní spektrum odezev představováno souřadnicí „y“ s netlumeným přirozeným kmitočtem na ose „x“ a s maximax absolutním zrychlením společně s pseudovýchylkou kreslenou na dvojici kolmých os. Všechny grafy mají stejnou osu „x“ – viz příloha 15A, odkaz k. Pseudorychlost na konkrétním oscilátorem netlumeném přirozeném kmitočtu se považuje za typičtější pro ničivý potenciál rázu, protože koreluje s napětím a deformací v prvcích systému s jedním stupněm volnosti, viz příloha 15A, odkaz b. Pseudorychlostní spektrum odezev se může vypočítat buď (1) vydělením spektra odezev maximax absolutního zrychlení netlumeným přirozeným kmitočtem systému s jedním stupněm volnosti, nebo (2) vynásobením relativní výchylky netlumeným přirozeným kmitočtem systému s jedním stupněm volnosti. Oba tyto způsoby výpočtu poskytují v podstatě stejná spektra s možnou výjimkou v oblasti nižších kmitočtů; v tomto případě je druhá metoda výpočtu pro stanovení pseudorychlostního spektra odezev elementárnější.

Obrázek 15.A.5 poskytuje odhad maximax absolutního zrychlení SRS pro záznam výbuchového rázu na obrázku 15.A.1 a obrázek 15.A.6 poskytuje odhad pseudorychlosti, pseudovýchylky a maximax absolutního zrychlení pro tento záznam na čtyřsouřadnicovém papíru. Obecně se vypočítá SRS přes trvání případu výbuchového rázu a přes měření doby trvání pro případy před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu s 1/12oktávovým intervalem a s $Q = 10$ ($Q = 10$ odpovídá systému s jedním stupněm volnosti s 5% kritickým tlumením). Obrázek 15.A.5 také poskytuje odhady maximax absolutního zrychlení SRS pro jevy před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu. Obrázek 15.A.6 poskytuje odhady pseudorychlostního spektra odezev pro jevy před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu. Jestliže se zkoušení má použít pro laboratorní simulace, použije se při zpracování druhá hodnota $Q = 50$ ($Q = 50$ odpovídá systému s jedním stupněm volnosti s 1% kritickým tlumením). Doporučuje se, aby maximax absolutní zrychlení SRS bylo základní metodou zobrazení pro výbuchové rázy s pseudorychlostním spektrem odezev jako druhotnou metodou zobrazení, užitečnou v případech, kdy je žádoucí schopnost sladit poškození jednoduchých systémů s výbuchovým rázem.

- c) **Spektrální hustota energie.** Příloha 15A, odkaz I stanovuje odhad Spektrální hustoty energie (ESD) pro výbuchový ráz s dobou trvání T . V tomto popisu je správně modelovaná hodnota Fourierovy transformace celkového výbuchového rázu vypočítána v jednotném souboru kmitočtů a zobrazena jako dvourozměrný graf amplituda versus kmitočtet. Jednotky amplitudy jsou (jednotky²-s)·Hz⁻¹. Při stanovování odhadu ESD je důležité, aby (jestliže se použije rychlá Fourierova transformace) byla velikost bloku vybrána tak, že všechny případy výbuchových rázů byly obsaženy v bloku, ale nadměrný šum mimo dobu trvání přechodových jevů byl odstraněn doplněním nul do bloku Fourierovy transformace. Popis ESD je užitečný pro srovnávání rozložení energie v rámci kmitočtového pásma mezi několika výbuchovými rázy. Ale pokud prvky sousedících kmitočtů nejsou zprůměrovány, celkové procento normalizovaných náhodných chyb na souřadnici y je 100 %. Po zprůměrování

Příloha 15A
(normativní)

n sousedních souřadnic y poklesne celkové procento normalizovaných náhodných chyb jako $1/\sqrt{n}$ se sníženým kmitočtovým rozlišením. Výpočet odhadů ESD pro jevy před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu poskytují užitečné informace vztahující se k odlišnému kmitočtovému charakteru výbuchového rázu při porovnání s kmitočtovým charakterem šumu před výbuchovým rázem a s kombinovaným šumem a konstrukční odezvou po výbuchovém rázu. Obrázek 15.A.7 poskytuje odhady ESD pro jevy při výbuchovém rázu, před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu z obrázku 15.A.1 (v uvedeném pořadí).

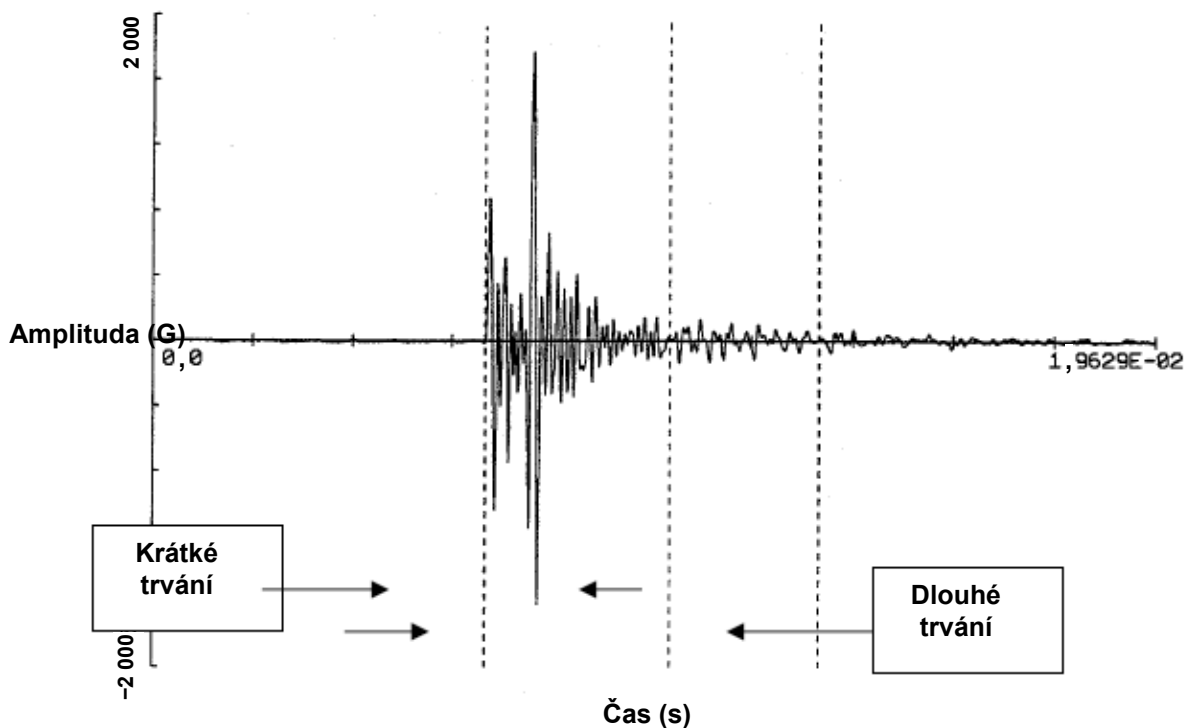
- d) **Fourierova spektra.** Příloha 15A, odkaz l stanovuje odhad Fourierova spektra (FS) pro výbuchový ráz s dobou trvání T . V tomto popisu je správně modelovaná druhá odmocnina hodnoty Fourierovy transformace celkového výbuchového rázu vypočítána v jednotném souboru kmitočtů a zobrazena jako dvourozměrný graf amplituda versus kmitočet. Jednotky amplitudy jsou (jednotky-s). Při stanovování odhadu FS, jako v případě odhadu ESD, je důležité, aby (jestliže se použije rychlá Fourierova transformace) velikost bloku byla vybrána tak, že všechny přechodové jevy jsou obsaženy v bloku, nadměrný šum mimo dobu trvání přechodových jevů byl odstraněn doplněním nul do bloku Fourierovy transformace. Tento popis je užitečný pro zaznamenání vyčnívajících kmitočtových prvků v rámci celého kmitočtového pásma mezi výbuchovými rázy. Jestliže nejsou sousední kmitočtové prvky zprůměrované, celkové procento normalizovaných náhodných chyb na souřadnici y je 100 %. Po zprůměrování n sousedních souřadnic y poklesne celkové procento normalizovaných náhodných chyb jako $1/\sqrt{n}$ se sníženým kmitočtovým rozlišením. Výpočet odhadů FS pro jevy před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu poskytují užitečné informace vztahující se k odlišnému kmitočtovému charakteru výbuchového rázu při porovnání s kmitočtovým charakterem šumu před výbuchovým rázem a s kombinovaným šumem a konstrukční odezvou po výbuchovém rázu. Obrázek 15.A.8 poskytuje odhady FS pro jevy při výbuchovém rázu, před výbuchovým rázem a po výbuchovém rázu z obrázku 15.A.1 (v uvedeném pořadí).
- e) **Ostatní metody.** Během posledních několika let byly navrženy nejméně dvě další metody potenciálně užitečné při zpracování údajů o výbuchových rázech. Příloha 15A, odkaz h popisuje využití časové oblasti nebo časových okamžiků pro srovnávání vlastností výbuchových rázů v různých kmitočtových pásmech. Užitečnost této metody spočívá ve skutečnosti, že jestliže lze výbuchový ráz znázornit jednoduchým nestacionárním momentovým modelem, okamžiky časové oblasti musí být přes šířku vybraného filtračního pásma konstantní. Tedy výbuchový ráz se dá charakterizovat modelem s potenciální užitečností pro stochastické simulace. Příloha 15A, odkaz i zkoumá tuto úvahu pro mechanický ráz. Už bylo naznačeno v příloze 15A, odkaz j, že "vlnkové" zpracování může být prospěšné pro popis výbuchového rázu, obzvláště když výbuchový ráz obsahuje informace v časových intervalech přes trvání rázu v různých časových měřítkách, tj. v různých kmitočtech. Je pravděpodobné, že tento způsob zpracování se může stát v budoucnu převládající, protože úroveň zkoumání přechodových jevů se stává propracovanější, i když

Příloha 15A
(normativní)

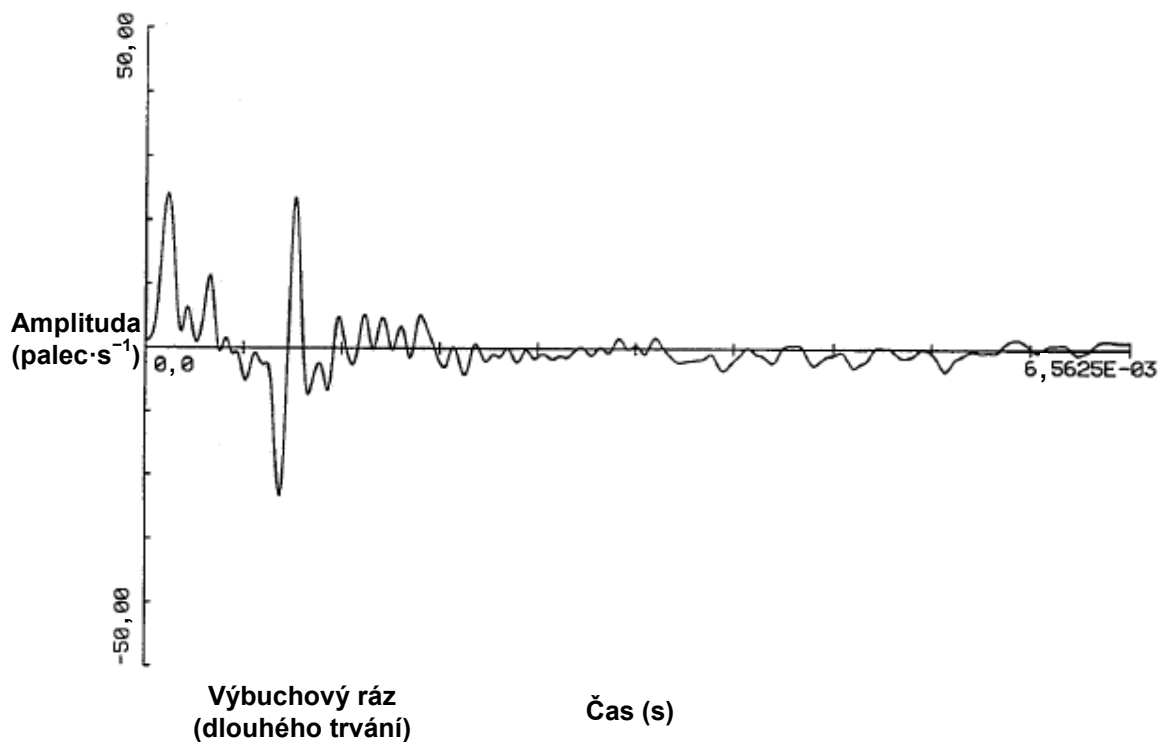
„Vlnkové“ zpracování se zdá být užitečnější pro popis jevů se značnou mírou nahodilosti.

15.A.1.2 Kombinace měření

Obecně je při zkouškách výbuchových rázů získáván záznam jednoduché odezvy. Občas může být výhodné nebo dokonce nezbytné spojit ekvivalentní zpracované odezvy nějakým vhodným statistickým způsobem. Příloha 15A, odkaz g a Metoda 403, příloha 9C tohoto standardu pojednávají o určitých alternativách statistického shrnutí zpracovaných výsledků z řady zkoušek. Obecně jsou zpracované výsledky buď ze SRS, ESD nebo FS logaritmicky přeměněny za účelem provedení propočtů, které jsou pravidelněji rozloženy. Je to důležité, protože často je ze zkušebního cyklu k dispozici velmi málo údajů a pravděpodobnostní rozložení nepřeměněných propočtů se nemůže považovat za normálně rozložené. Ve všech případech bude kombinace zpracovaných výsledků spadat do kategorie malých vzorových statistik a musí se brát v úvahu s pečlivým užitím parametrických nebo méně výkonných neparametrických metod statistické analýzy. Metoda 403, příloha 9C se týká některých vhodných postupů pro statistickou kombinaci zpracovaných výsledků zkoušek z omezeného počtu zkoušek.

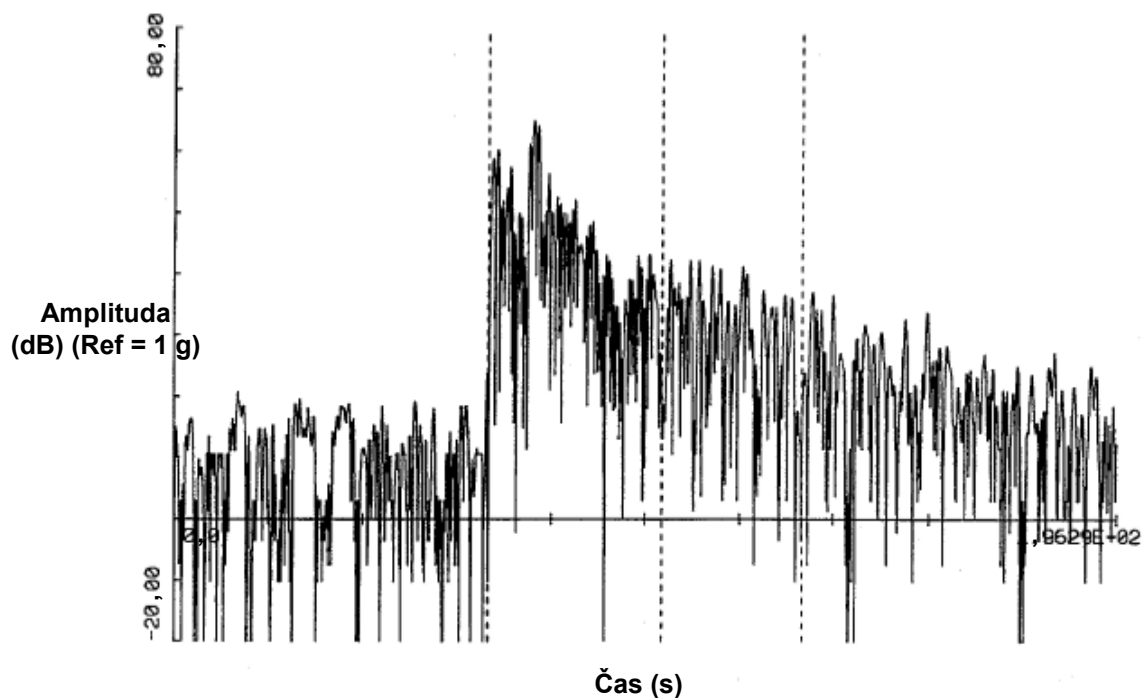


OBRÁZEK 15.A.1 – Úplný časový průběh amplitudy výbuchového rázu

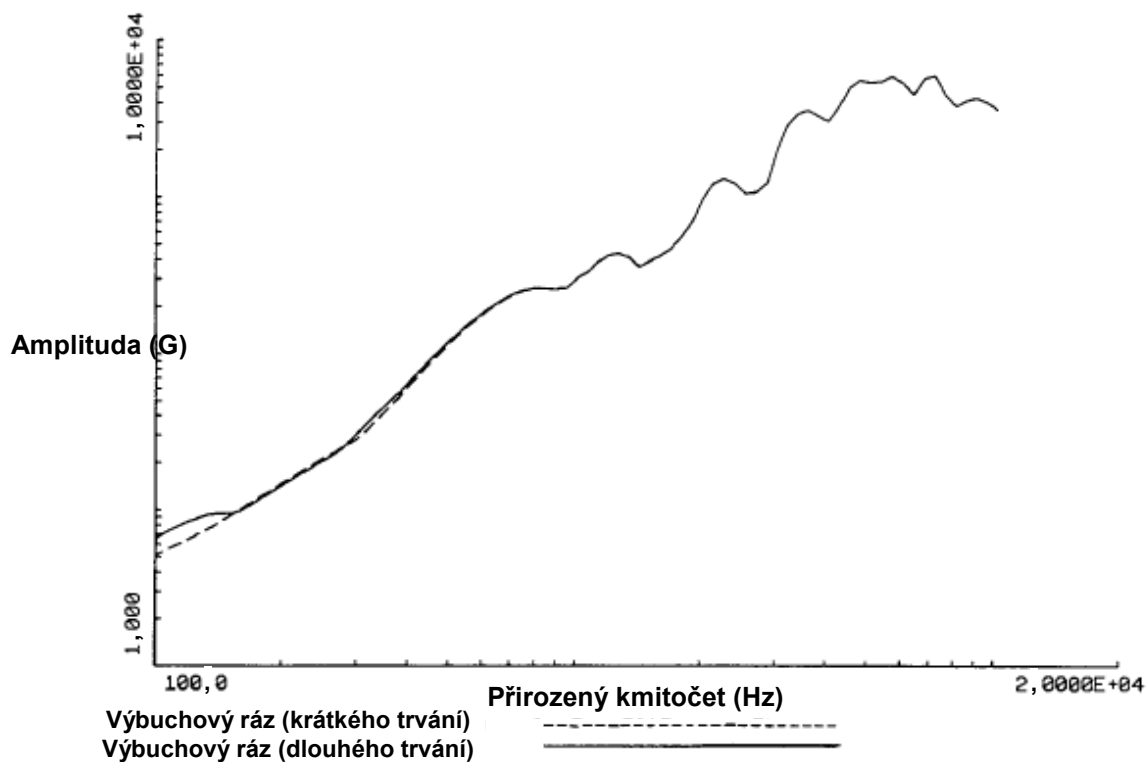


OBRÁZEK 15.A.2 – Časový průběh rychlostní amplitudy výbuchového rázu

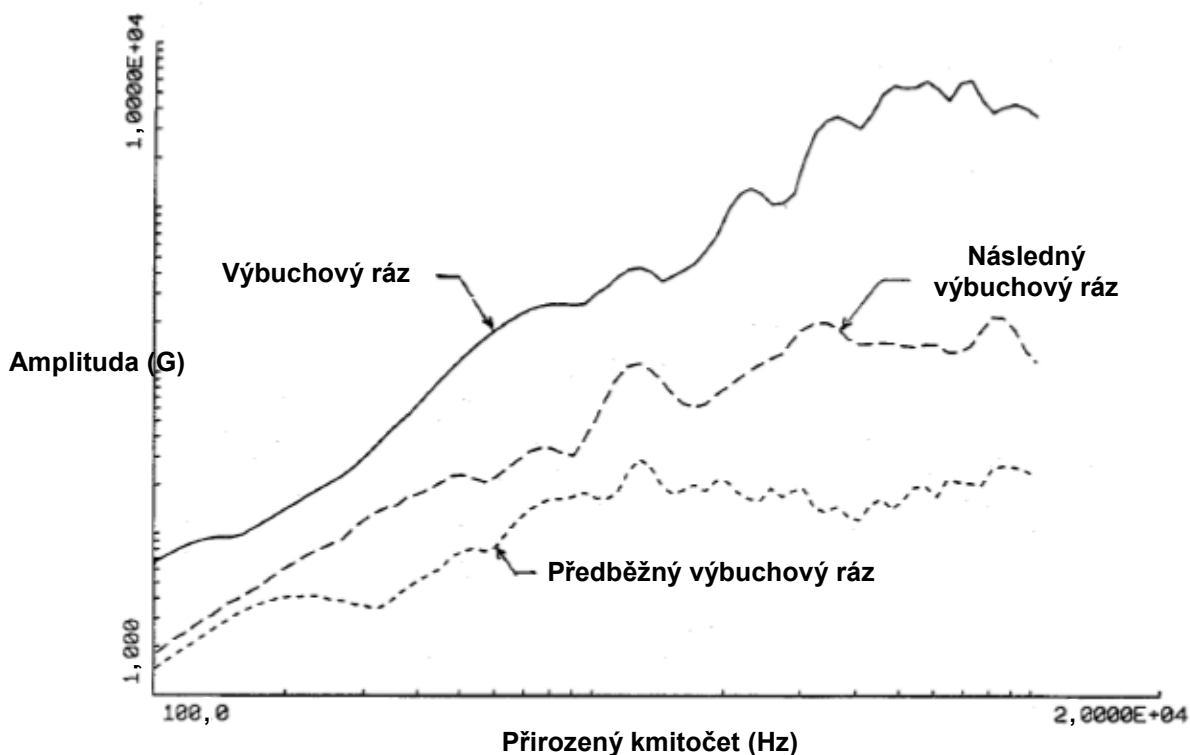
Příloha 15A
(normativní)



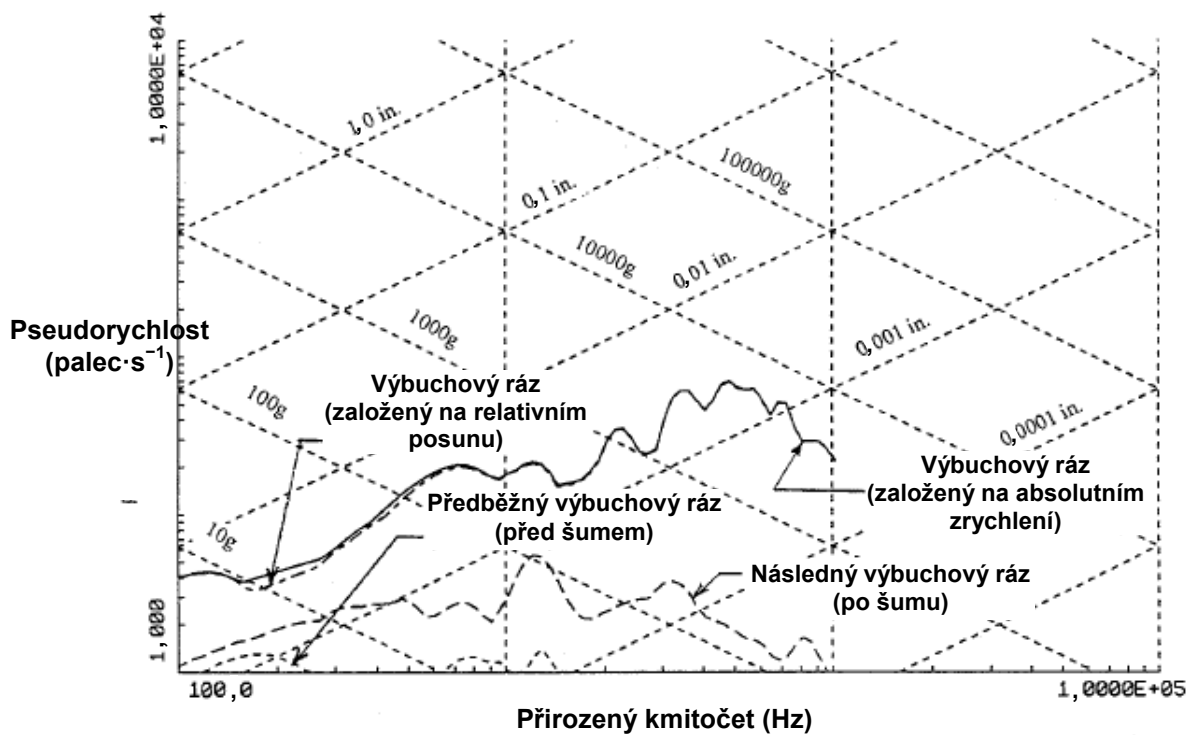
OBRÁZEK 15.A.3 – Časový průběh hodnoty amplitudy



OBRÁZEK 15.A.4 – Zrychlení maximax SRS

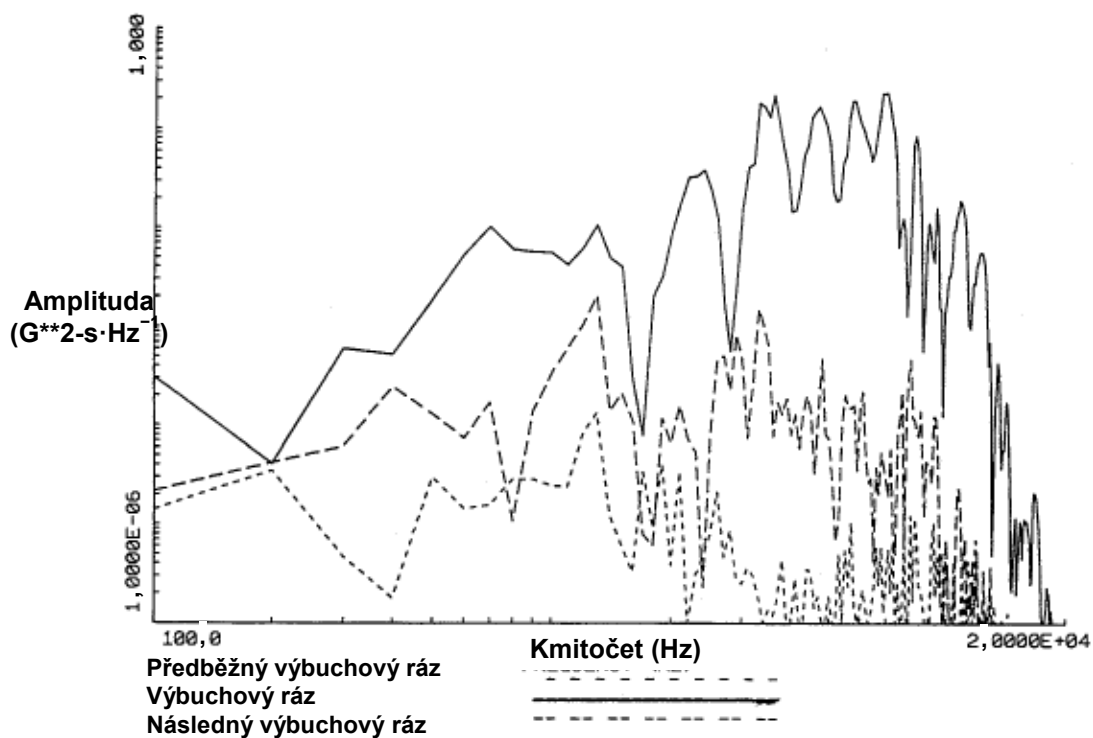


OBRÁZEK 15.A.5 – Zrychlení maximax SRS – úplný rázový jev

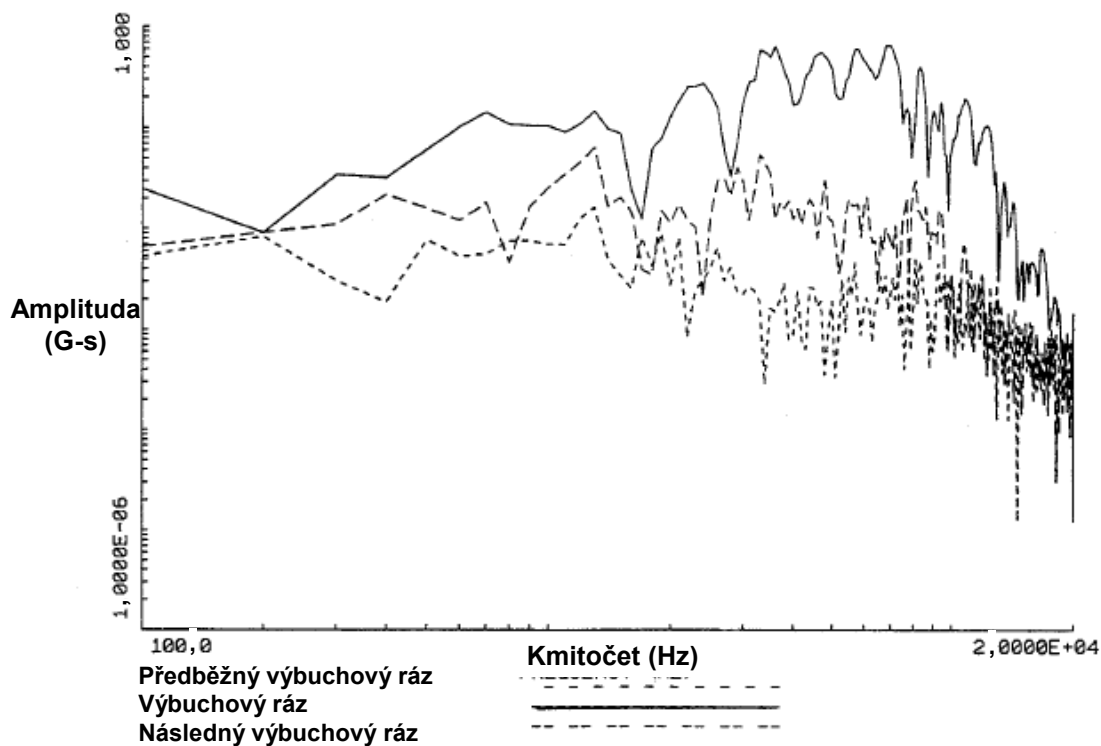


OBRÁZEK 15.A.6 – Spektrum pseudorychlostních odezev

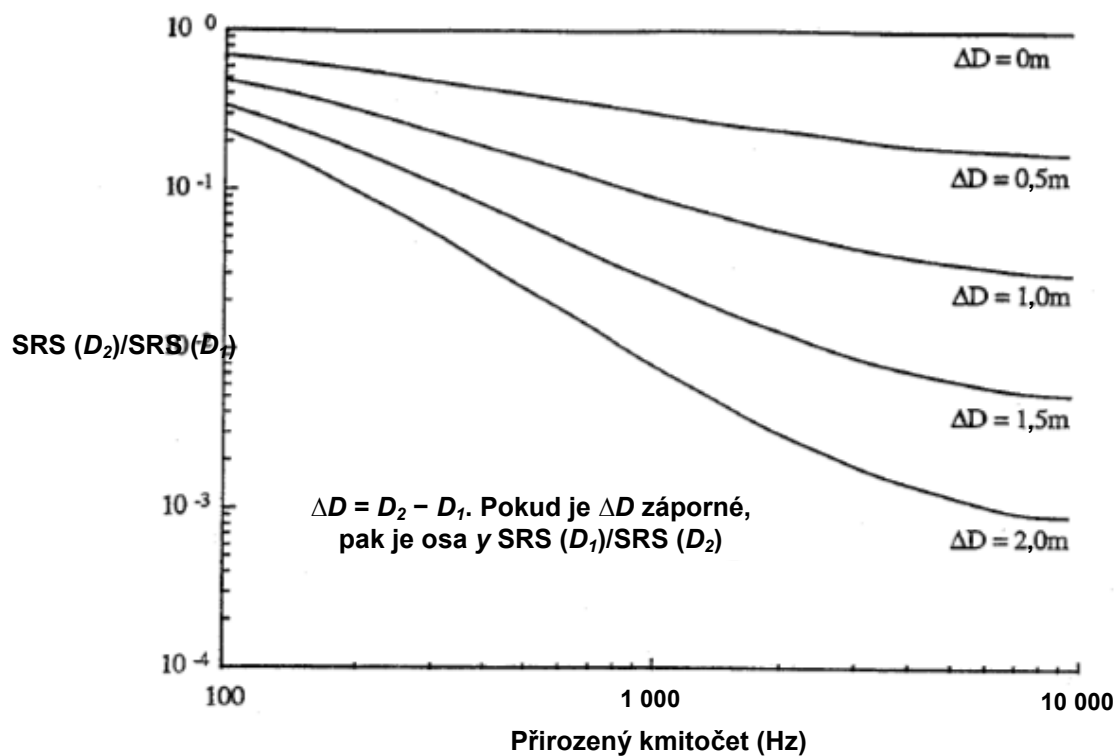
Příloha 15A
(normativní)



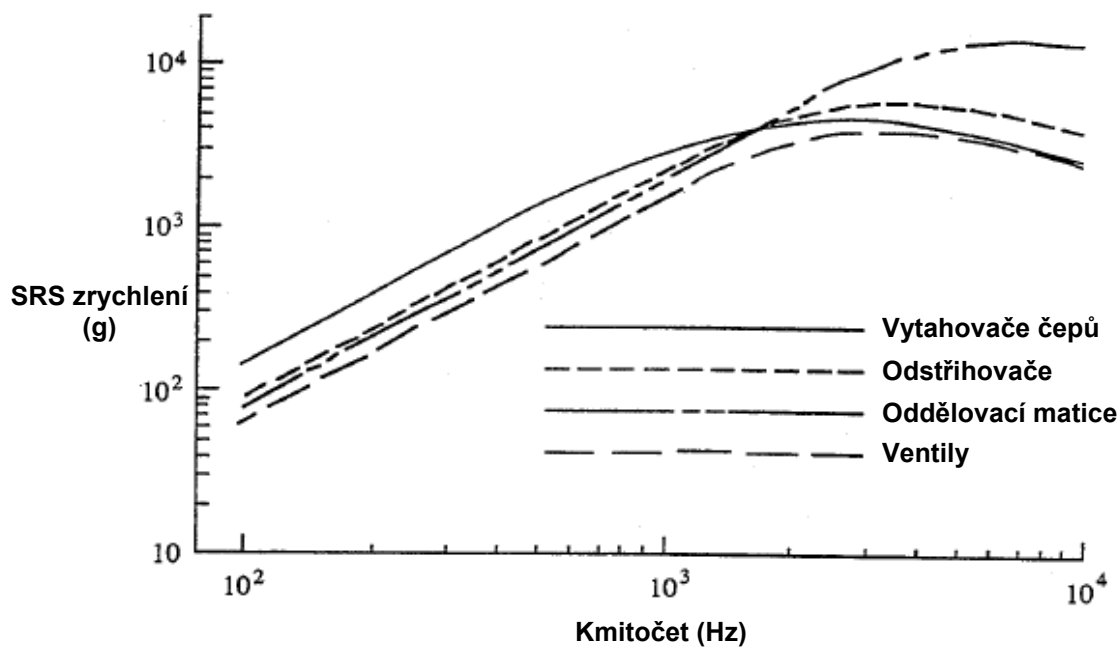
OBRÁZEK 15.A.7 – Odhad spektrální hustoty energie zrychlení



OBRÁZEK 15.A.8 – Odhad Fourierovy transformace zrychlení

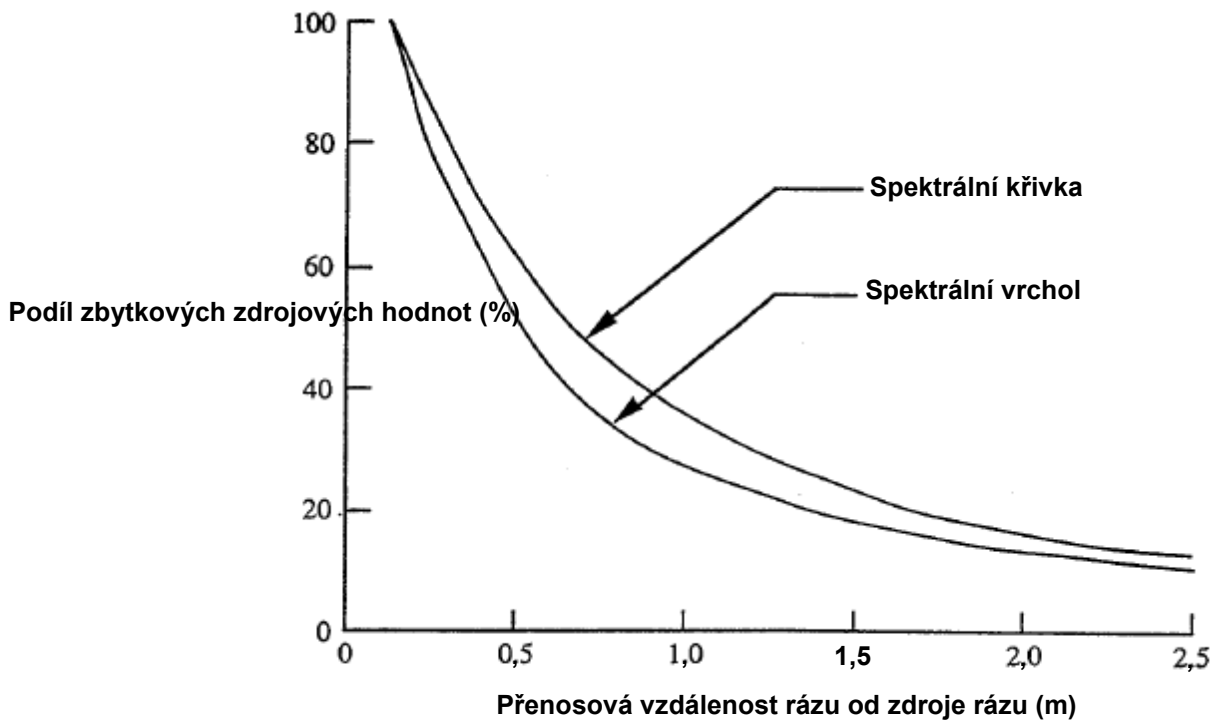


OBRÁZEK 15.A.9 – Korekce spektra rázové odezvy podle vzdálenosti od výbuchového zdroje

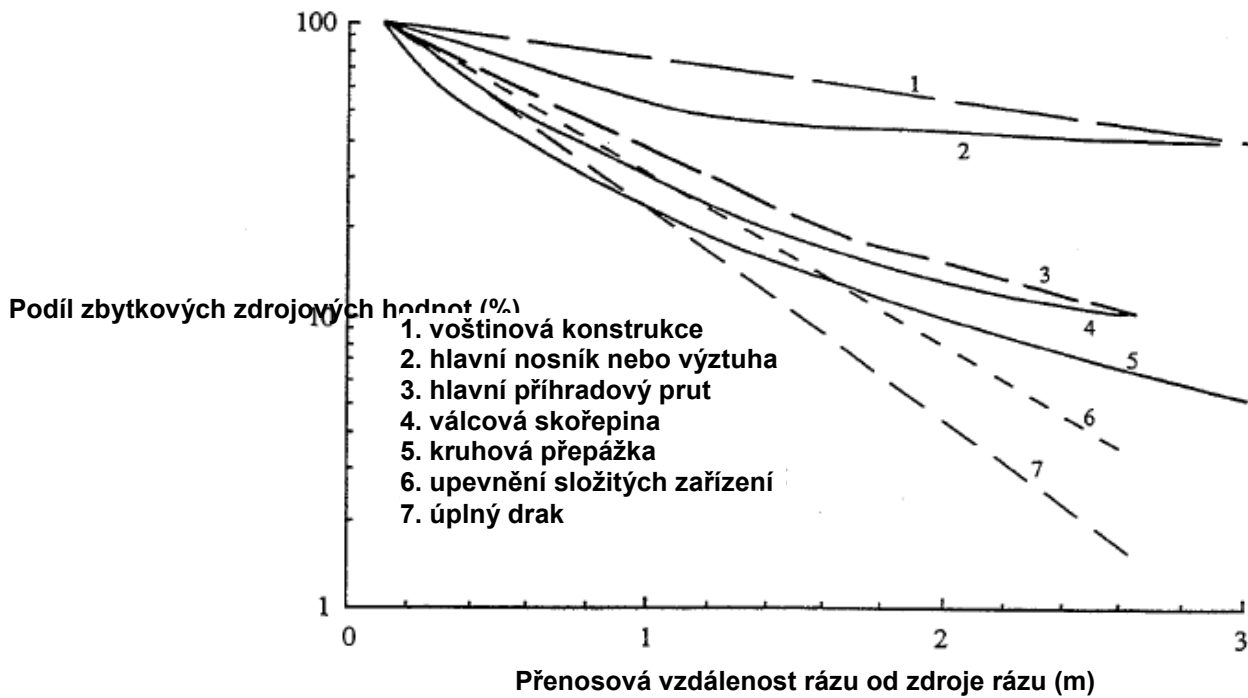


OBRÁZEK 15.A.10 – Spektrum rázové odezvy pro různá výbuchová zařízení s jednobodovým zdrojem

Příloha 15A
(normativní)



OBRÁZEK 15.A.11 – Spektrum rázové odezvy v závislosti na vzdálenosti od výbuchového zdroje



OBRÁZEK 15.A.12 – Časový průběh vrcholové odezvy výbuchového rázu v závislosti na vzdálenosti od výbuchového zdroje

15.A.2 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

Dále uvedené odkazy jsou použity v textu pro definování terminologie a poskytnutí informací o metodách používaných při zkoušení výbuchových rázů.

- a) Harris, Cyril M.: Příručka pro rázy a vibrace (Shock and Vibration Handbook), 3. vydání, NY, McGraw-Hill, 1988.
- b) Gaberson, H. A., Chalmers, R. H.: Modelová rychlost jako kritérium náročnosti rázu (Model Velocity as a Criterion of Shock Severity), Shock and Vibration Bulletin 40, Pt. 2, 1969, strana 31–49.
- c) ANSI/ASTM D3332-77: Standardní metody pro lámavost výrobků využívající strojové zpracování (Standard Methods for Fragility of Products Using Machines), 1977.
- d) Gaberson, H. A., Chalmers, R. H.: Zdůvodnění pro prezentaci rázového spektra s rychlostí na pořadnici (Reasons for Presenting Shock Spectra with Velocity as the Ordinate), 66th Shock and Vibration Symp., Vol. II, str. 181–191, říjen/listopad 1995.
- e) Piersol, A. G.: Analýza konstrukční odezvy střel Harpoon na odpalování z letadel, přistávání, upoutaný let a střelbu (Analysis of Harpoon Missile Structural Response to Aircraft Launches, Landings and Captive Flight and Gunfire). Naval Weapons Center Report #NWC TP 58890. leden 1977.
- f) IES-RP-DTE012.1: Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institute of Environmental Sciences and Technology, USA, leden 1995.
- g) Piersol, Allan G.: Postupy pro výpočet maximálních konstrukčních odezev z prognóz nebo měření ve vybraných bodech (Procedures to Compute Maximum Structural Responses from Predictions or Measurements at Selected Points), Shock and Vibration Journal, Vol. 3, Issue 3, 1996, str. 211–221.
- h) Smallwood, David O.: Charakterizace a simulace přechodových vibrací s použitím pásmově omezených časových okamžiků (Characterization and Simulation of Transient Vibrations Using Band Limited Temporal Moments), Shock and Vibration Journal, Volume 1, Issue 6, 1994, str. 507–527.
- i) Merritt, Ronald G.: Poznámka k detekci modelů přechodových vibrací (A Note on Transient Vibration Model Detection), IES Proceedings of the 42nd ATM 1995, Institute of Environmental Sciences, Mount Prospect, Illinois.
- j) Newland, D. E.: Úvod do náhodných vibrací, spektrální a vlnková analýza (An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis), John Wiley & Sons, Inc., New York 1995.
- k) Kelly, Ronald D., Richman, G.: Principy a metody analýzy rázových dat (Principles and Techniques of Shock Data Analysis), The Shock and Vibration Information Center, SVM-5, United States Department of Defense.
- l) NASA-HDBK-7005: Kritéria dynamického prostředí (Dynamic Environmental Criteria), USA National Aerospace and Space Administration, 13. březen 2001.
- m) Zimmerman, Roger M.: Oddíl 32, VII. Rázové zkušební metody (Section 32, VII. Shock Test Techniques), 3) Pyroshock-Bibliography, Experimental

Příloha 15A

(normativní)

Mechanics Division I, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 19. duben 1991.

- n) Barrett, S.: Vývoj požadavků na zkoušení výbuchových rázů pro komponenty přistávacího modulu Viking (The Development of Pyro Shock Test Requirements for Viking Lander Capsule Components), Proceedings of the 21st ATM, Institute of Environmental Sciences, str. 5–10, duben 1975.
- o) Kacena, W. J., McGrath, M. B., Rader, W. P.: Údaje o výbuchových rázech leteckých systémů (Aerospace Systems Pyrotechnic Shock Data), NASA CR-116437, -116450, -116401, -116402, -116403, -116406 a -116019, Vol. I–VII, 1970.

16 METODA 416 – RÁZ V ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVĚ

OBSAH

16.1	ROZSAH PLATNOSTI	406
16.1.1	Účel	406
16.1.2	Použití	406
16.1.3	Omezení	406
16.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	406
16.2.1	Vlivy prostředí	406
16.2.2	Využití naměřených údajů	406
16.2.3	Výběr postupů zkoušení	407
16.2.4	Posloupnost	407
16.3	NÁROČNOSTI	407
16.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	407
16.4.1	Povinné	407
16.4.2	Jsou-li požadované	407
16.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	407
16.5.1	Tolerance	407
16.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	408
16.5.3	Podmínky zkoušení	408
16.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	409
16.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	409

16.1 ROZSAH PLATNOSTI

16.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat podmínky nárazů železničních vozů, které se vyskytují během železniční přepravy systémů, subsystémů a zařízení, dále nazývané „materiál“ a jejich upevňovacích zařízení během stanovených logistických podmínek. Zkoušky železničních rázů se také provádí kvůli vystavení rozměrného materiálu stanoveným podélným a/nebo příčným rázům, aby se prokázala pevnost materiálu.

16.1.2 Použití

AECTP-240 poskytuje směrnici pro výběr postupu zkoušení pro specifické prostředí rázů na železnici. Další popis postupů pro železniční nákladku a přepravu je uveden v čl. 16.7, odkaz d.

Zkušební Postup I (Americké odpružené vozy se samočinnými spřáhly) je vhodný tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat stanovenému rázovému prostředí železničních vozů bez nepřijatelného znehodnocení svých funkčních a/nebo konstrukčních vlastností. Tato zkouška je povinná pro materiál, který se má přepravovat po železnicích v USA.

Zkušební Postup II (Evropské železnice) je vhodný pro generování nízkoúrovňových rázů s dlouhým trváním na rozměrných zkoušených předmětech a je požadován Správou evropských železnic (European Railway Administration).

Zkušební Postup III (Laboratorní simulace) je laboratorní simulace použitelná u předmětů připevněných ke kolejovým vozidlům nebo jimi přepravovaných.

16.1.3 Omezení

Tato metoda není určena pro podmínky havárií železničních vozů nebo pro malá jednotlivá balení, která by se normálně měla přepravovat upevněná na paletě.

16.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

16.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, pokud je materiál vystaven prostředí rázů na železnici.

- a) uvolňování upevňovacích pásů;
- b) poruchy na příslušenství, vytvářející bezpečnostní riziko;
- c) posouvání materiálu na železničním voze;
- d) poruchy na materiálu.

16.2.2 Využití naměřených údajů

Pro Postupy I a II jsou údaje o rázu naměřené v polních podmínkách obecně užitečné pouze jako základní reference po dobu zkoušení. Naměřené údaje se mohou využít pro úpravu průběhu amplitudy klasického rázu v Postupu III nebo pro zajištění časového průběhu rázu pro laboratorní simulační zkoušky.

16.2.3 Výběr postupů zkoušení

Postup I – Americké odpružené vozy se samočinnými spřáhly – je povinný pro zkoušené předměty přepravované po železnicích na území USA. Postup I je odvozen z MIL-STD 810 a čl. 16.7, odkaz e. Postupy II a III nejsou přijatelnou náhradou za Postup I. Navíc analytický počítačový model tvořící základ simulace, jako například metody konečných prvků, neodstraňuje požadavek na vykonání laboratorní zkoušky podle Postupu I.

Postup II – Evropské železnice – je výhradně pro účely rázových zkoušek a je požadován Správou evropských železnic (European Railway Administration). Postup II je odvozen z čl. 16.7, odkaz c.

Postup III – Laboratorní simulace – je laboratorní rázová zkouška používaná k simulaci rázového prostředí na železnici a je založena na úrovních zrychlení z čl. 16.7, odkazy a, b.

16.2.4 Posloupnost

Pořadí zkoušení železničních rázů bude stanoveno požadující organizací a zvláštní požadavky na pořadí zkoušek by měla určovat Směrnice pro zkoušku.

16.3 NÁROČNOSTI

Podmínky zkoušení jsou stanoveny v článku 16.5.3

16.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

16.4.1 Povinné

- identifikace zkoušeného předmětu;
- definování zkoušeného předmětu;
- stanovení náročnosti zkoušek;
- podmínky pro upevnění;
- osa a směr, ve kterém je ráz na zkoušený předmět aplikován;
- podrobnosti vyžadované k provedení zkoušky;
- měření rychlosti;
- stanovení kritérií poruch.

16.4.2 Jsou-li požadované

- tolerance rychlosti železničního vozu, pokud se liší od požadavku čl. 16.5.1;
- tolerance na amplitudě zrychlení a šířce impulzu (Postup II);
- tah upevňovacích řetězů nebo lan a požadavky na přístrojové vybavení nebo na měření zatížení;
- požadavky na přístrojové vybavení pro měření zrychlení zkoušeného předmětu nebo síly spřáhel železničních vozů.

16.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

16.5.1 Tolerance

Tolerance rychlosti nárazu železničního vozu u Postupu I je $+0,8$; $-0,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pro všechny rychlosti nárazu železničního vozu a všechny následné nárazy.

16.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkušební Postup I vyžaduje, aby zkoušený předmět byl namontován na železniční vůz v přímém dotyku s ložnou plochou a zajištěn s použitím schválených způsobů upevnění nebo způsobů stanovených ve Směrnici pro zkoušku.

Zkušební Postup II vyžaduje, aby zkoušený předmět byl na železničním voze zajištěn takovým způsobem, který odpružení zkoušeného předmětu učiní z největší míry neúčinné.

Zkušební Postup III vyžaduje, aby zkoušený předmět byl připevněn k rázovému zařízení tak, jak popisuje Metoda 403, článek 9.5.2.

16.5.3 Podmínky zkoušení

Existuje několik způsobů, jak pro účely zkoušení vyměřit úsek železniční trati a monitorovat rychlost železničního vozu, jako například radar, měření času nebo značení na trati. Zkoušky se typicky provádějí na rovném úseku trati s minimální délkou zkušebního úseku 61 m. Lokomotiva se používá k uvedení železničního vozu / železničních vozů do pohybu. Pro uvedení železničního vozu / železničních vozů do pohybu je také možné využít traťový úsek na svahu. Pro zajištění opakovatelnosti zkoušky je žádoucí u Postupů I a II provést měření napínavých sil upevňovacího systému a síly spřáhel železničních vozů. Kromě toho použití prázdných železničních vozů jako stacionární nebo pohyblivé nárazové masy železničních vozů zlepší opakovatelnost zkoušky vyloučením hodnoty nárazové energie přeměněné na kinetickou energii pohybu hmot umístěných na těchto železničních vozech. Zvýšení hmotnosti narážených železničních vozů pomocí vhodné pomocné zátěže je dovoleno, ale tato hmotnost se musí bezpečně připevnit k železničnímu vozu, aby se zabránilo jejímu relativnímu pohybu během zkoušení.

16.5.3.1 Zkušební Postup I – Americké odpružené vozy se samočinnými spřáhly

Zkoušený předmět se musí namontovat na odpruženém voze se samočinnými spřáhly. Železniční vůz s předmětem, který se má zkoušet, se doporučuje rozjet na stanovenou rychlost a nechat narazit do nehybného železničního vozu / nehybných železničních vozů s minimální celkovou brutto hmotností 114 000 kg. Jedna pětina stacionárních železničních vozů se může ke splnění 114 000 kg odečíst. Před nárazem se brzdy nepohybujícího se vozu / nepohybujících se vozů musí nastavit do pohotovostní polohy a spřáhla musí být stlačená. Jestliže může být zkoušený předmět přepravován pouze v jedné orientaci, pak musí železniční vůz narazit jednou při rychlostech 6,4; 9,7 a 13,0 km·h⁻¹ v jednom směru a při rychlosti 13,0 km·h⁻¹ v opačném směru (celkem 4 nárazy). V průběhu zkoušek postupnými rychlostmi se povolené upevňovací prostředky nesmí znovu napínat. Jestliže může být zkoušený předmět přepravován ve více než jedné orientaci, musí se zkouška opakovat pro každou přepravní orientaci. Stanovené rychlosti jsou závazné pro materiál, který se má přepravovat po železnicích v USA. Zarážky, upevnění a zkoušený předmět se musí prohlédnout po každém nárazu. Zarážky a upevnění se musí při poškození opravit a zkouška se musí opět začít na nejnižší rychlosti nárazu. Poškození upevňovacího zařízení včetně vestavěných částí se musí zaznamenat jako porucha. Požaduje se oprava a opakování zkoušky.

16.5.3.2 Zkušební Postup II – Evropské železnice

Zkoušený předmět je umístěn na nepohyblivý zkušební železniční vůz, do kterého narazí jiný železniční vůz (nárazový vůz), který je uveden do pohybu lokomotivou na výchozí rychlost $5,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Rychlost nárazu se postupně zvyšuje, dokud se nedosáhne požadované amplitudy zrychlení a šířky impulzu. Maximální povolená rychlost je $10,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jestliže není stanovené zrychlení dosaženo ani při nárazové rychlosti $10,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, musí se zvýšit hmotnost nárazového vozu. Požadované měřené úrovně zrychlení zkoušeného předmětu pro Postup II jsou stanoveny v tabulce 16.1.

TABULKA 16.1 – Postup II – Měření amplitudy rázového zrychlení zkoušeného předmětu

Osa	Vrcholové zrychlení (g)	Šířka impulzu (ms)
Podélná	4,0	50
Příčná	0,5	50
Svislá	0,3	50

Je nepravděpodobné, že zrychlení a šířka impulzu pro příčnou a svislou osu budou splněny současně s parametry podélné osy. Proto se doporučuje u tolerancí stanovených ve Směrnici pro zkoušku počítat s touto nejistotou.

16.5.3.3 Zkušební Postup III – Laboratorní simulace

Zkušební Postup III je laboratorní rázová simulace vhodná pro předměty upevněné na železničních vozidlech nebo na nich přepravované. Pro náročnosti zkoušení viz Metoda 403 (Rázové zkoušení). Zkušební postupy definované v Metodě 403 pro SRS ráz se také mohou použít pro laboratorní simulační zkoušky, pokud jsou pro potřeby simulace dostupné příslušné údaje z měření v polních podmínkách.

16.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku, a to jak během železniční nárazové zkoušky, tak po jejím ukončení.

16.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- Náhodné vibrace a rázové zkoušky zařízení pro použití na železničních vozidlech (Random Vibration and Shock Testing of Equipment for Use on Railway Vehicles), IEC TC9 WG 21, Návrh 12. revize, 1996 (9/1371).
- Magnuson C. F., Wilson L. T.: Rázové a vibrační prostředí pro velké přepravní kontejnery na železničních vozech a nákladních automobilech (Shock and Vibration Environments for Large Shipping Containers on Rail Cars and Trucks), Sandia Laboratories, Report SAND76-0427, červenec 1977.
- RIV, Příloha II: Předpisy pro nakládku, svazek I a II (RIV Anlg II Verladevorschriften Band I und II) (převzato ze Směrnic/požadavků Správy evropských železnic (European Railway Administration)).
- TM 55-2200-001-12: Přepravní směrnice, Používání zarážek, rozpěr a upevňovacích prostředků pro železniční přepravu (Transportability)

Guidance, Application of Blocking, Bracing, and Tiedown Materials for Rail Transport), US Department of Army, 18. listopad 1992.

- e) Test Operation Procedure (TOP) 1-2-501: Železniční nárazové zkoušky (Rail Impact Testing), AD Number A295441, 10. říjen 2001.

17 METODA 418 – POHYBLIVÁ PLATFORMA

OBSAH

17.1	ROZSAH PLATNOSTI	412
17.1.1	Účel	412
17.1.2	Použití	412
17.1.3	Omezení	412
17.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	412
17.2.1	Vlivy prostředí	412
17.2.2	Využití naměřených údajů	412
17.2.3	Posloupnost	412
17.2.4	Výběr zkušebních postupů	412
17.2.5	Druhy pohybu	412
17.2.6	Strategie řízení	413
17.3	NÁROČNOSTI	413
17.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	413
17.4.1	Povinné	413
17.4.2	Jsou-li požadované	413
17.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	413
17.5.1	Druhy pohybu	413
17.5.2	Zkušební zařízení	413
17.5.3	Tolerance	414
17.5.4	Postup	414
17.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	414

Přílohy

Příloha 17A	POHYBLIVÁ PLATFORMA – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	416
-------------	---	-----

17.1 ROZSAH PLATNOSTI

17.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat podmínky přepravní platformy, kterým jsou vystaveny systémy, subsystémy a zařízení, dále nazývané „materiál“, během stanovených provozních podmínek.

17.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou přiměřenost odolávat stanovenému prostředí přepravní platformy bez nepřijatelného znehodnocení svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik. Nejběžnější prostředí pro vyvolaný pohyb platformy je velká loď během plavby na rozbouřeném moři. Pro kombinované osy a pohyb s více stupni volnosti viz Metoda 421.

17.1.3 Omezení

Tato zkouška není určena k tomu, aby představovala jakýkoli pohyb platformy k upevnění materiálu jiný než pohyb tuhého tělesa.

17.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

17.2.1 Vlivy prostředí

Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které se mohou vyskytnout, jestliže je materiál vystaven prostředí přepravní platformy.

- a) konstrukční deformace;
- b) tvorba trhlin a prasklin;
- c) uvolňování upevňovacích prvků;
- d) uvolňování dílů nebo součástí.

17.2.2 Využití naměřených údajů

Je-li to účelné, doporučuje se využít pro přizpůsobení zkušebních úrovní provozní údaje naměřené v polních podmínkách. Přiměřené údaje by se měly získat pro dostačující popis podmínek, které se mají hodnotit a kterým se má materiál vystavit v každé etapě LCEP. Získaná měřená data a informace by měly sloužit jako postačující minimum pro objasnění odchylek dat způsobených rozdělením stavu a stáří přepravní platformy, nosnosti a upevňovacího systému, provozního personálu a provozních podmínek prostředí.

17.2.3 Posloupnost

Pořadí aplikace zkoušky se doporučuje zvažovat ve vztahu k ostatním zkouškám a učinit ho kompatibilní s profilem prostředí životního cyklu.

17.2.4 Výběr zkušebních postupů

Existuje pouze jeden postup – viz článek 17.5.4.

17.2.5 Druhy pohybu

Pokud není stanoveno jinak, pohyb by měl být sinusový. Měřená provozní data se mohou použít pro laboratorní sinusové simulační zkoušení, pro reprodukci časového průběhu tvaru vlny nebo pro další podobné postupy.

17.2.6 Strategie řízení

Tento pohyb se může řídit úhlovým snímačem nebo je možné použít lineární snímač připevněný ke stolu. V posledně zmíněném případě je nezbytné provést korekci mezi lineárním a úhlovým pohybem.

17.3 NÁROČNOSTI

Je-li to účelné, úroveň a doba trvání zkoušky se stanoví s využitím projektovaných profilů provozního použití a dalších příslušných dostupných dat. Pokud nejsou data dostupná, výchozí náročnosti zkoušky poskytuje příloha 17A. Tyto náročnosti se doporučuje použít ve spojení s odpovídajícími informacemi z AECTP-240.

17.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

17.4.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) stanovení náročnosti zkoušek;
- d) orientace zkoušeného předmětu ve vztahu k osám zkoušení;
- e) provozní ověřování: výchozí, konečná;
- f) podrobnosti vyžadované k provedení zkoušky;
- g) stanovení kritérií poruch;
- h) klimatické podmínky zkoušky.

17.4.2 Jsou-li požadované

- a) tolerance, pokud se liší od požadavku článku 17.5.3;
- b) zvláštní znaky zkušebního zařízení;

17.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

17.5.1 Druhy pohybu

Pro loď jsou definovány čtyři pohyby se svislou, příčnou a podélnou osou v tomto pořadí označené v , t a l . Svislá je kolmá na zemský povrch. Příčná je přes krátký rozměr lodě a je kolmá na osy v a l . Podélná je rovnoběžná s délkou lodě a je kolmá na osy v a t . Tedy

- houpání je kývavý otáčivý pohyb lodi kolem podélné osy;
- kymácení je kývavý otáčivý pohyb lodi kolem příčné osy;
- vybočení je kývavý otáčivý pohyb lodi kolem svislé osy;
- vzdouvání je kývavý translační pohyb lodi ve svislé ose.

17.5.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení je typicky velký stůl, který může oscilovat kolem vodorovné osy. Běžné jsou dva druhy zkušebních zařízení.

- Vodorovný stůl na obou koncích spojený se dvěma nebo více svislými hydraulickými aktuátory. Řídicí systém generuje pohyb aktuátorů pro simulaci pohybu houpání nebo kymácení řízením naklánění stolu kolem vodorovné osy. Eventuálně může být řízením svislého pohybu stolu simulován pohyb vzdouvání.

- Vodorovný stůl s uloženími tvořícími pevnou vodorovnou závěsovou osu. Stůl kmitá použitím jednoho nebo několika hydraulických aktuátorů. Toto uspořádání stolu nesimuluje pohyb vzdouvání.

17.5.3 Tolerance

Tolerance pro kmitočet zkušebního zařízení a úhlovou výchylku jsou udány níže. Tyto úrovně se musí aplikovat pro laboratorní zkoušení, jestliže nejsou toleranční hodnoty stanoveny ve Směrnici pro zkoušku.

- a) Kmitočet
 - (1) $\pm 0,05$ Hz od 0 Hz do 0,5 Hz;
 - (2) ± 10 % od 0,5 Hz do 5 Hz.
- b) Úhlová výchylka
 ± 15 % při řídicím signálu.

17.5.4 Postup

Jestliže není známa orientace zkoušeného předmětu při provozu na palubě přepravní platformy a není ani stanovena ve Směrnici pro zkoušku, bude se předmět zkoušet ve všech třech hlavních osách. Směrnice pro zkoušku musí stanovit, zda zkoušený předmět musí být během zkoušky v provozu.

- Krok 1 Je-li to vhodné, provést kondicionování zkoušeného předmětu.
- Krok 2 Zavést strategii řízení včetně řídicích a monitorovacích bodů.
- Krok 3 Provést výchozí provozní ověření.
- Krok 4 Aplikovat určený pohyb a uskutečnit požadovaná provozní a funkční ověření.
- Krok 5 Provést závěrečná provozní ověření.
- Krok 6 Opakovat kroky 1 až 5 pro další požadované osy.
- Krok 7 Zaznamenat údaje požadované Směrnicí pro zkoušku.

17.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku, a to jak během zkoušky vlivu přepravní platformy, tak po jejím ukončení.

PŘÍLOHY

Příloha 17A
(normativní)

POHYBLIVÁ PLATFORMA – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se má používat jen tehdy, jestliže nejsou v počátečních etapách programu k dispozici naměřená data a informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat data naměřená na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí z typických platform a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

Zkoušený předmět bude vystaven řízenému pohybu houpání a kymácení definovanému na vhodné provozní platformě v tabulce 17.A po určenou dobu trvání zkoušky. Náročnost zkoušení není stanovena pro vybočení a osový pohyb vzdouvání, protože provozní úrovně jsou obvykle nízké. Tabulka 17.A poskytuje náročnost zkoušení pro stav moře 5/6 a je odvozena z četných zdrojů NATO.

TABULKA 17.A – Pohyblivá platforma – Výchozí náročnost zkoušení

Platforma	Houpání		Kymácení		Doba trvání zkoušky
	Kmitočet (Hz)	Úhel (stupeň)	Kmitočet (Hz)	Úhel (stupeň)	
Letadlová loď	0,065	+/-20,0	0,143	+/-5,0	30 min/osa
Fregata	0,091	+/-30,0	0,196	+/-10,0	
Ponorka	0,143	+/-30,0	0,100	+/-10,0	

18 METODA 419 – HODNOCENÍ A ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

OBSAH

18.1	ROZSAH PLATNOSTI	418
18.1.1	Účel	418
18.1.2	Použití	418
18.1.3	Omezení	427
18.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	427
18.2.1	Vlivy prostředí	427
18.2.2	Využití naměřených údajů	430
18.2.3	Výběr postupů zkoušení	430
18.2.4	Posloupnost	433
18.3	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	433
18.3.1	Povinné	433
18.3.2	Jsou-li požadované	434
18.4	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	434
18.4.1	Tolerance	434
18.4.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	434
18.4.3	Podmínky zkoušení	435
18.4.4	Kalibrace	435
18.5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	435
18.6	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	435
Přílohy		
Příloha 18A	PROCES HODNOCENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ	438
Příloha 18B	ÚVAHY K HODNOCENÍ A ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ	456
Příloha 18C	ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ S POUŽITÍM METOD SRS	466
Příloha 18D	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY PODVODNÍCH VÝBUCHŮ	472

18.1 ROZSAH PLATNOSTI

18.1.1 Účel

Postupy této zkušební metody se dají použít na systémy, subsystémy a zařízení, dále nazývané „materiál“, které musí přečkat jev bezkontaktního podvodního výbuchu nebo fungovat po takovém výbuchu. Účelem této zkušební metody je poskytnout metodu hodnocení výbuchů pod vodou, která využívá víceoborový přístup k tvorbě materiálové bezpečnosti a zjišťování provozní použitelnosti. Metoda kombinuje jak analytické rozborů, tak fyzické zkoušení, aby se zajistilo, že materiál používaný nebo přepravovaný na moři může odolat prostředí podvodního výbuchu. Základní cíle této zkušební metody jsou následující:

- a) Odvodit postup hodnocení materiálu tak, aby se bezpečnost a vhodnost pro provozní kritéria mohla prokázat s přijatelnou a vhodnou mírou bezpečnosti, která bude v rovnováze s rizikem následků poruch.
- b) Stanovit bezpečnost jako hlavní požadavek jakéhokoli hodnocení a poskytnout směrnici pro provozní spolehlivost v porovnání s aktuálními zvyklostmi a praxí, pokud jde o konstrukční kritéria lodí.
- c) Začlenit hodnocení podvodních výbuchů do současných postupů pro hodnocení dynamického chování materiálu.
- d) Poskytovat strategii pro hodnocení odolnosti materiálu proti podvodním výbuchům, aby se dala možnost položit přiměřené otázky a určit směr hodnocení pro účely nezávislého hodnocení.
- e) Umožnit využití stávajících vibračních a rázových zkušebních zařízení pro reálné zkoušení odolnosti materiálu na podvodní výbuchy.

18.1.2 Použití

Námořní přeprava je pravděpodobně součástí určité etapy životního cyklu většiny materiálu. Je to zejména případ období narůstání napětí nebo nepřátelství, kdy je potřebné dopravit velké množství materiálu do frontových základen a na bojiště. Námořní zbraně jsou zvláštní případ v tom, že jsou také nasazeny na palubách námořních plavidel a často mají rozdílné balící a skladovací uspořádání. Důsledkem je, že zde existuje potřeba posoudit účinky jevů podvodních výbuchů, když je materiál skladován, nasazen nebo přepravován na námořním plavidle. Problémy jsou širší než jen provozuschopnost materiálu v tom, že jakýkoli kompromis v bezpečnosti má širší důsledky pro bezpečnost celého plavidla a posádky.

Narůstající konstrukční komplexnost materiálu a trend nakupovat komerčně dostupné (COTS) hotové výrobky od třetích stran také vyžaduje zdokonalování metod hodnocení a hodnotících dat pro zajištění odpovídající bezpečnosti a přiměřenosti pro provozní parametry. Ucelené a „na míru ušité“ hodnocení, využívající na podporu zkoušek modelování a historické databáze, poskytuje vhodnou příležitost pro vyladění procesu hodnocení. To je především závažné u hodnocení materiálu vystaveného působení podvodních výbuchů. V současné době je materiál vystavený účinkům podvodních výbuchů běžně zkoušen s využitím schématu rázové směrné křivky, a kde je to nezbytné, odborného jednorázového hodnocení. Protože schéma směrné křivky není použitelné pouze pro materiál, který projevuje komplexní dynamickou odezvu, požaduje se přizpůsobené víceoborové pojetí hodnocení využívající modelování, zkoušení a korelaci z historických dat.

Tudíž, existuje potřeba formalizovat proces hodnocení „šitý na míru“ (dále „přizpůsobené hodnocení“), aby vyhovoval schématu rázové směrné křivky.

Směrné křivky jsou empirické a symbolické předměty vystavené rozsahu podvodních výbuchů jak v blízkém, tak ve vzdáleném poli. Mohou se přímo aplikovat na materiál, který se může považovat za tuhé těleso s přísnými omezeními pro složenou munici. Rázové směrné křivky předpokládají typickou konstrukci, která je dále rozdělena na rázová prostředí nebo třídy. Je to pokus dále rozdělit, ačkoli hrubě, loď na prostory s rozdílnou dynamickou povahou rázového vstupu, kde různá místa budou zažívat při tomtéž podvodním výbuchu výrazně odlišné podmínky dynamického vstupu. Kromě toho bude rozdílná i přenosová cesta mezi lodním prostorem a místy provozního nasazení, mající za následek modifikované úrovně dynamických vstupů. Například na úrovni paluby bude existovat buzení v nižších frekvencích (desetiny Hz), zatímco uvnitř trupu lodi bude kmitočtové spektrum v rozsahu stovek Hz. Schéma rázové směrné křivky v podstatě poskytuje předepsaný postup pro stanovení odezvy tuhého tělesa, pevně připevněného k sedadlu uvnitř plavidla. Toto tuhé těleso se snadno může považovat za přirozený paušální hmotnostní model. Ale nedostatky koncepce „celková hmotnost“ a prosté využití základní přirozené frekvence je důvodem, proč se nemohou brát v úvahu rázový vstup do jednotlivých prvků a jejich odezva, modifikovaná konstrukcí zařízení.

Tato zkušební metoda definuje přizpůsobenou metodu hodnocení podvodních výbuchů, která je postavena na schématu rázové směrné křivky a rozšiřuje schopnost dynamicky pokrýt složitý materiál. Popisuje logický základ a metodu hodnocení vhodnou pro široký rozsah materiálu a využívající obsáhlou a přizpůsobenou strategii hodnocení vytvořenou pro použití na podporu bezpečnosti a přiměřenosti pro provozní hodnocení vlivu podvodních výbuchů. V případě potřeby by se měly použít metodiky Metody 403 pro zkoušení rázového spektra odezev (SRS) nebo klasické rázové zkoušení.

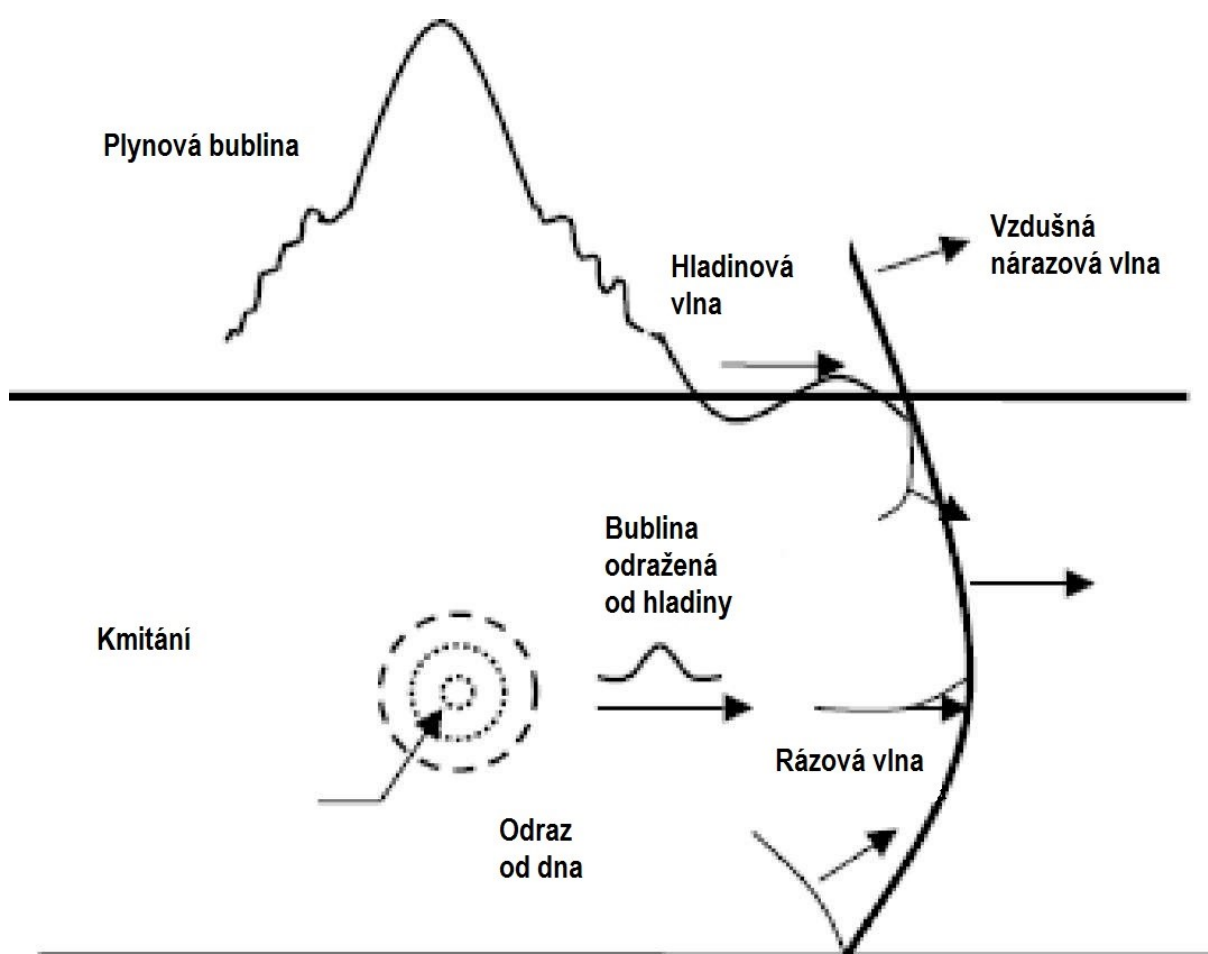
18.1.2.1 Prostředí podvodního výbuchu

Všude v tomto dokumentu je termín „podvodní výbuch“ (*v originálu – Underwater Explosion /UNDEX/*) používán k označení dynamického zatížení vznikajícího při výbuchu výbuštiny pod vodou. Historicky byla označení „podvodní ráz“ a „rázové zatížení“ používána nesprávně jako obecné termíny. Ráz je právě jeden jev, který nastává v případě podvodního výbuchu, a tedy vytváří jednu část celkového vyvolaného zatížení podvodního výbuchu, jak je dále popsáno. Krátký přehled fyziky a parametrů jevu podvodního výbuchu je poskytnut níže. Obrázek 18.1 znázorňuje tento případ.

Jev podvodního výbuchu se skládá z prvního rázu a z jevů kmitavých plynových bublin. Po výbuchu ponořené výbušné nálože nebo bojové hlavice se přibližně jedna třetina výbušné energie šíří v okolní kapalině ve formě akustických tlakových impulzů. Vrcholový tlak a rychlost rozpadu jsou funkcemi velikosti nálože, druhu výbuštiny a vzdálenosti od místa výbuchu. Podobně veličiny jako například impulz a hustota energetického toku, které jsou odvozené z tlakových časových údajů, jsou závislé na těchto veličinách. Tlakový impulz je typicky charakterizován velmi rychlou dobou náběhu (několik milisekund), tlakový vrchol je následován pomalejším tlakovým rozpadem. Rozpad je obecně modelován jako exponenciální, s vrcholovým tlakem nepřímo úměrným vzdálenosti od místa výbuchu, $P \sim 1 / \text{vzdálenost}$. Poblíž místa výbuchu je rychlost šíření impulzní rázové vlny $1\,500\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ typicky tři až

pětkrát větší než rychlost zvuku ve vodě. Tlakový vrchol pro jmenovitou vzdálenost od výbuchu je v rozsahu 5 až 25 MPa, s účinnou dobou trvání 1 ms.

V místě výbuchu výbušný jev také iniciuje do vody množství plynu pod vysokým tlakem a teplotou. Tento plyn se rozpíná proti vnějšímu hydrostatickému tlaku. Bublínové rozpínání dosahuje značné vnější síly, která přesahuje rovnovážný stav, a tudíž následuje kmitání plynových bublin. Základním účinkem plynových bublin je značné nestlačitelné proudění vody paprskovitě ven z místa výbuchu, přitom proud mění směr, jak se kmitání bublin vyvíjí. Pokaždé když bublina dosáhne minimálního stavu, objeví se odrazový jev, pomocí něhož se tlakový impulz šíří v kapalině. Působení pohybu plovoucích bublin a rozptylu energie z každého cyklu zajišťuje, že bublina zřídka kmitá přes dva nebo tři cykly.



OBRÁZEK 18.1 – Vlastnosti rázové vlny podvodního výbuchu

18.1.2.2 Nástin metody hodnocení podvodního výbuchu

Hodnocení podvodního výbuchu v souvislosti s lodním materiálem je víceoborová činnost v oblasti hodnocení bezpečnosti a provozní vhodnosti materiálu vystaveného účinkům podvodního výbuchu. Při hodnocení podvodního výbuchu se uvažuje minimálně se třemi variantami.

- a) přeprava;

- b) uložení ve skladu;
- c) provozní nasazení (např. v odpalovacím zařízení).

Přepravní varianta se vyskytuje tam, kde námořní plavidlo přepravuje materiál. Přeprava se může uskutečnit vojenskou námořní lodí nebo komerčně pronajatým dopravním plavidlem. Námořní přeprava se potenciálně využívá u materiálu pro všechny tři složky ozbrojených sil. Obal nebo balení materiálu se může značně lišit podle uspořádání provozního uložení. Pro materiál, který je určen pro použití u námořnictva, je hodnocení podmínek uskladnění v lodních prostorech nezbytné. Avšak materiál se shodností pro další druhy sil může být také skladován v lodních skladech válečných lodí. Podmínky těchto válečných plavidel mohou mít stejnou úroveň hodnocení jako lodní výzbroj, protože jsou pravděpodobně stejnou měrou plně vystaveny působení kritického zatížení podvodních výbuchů. Provozní rozmístění materiálu bude pro materiál znamenat vyjmutí z prostředí skladu a umístění do odpalovacího nebo jiného provozního zařízení, kde materiál může strávit významnou část nebo možná celou dobu své služby na moři.

Existují tři úrovně schopnosti přežití týkající se materiálu přepravovaného na námořních válečných plavidlech; tři úrovně činnosti jsou shrnuty dále. Samotné plavidlo a veškerá zařízení byla konstruována, aby zcela naplnila směrnice pro konstrukci zařízení odolných proti rázům. Proto existuje požadavek na racionalizaci konstrukčních úrovní plavidla ve vztahu k podvodním výbuchům s úrovněmi pro materiál. Typicky je válečná loď konstruována ke splnění úrovně funkce při konkrétní síle napadení. To je vyjádřeno termínem „rázový faktor“. Funkce může být schopnost udržet si životaschopné zbraňové platformy nebo pouze schopnost udržet pohon a říditelnost. Předdefinování této závažnosti útočných kritérií je nejnáročnější úroveň, která stanovuje bod, kdy se na lodi objevuje nekontrolovatelné zaplavení, běžně zmiňovaná jako „plout“.

Úroveň I Bojovat – Schopnost udržet určité provozní funkce.

Úroveň II Manévr, pohyblivost – Schopnost bojovat je ztracena, ale schopnost pohybu a řízení se zachovala a dostačuje k návratu do přístavu.

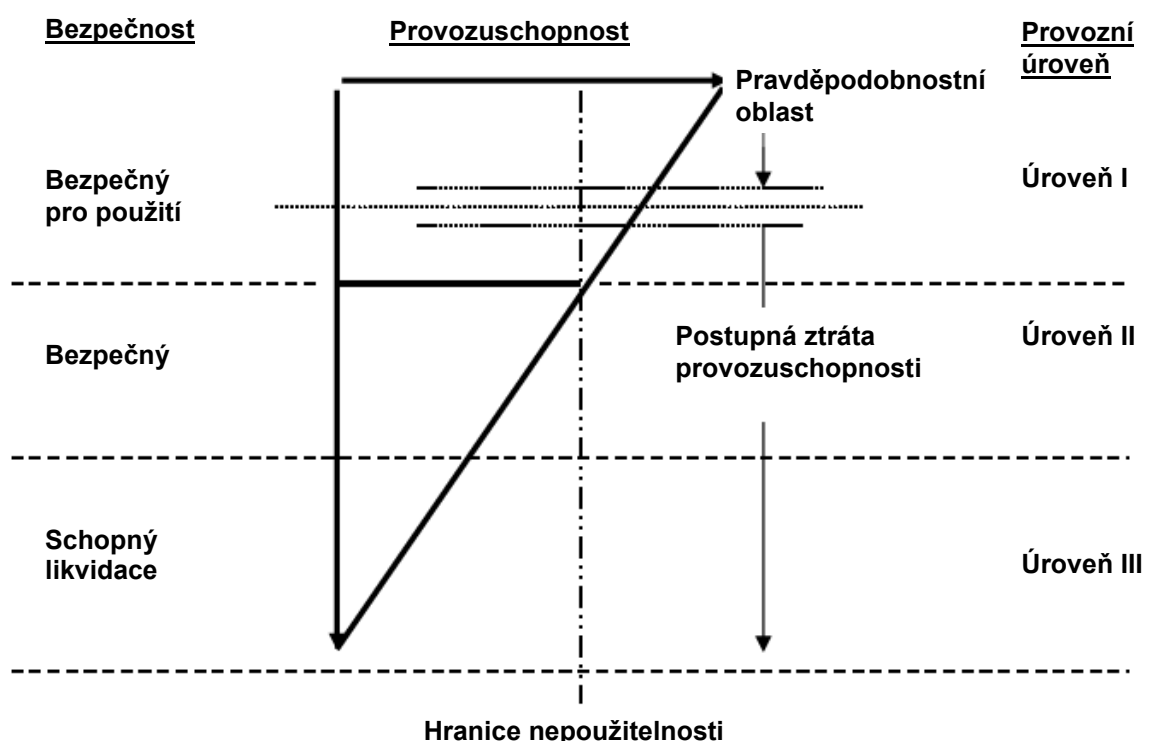
Úroveň III Plout – Neporušená vodotěsnost, nebo místo, kde se objevilo nekontrolovatelné zaplavení.

Pro každou variantu hodnocení a konstrukční kritéria lodi je nezbytné stanovit, zda materiál je bezpečný a provozuschopný a určit, co je podstatou nepřijatelné poruchy. Na Úrovní III je to nutné pro materiál, aby si udržel bezpečnosti a nepředstavoval hrozbu pro neporušenou vodotěsnost plavidla iniciací závažných výbuchů nebo požáru. Předčasné vznícení nebo výbuch se považuje za případ nejhorších podmínek a je samozřejmě nepřijatelný. Veškerý materiál musí být schopný splnit toto kritérium poruchy a musí být způsobilý pro bezpečnou likvidaci následující po vystavení jevu z konstrukčních kritérií Úrovně III.

Provozeroschopnost může být subjektivní a může být obtížné ji uvádět ve vztah s konstrukčními úrovněmi lodi. Například jednotlivá položka materiálu, jako je granát, může být sporná, pokud jde o provozuschopnost, ale jiné granáty a zařízení pro jejich odpalování, dělo, mohou zůstat provozuschopná a schopna boje. Ale protivzdušná zbraň, jestliže je odpalována, musí mít zaručenou provozuschopnost. Typické úrovně provozní spolehlivosti se musí posuzovat případ od případu.

Další požadavek může být vznesen ve vztahu k Úrovní I kritérií pro konstrukci lodí. Doporučuje se ověřit, že uskladněný nebo rozmístěný materiál na úrovni, na které se

má udržovat bojeschopnost plavidla, nebude mít vliv na celkovou bojeschopnost plavidla. Například ačkoli porázkový stav materiálu může být sám o sobě bezpečný, umístění materiálu ve skladovém regálu může zabraňovat manipulaci s jinými zbraněmi, tedy zahrnuje bojovou funkci platformy, ve které je skladován. Bezpečnostní kritéria a kritéria provozní způsobilosti jsou uvedena na obrázku 18.2. Podmínky bezpečnosti se musí udržet pro všechny tři úrovně kritérií pro konstrukci lodí včetně bezpečné likvidace. Kritéria provozní způsobilosti se mění podle požadavků. Je často obtížné stanovit, kdy je provozní způsobilost ztracena, protože by to mohl být pozvolný proces vedoucí k rychlé nebo katastrofické ztrátě funkčnosti. V praxi je nutné stanovit oblasti, kde by se provozní způsobilost mohla zpochybňovat, ale obecně by se provozní způsobilost měla udržovat minimálně na Úrovní I.



OBRÁZEK 18.2 – Diagram bezpečnosti a přiměřenosti materiálu

18.1.2.3 Komplexnost hodnocení

Různá kritéria poskytují základ pro diferencování potřeb pro zjednodušené nebo komplexnější hodnocení výbuchů pod vodou. Příloha 18B také poskytuje souhrn obecných úvah pro plánování týkající se hodnocení podvodních výbuchů.

Hlavní oblasti pro posuzování jsou:

- a) Konstrukční přizpůsobivost – Je charakterizována vícemodálním chováním. Obecně se všeobecné empirické modely nebo data mohou použít pouze na tuhá tělesa a na tělesa představovaná modely s prostou celkovou hmotností, kde pouze první vlastní tvar je zajímavý. Tam, kde se stupeň konstrukční přizpůsobivosti, balení nebo zabezpečení nemůže náležitě znázornit pomocí

celkových hmotností nebo kde se požaduje multimodální odezva, tam se doporučuje zvážit použití přizpůsobeného hodnocení podvodních výbuchů.

- b) Rozdělené systémy – Materiál, jeho obal nebo konstrukce, ve které je skladován, mohou zabírat významnou část objemu konstrukce plavidla. Obecně materiál, který je dlouhý a štíhlý, spadá do této kategorie a z toho důvodu vyžaduje samostatné hodnocení. Dlouhý a štíhlý materiál, jako například torpédo, umístěné v pružném uložení nebo uspořádané v množství lodních nebo ponorkových rámu, vyžaduje přizpůsobené hodnocení. V tom případě bude konstrukce projevovat vícemodální chování a bude vystavena zatížení z podvodního výbuchu, které bude konstantně odlišné ve fázi kolem délky materiálu. Tato odezva má za následek komplexní dynamické chování materiálu nebo obalu, které se také musí přiměřeně znázornit při hodnocení podvodních výbuchů. Dynamické chování materiálu může být také ovlivněno blízkostí jiného materiálu v místě uložení. Tento stav se může měnit, protože materiál se spotřebovává; to dokládá potřebu zvažovat oblast uspořádání nákladu při hodnocení podvodních výbuchů.
- c) Instalace protirázové izolace – Instalace materiálu s protirázovou izolací jsou obecně vysoce nelineární, umožňující výskyt velké deformace a představující obtížný problém pro modelování, co se týká dosažení požadované míry přesnosti. Přesto se doporučuje opěrnou konstrukci a upevnění považovat za nedílnou součást materiálu a podle toho je modelovat a zkoušet. Upevnění materiálu poskytují určitý stupeň ochrany před jevem podvodního výbuchu a jsou proto důležitým prvkem při přenosu zatížení. Komplex dynamicky reagujícího materiálu a jeho opěrných bodů bude vyžadovat přizpůsobené hodnocení podvodních výbuchů.
- d) Balení – Balení se stává nedílnou součástí konstrukce materiálu a může mít výrazný vliv na dynamické chování materiálu; bude potřebné ho začlenit do dynamického modelu i do hodnocení výbuchů pod vodou. Odlišná balení a prostředí je nezbytné zvažovat ve vztahu k materiálu při přepravě, skladování a v provozním stavu.
- e) Náklady – Zkoušení, analýzy a hodnocení v oblasti vlivu podvodních výbuchů mohou být nákladné. To si vynucuje, aby byla zpracována analýza efektivnosti nákladů jako pomoc pro rozhodovací proces vztahující se k požadavku na provedení přizpůsobeného hodnocení vlivu podvodních výbuchů. To je v protikladu s jednoduchým zkoušením materiálu aplikováním obecných empirických modelů nebo dat. Avšak náklady na hodnocení podvodních výbuchů se doporučuje zvažovat na základě optimalizace celého procesu hodnocení pomocí redukování množství variant vyžadujících laboratorní zkoušení k prokázání bezpečnosti a vhodnosti z pohledu provozních požadavků.

18.1.2.4 Plánování hodnocení podvodních výbuchů v programu zkoušek

Hodnocení vlivu podvodních výbuchů se obecně nepovažuje za rozhodující při návrhu materiálu. Objevuje se až na konci návrhového procesu před schvalováním, po navržení vhodného skladování, balení, uložení do regálů a upevnění. Je nejvhodnější v etapě schvalování, protože vyžaduje, aby bylo smysluplné, zdokonalený návrh a prototyp nebo plně promyšlený materiál. To nevyklučuje zahrnutí informací z hodnocení vlivu podvodních výbuchů do procesu funkčního návrhu, s podmínkou, že omezení jsou pochopena a přijatelná. Hodnocení

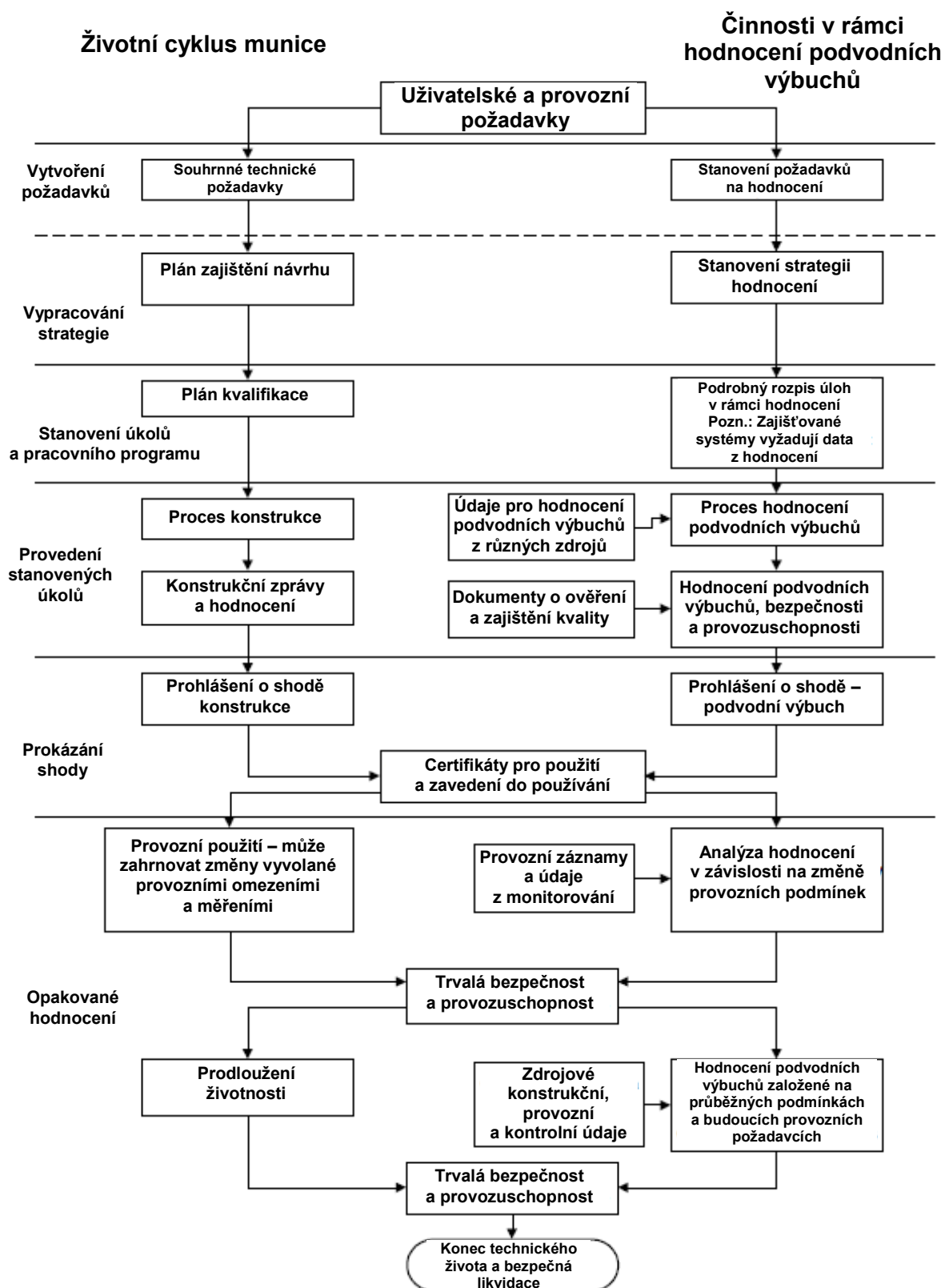
vlivu podvodních výbuchů bude charakteristické pro vybudovanou platformu a zůstává platné během provozního života. Avšak pokud dojde během životního cyklu ke konstrukčním změnám, které ovlivní prostředí podvodního výbuchu, tj. nová platforma, odpalovací zařízení nebo uložení, potom se může požadovat další hodnocení. Tam, kde se hodnocení vlivu podvodních výbuchů nebralo v úvahu v etapě schvalování, se doporučuje, aby se provedlo zpětné hodnocení. To je zvláště významné, když se zvažuje prodloužení provozního života, kde by hodnocení vlivu podvodních výbuchů mohlo hrát důležitou roli a pokud už jedno hodnocení existuje, minimálně by se mělo přezkoumat. Obecně se doporučuje hodnocení vlivu podvodních výbuchů provést tam, kde přínosem může být posílení jistoty, co se týká bezpečnosti provozního života. Bezpečnostní případ shrnuje všechny bezpečnostní argumenty do jediného strukturovaného, detailního a prověřeného dokumentu.

Pro hodnocení vlivu podvodních výbuchů je významné, že rozhodujícím způsobem závisí na kvalitě, kvantitě a časové přístupnosti příslušných informací. Zadavatel hodnocení musí být při získávání těchto informací v patřičném okamžiku projektu nebo akvizičního cyklu průbojný a iniciativní. Při zvažování akvizice COTS se doporučuje požadavek na data související s hodnocením vlivu podvodních výbuchů uplatnit včas a začlenit ho do akviziční smlouvy tak, aby se zajistila v případě potřeby jejich dostupnost.

Příklady požadovaných údajů jsou:

- konstrukční profil materiálu;
- rozložení hmotnosti nebo hmotnost součástí;
- způsob uložení;
- konstrukční materiály a postupy;
- údaje o bojových hlavicích, výbušných náplních, pohonných látkách a pyrotechnice;
- prostředí, ve kterém se bude materiál posuzovat, tj. třída lodí, odpalovací zařízení, sklad atd.;
- existující výsledky vibračních nebo statických konstrukčních zkoušek;
- existující údaje ze skutečných pádových zkoušek.

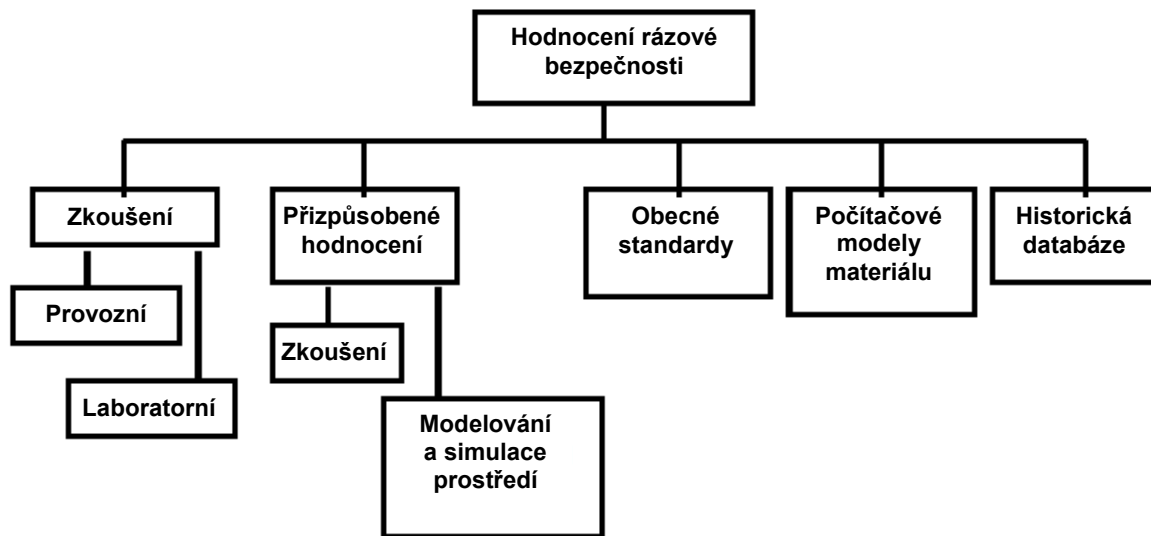
Hodnocení vlivu podvodních výbuchů v průběhu životního cyklu materiálu a ekvivalentní prvky pro proces homologace konstrukce jsou uvedeny na obrázku 18.3. Etapy životního cyklu materiálu se pohybují od požadavků štábu nebo služby přes návrh, výrobu a schvalování, provozní používání, prodloužení životnosti až k bezpečné likvidaci. U mnoha vývojových programů může hodnocení a dokumentace vlivu podvodních výbuchů jednoduše tvořit část návrhové schvalovací dokumentace. Pro komerční výrobky budou informace vztahující se k návrhu, výrobě, schvalování a homologaci pro používání a zavedení do výzbroje nezbytné a měly by být upřesněny v etapě akviziční smlouvy. Srozumitelné monitorování podmínek životního cyklu a provozní záznamy vytvářejí důležitý požadavek na posouzení měnících se provozních podmínek a potřeb a na stanovení prodloužení životnosti a bezpečné likvidace.



OBRÁZEK 18.3 – Vztah mezi hodnocením vlivu podvodních výbuchů a životním cyklem materiálu

18.1.2.5 Využití hodnocení vlivu podvodních výbuchů

Výsledky hodnocení vlivu podvodních výbuchů tvoří klíčový prvek k víceborovému bezpečnostnímu případu uvedenému na obrázku 18.4. Obecně bezpečnostní případ bere v úvahu různé vstupy z každé technické disciplíny, aby zformuloval souhrnný závěr tam, kde je případ posuzován na základě předností a slabých stránek každé přispívající disciplíny. Typicky může teorie bezpečnostního případu dostávat kombinované vstupy z laboratorních zkoušek, z přizpůsobeného hodnocení, ze simulačních metod, všeobecných norem a z historických databází. Tyto informační zdroje se spojují, aby poskytly bezpečnostnímu případu sílu a hloubku.



OBRÁZEK 18.4 – Víceborové hodnocení rázové bezpečnosti při podvodním výbuchu

Kombinace postupů využívaných k dosažení závěrů bude záviset na komplexnosti materiálu, na závažnosti poruch a vhodnosti pro provozní potřeby. Kromě toho tam, kde se využívají analytické metody, je potřebné prokázat ověření a platnost základní teorie. Například dělostřelecké granáty by vyžadovaly rázovou kvalifikační zkoušku ve spojení se všeobecnými empirickými modely nebo daty, aby se stanovila zkušební úroveň a prokázala bezpečnost a vhodnost pro použití. Balený, polopružný materiál na pružném upevnění by vyžadoval modelování celkové hmotnosti a aplikaci všeobecných empirických modelů nebo dat a zkoušení. Komplexnější pružný materiál může ospravedlnit použití nelineárního modelu konečných prvků a kde je to možné, skutečných rázových zkoušek využívajících pro zařízení typická kritéria poruch. Jestliže se uvažuje o celkovém hodnocení vlivu podvodních výbuchů, pak se doporučuje využít metod postupného vystupňování, způsobilosti pro daný účel, přístupů využívajících víceborový bezpečnostní případ v souladu s vnímatelným rizikem v důsledku způsobů poruch a následků, požadované úrovně spolehlivosti a nákladů.

18.1.3 Omezení

Laboratorní simulace nebo simulace v polních podmínkách a provozní měření prostředí podvodních výbuchů je komplexní úkol. Jev podvodního výbuchu je funkcí vzdálenosti odstupu lodi od explozivní nálože, mění se od nízkofrekvenčního buzení s velkou výchylkou a zrychlením k blízkému pyrotechnickému rázu s vysokým kmitočtem buzení. Zařízení pro laboratorní simulaci obecně nemůže obsáhnout celý rozsah požadavků. K simulaci možných režimů buzení je potřebná řada zařízení. Další návod na vhodné zkušební postupy a zařízení poskytují následující oddíly a příloha 18D. Postupy analytického modelování mají také omezení následkem nelineární odezvy a mnohonásobných přenosových cest buzení. Model a okrajové podmínky se doporučuje vybírat pečlivě k porovnání následků uvažovaných způsobů poruch. Omezení jsou shrnuta níže.

- laboratorní simulační zkoušky a zařízení mohou mít schopnost zhodnotit pouze jednu část prostředí podvodního výbuchu nebo očekávaných způsobů poruch;
- analytické modely podvodního výbuchu se doporučuje použít k ověření zkoušení a očekávané dynamické odezvy;
- použití naměřených provozních dat je rozhodující pro přesnost hodnocení a zkoušení podvodních výbuchů.

18.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

V současné době je hodnocení materiálu vystaveného prostředí podvodních výbuchů obvykle prováděné s využitím rázových metod založených buď na datech všeobecného empirického modelu, nebo kde je to nezbytné na jednorázovém specializovaném hodnocení. Všeobecné empirické rovnice jsou založené na druhu plavidla, na místě uskladnění v rámci plavidla a na požadavcích na provozuschopnost nebo bezpečnost dotyčného materiálu. Ale tyto metody jsou velmi omezené tam, kde je materiál dynamicky pružný nebo je uložen takovým způsobem nebo na takovém místě, kde se empirické rovnice nedají použít. Tyto případy vyžadují postupy přizpůsobeného hodnocení vlivu podvodních výbuchů.

18.2.1 Vlivy prostředí

Obvyklé metody spočívající v zaměření hodnocení podvodních výbuchů na přímé vlivy rázové vlny a zavedené konstrukční metody byly vyvinuty pro zvažování této fáze zatížení. Ačkoli je pravda, že rázová vlna je potenciálně silné poškozující zatížení, je to poměrně lokální jev a zahrnuje pouze jednu třetinu z celkové energie výbuchu. Zbytek energie je rozptýlen společně se sekundárními kmitavými plynovými bublinkovými efekty, které mohou vytvářet silnější zatížení než původní rázové buzení. Kmitající bublinky plynu mohou zapříčinit buzení základních ohybových režimů nosníků trupu lodi nebo ponorky. Další konstrukční zatížení nastává z interakce plynových bublin s trupem lodi. Kde je podvodní výbuch v blízkém sousedství konstrukce trupu, tam jsou konstrukce trupu, vnitřní zařízení a materiál vystaveny přechodovému zatížení o mimořádně vysoké intenzitě. To se vyskytuje při soustředování energie plynových bublin do jevu tvarového zatížení, vytvářejícího proud, který s trupem na sebe vzájemně působí. Následkem je lokalizované impulzivní zatížení, které může být mimořádně silné. Na rozdíl od počáteční rychlé přechodové rázové vlny je ohybové chování, běžně zmiňované jako bičování (*v originálu „whipping“*), v podstatě nelokální, vyskytující se po dobu několika sekund, vytvářející velké posuny a může představovat nejhorší případ stavů zatížení.

Proces stanovený v této metodě prosazuje vyvážený přístup ke zvažování buzení vztahujícího se k podvodním výbuchům, které zahrnují druhotné účinky bublin, kde je to vhodné. V tomto ohledu se považuje za přiměřenější pojmenovat jakékoli hodnocení tohoto typu „hodnocení podvodního výbuchu“ na rozdíl od označení „rázové hodnocení“. Není účelné zajišťovat bezpečnost a vhodnost pro nasazení pro počáteční rázové zatížení, když o několik sekund později působí na materiál buzení charakteru „bičování“ nebo „proudové“. Předmětem hodnocení je materiál, tudíž důležitý problém je interakce různých zatížení z podvodních výbuchů s materiálem. Toto zatížení je závislé na následujících faktorech:

- nízká a vysoká frekvence interakce rázové vlny a bublin plynu s trupem lodi;
- pro rázové zatížení přenosová funkce mezi trupem a místem uložení materiálu. Základní cesta přenosu přes trup, lodní přepážky a konstrukci lodního prostoru bude postupně modifikovat dynamický vstup z případu výbuchu;
- pro zatížení typu „bičování“ funkceschopnost materiálu, která je omezena velkými ohybovými parametry nosníků trupu plavidla, konstrukční hmotností a rozložením tuhosti;
- materiál a konstrukce plavidla;
- započítání jakýchkoli protirázových nebo antivibračních izolačních materiálů nebo zařízení;
- uspořádání uložení materiálu.

18.2.1.1 Mechanizmy poruch

Podvodní výbuch je považován za jev osamělého zatížení, skládající se z rázových prvků a prvků „bičování“. Mechanické poruchy se obvykle objevují z důvodu vysokého setrvačného zatížení zejména tam, kde existuje inerční neshoda, jako například nosná raketa připevněná ke střele. Rázové zatížení může způsobit lokální plastičnost, plastické zborcení nebo vrásnění. Navíc „bičování“ by mohlo mít za následek velké deformace a nízkocyklovou únavu materiálu. Přehled běžných mechanismů poruch vyvolaných podvodními výbuchy je uveden dále.

- a) přerušení nebo deformace těsnění;
- b) tvorba trhlin na součástkách;
- c) vyvolání puklin na výbušninách;
- d) tvorba prášku z výbušného materiálu;
- e) natřepání sypkého výbušného materiálu do puklin nebo závitů šroubů;
- f) lokální ohřev chvěním součástí jedna o druhou nebo třením o obalové materiály nebo držáky;
- g) deformace, tedy stlačování výbušnin buď v nákladu, trhlínách nebo v závitech šroubů;
- h) rozbití nebo poškození mechanických částí výzbrojních mechanismů, tedy vytváření vyřazených zásob;
- i) vytváření nebo přerušení elektrických obvodů poškozením elektroinstalace nebo součástek;
- j) vyvolání poškození, které je nezjistitelné, dokud se někdo nepokusí zásoby použít nebo dokud se neobjeví další poškození a jev nízké úrovně nemá za následek pozorovatelnou poruchu nebo katastrofickou poruchu;

- k) uvolňování upevňovacích prvků;
- l) přerušení elektrického spojení;
- m) vzájemný dotyk a krátké spojení elektrických součástí;
- n) poruchy nebo lomy na konstrukci nebo součástkách;
- o) optické vychýlení;
- p) tvorba trhlin a prasklin;
- q) uvolňování součástí, které mohou uváznout v obvodech nebo mechanismech.

18.2.1.2 Způsoby poruch

Způsoby poruch je nutné spojovat se vstupním buzením a s jistotou ověřit příčinu teoreticky možných poruch. Dále uvedený seznam není vyčerpávající, ale objasňuje rozmanitost okolností, při nichž mohou poruchy vznikat a úzkou interakci s mechanizmy mechanických poškození. Obecně budou poruchy spadat do následujících kategorií:

- a) Výbuch – tento druh poruchy je považován za všech okolností za nepřijatelný a je základní záležitostí hodnocení vlivu podvodních výbuchů.
- b) Explosivní hoření, pomalé hoření – tento druh poruchy se považuje za všech okolností za nepřijatelný a je základní záležitostí hodnocení vlivu podvodních výbuchů.
- c) Únava materiálu, především ve svarech nebo v základním kovu – za působení cyklického zatížení mohou vady, které byly vyvolány jevem podvodního výbuchu nebo dřívějšími okolnostmi, narůstat, dokud není dosažena předem stanovená velikost trhliny. To může ohrozit integritu materiálu nebo jeho součástí a může zahájit mechanismus další poruchy.
- d) Křehký lom – doporučuje se zabránit používání křehkých materiálů tam, kde bude materiál vystaven silnému rázovému zatížení. Ale pro úplnost: křehký lom se objevuje, když hybná síla na konci trhliny se stane větší než je mez pevnosti materiálu. Porucha je charakterizována rychlým šířením trhliny a úplným selháním součástky následkem mezních zatěžovacích podmínek. V některých případech v závislosti na konstrukci a vlastnostech materiálu se šíření trhliny zastaví.
- e) Lom – lom může být kvantitativně určen využitím mechanismů lineárních pružných lomů, mechanismů pružně-plastických lomů a kombinovaných metod. Vlastnosti lomové houževnatosti jsou stanovené z experimentálních měření a měly by odrážet materiál, teplotu a zatížení (deformační rychlost), kterým se má materiál nebo zkoumaná konstrukce vystavit. Pro rázová zatížení je materiál vystavený přechodovým dynamickým silám, což by mělo vyžadovat stanovení dynamických pevnostních vlastností materiálu. Plastické zborcení a pevnost si vyžadují mechanické vlastnosti materiálu.
- f) Plastická porucha – může se lokalizovat plastičnost, jako například deformace nebo velká plastická porucha, např. vytváření plastických kloubů.
- g) Netěsnost – vystihuje poruchový stav pro těsné lodě, kdy je způsobilost plavidla pro daný účel zkompromitována výskytem přenosové cesty z vnitřního do vnějšího prostoru.

- h) Labilita (vzpěr) – v každém příčném profilu by měly být celková úhrnná plocha a poloha jakýchkoli poškození takové, aby se vzpěrná síla součástí nesnížila na úroveň maximálních užitých zatěžovacích stavů nebo pod tuto úroveň.
- i) Poruchy z počátečních vad – počáteční geometrické vady mohou způsobit soustředění zatížení mající za následek zrychlenou nebo zvýšenou pravděpodobnost poruchy vzniklé z vad umístěných v těchto oblastech. Hodnocení vlivu podvodních výbuchů pro ostatní způsoby poruch by proto mělo uvažovat o takových vyšších zatíženích.
- j) Řídicí a provozní omezení (meze posunu) – rázy vyvolaná porucha elektronických součástí a řídicích systémů má za následek nesplnění kritérií provozuschopnosti a v některých případech může znamenat ústupky v bezpečnosti.
- k) Kombinované způsoby poruch – jsou to kombinace výše uvedených způsobů poruch, u kterých se mohou vyskytnout složené interakce. Typické příklady zahrnují: kombinovaná trhlina s plastickým zborcením, začátek praskliny následovaný únavou materiálu a lomem nebo plastické zborcení, vzpěr následovaný lomem.
- l) Kolize a obálka přiměřeného prostoru – prostorová obálka obklopující uložený materiál by měla přiměřeně zabránit kolizi během jevu podvodního výbuchu. Kolize s jiným materiálem nebo s konstrukčními díly stojanů může představovat významný případ rázu nebo spontánního vstupu s následným poškozením materiálu nebo konstrukce stojanů.

18.2.2 Využití naměřených údajů

Aplikování a potřeba použití naměřených provozních údajů se projednává všude v této zkušební metodě. Metoda zkoušení podvodních výbuchů spoléhá na naměřené údaje, protože měření jsou nákladná, je obtížné získat přesná data, potřebná jako základ pro laboratorní simulační zkoušky a vyžadovaná pro ověření modelu. Zkoumání stávajících historických databází měřených odezev, očekávaných odezev a skutečných odezev jak pro platformu, tak pro zkoušený předmět by mělo být stanoveno jako úkol v rámci procesu hodnocení vlivu podvodních výbuchů.

18.2.3 Výběr postupů zkoušení

Hodnocení a zkoušení vlivu podvodních výbuchů se opírá jak o laboratorní experimenty, tak o analytické a simulační metody. Výběr zařízení a analytických metod samozřejmě záleží na druhu materiálu a simulace nebo na zkoumání způsobu poruchy. Volby zařízení a modelování se různí od skutečných experimentálních zkoušek až po měření odezev v laboratorním měřítku.

Pro pojetí laboratorního zkoušení potřebné zařízení závisí v první řadě na požadovaném posunu, zrychlení, rychlosti a kombinovaných prostředích požadovaných pro zkoušku. Dále uvedený článek „Metody laboratorních zkoušek“ a přílohy 18C a 18D poskytují informace o způsobech použití zařízení. Příloha 18C podává informace o použití SRS postupů pro horní a dolní tlumené uložení při laboratorní rázové simulaci. Příloha 18D poskytuje podrobnější informace o různých druzích zkušebních zařízení. Je-li to vhodné, doporučuje se využít další metody a postupy zkoušení, uvedené v tomto standardu.

Pro pojetí analytické, hodnotící nebo simulační poskytují další informace dále uvedený článek „Analytické metody“ a přílohy 18A a 18B. Příloha 18A poskytuje

návod pro zpracování hodnocení vlivu podvodních výbuchů. Příloha 18B poskytuje uspořádání „otázka – odpověď“ pro stanovení požadavků a postupů.

18.2.3.1 Metody laboratorních zkoušek

Pro jiné než nárazové zkoušky a ve zvláštních případech rázové zkoušky s elektrodynamickým budičem je pro laboratorní rázové zkoušky skutečného materiálu v současné době k dispozici velmi omezený sortiment zařízení. Laboratorní zkoušky nečinného materiálu se mohou provádět s využitím rázových strojů, nákladních člunů a podvodní výstroje. Zkoušky podvodních výbuchů využívající typické segmenty platformy a stávající účelově postavené nákladní čluny se mohou provádět s využitím velkých náloží, jako například výbušniny ekvivalentu 450 kg TNT. Schvalovací zkoušky se v současné době většinou provádí porovnáním očekávané nebo měřené odezvy inertního materiálu na podvodní výbuch s výsledky pádových zkoušek. Tento přístup opouští značný rozsah nejistoty, protože existuje obecná domněnka, že porovnání se může uskutečnit na bázi vrcholového zrychlení. Pro přísnější porovnání, i když ne ideální, se musí porovnat dvě zkoušky v časové a spektrální oblasti s využitím běžných mechanismů, jako například SRS. Avšak směrem kupředu je další rozvoj výše uvedené SRS metody využívající techniky modelování užité ve spojení s vibračními zkušebními zařízeními v současné době vyvíjenými. Má se za to, že významný podíl zkoušení podvodních výbuchů pro dynamicky složitý materiál by se mohl provádět tímto způsobem.

Souhrn běžných laboratorních zkušebních metod je uveden dále.

- a) Zkoušení inertního materiálu na nákladním člunu.
- b) Zkoušení inertního materiálu na rázové stoličce (stroj pro lodní rázy a dvoutunový stroj).
- c) Zkoušení na zařízení typu kyvadlové kladivo pro skutečný a inertní materiál.
- d) Rázové zkoušení s elektrodynamickým nebo hydraulickým budičem inertního a skutečného materiálu. Tam, kde je SRS pro horní uložení známé, se může časový průběh rázových vstupů experimentálně stanovit, pokud se hmotnost materiálu a vlastnosti dynamické odezvy udrží v rámci rázového limitu budiče.
- e) Klasické rázové impulzy programovatelné volným pádem. Metoda obecně použitelná pro zkoušení skutečného materiálu do hmotnosti 1 350 kg a špičkového zrychlení 3 000 G_s , v malých šířkách impulzu použitá pro „bezpečné a vhodné“ rázy. Korelace s hodnocením vlivu podvodních výbuchů je sporná.
- f) Pádové zkoušky jak inertního, tak skutečného materiálu. Metoda obecně využitelná pro zkoušení skutečného materiálu, ale korelace s hodnocením vlivu podvodních výbuchů je sporná.
- g) „Bičování“ – v současné době není definovaná žádná jiná zkouška „bičování“, než zařízení s modelem ve skutečném měřítku a přístup do historických dat z předchozích zkoušek celých lodí. Zkoušení na nákladním člunu nepřipadá pro „bičování“ v úvahu.

Stroje pro lodní rázy a dvoutunové zkušební rázové stroje se běžně používají pro inertní materiály. Rázové stroje typu kyvadlové kladivo jsou použitelné pro zkoušení zařízení podle MIL-DTL-901E, čl. 18.6, všeobecný odkaz e. Pokud je spektrum rázové odezvy pro horní uložení známé a rázové úrovně spadají do stanovených mezí rázové simulace na vibračních zkušebních zařízeních, SRS

nabízí pro skutečný a inertní materiál vhodnější a realističtější rázovou zkušební metodu. Programovatelné rázové stroje na volný pád poskytují doplňkovou formu pádových zkoušek, typickou v případě, že se požadují klasické rázové impulzy. Tato metoda je především vhodná pro konstrukčně jednoduché materiály a tam, kde je zkoušení skutečných předmětů nevyhnutelné. Pádové zkoušky se používají jako kompromis ve spojení s hodnocením chování při podvodním výbuchu. Zkušební zařízení a postupy jsou popsány později v příloze 18D.

18.2.3.2 Analytické metody

Ověřený teoretický model poskytuje možnost zredukovat počet kvalifikačních zkoušek. Hodnocení využívající výsledky experimentální zkoušky buď ze zvláštního zkoušení „šitého na míru“ nebo z historické rázové databáze je nevyhnutelné. Věrohodnost numerického modelování a hodnotícího úsilí je úměrné hloubce a přesnosti informací, na kterých jsou založeny. Dobře ověřený model nabízí možnosti provést hodnocení mnoha případů zatížení a takto stanovit nejhorší případy, které mohou tvořit základ zkušebnímu programu. Také modelování může poskytnout vstupní informace o horním uložení potřebné pro umožnění rázového zkoušení využívajícího elektrodynamické budiče, které mohou v mnoha případech nabídnout vhodnější alternativu k pádovým zkouškám. Ale modelování nenahrazuje potřebu kvalifikačních zkoušek jako potvrzení bezpečnosti a vhodnosti pro provozní nasazení.

Analytické metody mohou sahát od analytických metod prosté celkové hmotnosti až ke komplexním nelineárním numerickým metodám, jako jsou například metoda konečných prvků (FE) a metoda hraničních prvků (BE). Rozsáhlé simulační možnosti jsou nezbytné k provádění přizpůsobeného hodnocení vlivu podvodních výbuchů; některé z metodik obsahují:

- Nelineární konstrukční dynamické modelování. Používá komerční kódy včetně ABAQUS, NASTRAN, ASAS, DYNA atd.
- Model pro hydrodynamické a rázové zatížení. Používá buď rozhraní BE nebo některé eulerovské hydrodynamické modely.
- Modelování interakce mezi kapalinou a konstrukcí. Používá buď přibližnou metodu (DAA2) nebo vyspělejší metody, jako například metodu hydrokódů s plnou volnou vazbou LaGrange – Euler (ALE).
- Analýza přechodových odezev. Použije se metoda konečných prvků s dynamickým vstupem podvodního výbuchu aplikovaným jako funkce zatížení buď z přímo naměřených údajů o podvodním výbuchu, nebo využitím přibližného vstupu odvozeného z obecné empirické rovnice.

Modelování se porovnává s realistickou řadou zatěžovacích případů a provádí se rozsáhlé hodnocení přechodových jevů nebo vibrací, které typicky zahrnuje hodnocení statické, modální, kmitočtové odezvy, úplné rázové přechodové jevy, kmitočtové a časové oblasti a spektrální hustoty zrychlení (ASD) s experimentálními výsledky. Klíč k dosažení takových výstupů analýzy, které získají důvěru, je založen na následujících bodech:

- a) Přísné ověřování a hodnocení využívající experimentální údaje, národní archívy a databáze rázových zkoušek.
- b) Odpovídající úroveň komplexnosti aplikovaná na analýzu, stanovená případ od případu. Je zde neustálá potřeba zabránit použití metody „roztloukat oříšky

palicí“, a zároveň zajistit, aby se neobjevovalo přílišné zjednodušení, které by mohlo pokazit hodnocení. Je to především případ, kde se příklady komplexních modelů konečných prvků použily s impulzem z obecného empirického modelu odezev jako dynamickým vstupem. Vzhledem k předpokladům obsaženým v empirické rovnici, úroveň přiblížení vstupu k úrovni komplexnosti modelu nelze spravedlivě posoudit. Této situaci je třeba zabránit a vkládat přesnější data stanovená přímo z experimentálních dat nebo použít metodu interakce kapalina–předmět.

- c) Zajištění toho, aby zkušební programy zahrnovaly vstupní informace z analýzy pro optimalizaci použitelnosti.
- d) Hodnocení vlivu podvodních výbuchů je specializovaná oblast vyžadující technického odborníka, který je dobře obeznámený se zkouškou, analýzou, platformou a s aplikací přísných postupů pro zajištění kvality.
- e) Využívání národních historických databází podvodních výbuchů.

18.2.4 Posloupnost

Účinek rázu vyvolaného podvodním výbuchem může ovlivnit funkční charakteristiku materiálu v podmínkách jiných prostředí, jako jsou například vibrace, teplota, výška, vlhkost, netěsnost, nebo EMI/EMC. Rovněž je nevyhnutelné, aby materiál, který je pravděpodobně citlivý na kombinovaná prostředí, byl zkoušen současně v příslušných kombinacích.

Jestliže se má za to, že zkouška v kombinovaném prostředí není nutná nebo není účelné ji konfigurovat, a pokud se požaduje vyhodnotit účinky podvodních výbuchů spolu s dalšími prostředími, doporučuje se jeden zkoušený předmět vystavit podmínkám všech příslušných prostředí. Pořadí aplikace zkoušek vlivu prostředí by mělo odpovídat profilu prostředí životního cyklu.

18.3 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

Požadavky na všeobecné informace jsou stanoveny níže. Tyto požadavky je potřeba přizpůsobit laboratorním nebo analytickým postupům používaným pro hodnocení vlivu podvodních výbuchů nebo programu zkoušek.

18.3.1 Povinné

- a) identifikace zkoušeného předmětu;
- b) definování zkoušeného předmětu;
- c) stanovení náročnosti zkoušení včetně amplitudy, doby trvání a počtu impulzů, které se mají aplikovat;
- d) druh zkoušky: vývojová, kvalifikační atd.;
- e) postup montáže včetně izolátorů (je-li to vhodné) a dolní a horní tlumené uložení;
- f) zda má být zkoušený předmět během zkoušky v klidu nebo v provozu;
- g) podmínky balení (pokud to připadá v úvahu);
- h) požadavky na provozní ověření (je-li to vhodné);
- i) strategie řízení (tvar impulzu, časový průběh atd.);
- j) tolerance a řídicí meze;
- k) podrobnosti požadované k provedení zkoušky;
- l) stanovení kritérií poruch (je-li to vhodné).

18.3.2 Jsou-li požadované

- a) klimatické podmínky, pokud se vyžadují jiné než standardní laboratorní podmínky;
- b) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- c) tolerovaná úroveň rušivých magnetických polí.

18.4 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

Hodnocení a zkoušení vlivu podvodních výbuchů se částečně opírá o jiné zkušební metody z tohoto standardu, aby se stanovily podrobné postupy zkoušení vzhledem k četným přenosovým cestám materiálového buzení. Metody pro klasický ráz (Metoda 403), výbuchový ráz (Metoda 415), pohyblivou platformu (Metoda 418) a pro rázy a vibrace s více budiči (Metoda 421) společně podporují simulaci částí prostředí podvodního výbuchu. Postupy v těchto zkušebních metodách se doporučuje aplikovat jako vhodné do programů konkrétních zkoušek. Směrnice pro zkoušku musí stanovovat hierarchii dokumentů a standardů k prokázání souladu s požadavky. Tato zkušební metoda poskytuje doplňující vysvětlivky nezbytné pro prostředí podvodního výbuchu k příslušné zkoušce. V případech analytických hodnocení se doporučuje použít podobné validační postupy.

18.4.1 Tolerance

Pokud jsou klasické rázy zkušebním požadavkem, jsou tolerance dány v Metodě 403. Jestliže jsou stanoveny komplexní tvarové průběhy neuvedené ve Směrnici pro zkoušku, rázová odezva měřená v referenčním bodu se nesmí odchýlit od určených požadavků více než o dále stanovené hodnoty.

Pro zkoušky řízené pomocí parametrů SRS by měly tolerance na amplitudě SRS být $\pm 1,5$ dB přes stanovený kmitočtový rozsah. Mimo tento ohraničený kmitočtový rozsah je povolena tolerance ± 3 dB. Další omezující podmínky na parametrech časové oblasti, vrcholové amplitudě a/nebo účinné době trvání jsou obvykle nezbytné pro zajištění toho, aby se dosáhlo dostačující simulace. Tyto další omezující podmínky jsou popsány v Metodě 403, přílohy 9A a 9C. Použité tolerance musí stanovit Směrnice pro zkoušku.

18.4.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Následující se bude aplikovat tam, kde zkoušení podvodních výbuchů tvoří součást hodnocení, pokud Směrnice pro zkoušku nestanoví jinak. Směr zemské přitažlivosti nebo nějaký součinitel zatížení následkem mechanismů nebo rázového tlumení se musí brát v úvahu při kompenzaci nebo vhodné simulaci.

- Zkoušený předmět musí být mechanicky připevněn k rázovému stroji nebo k budiči, a to přímo pomocí normálních prostředků pro provozní upevnění nebo pomocí upínacích přípravků. Montážní uspořádání musí umožňovat vystavení zkoušeného předmětu zatížením z podvodního výbuchu v různých stanovených osách a směrech. Vnější připojení potřebná pro účely měření by měla přidávat minimální omezení a hmotnost.
- Je třeba vyloučit jakékoli přídavné upevňovací prostředky nebo popruhy. Jestliže se během zkoušky vyžadují vodiče, roury nebo jiná propojení, tyto se doporučuje nainstalovat tak, aby přidávaly podobná omezení a hmotnost jako při provozní instalaci.

- Materiál určený pro použití s izolátory se musí zkoušet s nainstalovanými izolátory, pokud ráz podvodního výbuchu vstupující horním uložením nebyl stanoven.
- Rázové izolátory mohou vyžadovat přístrojové vybavení a monitorování pro ověření, že teplotou vyvolané poruchy jsou vytvářeny následkem dynamického buzení. Doporučuje se používat po sobě následující fáze zkoušení a klidu v případech, kdy se objeví zahřívání izolátoru.

18.4.3 Podmínky zkoušení

Obecně se bude vyžadovat předběžné zkoušení pro program zkoušek podvodních výbuchů. Jakékoli zkoušky konstrukční charakterizace musí být provedeny a zaznamenány tak, jak stanovuje Směrnice pro zkoušku.

- Počet aplikací zkušebních impulzů se obvykle vyžaduje předtím, než je řídicí přístroj schopen dosáhnout přijatelnou odezvu v referenčním bodu. Předběžné zkoušení se obvykle provádí na dynamickém modelu zkoušeného předmětu.
- Doporučuje se zkoušený předmět stabilizovat na jeho výchozí klimatické a ostatní podmínky, jak stanovuje Směrnice pro zkoušku.

18.4.4 Kalibrace

Doporučuje se zkušební zařízení kalibrovat a nastavit tak, aby se zajistilo, že požadované zkušební parametry se dají v průběhu skutečné zkoušky reprodukovat. Nejlépe se toho dosáhne při použití dynamicky reprezentativního zkoušeného předmětu.

18.5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku během zkoušení v prostředí podvodních výbuchů a po jeho aplikaci.

18.6 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

Všeobecné odkazy:

- a) STANAG 4137: Standardní zkoušky podvodním výbuchem pro hladinové lodě a čluny (Standard Underwater Explosion Test for Operational Surface Ships and Crafts), 17. únor 1976.
- b) STANAG 4141: Rázové zkoušky vybavení (materiálu) pro hladinová plavidla (Shock Testing of Equipment for Surface Ships), 15. prosinec 1976.
- c) STANAG 4142: Analýza odolnosti vybavení (materiálu) hladinových plavidel proti rázům (Shock Resistance Analysis of Equipment for Surface Ships), 8. březen 1977.
- d) STANAG 4150: Rázové (nárazové) zkoušky těžkého vybavení plavidel v plovoucích testovacích zařízeních (Shock Testing of Heavyweight Surface Ship Equipment in Floating Shock Vehicles), 24. duben 1979.
- e) MIL-DTL-901E: Rázové zkoušky (Silný ráz). Požadavky na lodní stroje vybavení, zařízení a systémy (Shock Tests H.I. (High Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements For), USA Department of the Navy, 20. červen 2017.

- f) SVM-17: Analýza a projektování lodních rázů (Naval Shock Analysis and Design), Scavuzzo, Rudolph J. and Pusey, Henry C, ISBN 0-9646940-4-2, Shock And Vibration Information Analysis Center (SAVIAC), 2000.
- g) GAM-EG-13: Všeobecné zkoušení vlivu prostředí na materiál (General Environment Testing of Materials).

Britské odkazy z oblasti prostředí podvodních výbuchů:

- a) BR 8541: Bezpečnostní požadavky na výbušniny pro námořní zásoby výzbroje (Explosive Safety Requirements For Armament Stores For Naval Use), září 1996, 3rd Edition.
- b) BR 8472: Lodní standardní škála montáží pro instalaci zařízení (pro utlumení mechanických rázů nebo vibrací) – Naval Standard Range Mounts For Equipment Installation (To Attenuate Mechanical Shock or Vibration).
- c) BR 3021: Rázová příručka (metrická) /Shock Manual (Metric)/, březen 1975.
- d) BR 8470: Příručka k rázům a vibracím (Shock and Vibration Manual).
- e) CB 5012: Rázová příručka (metrická) /Shock Manual (Metric)/, prosinec 1974.
- f) NES 814: Požadavky na stanovení rázové pevnosti zařízení (Requirements for Determining the Shock Strength of Equipment).
- g) NES 1004: Požadavky na návrh a zkoušení zařízení splňující podmínky prostředí (Requirements for Design and Testing of Equipments to Meet Environmental Conditions).

PŘÍLOHY

Příloha 18A
(normativní)

PROCES HODNOCENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

18.A.1 NÁSTIN HODNOCENÍ

Tato příloha poskytuje podrobný přehled o tom, jak se mohou jednotlivé technické činnosti nebo disciplíny, spojené s hodnoceními podvodních výbuchů, zkombinovat pro vytvoření sjednocené metodiky k provádění hodnocení vlivu podvodních výbuchů na materiál. Dále vymezuje základní strukturu pro jakékoli hodnocení podvodních výbuchů a běžné kroky nezbytné ke splnění požadavků. Proces je typicky zaměřen na kvalifikaci materiálu, aby splňoval bezpečnostní kritéria a kritéria vhodnosti k provoznímu nasazení, ale může zahrnovat i prodloužení provozního života a likvidaci materiálu, jak popisuje STANAG 4370. Základní dokument pro tuto zkušební metodu také poskytuje úvodní informace o prostředí podvodních výbuchů a důvody pro zkoušení. Existují tři typické etapy procesu hodnocení vlivu podvodních výbuchů uvedené na obrázku 18.A.1. Tyto tři etapy se mohou pro zdokonalení procesu opakovaným způsobem kombinovat, když je možné využít více informací.

Etapa 1 – Definování rozsahu platnosti. Přehled kombinovaný s definováním akceptačních kritérií a úloh, včetně stanovení příslušných technických informací a disciplín. To fakticky definuje strategii a požadavky na hodnocení. Etapa 1 je zakončena přezkoumanou a schválenou dokumentací, která má podobu plánu hodnocení vlivu podvodních výbuchů.

Etapa 2 – Zpracování hodnocení. V souladu se stanovenými úlohami se přijme vhodný směr hodnocení. Potom se realizuje podrobná analytická nebo experimentální analýza, založená na tomto směru hodnocení. Výsledky jsou vysvětleny a porovnány s vybranými, dříve stanovenými akceptačními kritérii.

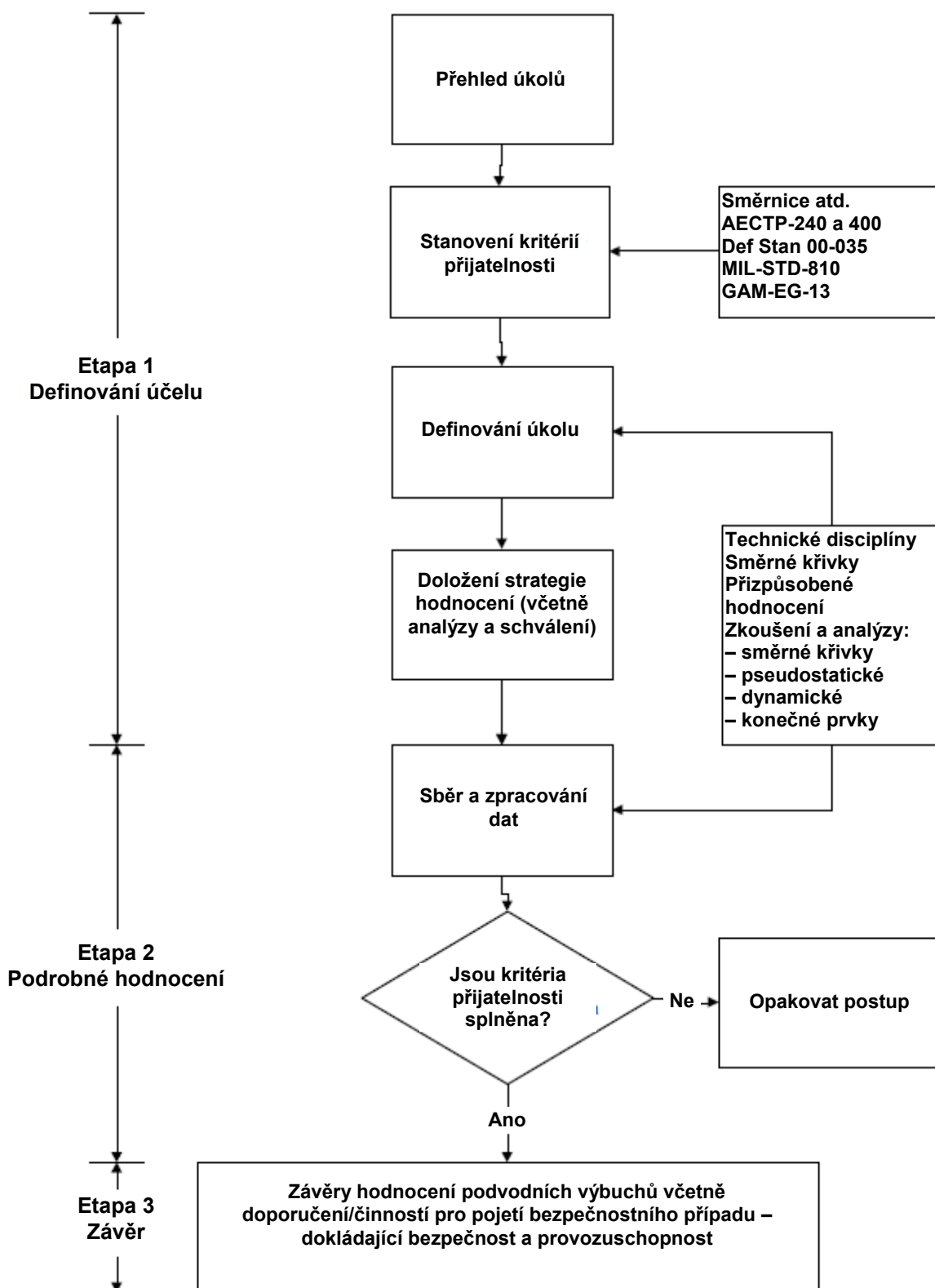
Etapa 3 – Závěry hodnocení. Na základě podrobných výsledků hodnocení se s ohledem na bezpečnost a vhodnost pro provozní nasazení učiní rozhodnutí.

18.A.2 ETAPY HODNOCENÍ PODROBNĚJI

18.A.2.1 Etapa 1 – Definování rozsahu platnosti

Jde o specifikaci potřeby hodnocení z důvodu stávajících a požadovaných informací. Jako východisko je nezbytné mít dobře ujasněné cíle hodnocení vlivu podvodních výbuchů společně s vyžadovanou úrovní spolehlivosti hodnocení. V této fázi prací se mohou stanovit čtyři kroky:

- a) přehled úloh;
- b) definování akceptačních kritérií;
- c) definování úloh;
- d) plánovací dokumentace hodnocení vlivu podvodních výbuchů.



OBRÁZEK 18.A.1 – Obecné etapy hodnocení vlivu podvodních výbuchů

Příloha 18A
(normativní)

Obrázek 18.A.2 ukazuje, jak tyto kroky na sebe vzájemně působí. Příloha 18B poskytuje souhrnný seznam otázek a návodných poznámek na pomoc při definování rozsahu platnosti hodnocení vlivu podvodních výbuchů. Rozsah platnosti by měl stanovit a zahrnout dosažitelnost všech důležitých informací. Například komerčně dostupný (COTS) materiál nemusí být podporován přiměřenými technickými informacemi k provedení hodnocení vlivu podvodních výbuchů; dostupnost typických zkušebních vzorků může být omezená. Využití otázek ve spojení s plánem uvedeným na obrázku 18.A.6 umožňují, aby rozsah platnosti hodnocení byl dobře definován.

18.A.2.1.1 Přehled úloh

Cílem tohoto kroku je poskytnout přehled úkolů a požadavků na hodnocení vlivu podvodních výbuchů při použití bojeschopnosti, schopnosti pohybu a plavby jako vodítka. Rozhodnutí přijatá na základě úkolů ovlivní směr a důraz hodnocení prováděných v pozdějších etapách. Například pokud je bezpečnost základním úkolem, pak podmínky poruch by mohly být omezeny na ty, které způsobují možná zranění nebo ztráty na životech. Celková finanční omezení, časová omezení nebo nedostatek informací mohou mít také vliv na úkoly a postupy hodnocení vlivu podvodních výbuchů.

18.A.2.1.2 Stanovení akceptačních kritérií

Akceptační kritéria dávají dohromady tři hlavní prvky určené níže. Kritéria poruch jsou částí celkových akceptačních kritérií. Avšak kritéria poruch jsou zvláště důležitá, protože určují výběr směru hodnocení, jak je dále v této příloze popsáno. Kde je obtížné stanovit akceptační kritéria nebo kritéria poruch, zkoušení vlivů prostředí může být nezbytnou součástí vyhodnocovacího procesu. Aby se zabránilo tomu, že konečné závěry hodnocení jsou podmíněny náhodně zvolenými stupni jistoty, doporučuje se zvolit požadovanou jistotu hodnocení na začátku. Tato volba závisí na následcích poruch a úrovni kritičnosti.

- stanovení požadované funkce materiálu;
- stanovení kritérií poruch;
- stanovení požadované jistoty.

18.A.2.1.3 Definování úloh

Vývojový diagram na obrázku 18.A.2 zobrazuje postup, kterým je třeba se řídit v etapě definování úloh. Cílem této etapy je poskytnout náležité plánování a zajistit, aby zahrnovalo zahájení hodnocení s obsáhlým zdůvodněním prací. Odpovědi na otázky v příloze 18B poskytují následující:

- metodické zredukování problému na velikost, kterou lze dokončit;
- vyhledání nejvhodnějších metod hodnocení;
- identifikaci kritických prvků nebo součástí;
- identifikaci způsobů poruch, které potenciálně vytváří mechanismy buzení.

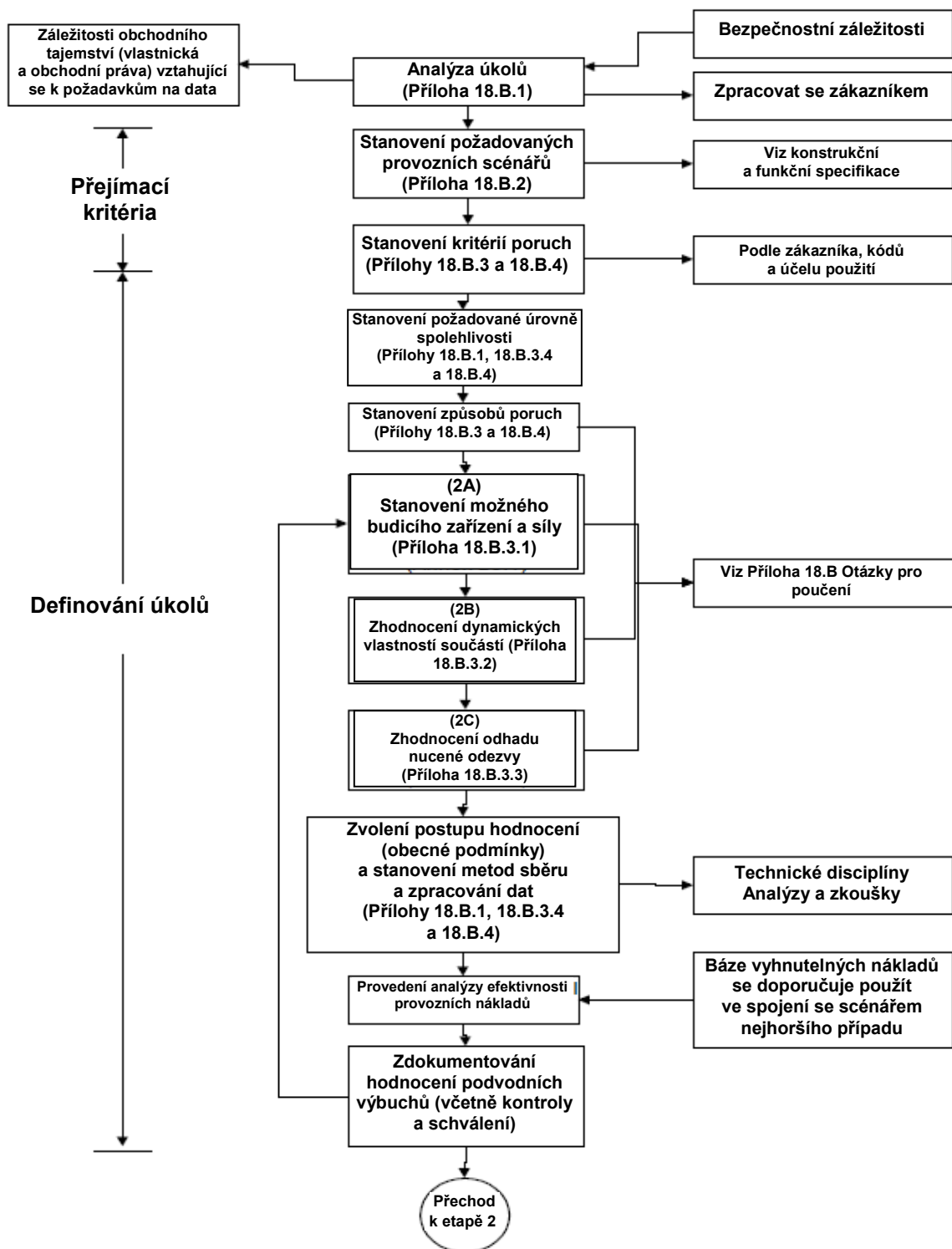
Nemůže být okamžitě jasné, které součástky jsou kritické pro dosažení a udržení bezpečnosti a způsobilosti k provozu. Pro stanovení kritických oblastí se mohou vyžadovat metody jako je analýza způsobů a následků poruch (FMEA) nebo Analýza statické neurčitosti. Počet součástí se může dále snížit pomocí úvah o možných

Příloha 18A
(normativní)

způsobech poruch spojených s mechanizmy buzení z podvodních výbuchů. Každá součástka bude mít svou vlastní míru bezpečnosti a je žádoucí zvážit rozsah další redukce hodnocení až k nejkritičtějším součástkám. Kromě toho zde mohou být součástky, které mají prvořadý vliv na bezpečnost systému jako celku. Například aktivátor bojové hlavice může být kritičtější než jiné součástky a bude tudíž nejvíce ovlivňovat hodnocení bezpečnosti. Jakékoli předpoklady, které redukuje velikost problému, musí být konec konců odsouhlaseny bezpečnostním důstojníkem a zdokumentovány.

Konečným krokem v Etapě 1 je plně zdokumentovat přehled úloh, akceptačních kritérií a definic úloh, včetně příslušných přezkoumání a schvalování. Informace o materiálových součástech, mechanizmech buzení a pravděpodobných způsobech poruch určených v této etapě se doporučuje zdokumentovat. Jestliže byly pro podrobné hodnocení vybrány různé případy hodnocení, potom se doporučuje každý z nich hodnotit samostatně. Například materiál může být v různých třídách lodí ukládán odlišně.

Příloha 18A
(normativní)



OBRÁZEK 18.A.2 – Etapa 1 – Stanovení rozsahu plánovací dokumentace pro hodnocení podvodních výbuchů

18.A.2.2 Etapa 2 – Zpracování hodnocení

Definování úloh spolu s hodnocením nákladové efektivity umožní vybrat vhodný postup k naplnění cílů hodnocení podvodních výbuchů. Zvolený postup hodnocení může vyžadovat upřesňování s tím, jak se uvolňují další informace, tak aby se analýza dokončila ve stanoveném rozsahu. Podrobné hodnocení vedoucí k rozhodnutí o bezpečnosti a provozní použitelnosti má čtyři kroky představené v dalším textu a na obrázcích 18.A.3 a 18.A.4.

- Krok 2A – Mechanizmy buzení a vnější síly.
- Krok 2B – Definování vlastností materiálu.
- Krok 2C – Posouzení konstrukční odezvy.
- Krok 2D – Hodnocení podvodních výbuchů.

Vstupní podmínky a výstupní výsledky z kroků 2A až 2D jsou stanoveny cíli hodnocení podvodních výbuchů a jsou popsány níže. Tyto kroky se mohou završit prostřednictvím požadované kombinace laboratorních zkoušek a analytických nebo simulačních analýz. Pojednání o čtyřech metodách pro realizaci kroků 2A až 2D je uvedeno v dalším textu a je doprovázeno informacemi o jednotlivých krocích Etapy 2.

Metoda I – Pouze zkoušení

Zkoušení inertního materiálu ve skutečné velikosti se může snadno realizovat na různých zkušebních zařízeních využívajících zařízení pro mechanické simulační zkoušky nebo plovoucí zkušební základnu. Konstrukční zkoušení inertního materiálu se může provádět v souladu s BR 8541 a ve shodě se směrnicemi pro obecná lodní zařízení obsaženými v BR 8470 a CB 5012, nebo s využitím specificky upravených zkoušek. Ale zkoušení skutečného výbušného materiálu je omezeno na použití mechanických simulačních zařízení, jako jsou například rázová, vibrační nebo pádová zkušební zařízení. Spektra rázových odezev nebo metody reprodukce časového průběhu využívající elektrodynamické nebo servohydraulické zkušební systémy nabízí nejpřesněji řízené zkušební postupy. Oba druhy zařízení vyžadují definovaný časový průběh vstupního zrychlení v rámci limitů tlaku, posunu a šířky kmitočtového pásma budiče. Také se mohou použít výbuchová buzení podle Metody 415. Provozní omezení zařízení mohou omezit zkušební schopnosti pro podmínky velkých nízkofrekvenčních posunů a vysokofrekvenčního buzení. Využití akceleračních dynamických odezev přes izolační uložení materiálu jako standard řízení vstupu může být pro zkoušky vlivu podvodních výbuchů žádoucí. Také pádové zkoušky zajišťují měření obecné mechanické odolnosti, ale vyvolaná zatížení, doba trvání a amplituda se mohou výrazně odlišovat od měřeného zatížení lodi následkem podvodních výbuchů. Toto omezuje korelaci údajů z pádových zkoušek na očekávané charakteristiky podvodního výbuchu, především pro dynamicky složitý materiál. Jestliže jsou zkoušky konečné, může kvalifikační zkouška přímo vytvořit bázi bezpečných případů podvodních výbuchů.

Zkoušení ve skutečném měřítku znemožňuje použití nevyzkoušených postupů modelování, ale mohou být potřebné jedinečné zkušební přípravky, které jsou nákladné a fyzicky rozměrné. Samotné přípravky a zařízení mohou utrpět výrazná poškození a mohou být pro další zkoušky nepoužitelné. Postupy II, III a IV mohou být nezbytné pro extrapolaci zkušebních dat na nepřístupné plochy konstrukce nebo materiálu. Zkoušení také nemusí být účelné při zvažování kombinace zatěžovacích

Příloha 18A
(normativní)

stavů potřebných pro stanovení bezpečnosti a vhodnosti pro provozní nasazení. Další informace o laboratorních nebo experimentálních zkušebních zařízeních poskytuje příloha 18D.

Metoda II – Na míru upravená zkouška a ověřená analýza

Tato metoda poskytuje rovnováhu mezi zkoušením a teoretickou analýzou. To zajišťuje nákladově nejefektivnější zkoušení, kombinované s měřením dat pro ověření jakékoliv analýzy. Analýza připouští, aby se vzaly v úvahu případy extrémního prostředí, které není možné prozkoumat prostřednictvím laboratorních zkoušek. Existence naměřených údajů poskytuje bezpečnostnímu důstojníkovi údaje se zvýšenou jistotou, nákladově efektivním způsobem; počet zkušebních případů se obecně může zredukovat. Zkoušení může obsahovat modální stejně jako kvalifikační zkoušení. Jestliže se použije zmenšený model, pak budou modální zkoušky vyžadovat použití teoretických nebo empirických zákonů podobnosti.

Metoda III – Ověřená analýza

Jestliže již existují databáze přechodových odezev zrychlení z podvodních výbuchů, je často možné využít naměřené údaje z předchozích zkoušek nebo experimentů. Postup III je podobný Postupu II, ale pro korelaci se stávajícím modelem nebo datovým souborem využívá historická data. Ale doporučuje se nedostatečně zdokumentovaná měřená zkušební data využívat opatrně. Platnost historických dat musí být prokázána bezpečnostnímu důstojníkovi.

Metoda IV – Neověřená analýza

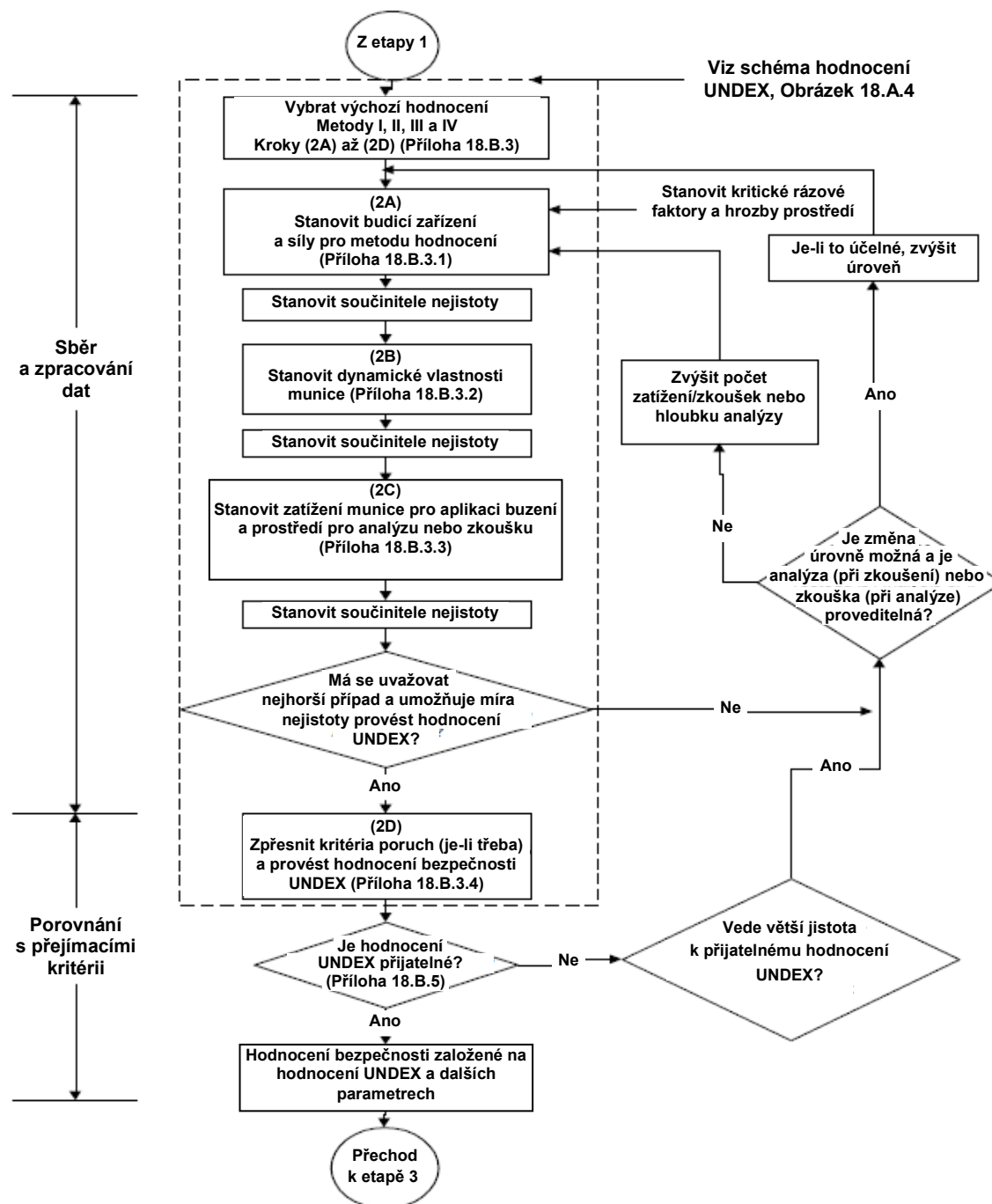
Tato volba je nejméně vhodná, ale je jediným možným postupem v případech, kdy není možné realizovat na míru upravenou zkoušku a kdy neexistují žádná odpovídající historická data. Tento postup se může použít pouze v krajním případě. Jsou zde zahrnuty i teoretické průběhy a nové počítačové simulace, nevyžadující pozdější experimentální ověření platnosti. Očividný nárůst úrovně nejistoty bude přitahovat podrobnější zkoumání. Bezpečnostní důstojník bude požadovat důkazy o platnosti postupu, o kvalifikovanosti týmu provádějícího hodnocení vlivu podvodních výbuchů a osvědčenou historii tohoto druhu analýzy. Užitečnou metodou pro zvýšení důvěryhodnosti je využití chybových pásem spolehlivosti.

Komplexnější metody hodnocení by měly usilovat o snížení nejistot v postupu hodnocení podvodních výbuchů tam, kde se vyskytují situace s vyšším rizikem. Postup hodnocení podvodních výbuchů bude určovat kombinace nákladových omezení a přijatelné míry nejistoty. Hodnocení nejistot se často zpracovává na subjektivním základě a zkušený inženýr je požádán o zpracování těchto posudků s pomocí (kde je to vhodné) příslušných metod. Podrobné hodnocení má tři možné výstupy:

- Hodnocení je přijatelné, materiál je schválen nebo neschválen a výstup kroku 2D tvoří odezvu v Etapě 3.
- Hodnocení je nepřijatelné vzhledem k nedostatečné míře jistoty v hodnocení podvodních výbuchů; je přijato rozhodnutí opravit hodnocení opakovaním kroků 2A až 2D, dokud se nedosáhne požadované hladiny spolehlivosti.

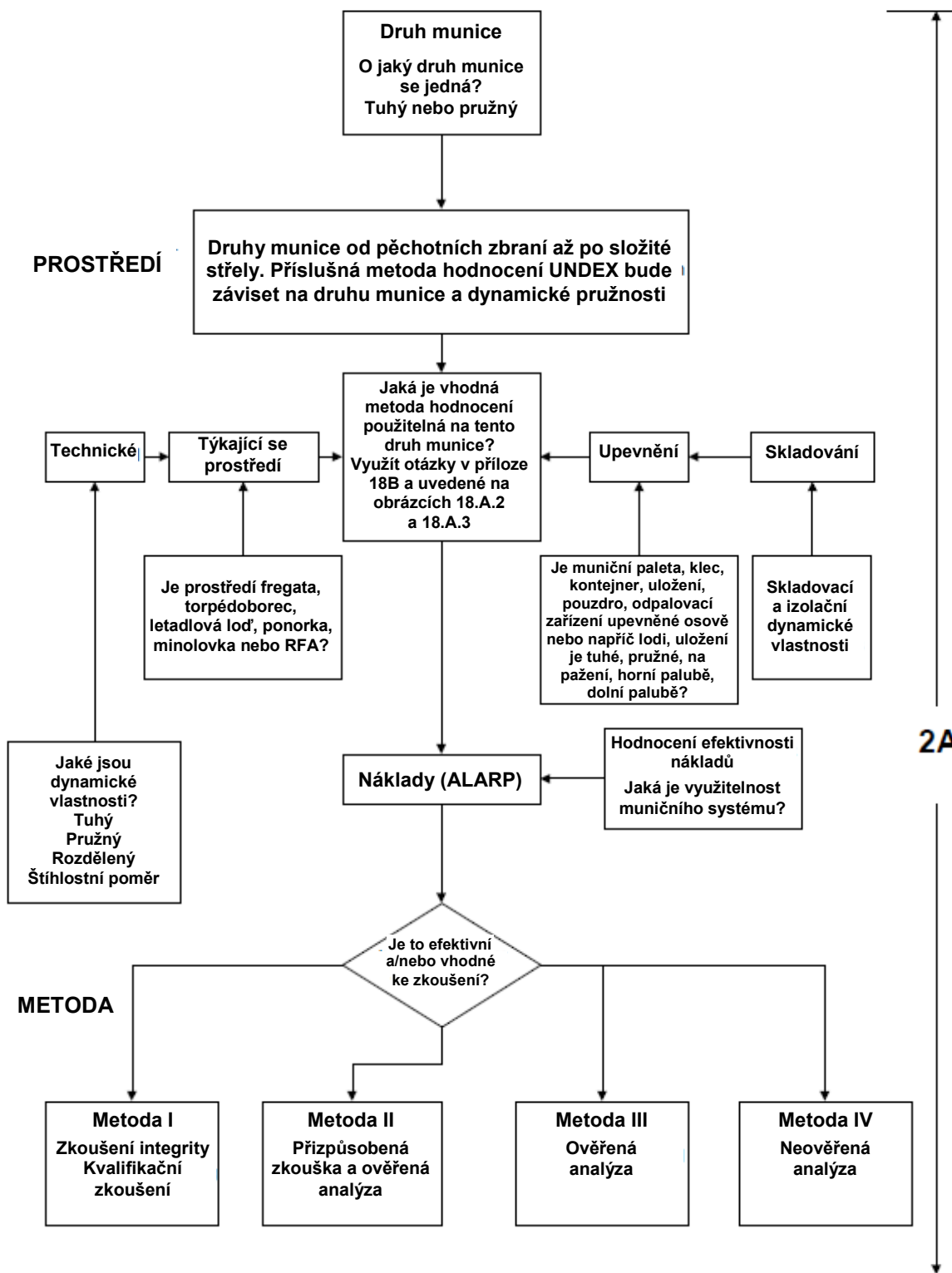
Příloha 18A
(normativní)

- Hodnocení je nepřijatelné v důsledku vysoké míry nejistoty; je přijato rozhodnutí předefinovat uložení materiálu nebo doporučit úpravu materiálu. To bude vyžadovat předefinování rozsahu platnosti a opakování kroků 2A až 2D.

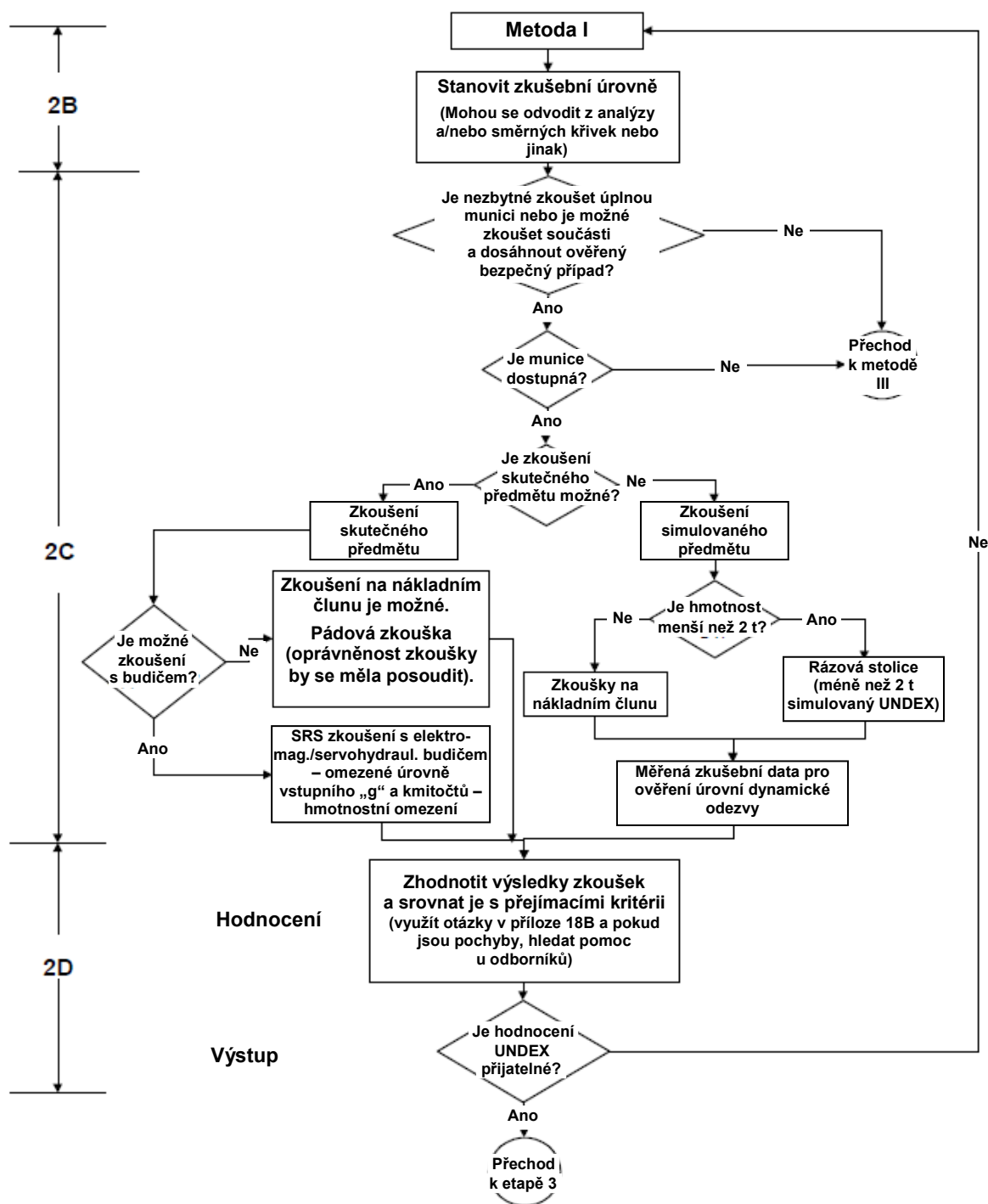


OBRÁZEK 18.A.3 – Etapa 2 – Posouzení hodnocení

Příloha 18A
(normativní)

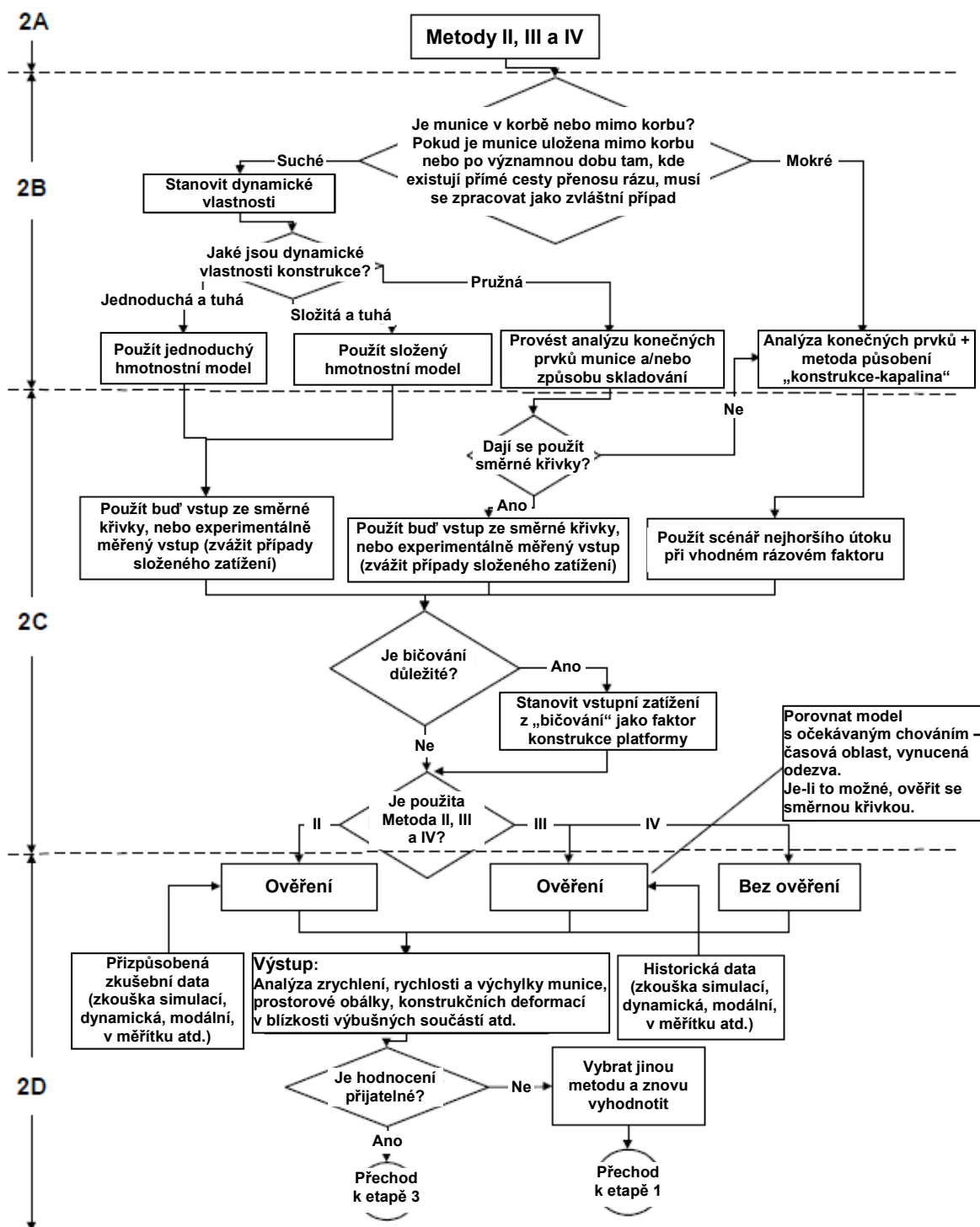


OBRÁZEK 18.A.4 – Blokové schéma hodnocení podvodních výbuchů



OBRÁZEK 18.A.4 – Blokové schéma hodnocení podvodních výbuchů
(pokračování)

Příloha 18A
(normativní)



OBRÁZEK 18.A.4 – Blokové schéma hodnocení podvodních výbuchů (dokončení)

Přesnost čtyř kroků hodnocení by měla narůstat, dokud se v postupu hodnocení nedá prokázat uspokojivá souhrnná úroveň spolehlivosti. Není nutné zvyšovat hladinu přesnosti současně ve všech krocích hodnocení, pouze tam, kde je zjištěna slabina. Blokové schéma hodnocení podvodních výbuchů uvedené

Příloha 18A
(normativní)

na obrázku 18.A.4 zahrnuje zobecněné kroky 2A až 2D, obsahující specifické podmínky. Tyto kroky jsou stejné i pro obecné hodnocení vibrací, dovolující sloučení těchto dvou postupů. Následující části se zabývají každým klíčovým krokem.

Krok 2A – Mechanismus buzení a vnější síly

Hlavní mechanismy buzení jsou přímé rázy do konstrukce a „bičování“ vyvolané bublinami. Kde je materiál skladován nebo rozmístěn uvnitř lodi nebo je na místě, kde existuje přímá trajektorie proudění, potom je to zvláštní případ. V takových případech rázy týkající se konstrukce a přímé rázové vlnové zatížení vyžadují pozornost. Doporučuje se zjistit, jaká kombinace těchto mechanismů buzení je potřebná zahrnout do hodnocení podvodních výbuchů. Například „bičování“ by se nemělo zahrnovat do hodnocení pro rychlá hlídková plavidla. Obvykle je potřebné u všech lodí vzít v úvahu rázy, ale pouze plavidla s velkou štíhlostí jsou citlivá na „bičování“. Úrovně spojené s mechanismy buzení se mohou převzít ze Schématu rázové směrné křivky, naměřené při pokusech nebo odvozené z teoretických hodnocení. Zpravidla se bude požadovat, aby se sestava „nejhoršího případu“ uložení a rozsah „nejhorších případů“ možných podvodních výbuchů vzaly v úvahu, ačkoli se budou měnit případ od případu.

Postup I – Analytické metody

Při hodnocení podvodních výbuchů se analytické metody mohou použít ke spojení odezvy materiálu s daným dynamickým vstupním buzením a ke stanovení zkušebních vstupních dat. To bude často vyžadovat nelineární analýzu uskutečněnou použitím metody konečných prvků a/nebo metody hraničních prvků. Tyto analytické metody jsou komplexní a vyžadují propracovaný expertní software používaný pracovníky s příslušnými bezprostředními zkušenostmi. Doporučuje se stanovit kvalifikaci pracovníků a související ověřování jakosti, které budou záviset na požadovaném druhu analýzy a hodnocení. Ověření platnosti a přezkoumání analytických metod a hodnocení podvodních výbuchů je nezbytnou záležitostí, přitom se využívají experimentální data, směrné křivky, nelineární vlastnosti materiálu, rozsáhlé historické rázové databáze atd.

Postup II – Experimentální metody

Experimentální metody redukují nejistotu spojenou s hodnocením podvodních výbuchů a analytickými metodami použitím provozních a modelových zkoušek. Zabývají se reálnými fyzickými systémy, které zahrnují nelinearitu a účinky vzájemného působení. Ale experimentální zkoušení a provozní zkoušky mohou být nákladné. Měly by se vzít v úvahu, pokud jde o:

- kvalifikační zkoušky;
- požadavek na ověření platnosti a přezkoumání analýzy;
- odhad ekonomické efektivity;
- počet variant, které je potřebné vzít v úvahu pro vyhodnocení provozní bezpečnosti a vhodnosti do provozních podmínek.

Správná specifikace, nainstalování, provozování a monitorování zařízení a přesná interpretace dat vyžadují odborníky se značnými vědomostmi, odbornými znalostmi a zkušenostmi.

Příloha 18A
(normativní)

Krok 2B – Definování vlastností materiálu

Nezbytným základním požadavkem na hodnocení podvodních výbuchů je potřeba posoudit dynamické vlastnosti materiálu, ukládací stojany a konstrukci lodě (jako je například tuhost, hmotnost, útlum, kmitočet, vlastní tvar atd.). Toho lze dosáhnout pomocí analytických a/nebo experimentálních metod.

Postup I – Analytické metody pro dynamické vlastnosti

U materiálu a lodního prostoru, které se mohou blížit jednomu nebo dvěma stupňům volnosti, jsou pro stanovení dynamického chování materiálu a jeho uložení (pod podmínkou, že jsou známy vlastnosti materiálu) přijatelné jednoduché manuální propočty využívající parametry celkové hmotnosti. Toto pojetí je obsaženo v britském dokumentu k podvodním výbuchům – viz čl. 18.6, britský odkaz a.

Pro komplexnější systémy a pro systémy s více stupni volnosti jsou nezbytné analýzy konečných prvků a modální analýzy. To vyžaduje vytvoření počítačového modelu, který přesně znázorňuje geometrické a materiálové vlastnosti materiálu a jeho uložení. Zkušenosti s analýzou a modelováním metodou konečných prvků zredukuje neurčitosti způsobené nesprávným zobrazením skutečného fyzického systému. To platí zejména pro aspekty, které je obtížné nebo zbytečné přesně modelovat, jako jsou například tlumení, spojení konstrukčních prvků, nelineární chování uložení atd.

Postup II – Experimentální metody pro dynamické vlastnosti

Dynamické vlastnosti lze vymezit pomocí modálních zkušebních metod. Ve stručnosti to zahrnuje buzení konstrukčních součástí v nízkých úrovních vibrací a měření odezvy. Signál obvykle měřený snímači umístěnými na součásti nebo nekontaktními metodami se analyzuje pro získání modálních kmitočtů, tvarů a útlumových charakteristik. Modální zkušební metody zpravidla poskytují mnohem přesnější dynamické charakteristiky než analytické metody. Avšak protože pro určování modální charakteristiky se používají nízké vibrace, jsou v podstatě lineární. Legalizace použití lineárního znázornění bude potřebovat zdůvodnění vzhledem k vysokým úrovním buzení spojeným s jevy podvodních výbuchů.

Krok 2C – Odhad konstrukční odezvy

Vnější dynamické síly ve spojení s dynamickými vlastnostmi budou způsobovat dynamickou odezvu materiálu a jeho uložení. Tato odezva bude mít podobu vnitřních napětí a deformací a tyto parametry jsou pro hodnocení konstrukční integrity v rámci hodnocení podvodních výbuchů podstatné. Metody vyhodnocování dynamické odezvy mohou být buď teoretické, nebo experimentální.

Postup I – Analytické metody pro konstrukční odezvu

Dynamická odezva se může vypočítat s použitím metody konečných prvků. Počítačový model vytvořený k poskytování dynamických charakteristik se může využít k výpočtu dynamických odezev. Tlumení nelze stanovit žádnou analytickou metodou, ale může se odhadnout a zahrnout do modelu. Tlumení se musí vždy začlenit do analýzy, a jestliže nejsou k dispozici žádné přesné úrovně tlumení, doporučuje se provést jejich odhad jako výsledek zkušeností nebo měření. Pro lineární konstrukční systémy jsou dostačující analytické metody jako například modální superpozice. Ale pro nelineární chování se požadují nelineární metody konečných prvků a použití metod přímé časové integrace. Vzhledem k tomu, že

Příloha 18A
(normativní)

nelineární postupy nejsou nezbytně požadovány pro všechny analýzy podvodních výbuchů, tato koneckonců bezpečnostní kritéria pravděpodobně budou aktuální pro složky silných rázů poblíž nebo na úrovních letality trupu lodi. Tyto budou soustavně nutit montážní konstrukce, balení a obaly do plastického chování.

V případě materiálu, který se dá znázornit jako celková hmotnost, je možné pro získání úrovní vynucených odezev spojených s rázem a v poslední době i hrubého zobrazení účinků „bičování“ přímo aplikovat Schéma rázové směrné křivky.

Postup II – Experimentální metody pro konstrukční odezvu

Konstrukční odezvu v rámci hodnocení podvodních výbuchů je možné monitorovat dvěma experimentálními zkušebními metodami – provozní zkouškou a modelovou zkouškou.

Provozní zkouška je obvykle nákladná, ale poskytuje nejpřesnější výsledky, protože všechny fyzikální podmínky jsou typické. Zkoušení vlivu podvodních výbuchů na inertní materiál je možné, ale ve Velké Británii je zkoušení skutečných předmětů historicky do značné míry omezené na pádové zkoušky. Se zdokonalováním regulátorů vibrací a rázů a s dostupností vysokovýkonných elektromagnetických budičů je nyní reálné uvažovat o aplikaci SRS metod pro zkoušení skutečného materiálu. Velikost materiálu schopného zkoušení s použitím této metody je určována výše uvedenou úrovní rázů / časovým průběhem montáže, jeho hmotností a dynamickým chováním. V současné době bylo zkoušení podvodních výbuchů s použitím této metody úspěšně dokončeno na materiálu o hmotnostech do 900 kg. Zkoušení SRS se aplikuje stejnou měrou na inertní materiály a poskytuje realistické vstupní rázy v souladu s časovými průběhy provozních odezev. Další výhodou této metody je to, že v současné době nasazená dynamická zkušební zařízení se mohou využívat bez velkých kapitálových nákladů. Avšak jak pádové zkoušky, tak zkoušky SRS se spoléhají na znalost časového průběhu provozních vstupních rázů, které lze odvodit pouze ze zkoušek s nákladním člunem, ze zkoušek inertního materiálu ve skutečné velikosti nebo z teoretických modelů a historických databází.

Pro inertní materiál, kde existuje řada uspořádání uložení nebo variant napadení, může být zkoušení skutečných předmětů nepraktické. Obvyklou formou zkoušení je použití skutečného materiálu nebo dynamicky ekvivalentní kopie upevněné typickým způsobem. Předmět se potom zkouší na předem stanovenou náročnost podvodních výbuchů; deformace a dynamické odezvy se zaznamenávají. Zmenšené modely se mohou použít, ale běžné statické simulační postupy mohou být nevhodné. Při zvažování dynamického chování se zmenšení stanovuje obtížně, zejména u složitých součástí. Přehled zkušebních postupů pro zkoušení vlivu podvodních výbuchů použitelných pro materiál je uveden v příloze 18C.

Krok 2D – Hodnocení podvodních výbuchů

Mechanismy možných poškození

Získané dynamické a deformační informace jsou obecně pro plně provozní materiál, který je bez vad. K výběru vhodného postupu hodnocení vlivu podvodních výbuchů se využívají úrovně v kombinaci s podmínkami hodnocení a vybranými způsoby poruch. Všeobecně známé druhy a mechanismy poruch jsou uvedeny v článcích 18.2.1.1 a 18.2.1.2 Metody 419 a je možné je prezentovat buď jednotlivě, nebo v kombinaci.

Příloha 18A
(normativní)

Metody hodnocení podvodních výbuchů

Hodnocení podvodních výbuchů je integrovanou víceoborovou činností spojující experiment, zkoušku a teoretickou analýzu.

Způsoby poruch se mohou stanovit s využitím experimentálního zkoušení, analytických metod založených na mechanice lomu, metod založených na nelomové mechanice nebo poloempirickém zpracování, jako jsou například Schémata rázové směrné křivky.

Postup I – Experimentální zkoušení

Hodnocení podvodních výbuchů vede nutně k závěru, že jestliže je materiál schopen vydržet napětí a deformace vyvolané v průběhu jevu podvodního výbuchu, pak materiál splňuje bezpečnostní požadavky na úroveň „plout“ a pokud materiál zůstává funkční na úrovni „bojovat“, potom se pokládá za provozuschopný. Zkoušení prototypů ve skutečném měřítku buď na provozní zatížení, nebo na destrukci poskytne náznak pravděpodobných způsobů poruch a faktorů bezpečnosti. Korelace se zkouškami prováděnými se zmenšeným modelem je možná, ale může to zavést nejistotu v důsledku účinků zmenšení. Zkoušení v malém měřítku je obecně použitelné pro získání vlastností mechanické pevnosti pro materiály a je nepraktické pro skutečný materiál. Zkoušení může mít podobu rázů simulovaných na zkušebních strojích nebo zkoušek na nákladním člunu.

Postup II – Metody analytického hodnocení

Postup II se může pohybovat od aplikace jednoduchých analytických vzorců až k plně rozvinutému zpracování problému interakce kapalina–konstrukce (Hydrokód). Klíčový je výběr metody komplexnosti v souladu s úrovní podrobností požadovaných pro hodnocení. Na jednoduché úrovni může jako přímočaré řešení postačovat použití pohybových rovnic pro jednoduché tuhé soustavy. Tam, kde jsou obsažena pružná zařízení a/nebo podstavce, je přímou volbou použití metod konečných prvků, přičemž zatížení je poskytováno ze Schématu rázové směrné křivky nebo z experimentálně měřeného vstupu. Pokud hodnocení nezbytně potřebuje brát v úvahu interakci kapalina–konstrukce, je možné uvažovat vstupy na trupu lodí odhadnuté použitím Taylorovy teorie desek. Ve skutečnosti je interakce kapalina–konstrukce uvažována s propracovanějšími, ale stále ještě přibližnými metodami. Tyto zahrnují aproximaci válcové vlny, aproximaci virtuální hmoty a zdokonalenou aproximaci obsaženou ve skupině dvojitých asymptotických aproximací (DAA). Postup DAA je v podstatě metoda hraničních prvků, která považuje pole kapaliny za hraniční obal přes model konstrukce složený z konečných prvků. Pro varianty, kde objemy kapaliny a dutin významně narůstají, se požaduje komplexnost a jedinou přijatelnou volbou je v tomto případě využití hydrokódu. Hydrokódy jsou expertní kódy a jsou v současné době vědecky nejmodernější. Jejich použití vyžaduje významné investice do kvalifikace lidí a do hardwaru a závisí na propracovanosti vazby kapalina–konstrukce obsažené v programu; výsledky nemusí být přesnější než výsledky přibližné metody.

Postup III – Kódy z praktických a pomocných dokumentů pro hodnocení podvodních výbuchů

V současné době neexistují žádné pomocné dokumenty nebo návody použitelné pro přizpůsobené hodnocení vlivu podvodních výbuchů na složitý materiál. Je k dispozici

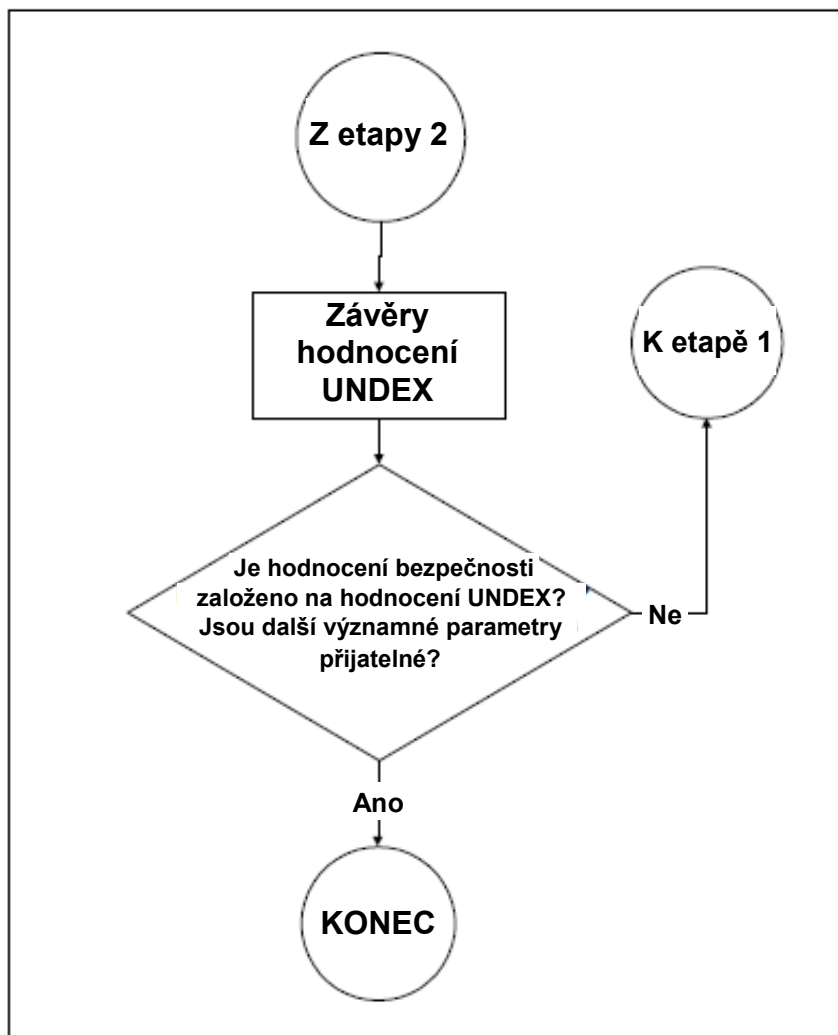
Příloha 18A
(normativní)

řada dokumentů, které poskytují směrnice a postupy použitelné pro jednoduchý materiál; jsou to: AECTP-240 a 400, Def Stan 00-035, MIL-STD-810, GAM-EG-13, BR 8470, BR 8472, BR 3021, NES 814, NES 1004.

18.A.2.3 Etapa 3 – Závěry hodnocení

Hodnocení vlivu podvodních výbuchů se považuje za úplné, když se může učinit konečný výrok, že integrita materiálu může nebo nemůže být osvědčena pro požadovanou službu a splňuje bezpečnostní kritéria a kritéria vhodnosti pro provozní nasazení v rámci přijatelných mezí (obrázek 18.A.5). Tento výrok by se měl kvalifikovat se stanovenou mírou spolehlivosti vymezenou faktory nejistoty spojenými s konkrétními kroky obsaženými v hodnocení vlivu podvodních výbuchů. Na konečný výrok bude mít také vliv porovnání s nějakou cílovou pravděpodobností nebo spolehlivostními požadavky definovanými v Etapě 1. Jasně koncipovaný, výstižný a jednoznačný závěr se doporučuje zaprotokolovat. Bezpečnostní poradce ministerstva obrany bude požadovat dobře definované auditní záznamy od zahájení až do uzavření hodnocení. Jakékoli sestavené závěry se mohou kvalifikovat porovnáním s předem stanovenými, kvantifikovatelnými kritérii.

Příloha 18A
(normativní)



OBRÁZEK 18.A.5 – Etapa 3 – Závěr hodnocení vlivu podvodních výbuchů

18.A.3 VZOR DOKUMENTACE

Příklad jednostránkového souhrnného záznamu hodnocení podvodních výbuchů je uveden na obrázku 18.A.6.

ETAPA 1: DEFINOVÁNÍ ROZSAHU PLATNOSTI ČÍSLO:

Konstrukce	
Součástka	
Cíl hodnocení	
Uvažovaný způsob / uvažované způsoby poruchy	
Mechanismus/mechanizmy buzení	
Stručný popis	

ETAPA 2: PODROBNÉ HODNOCENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

Krok	Metoda			
	Metoda I Pouze zkoušení	Metoda II Přízpusobené zkoušení a ověřená analýza	Metoda III Ověřená analýza	Metoda IV Neověřená analýza
Krok 2A Mechanismy a síly buzení				
Krok 2B Dynamické vlastnosti materiálu a součástí				
Krok 2C Stanovení dynamické odezvy				
Krok 2D Hodnocení vlivu podvodních výbuchů				

ETAPA 3: ZÁVĚRY

--

DALŠÍ INFORMACE

Důležité odkazy	
-----------------	--

OBRÁZEK 18.A.6 – Příklad jednostránkového shrnutí hodnocení vlivu podvodních výbuchů

Příloha 18B
(normativní)

ÚVAHY K HODNOCENÍ A ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

18.B.1 ÚVOD

Tato příloha přezkoumává obecné úvahy potřebné ke stanovení vhodného postupu hodnocení podvodních výbuchů nebo programu zkoušek. Úvahy o rozsahu provozních podmínek a analytických postupech poskytnou nezbytné informace umožňující dokončit požadovanou dokumentaci nebo experimentální zkoušky. Dále uvedené otázky jsou pouze vodítkem a pro jednotlivý program zkoušek podvodních výbuchů nebo pro požadavky Směrnice pro zkoušku bude zřejmě potřebné vyhodnotit další témata. Základní otázky k zahájení procesu jsou stanoveny dále.

- a) Jaká je požadovaná funkce materiálu nebo jeho součástí?
- b) Co představuje nepřijatelnou poruchu?
- c) Existuje možnost přijatelné poruchy?
- d) Jaká je pro závěry hodnocení požadovaná míra jistoty?
- e) Je požadován bezpečnostní případ, pokud ano – v jaké kategorii?
- f) Je zahrnuta bezpečnost obsluhy?
- g) Jestliže jsou následky poruch ekonomické, jak velká je možná ztráta?
- h) Jaké jsou důsledky chybného závěru hodnocení?
- i) Může se uvažovat o zničení materiálu následkem rázu?
- j) Jaká úroveň provozní spolehlivosti se požaduje?
- k) Provádí se hodnocení podvodních výbuchů pro nový materiál nebo jde o případ prodloužení života?

Nejpřípadnější otázkou je možná definování přijatelné a nepřijatelné poruchy. Nejpřirozenější situací, pro kterou může materiál oslabit provozuschopnost, je uvolnění z upevňovacího místa / upevňovacích míst během jevu podvodního výbuchu a působení jako „střela“ na lodi. Zkoušky simulace prostředí pro tuto situaci jsou obecně zmiňovány jako nárazové zkoušky. Proto jsou poruchy uchycení materiálu nebo prostředků pro rázové tlumení důležitým problémem.

Obecně neexistují žádné okolnosti, kdy předčasné vznícení nebo výbuch energetického materiálu by se mohly z pohledu bezpečnosti tolerovat. Porucha výbušniny je samozřejmě z hlediska bezpečnosti a může splňovat pouze požadavky na neporušenost vodotěsnosti. Avšak bezpečnost by měla zahrnovat i události druhého řádu, jako jsou například unikání paliva, nestability elektrických pojistek, radioaktivní únik nebo jakákoli událost, která by mohla mít vliv na schopnost lodi splnit rázová konstrukční kritéria.

Kromě toho po jevu podvodního výbuchu musí stále trvat způsobilost pro bezpečnou manipulaci, údržbu nebo likvidaci materiálu. Narůstající rázové úrovně mohou být spojené s klesající provozní výkonností a spolehlivostí. To zavádí termín „bezpečné úrovně“ spojené s mechanismem/mechanizmy poruch a přímo se vztahující ke kategorii bezpečnostního případu požadované v hodnocení podvodních výbuchů. Klíčová kritéria, která je třeba definovat pomocí procesu hodnocení podvodních výbuchů, je určení, zda je materiál bezpečný nebo provozuschopný v požadovaných úrovních (I, II nebo III) – podle pořadí „bojovat“, „pohybovat se“ a „plout“.

18.B.2 ÚVAHY O PROSTŘEDÍ

Zahrnuje hodnocení podvodních výbuchů přepravu komerčními loděmi?

- a) Jak je materiál balen?
- b) Jak je materiál chráněn?
- c) Jak je materiál zavěšován a nakládán?
- d) Jakým jevům bude materiál vystaven během nakládky a skladování?
- e) Kde je materiál uložen?
- f) Je materiál uložen na palubě nebo v podpalubí?
- g) Je materiál v kontejneru?
- h) Existuje nějaký druh dynamické izolace? (Pružná upevnění, pružná zařízení se stálou silou, deformovatelné materiály, poddajné konstrukce atd.)
- i) Může se materiál stát mechanickou střelou?
- j) Může materiál vytvářet rizika pro lidi a zařízení nebo provozní nebezpečí?
- k) Jaký je prostor pro volný pohyb a prostor pro houpavý pohyb?
- l) Jaká je prostorová obálka spojená s místem uložení materiálu?
- m) Mohou mít vnější mechanická tělesa jako následek podvodního výbuchu vliv na materiál?

Zahrnuje hodnocení podvodních výbuchů uskladnění ve skladišti vojenské námořní lodi?

- a) Jaké je skladovací zařízení a uspořádání?
- b) Kde a jak bude materiál uložen?
- c) Kde bude materiál skladován? – (Poblíž trupu, na palubě, na sedadle, nad nebo pod čárou ponoru atd.).
- d) Jaká konstrukce je mezi vlhkým trupem a místem skladování?
- e) Jaká je přenosová cesta rázového zatížení?
- f) Jaký je prostor pro volný pohyb a prostor pro houpavý pohyb? Tj. jaká je prostorová obálka spojená s místem uložení materiálu?
- g) Existuje nějaký druh dynamické izolace? (Pružná upevnění, pružná zařízení se stálou silou, deformovatelné materiály, poddajné konstrukce atd.)
- h) Může se materiál stát mechanickou střelou? Pokud ne, jak je materiál upevněn?
- i) Jestliže je materiál upevněn, může samo upevnění při vysokém zpomalení způsobit poškození?
- j) Může materiál ohrožovat jiný materiál, sám sebe nebo osoby? Také nárazem, nebezpečím magnetického rozptylu a elektrického proudu vyvolaným poruchou.
- k) Má hodnocení podvodních výbuchů zahrnovat provozní nasazení – Vojenské námořní loď (připravené k použití v prostředí odpalovacích zařízení)?
- l) Je materiál umístěn na trupu, na palubě, na horní nebo dolní palubě?
- m) Existuje nějaká izolace mezi odpalovacím zařízením a konstrukcí lodi?
- n) V jaké osově poloze je materiál na lodi umístěn?

Příloha 18B

(normativní)

- o) Jaké jsou hraniční podmínky, pokud jde o konstrukční dynamiku odpalovacího zařízení?
- p) Může nějaká část konstrukce odpalovacího zařízení zasahovat do prostorové obálky okrajů materiálu (deformování atd.)?
- q) Jak je materiál upevněn? Je to pouze zemská přitažlivost, vzájemné působení nebo jiný fyzikální zadržovací systém?
- r) Je potřebné materiál případ od případu posuzovat?

18.B.3 MOŽNÉ ZPŮSOBY PORUCH

Jaké jsou možné způsoby poruch materiálu?

- a) výbuch;
- b) explozivní hoření, pomalé hoření;
- c) únava materiálu, především ve svarech k základnímu kovu;
- d) trhlina;
- e) plastické zborcení;
- f) vznik netěsnosti;
- g) nestabilita a deformace;
- h) porucha z výchozích vad;
- i) řídicí a funkční omezení, jako jsou meze posunu;
- j) kombinované způsoby poruch;
- k) kolize a příslušná prostorová obálka.

18.B.3.1 Krok 2A Mechanizmy a síly buzení

Jaký mechanismus buzení je myslitelný?

Je důležité uvážit, že jakákoli kombinace mechanismů vnímatelného buzení, i když potenciálně poškozuje samotný materiál, bude také mít potenciál vytvořit z materiálu střelu. Upevnění materiálu je prvořadý požadavek.

Odvozeno z některého z mechanismů buzení a vnějších sil by materiál mohl narazit do jiného materiálu nebo být vystaven nárazu jiným samostatným materiálem. Také může materiál ještě zůstat upevněný v pružném uložení, ale mohl by překročit svůj povolený prostor pro houpavý pohyb a narazit do jiné konstrukce nebo materiálu.

„Bičování“ závisí na geometrii působení a na geometrii a dynamické charakteristice cíle. Dlouhá štíhlá loď bývá obecně vystavena „bičování“; krátké vyloďovací plavidlo bývá vystaveno silným sinusovým pohybům tuhého tělesa. Obecně existuje více případů, kdy buzení vzniklé pohyby při „bičování“ je důležité než případů, kdy neexistuje.

Hydrostatické tlakové předpětí může být důležitým problémem v případě hodnocení ponorek. Obecná dynamická buzení podvodních výbuchů jsou následující:

- a) ráz;
- b) „bičování“;
- c) akustické vlny, kapalino-akustická vazba, akustické rázové vlny;
- d) kapalinové jevy – zatížení z proudění bublin (nestlačitelný tok tekutin), kavitace;

- e) mechanický přenos;
- f) diferenciální hydrostatický tlak;
- g) nárazy způsobené pádem, výbušnými střelami, kolizí, ztrátou upevnění atd.;
- h) přechodové tlaky.

Jaké jsou charakteristiky těchto možných mechanismů buzení?

- a) ustálený stav, přechodové nebo náhodné;
- b) přechodové – akustické;
- c) přechodové – bubliny;
- d) frekvenční rozsah, širokopásmové, úzkopásmové;
- e) amplitudové a časové rozdělení, tj. maximální impulzní hodnota a fázování;
- f) prostorová korelace, jednotné rozložení, bodová zatížení.

Při zvažování charakteristik možných mechanismů buzení se doporučuje zaměřit se na následující:

- druh výbušniny, hloubka výbuchu, velikost bojové hlavice a úhel dopadu;
- rázový faktor pro útočnou zbraň;
- vrcholový přetlak, doba trvání impulzu a amplituda.

Rázový faktor, který se dá vyjádřit jako přímý trupový rázový faktor, kýlový rázový faktor nebo úhlový rázový faktor, se vztahuje k energetické hustotě toku. Vstupní rázové zatížení se může definovat z těchto pohledů.

Rázový faktor →	Parametrický zlomek →	Schéma rázové směrné křivky
Výbušná charakteristika vztahující se k energetické hustotě toku z případu podvodního výbuchu	Schéma rázové směrné křivky vztahující se k danému místu a známé vstupní úrovni. Parametrický zlomek je modelová konstanta k popisu informace o jiných rázových faktorech	Schéma rázové směrné křivky může dodávat: – zrychlení – rychlost – posun

Jak se buzení mění s provozními proměnnými?

- hloubka;
- čas;
- místo působení: složka nebo cíl buzení;
- úhel dopadu.

Jaká je pravděpodobná přesnost výše uvedených odhadů budících sil?

Odhad sil je založen na dobře zavedených a ověřených postupech a dále buď na empirických rovnicích, nebo na Schématu rázové směrné křivky. Schéma rázové směrné křivky je destilací velmi obsáhlé databáze dynamických odezev lodí a ponorek na případy podvodních výbuchů.

Příloha 18B
(normativní)

- Jsou založeny na přímých měřeních lokalizovaných na konstrukci nebo součásti?
- Pokud ano, byla měření prováděna pro každé potenciální buzení v nejhorších možných podmínkách?
- Jestliže jsou založeny na empirických vzorcích, může se použití vzorců odůvodnit?
- Jestliže jsou založeny na teoretických analýzách, jak byla ověřena platnost teoretického modelu?

18.B.3.2 Krok 2B Dynamické vlastnosti součástí

Jsou dynamické hmotné vlastnosti pro materiál, balení a pro konstrukci upevnění dostupné?

- Kosmické slitiny, pružné instalace, těsnění atd.
- Pokud nejsou informace dostupné, kde se dají získat?
- Je nezbytné zkoušení – modální, rázové a statické vlastnosti, pevnost v tahu, Charpyho křivka atd.?
- Jsou dostupné informace o vzájemném propojení součástí?
- Bude vzájemné propojení ovlivňovat dynamické chování materiálu nebo zařízení, tj. tření přes šroubové spoje?
- Jaké zkušební údaje jsou dostupné k umožnění ověření modelu konečných prvků nebo jiných modelů?

Pokrývají dostupná provozní měření celou šíři možných veličin?

- sílu, čas, zrychlení a amplitudu;
- kmitočet;
- odchylky ve vlastnostech mezi nominálně shodnými součástmi (pružné instalace a vzájemná propojení).

Jaké jsou hraniční podmínky pro součásti spadající do hodnocení?

- Izolované od jiných konstrukcí (volné, instalované pevně nebo s tlumením).
- Pevně spojené s jinými konstrukcemi, které nejsou dynamicky výrazně ovlivněny součástí.
- Pevně spojené s jinými konstrukcemi, vzájemně na sebe působící.
- Zabírá materiál významnou osovou délku? (protože rázové zatížení distribuovaného systému bude fázové) Toto je důležité jak osově, tak napříč lodi.

Je rozumné předpokládat v pásmu budicí síly lineární chování?

- Pro nízká rázová zatížení se lineární soustava dá použít. Ale nad prahovou hodnotu rázového faktoru se bude vyžadovat nelineární hodnocení.
- Pro nelineární instalační zařízení není zpracování instalace jako lineárního izolátoru přiměřené.

Mohl by materiál mít v kmitočtovém pásmu buzení rezonanční kmitočty?

- Vyšší frekvenční režimy materiálu se mohou vybudit v závislosti na rezonanční charakteristice.
- Nízkofrekvenční instalační zařízení mohou být citlivá na nízkofrekvenční vstupy charakteru „bičování“.

Je modální hustota dostatečně velká, aby se dala použít statistická analýza, nebo se vyžadují zvláštní modální vlastnosti?

Obecně bude mít význam pouze prvních deset vlastních tvarů materiálové konstrukce. Tato hranice se může pokládat za přínos, co se týká modelu konečných prvků a jeho ověření, protože přesně potvrdit režimy vyšších řádů je obtížné.

Jsou rezonanční kmitočty součástí v porovnání s dobou trvání impulzu pro přechodová buzení vysoké, takže pseudostatické výpočty jsou dostačující a modální vlastnosti nejsou nutné?

- Jestliže je použit postup Schématu rázové směrné křivky, hodnotí se pouze chování tuhého tělesa bez vysokofrekvenčních složek. Avšak pro pružné konstrukce se doporučuje vybuzovat vysokofrekvenční režimy. Vzájemné působení mezi součástmi potom vyžaduje zhodnocení. Je to důležitý faktor při stanovování potřeby přizpůsobeného zkoušení.
- Pseudostatický postup má tendenci vést ke konstrukčním silám, které jsou konzervativní a mají za následek určitý stupeň pesimismu. Z toho důvodu se doporučuje pseudostatickou analýzu zpracovávat s opatrností. Ale tento postup se často užívá za absence dynamické analýzy a může vést k netypickým odezvám. Přizpůsobené hodnocení využívající modelování a zkoušky by se mělo použít vždy, když je to možné.

Jaké jsou vlastní tvary, platné režimy a odhadované (modální nebo zprůměrované) hodnoty útlumu?

- Základní režim odezvy.
- Impulzní charakteristika.
- Mechanické tlumení.
- Hydraulické tlumení.
- Akustické elektromagnetické tlumení.
- Jsou zdroje tlumení soustředěné nebo rozdělené?

Jak se budou výše uvedené dynamické parametry měnit podle faktorů prostředí spojených s provozem? Včetně:

Rázové hodnocení se v první řadě týká velkého pohybu, kde jemnosti jako teplota jsou až druhého řádu. Předpětí však může mít výrazný vliv při zvažování pružných izolátorů.

- teplota;
- změny předpětí v podpěrách.

Příloha 18B
(normativní)

Změny v charakteristice mezi jmenovitě shodnými součástkami jsou pravděpodobné. Dá se potenciální oblast rozptylu odhadnout?

Ve většině případů není možné odhadnout oblast rozptylu charakteristiky dynamické odezvy. Formální konstrukce a výrobní standard jsou obecně stálé a jsou osvojené. Existuje mnohem více aproximací ovlivňujících hodnocení než uvažování oblasti jmenovitého rozptylu v charakteristice dynamických vlastností materiálu, např. přenosové cesty zatížení kapalina–trup a konstrukce se mohou zpracovat pouze přibližně.

Jaká je odhadovaná přesnost kmitočtů, úrovně tlumení a vlastních tvarů?

- Jsou založeny na odpovídajících měřeních na skutečných součástech?
- Jestliže jsou teoretické, jakou mají jistotu v souvislosti se získaným modelem?
- Jestliže jsou empirické, jsou data/vzorci použitelné na tyto součásti v tomto prostředí?

18.B.3.3 Krok 2C Stanovení dynamické odezvy

Jsou měření odezvy ve správných podmínkách prostředí dosažitelná?

- Pokrývají všechna buzení určená výše?
- Jsou prováděna v těch nejobtížnějších podmínkách?
- Soulad konstrukčních a budicích kmitočtů pro většinu lehce tlumených režimů.
- Nejvyšší vazba, pokud jde o prostorovou shodu.
- Předpoklady potřebné k podpoře začátku nestabilit.
- Okolnosti rázu spojeného s největšími silami.

Dají se odezvy odhadnout extrapolací omezených měření, provedených na podobných konstrukcích nebo materiálu?

- Jak byla extrapolace zdůvodněna?
- Jaké jsou hlavní parametry, na které je odezva citlivá?
- Jaká je pravděpodobná přesnost odhadnuté odezvy?

Toto je základ pro Schéma rázové směrné křivky, která je omezená na kompaktní, tuhý materiál. Následující otázky pomohou při určování, zda se materiál může považovat za tuhý.

- Jaký je štíhlostní poměr materiálu nebo hromadného materiálu?
- Je materiál vyztužen jednotlivě nebo hromadně?
- Může být jednotlivý materiál pro použití demontován?
- Je materiál nebo souprava materiálu pružné, vícemodální konstrukce nebo je tuhý a kompaktní?
- Příklady typického materiálu nebo souprav materiálu, které jsou tuhé a kompaktní, jsou granáty, hlubinné nálože, kazeta nesených granátů Blow Pipe, Sea Wolf.
- Ty, které se mohou považovat za pružné nebo rozdělené, zahrnují střely Tomahawk, torpéda a letecké zbraně.

Jestliže nejsou k dispozici žádná přímá měření odezvy, jaké teoretické odhady je možné provést pro každou příslušnou budicí sílu?

To se používá pouze u přizpůsobených hodnocení výše popsaného pružného materiálu. Pro odhadování zatížení námořních konstrukcí vlivem podvodních výbuchů existují uznávané, schválené a ověřené postupy. Schéma rázové směrné křivky se může využít pro omezené konstrukční modely celkové hmotnosti nebo jako vstupy tam, kde se má za to, že výpočet interakce kapalina–konstrukce se nepožaduje.

Jak citlivá je odezva na známé mechanické a budicí proměnné?

Schéma rázové směrné křivky je poměrně necitlivé na mechanické změny, z největší části pro schopnost hrubého modelování. Přizpůsobené hodnocení může brát v úvahu konstrukční geometrii materiálu, čímž se zajistí citlivější hodnocení.

18.B.3.4 Krok 2D Hodnocení mechanické integrity

18.B.3.4.1 Jednoduchý materiál – Schéma rázové směrné křivky nebo zkušební postup

Pro prostý materiál je vhodný takový program zkoušek, který pokrývá ty nejobtížnější podmínky.

Jsou pro nejobtížnější podmínky dostupné údaje o životnosti součástí nebo o poruchách?

- Jsou výsledky statisticky významné?
- Mají všechny parametry, které výrazně ovlivňují dynamickou odezvu nebo odolnost proti poruchám, pesimistické hodnoty?

Při výpočtu životnosti nebo pravděpodobnosti poruchy, jak citlivý je výsledek na použitý parametr dynamické pevnosti?

- Jaká je míra bezpečnosti u přípustné dynamické odezvy?

Schéma rázové směrné křivky je necitlivé na použité dynamické a pevnostní parametry a z toho důvodu je obtížné indikovat rozsah parametrů. Je velmi obtížné náležitě stanovit míru bezpečnosti s využitím Schématu rázové směrné křivky. Aproximace pro „bičování“ je obsažena v 1 987 schématech rázové směrné křivky, ale jejich přesnost může být zpochybněna, protože „bičování“ je prostě zaokrouhlené započtením nízkofrekvenčního sinusového zbytkového prvku na konec určeného impulzu. Ve skutečnosti bude mít odezva „bičování“ specifickou bázi.

Jsou výsledky tohoto hodnocení přijatelné, pokud jde o způsobilost součástí splnit předepsané úkoly?

- Pokud ne, je to proto, že části hodnocení jsou příliš konzervativní? Pokud ano, zahájí se podrobná analýza těchto částí v Etapě 2 analýzy.
- Pokud ne, jaké jsou základní možnosti zlepšení integrity, definované v hodnocení a studiích citlivosti?
- Určí se nejpravděpodobnější varianty zlepšení novým zahájením na otázce 1.

Příloha 18B
(normativní)

Jak Schéma rázové směrné křivky, tak přizpůsobené hodnocení využívající komplexní numerické metody nebudou definovat kritéria poruch materiálu. Jestliže jsou kritéria poruch založena na konstrukčním poškození, jsou tyto metody dobře postavené k realizaci tam, kde nebude žádná jednoduchá analýza. Směrné křivky postačují ke stanovení úrovní zrychlení a přibližné dynamické odezvy pro jednoduchý materiál. To se může potom vztahovat ke zkušebním úrovním pro přežití nebo zničení (tj. předpokládá se 30 g po dobu 10 ms) a historická data spojená s poruchami a přežitím zbraní použita pro srovnávací účely. Přizpůsobené hodnocení a zkušební postupy mohou poskytnout setrvačné zatížení a konstrukční chování v materiálu a kolem materiálu, z nichž se může stanovit hodnocení způsobů poruch a pravděpodobnosti výbuchu.

18.B.3.4.2 Složitý materiál – Schéma rázové směrné křivky nebo zkušební postup

Přidaná komplexnost analytických metod k prozkoumání dynamického chování složitěho materiálu dovoluje hodnotit citlivost výsledků na dynamické a pevnostní parametry. To umožňuje přezkoumat řadu otázek typu „co kdyby“. Ale tento přístup může být nákladný a bude vyžadována analýza nákladové efektivnosti.

Jsou pro nejobtížnější podmínky dostupné údaje o životnosti součástí nebo o poruchách?

- Jsou výsledky statisticky významné?
- Mají všechny parametry, které výrazně ovlivňují dynamickou odezvu nebo odolnost proti poruchám, pesimistické hodnoty?

Při výpočtu životnosti nebo pravděpodobnosti poruchy, jak citlivý je výsledek na použitý parametr dynamické pevnosti?

- Jaká je míra bezpečnosti u přípustné dynamické odezvy?

Jsou výsledky tohoto hodnocení přijatelné, pokud jde o způsobilost součástí splnit předepsané úkoly?

- Pokud ne, je to proto, že části hodnocení jsou příliš konzervativní? Pokud ano, zahájí se podrobnou analýzu těchto částí v Etapě 2 procesu.
- Pokud ne, jaké jsou základní možnosti zlepšení integrity, definované v hodnocení a studiích citlivosti?
- Určí se nejpravděpodobnější varianty zlepšení novým zahájením na otázce 1.

18.B.4 KRITÉRIA PORUCH

Jaké údaje jsou potřebné pro odvození kritérií poruch?

- materiálové údaje;
- geometrické údaje;
- údaje o prostředí;
- upevnění.

Jaká kritéria poruch se dají odvodit z dostupných dat, včetně zkušeností z provozu součástí?

- Jaká je přibližná pravděpodobnost poruchy spojená s těmito kritérii?
- Existují nejistoty, které by mohly učinit kritéria poruch optimistickými?

Příloha 18B
(normativní)

Rázové hodnocení usiluje o modelování dynamického chování objemných částí lodě a předpovídání jejich dynamických odezev na komplexní přechodové vstupy. Materiál s pružnou konstrukcí bude také vyžadovat v některých detailech modelování. Úroveň znalostí pro dosažení požadovaného cíle je značná a analýzy jsou komplexní, ne povrchní a neměly by se zaměřovat se statickým modelováním. Úrovně řízení, které se musí realizovat, aby řídily analýzu a minimalizovaly možnosti chyb a nejistot, jsou vysoké. Záměrem hodnocení podvodních výbuchů proto musí být propracovat dosah až k režimu nejhoršího případu, pokud jde o hodnocení bezpečnosti, provozuschopnosti a ovlivnění kvalifikačních zkušebních programů.

18.B.5 PŘEZKOUMÁNÍ A OVĚŘOVÁNÍ HODNOCENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

- Je získání zkušebních dat ekonomicky rentabilní?
- Je politicky přijatelné získat zkušební data?
- Je možné u materiálu riskovat zničení?
- Může být zkušební program ovlivněn modelováním s tím, že pouze poskytuje minimální údaje k dosažení ověřených výsledků? Mohou se zkoumat i případy největších zatížení.
- Jsou data odvozená ze skutečného materiálu k dispozici nebo jsou dostupná pouze data o fiktivním materiálu?
- V jakém případě, jaká metoda a kritéria se mají použít k rozhodnutí, zda je výbuch možný?

Příloha 18C
(normativní)

ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ S POUŽITÍM METOD SRS

18.C.1 PROSTŘEDÍ A HISTORICKÝ POHLED

Laboratorní zkoušení podvodních výbuchů se tradičně provádělo s využitím mechanických rázových zkušebních zařízení ve spojení se zkušebními standardy jako například USA MIL-DTL-901. Tento postup se opírá o aplikaci rázových úrovní dolního uložení na dynamicky poměrně neaktivní materiál. Pro zkoušení vlivu podvodních výbuchů na skutečném výbušném materiálu se obecně využívají různé metody simulace rázu pádovou zkouškou. Nástup zdokonalených komplexních rázových řídicích systémů ve spojení s vysokovýkonnými budiči s velkou výchylkou pro vibrační zkušební zařízení umožnil uvažovat o použití metod spektra rázových odezev (SRS) pro zkoušení vlivu podvodních výbuchů na inertní a skutečný materiál. Tato rázová zkušební metoda je neúčinnější tam, kde jde o dynamicky složitý materiál a časový průběh vstupních dat pro horní protirázové uložení je k dispozici nebo se dá odvodit. Obecně jsou metodiky SRS postaveny na definici zkušební náročnosti SRS z v provozu měřeného časového průběhu zrychlení. Pokud je to nezbytné, může se pro stanovení časového průběhu a přidruženého SRS pro horní uložení požadovat dynamický model konečných prvků. Definované vstupní SRS je potom aplikováno vysokovýkonným vibračním zařízením na vhodně upevněný zkoušený předmět.

Pokud má materiál nižší než střední hmotnost, mohou se někdy použít přímo metody SRS s měřeními z dolního uložení, protože úrovně vstupních vrcholových zrychlení mohou významně narůstat až na hodnoty stanovené ve směrných křivkách. Avšak pro materiál s vyšší hmotností je nezbytné ještě před zpracováním stanovit dynamickou odezvu horního uložení materiálu. Využití modelování ve spojení s metodikou SRS je výhodné, protože to potenciálně redukuje celkové požadavky na zkoušení tím, že určuje nejhorší případy a zajišťuje vhodnější a technicky kvalitní rázovou zkušební metodu, která věrně simuluje běžně předpokládané provozní podmínky.

18.C.2 APLIKACE POSTUPŮ SRS PŘI ZKOUŠENÍ PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

Klíčové kroky při aplikování metod SRS na zkoušení vlivu podvodních výbuchů na materiál jsou uvedeny na obrázku 18.C.1. Vymezený postup předpokládá, že charakteristika zkoušeného předmětu, provozní profil prostředí životního cyklu, obálka funkčních charakteristik zkušebního zařízení a možnosti datové analýzy jsou známy.

Definování vlastností materiálu a zkušebních parametrů.

1. Určit hmotnost materiálu a jeho fyzikální vlastnosti.
2. Stanovit druh podpěrné konstrukce, upevnění a uspořádání při uložení.
3. Stanovit dynamické vlastnosti materiálu a (je-li to možné) jeho obalu.
4. Definovat úroveň funkční schopnosti po podvodním výbuchu.
5. Určit časový průběh rázového vstupu dolního uložení.
6. Rozhodnout, zda elektrodynamický budič má výkon dostačující k aplikaci určeného časového průběhu rázů dolního uložení bez pomoci modelování konečných prvků horního uložení. Pokud ano, pokračovat krokem 7, pak

Příloha 18C
(normativní)

přeskočit na krok 12. Pokud ne, pokračovat krokem 7 a provést pomocné kroky.

Odezva horního izolačního uložení a okolnosti modelování.

7. Stanovit časový průběh rázové odezvy pro horní uložení materiálu. Provedením laboratorní zkoušky výkonnosti budiče nebo modelováním v dále uvedených krocích.
8. S využitím nelineárního modelu konečných prvků namodelovat nosnou konstrukci, upevnění, obal a materiál a stanovit dynamické chování soustavy.
9. Namodelovat rázový vstup do nosné konstrukce.
10. Vypočítat nejhorší případ dynamické odezvy horního uložení materiálu pro různé varianty podvodního výbuchu.
11. Vypočítat nejhorší případ SRS v zájmovém bodu.

Definování a přezkoumání laboratorních zkoušek.

12. Vytvořit typický rázový zkušební upevňovací přípravek; přitom vzít v úvahu hmotnost, setrvačnost, rázová a výkonová omezení elektrodynamického budiče pro laboratorní zkoušení.
13. Zpracovat směrnici pro zkoušku podvodního výbuchu. Pro odvození časového průběhu ekvivalentních rázových vstupů skládající se z řady tlumených sinusoid se použije vypočtené SRS. To obsahuje přeměnu časové historie rázu do SRS, které je rozdělené na vícenásobné fázově tlumené sinusoidy. Pak se definuje přenosová funkce z budiče na zkoušený předmět. Aplikovat předepsaný rázový impuls, pokud jde o tlumené sinusoidy do budiče zkušebního zařízení a do materiálu, aby se dosáhlo provozního rázu. Časový průběh rázové odezvy materiálu je potom pro účely ověření platnosti porovnán s časovým průběhem provozního rázu.
14. Pro vyhodnocení dynamického chování zkušebního zařízení a zkoušeného předmětu se vykoná předběžná zkouška; určí se optimální zkušební řídicí bod/body a potvrdí se, že směrnice pro zkoušku se dá přiměřeně splnit. Porovná se časový průběh zkušební rázové odezvy s časovým průběhem provozní rázové odezvy, stejně jako se SRS.
15. Provést zkoušení vlivu podvodních výbuchů na skutečný materiál.

18.C.3 INFORMAČNÍ POŽADAVKY PRO ZKOUŠENÍ SRS

18.C.3.1 Úvodní pokyny

- Časový průběh rázové odezvy a jeho SRS získaný buď z dat naměřených při provozu, nebo z modelování se využívá jako základ pro směrnici pro rázovou zkoušku. Směrnice pro zkoušku bude zpracována pro kmitočtový rozsah, který potenciálně ovlivňuje zájmové způsoby poruch.
- Doba trvání časového průběhu rázové odezvy by se měla stanovit přiměřeně tak, aby umožnila popis nízkofrekvenčního SRS, jmenovitě 5 Hz až 10 Hz. Tato nízkofrekvenční hranice musí být souhlasná s rezonancemi upevnění, s výkonností budiče zkušebního zařízení a s potřebou řízení.
- Doporučuje se uvažovat spektra rázové odezvy v různých úrovních útlumu vhodných pro materiál, který se má rázově zkoušet, jako například $Q = 1 \%$, 5% , 10% a 15% podle požadavků.

Příloha 18C
(normativní)

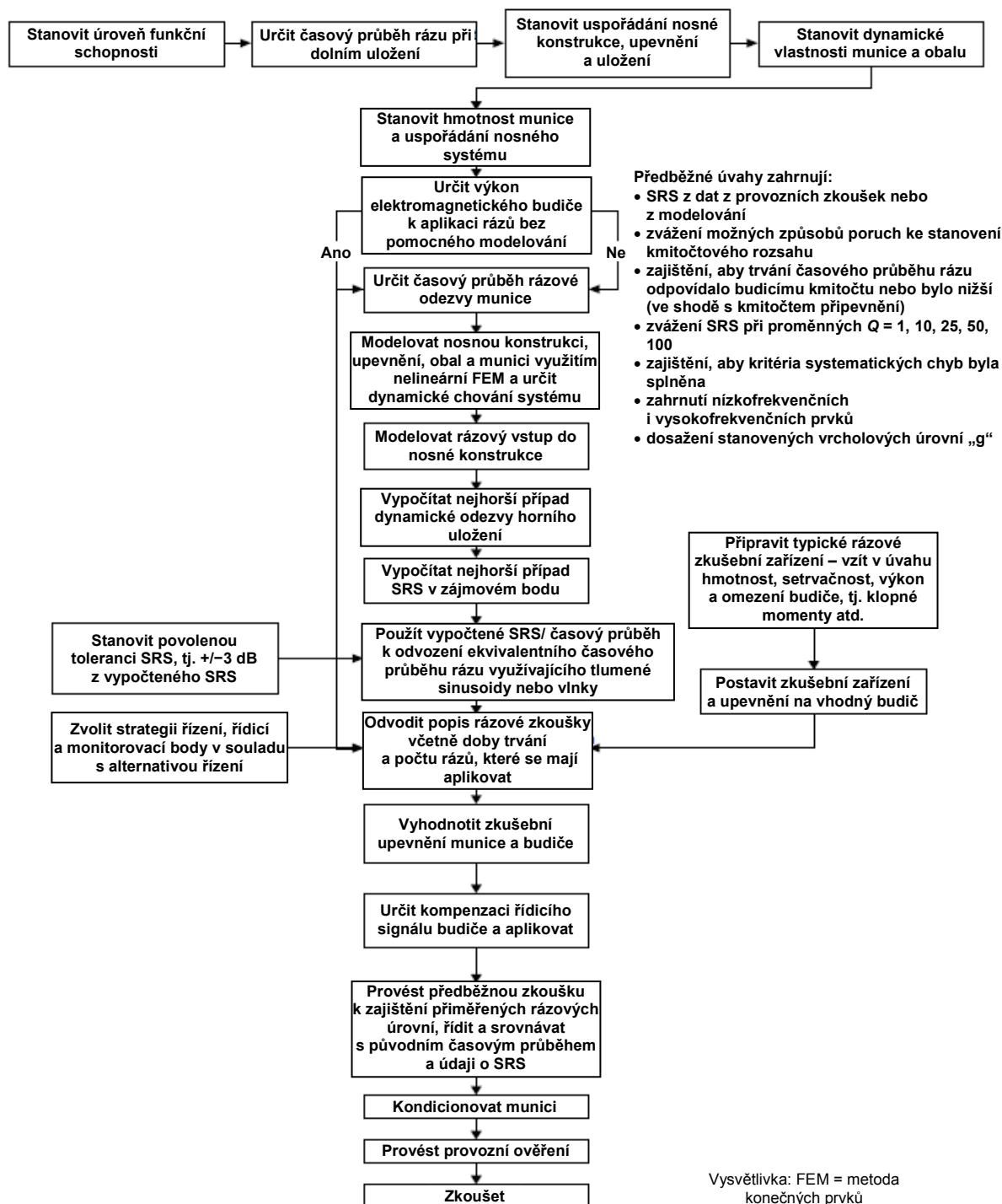
- Zajistí se, aby se do popisu zkušební SRS zahrnuly jak nízkofrekvenční, tak vysokofrekvenční prvky. Data filtrovaná dolní propustí se mohou použít pro vysvětlení časového průběhu, ale obecně by se neměla používat, jestliže se analyzuje SRS bez plného pochopení závažnosti z hlediska možného poškození.
- Je nezbytné zajistit, aby kritéria systematických chyb byla splněna.
- Musí se zjistit úroveň vrcholového zrychlení, která se má simulovat během laboratorní zkoušky, hmotnost materiálu a budiče zkušebního zařízení. Tyto informace se využijí k potvrzení, že zkušební zařízení je schopné rázovou zkoušku náležitě uskutečnit až do zkušebních úrovní plného zrychlení.
- Je nezbytné stanovit řídicí limity zkušební SRS na úroveň 3 dB.
- Počet a úroveň předběžných rázů k docílení náležitého řízení se musí stanovit a vzít v úvahu ve Směrnici pro zkoušku SRS.

18.C.3.2 Upřesnění rázové zkoušky

Směrnice pro rázovou zkoušku bude mít podobu časového průběhu rázového impulzu skládajícího se z řady tlumených sinusoid (kmitočet, amplituda zrychlení, útlum v %, prodleva v % a polarita). Tento časový průběh se odvodí z určeného SRS a z časového průběhu rázové odezvy s využitím stanoveného rozsahu tlumení a kmitočtů.

18.C.3.3 Návrh upevňovacích přípravků

- Pokud je to možné, měly by se provozní součásti materiálu používat ve zkušebních upevňovacích přípravcích. Kde se používá obal, musí se obal upevnit k rozpínacímu zařízení budiče a ke konstrukci podkladové desky s využitím provozního uspořádání.
- Pokud je to možné, je potřebné zabránit nelineárním spojům a rozhraním. Nelineární vlivy se mohou objevit pouze při aplikaci rázového impulzu mezní úrovně a nemají se zahrnovat do hodnocení přenosové funkce systému.
- Pokud je to možné, doporučuje se dodržet symetrii upevnění kolem osy budiče kmitů, aby se zabránilo klopným momentům, výrazným konstrukčním převisům a nechtěným rotačním setrvačným jevům.
- Doporučuje se zabránit zavádění podélných rázových prvků.



OBRÁZEK 18.C.1 – Klíčové kroky při SRS zkoušení vlivu podvodních výbuchů na materiál

Příloha 18C
(normativní)

18.C.3.4 Přístrojové vybavení pro řízení rázové zkoušky

- Pro účely řízení je nezbytné použít měřiče zrychlení nainstalované ve směru rázu.
- Tam, kde je to možné, doporučuje se použít pro zjišťování příčných rázových složek tříosé měřiče zrychlení.
- Tam, kde je to možné, doporučuje se použít pro monitorování konstrukční odezvy materiálu v klíčových zájmových bodech tříosé měřiče zrychlení.
- Kde se používá obal, tam je nezbytné vybavit materiál i obal přístroji tak, aby se zjistila jakákoli dynamická zvětšení napříč upevněním po celém zájmovém kmitočtovém rozsahu.

18.C.3.5 Předběžné zkoušení

Během předběžného zkoušení je nutné:

- potvrdit konstrukční integritu upevnění a zkušebního zařízení;
- stanovit optimální řídicí parametry a strategii;
- vyhodnotit dynamické chování upevnění;
- zjistit, jestli je možné dosáhnout při plné zkušební úrovni určený rázový vstup;
- zjistit, jestli zkušební zařízení a regulátor jsou schopné řízení při plné zkušební úrovni;
- prokázat, že SRS ze Směrnice pro zkoušku lze dosáhnout s limity ± 3 dB;
- prokázat kalibraci přístrojů a jejich úplnost;
- zvolit řídicí bod/body na desce budiče nebo na konstrukci materiálu;
- stanovit charakteristiku dynamické odezvy zkušebního upevnění a řídicího systému z hlediska přenosové funkce. Toho se dosáhne vystavením konstrukce náhodným buzením, měřením odezvy v řídicím bodu a analýzou přes kmitočtový rozsah SRS. Výsledná přenosová funkce se pak využije k vytvoření řídicího signálu budiče tak, aby se dosáhl požadovaný rázový impulz. Je třeba poznamenat, že náhodné buzení nízké úrovně obecně nebude odhalovat nelineární jevy u upevnění a materiálu;
- aplikovat rázový impulz na konstrukci ve snížené úrovni, jmenovitě -12 dB, a opakovat ho nejméně třikrát až k dosažení střední hodnoty. Opakovat tento postup při -9 dB, -6 dB a -3 dB předtím, než se půjde na plnou úroveň. Počet středních hodnot bude záviset na upevnění, konstrukci a aplikovaném SRS. Pozvolné přibližování k plné zkušební úrovni je nezbytné, aby se stanovily optimální řídicí parametry a vzaly v úvahu nelineární jevy;
- ověřit nejvhodnější umístění řídicího bodu / řídicích bodů;
- porovnat jak časový průběh odezvy, tak SRS s těmi, co jsou vymezeny v řídicím bodu a v příslušných bodech na konstrukci materiálu. To ověří popis zkušebního rázového vstupu;
- jestliže výsledky ukazují, že určený rázový impulz nelze náležitě dosáhnout, bude žádoucí zvážit následující:
 - alternativní zkušební řídicí místa;

Příloha 18C
(normativní)

- snížení nebo znovurozdělení hmotnosti upínacích přípravků a zkušebního zařízení;
- použití jiných úrovní útlumu pro výpočet SRS;
- fázování a útlum tlumených sinusoid použitých k vytvoření vstupního rázového impulzu;
- použití zkušebního zařízení s vyšším výkonem;
- zlepšení schopností řídicího systému;
- strategie vícenásobného rázu;
- uvolnění tolerančních mezí řízení.

18.C.3.6 Program zkoušek skutečných předmětů

Při provádění zkoušek skutečných předmětů je nezbytné brát ohled na následující:

- potvrdit řídicí funkci transferu odvozenou během předběžné zkoušky;
- ověřit výsledky předběžné zkoušky, časových průběhů rázové odezvy a SRS v nízkých úrovních s použitím skutečného materiálu před provedením celého programu zkoušek se skutečným předmětem;
- potvrdit podobnost mezi časovým průběhem vstupu a časovým průběhem provozního případu podvodního výbuchu;
- zahrnout do programu zkoušek skutečných předmětů strategii potřeby aplikace vícenásobných rázů snížené úrovně pro stanovení řídicích parametrů.

Příloha 18D
(normativní)

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY PODVODNÍCH VÝBUCHŮ

18.D.1 PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

Cílem rázových zkoušek podvodních výbuchů je vyvolat ve zkoušeném předmětu odezvu, která co nejdříve odpovídá předpokládané odezvě provozního materiálu během bezkontaktního podvodního výbuchu pro stanovené případy ohrožení. Rázová zkouška jednotlivého inertního materiálu se může provádět s využitím funkční lodi, platformy nákladního člunu, vibračního zkušebního zařízení, pádového zařízení nebo rázového stroje, které odpovídají v rámci výchyly, amplitudy a kmitočtových mezí zařízení. Rázové zkoušení skutečného výbušného materiálu je v současné době často omezeno na širý oceán nebo na zkoušení na nákladním člunu, což je způsobeno zájmy ochrany životního prostředí. Výběr zařízení závisí na rozměrech zkoušeného předmětu, jeho hmotnosti, úrovni rázového buzení a na požadavcích Směrnice pro zkoušku. Objemné nebo těžké zkoušené předměty mohou vyžadovat zkoušení součástí nebo podsestav. V některých případech může být zkoušení na provozní lodi v plném rozsahu jedinou alternativou v důsledku fyzikálních vlastností zkoušeného předmětu nebo montážního uspořádání.

18.D.1.1 Ráz na provozní lodi

Použití zkoušky na provozní lodi v plném nebo částečném rozsahu je typicky nejrealističtější zkušební metoda; ale provedení takových zkoušek je také nákladné. Výhodou zkoušení na provozní lodi je to, že se může provádět současně zkoušení několika předmětů ve skutečném provozním uspořádání. Zkoušky také umožňují sběr měřených technických dat pro následné laboratorní nebo experimentální zkoušení a modelové ověřování. Obecně zkoušky na provozní lodi vyžadují vyšší úroveň posuzování a financování, ale přínosy založené na potřebách zkušebního programu mohou být oprávněné. Tyto úplné nebo zkrácené lodní zkoušky se mohou provádět pouze, pokud je loď mimo fázi výroby, což může nepříznivě ovlivnit včasnost projektu.

18.D.1.2 Rázový nákladní člun

Rázový nákladní člun je plovoucí platforma, ve které nebo na které je nainstalován inertní materiál k výbuchu výbušné nálože ve vodě. Instalace zkoušeného předmětu může být zcela v provozním uspořádání v měřítku 1:1 nebo ve zmenšeném modelu. Podobně, vodní masa může být přirozený otevřený oceán, izolovaný vodojem nebo vodní nádrž vhodná pro rozsah zkoušky. Nálož se umístí přiměřeně k člunu pro simulaci scénáře podvodního výbuchu odpovídajícího konkrétnímu rázovému faktoru. Pro všechny zkoušky na plovoucí platformě je nezbytná řada pokynů, které odpovídají za přímou a odraženou cestu přenosu rázové vlny do člunu, instalaci zkoušeného předmětu, vlastnosti vody a charakteristiku výbušné nálože. Dva obvyklé druhy plovoucích člunů jsou plochý nebo kýlový člun (Model 1) a člun s kulatým dnem (Model 2), které v uvedeném pořadí simulují námořní hladinové lodě a ponorky. Čluny Modelu 1 se mění z hlediska velikosti a jsou používány pro zkoušky zařízení v rozsahu od součástí až po generátory, čerpadla a zbraňové systémy ve skutečné velikosti. Čluny Modelu 2 mají půlválcový příčný průřez trupu ponorky se zátěží a vztlakem zajišťovanými příďovými a záďovými konstrukcemi. Zkušební oddíl nákladního člunu je půlválcový s trávky podobnými těm z tlakového trupu ponorky od kýlu až téměř k vodorovné ose. Rámy pokračují do širokého roubení z podobných trávky na vrchní palubě.

18.D.1.3 Mechanické rázové stroje

Rázový stroj je zařízení, které vyvolává rázovou odezvu ve zkoušeném zařízení rychlým posunutím stolu stroje nebo pomocí rázové střely. Přenosová funkce spojená s chodem stroje vymezuje výchylku a profil zrychlení. Náročnost odezvy, která může být ve zkoušeném předmětu vyvolána, závisí na výkonnosti stroje a kombinované hmotnosti zkoušeného předmětu a jeho upevnění. Rázový impulz z těchto strojů se typicky vytváří pomocí hydraulického, pneumatického nebo gravitačního řízení. Řídicí systém s uzavřeným obvodem nesmí být na některých strojích použit a rázový impulz je vytvářen standardními řídicími parametry. Parametry několika druhů rázových strojů jsou uvedeny dále.

18.D.1.3.1 Palubní rázový stroj

Palubní rázový stroj je konstruován k tomu, aby vyvolával mírně tlumenou oscilační rázovou odezvu. Takové odezvě je vystaven materiál přímo upevněný k plavidlu v místech v průběhu buzení podvodním výbuchem vzdáleným od trupu. Palubní rázový stroj se skládá z horizontálního rázového stolu, k němuž je zkoušený předmět připevněn. Táhlá ke čtyřem šikmým torzním tyčím jsou spojena se stolem. Torzní tyče jsou umístěny na čepech patky ložiska, které jsou přímo připevněné k základu stroje. Vnitřní konec každé torzní tyče je vybaven ramenem kliky. Energie k pohonu stroje je dodávána dvěma hydraulickými písty, které přivádějí točivý moment k torzním tyčím využitím ramen klik předtím, než je stroj uveden do chodu. Vnější konec každé torzní tyče je opatřen zařízením ozub – západka. Západka je udržována v ozubech pomocí excentrů připojených ke dvěma pneumatickým pístům, tj. ke spoušťovému táhlu a ke spoušťécímu válci.

Jakmile je na torzních tyčích dosažen požadovaný točivý moment, stroj se uvede prostřednictvím pneumatických pístů do chodu. Táhlá k rázovému stolu přenáší energii nahromaděnou v torzních tyčích. Táhlá mezi torzními tyčemi a rázovým stolem jsou připravená vyvolávat buď svislý, nebo vodorovný pohyb rázového stolu. Charakteristiky odezev typického palubního rázového stroje jsou uvedeny v tabulce 18.D.1.

TABULKA 18.D.1 – Charakteristiky palubního rázového stroje

Parametr	Kapacita
Rozměry stolu	2 740 mm x 1 070 mm
Maximální zkušební hmotnost	680 kg
Maximální výchylka	64 mm
Maximální rychlost	Malá hmotnost: $6,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Maximální hmotnost: $4,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení	Malá hmotnost: $1\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (102 g) Maximální hmotnost: $700 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (71 g)

Příloha 18D
(normativní)

18.D.1.3.2 Dvoutunový rázový stroj

Dvoutunový rázový stroj je konstruován k vyvolávání silně tlumených oscilací, kterým by mohl být v případě podvodního výbuchu vystaven materiál v místech poblíž trupu plavidla. Stroj funguje na stejném principu jako vzduchovka – střela je uváděna do pohybu stlačeným vzduchem tak, aby dopadla na cíl. Aby se zabránilo přímému přenosu reakčních sil na okolní podlahu, je stroj zabezpečen až na reakční hmotnost přibližně 200 tun ve formě hmoty pod úrovní podlahy. Tato reakční hmotnost povrchu podlahy je nesena olejovými pružinami a je ve svislém směru volně pohyblivá ve válečkových vodících lištách. Vnitřní válec orientovaný svisle má uvnitř sebe střelu, která je kluzně volně uložena uvnitř válce. Kolem vnitřního válce a souose s ním je vnější válec. Prstencový prostor mezi oběma válci akumuluje stlačený vzduch, který poskytuje energii pro pohon střely. Spojení mezi prstencem a vnitřkem válce tvoří kanály, které jsou uzavřené střelou v případě, že je střela ve spodní části vnitřního válce, před zahájením pracovního zdvihu. Střela válec těsně uzavírá a tím zabraňuje nechtěnému úniku vzduchu z prstence do prostorů nad a pod střelou.

Prostor pod střelou je propojen s prstencem prostřednictvím ventilu, který je ovládán dálkově. Rázový stroj je uváděn do chodu otevřením tohoto ventilu, tím se umožní vytvoření tlaku pod střelou a pomalý pohyb střely směrem nahoru. Střela nakonec odkryje všechny kanály přívodu tlakového vzduchu, což způsobí rychlý pohyb střely vzhůru vnitřním válcem směrem k rázovému stolu.

Nedílnou součástí střely je tlumič zrychlení, který pracuje na hydraulicko-pneumatickém principu. Když střela naráží do rázového stolu, objeví se relativní posun mezi pístem tlumiče a tělesem střely. Když k tomu dojde, hydraulická kapalina se odvede z jímky tlumiče přes desku s otvorem do druhé jímky, ve které volně klouže odlučovač, odsunovaný tlakem dusíku. Jak zdvih pístu tlumiče postupuje, tvarovaný omezovač se posouvá do otvoru, mění účinnou plochu otvoru a tím i útlum.

Zpomalení rázového stolu je řízeno osmi olejo-pneumatickými tlumiči pracujícími na podobném principu jako tlumiče zrychlení. Charakteristiky typického dvoutunového rázového stroje jsou uvedeny v tabulce 18.D.2. Ráz udělovaný rázovému stolu se může měnit, jak je naznačeno níže.

- a) nastavení výšky stolu;
- b) změna tlaku vzduchu v prstenci;
- c) změna výchozí relativní pozice otvoru a omezovače v tlumičích zrychlení;
- d) změna výchozí relativní pozice otvoru a omezovače v tlumičích zpomalení;
- e) zrychlení, změna tlaku dusíku za odlučovačem v tlumičích zrychlení;
- f) zpomalení, změna tlaku dusíku za odlučovačem v tlumičích zpomalení.

Tento rázový stroj je schopen vyvolávat svislý pohyb rázového stolu. Rázové zkoušky v jiných směrech se mohou provádět připevněním zkoušeného předmětu k rázovému stolu ve vhodné vzájemné poloze za použití účelně navrženého tuhého přípravku.

TABULKA 18.D.2 – Charakteristiky dvoutunového rázového stroje

Parametr	Zkušební hmotnost 500 kg	Zkušební hmotnost 1 900 kg
Maximální výchylka	46 mm	38 mm
Maximální rychlost	9 m·s ⁻¹	6 m·s ⁻¹
Maximální zrychlení	5 500 m·s ⁻² (561 g)	3 000 m·s ⁻² (306 g)
Maximální zpomalení	2 750 m·s ⁻² (280 g)	1 500 m·s ⁻² (153 g)

18.D.1.3.3 Lehké a střední rázové stroje typu „kyvadlové kladivo“

Rázové stroje malé (LWSM) a střední hmotnosti (MWSM) jsou zařízení popsaná ve zkušebním předpise MIL-DTL-901. Stroj se skládá z gravitačně urychlovaného kyvadlového kladiva, které k vyvolání buzení upevněného zkoušeného předmětu naráží do dráhy kovadliny. Náročnost nárazu je přizpůsobena výškou zdvihu padacího kladiva. Tabulka 18.D.3 uvádí typické charakteristiky pro stroje malé a střední hmotnosti. Další informace o těchto zkušebních strojích také poskytuje čl. 18.6, všeobecný odkaz e.

TABULKA 18.D.3 – Charakteristiky rázových strojů malé a střední hmotnosti

Parametr	Rázový stroj malé hmotnosti	Rázový stroj střední hmotnosti
Hmotnost kladiva	181 kg	1 361 kg
Maximální zkušební hmotnost	250 kg	3 357 kg
Maximální výchylka	38 mm	76 mm

18.D.1.4 Vibrační zkušební zařízení

Vibrační zkušební zařízení, elektrodynamické nebo servohydraulické, se může použít k aplikaci měřeného nebo syntetizovaného časového průběhu vstupů, pro přidružené spektrum rázové odezvy (SRS), na inertní nebo skutečný zkoušený předmět. Využití vibračních zařízení pro zkoušení podvodních výbuchů je omezené především dostupností časového průběhu vstupu, nízkofrekvenčním posunem, vrcholovým zrychlením, kmitočtovým rozsahem, hmotností a geometrií kombinace materiál plus upevnění. Ale tam, kde lze tato kritéria splnit, je toto zařízení efektivní a vhodnější než pádové zkoušky.

Tradičně se elektrodynamické nebo servohydraulické budiče používaly pro rozmanitost rázového simulačního zkoušení. Avšak pro zkoušení podvodních výbuchů byly s výjimkou zkoušení malých součástek opomíjeny kvůli jejich omezenému dynamickému rozsahu (výchylka, rychlost, zrychlení a kmitočtová odezva). Zkušební zařízení při běžném používání mají meze zrychlení, výchylky a kmitočtu 100 G, 5 cm a 200 Hz (v uvedeném pořadí). S nástupem zdokonalených rázových řídicích systémů a vysokovýkonných vibračních stolic s velkým zdvihem byla tato omezení do velké míry pro materiál s nepříliš velkou hmotností překonána, typicky pro hmotnost do 800 kg a zkušební omezení závisí na požadované dynamické odezvě materiálu.

Příloha 18D

(normativní)

Kromě toho lze omezení zmírnit použitím odezvy horního protirázového uložení jako řídicího bodu místo dynamického buzení SRS dolního uložení jako vstupu. Vrcholové zrychlení a kmitočtový rozsah buzení jsou významně redukovány u materiálu v mechanických izolačních instalacích, které působí jako mechanické filtry, a současná generace budičů se může přiblížit k úrovním vrcholových zrychlení stanovených ve směrných křivkách. Pro umožnění použití vibračních zkušebních zařízení pro zkoušky vlivu podvodních výbuchů na materiál je nezbytné vypočítat dynamickou odezvu horního uložení s využitím skutečných vstupních dat dolního uložení a charakteristického modelu upevnění a materiálu. Tento postup může být komplikovaný, ale odměnou je definice úrovní rázového vstupu všeobecně v rozsahu současných budičů. Přesný popis dynamické odezvy materiálu s horním uložením umožňuje odvození SRS. SRS ve formě sladěného časového impulzu zrychlení se potom může aplikovat na zkoušený předmět za použití budiče s vhodným upevněním. V současné době se má za to, že tato metoda nabízí řešení pro zkoušení vlivu podvodních výbuchů na materiál, který je nainstalovaný v mechanickém upevnění nebo na balený materiál, u něhož se obal může považovat za upevnění.

Pro aplikace, kde úroveň náročnosti zkoušení materiálu spadají do využitelné obálky vibračního zkušebního zařízení, toto zařízení nabízí vhodnější, technicky dokonalejší alternativu ke klasickým metodám zkoušení podvodních výbuchů inertního a skutečného materiálu. Kromě toho se může tato metoda zkoušení podvodních výbuchů provádět za použití stávajících zařízení pro zkoušení skutečného materiálu, a proto představuje jedinou plně reprezentativní v současné době dostupnou metodu. Pokud se u objemných položek narazí na silová omezení, je možné pro splnění zkušebních směrnic použít zkušební zařízení s více budiči. Další popis vibračních zkušebních zařízení a aplikace při rázovém zkoušení a zkoušení SRS poskytuje Metoda 403. Informace o zkušebních metodách s více budiči pro fyzicky velké a těžké zkoušené předměty poskytuje Metoda 421.

18.D.1.5 Stroje pro pádové zkoušky

Pádové zkoušky se mohou provádět buď jednoduše shozem zkoušeného předmětu na různé materiály používané k modelování vstupních rázových přechodových jevů, nebo využitím pádového stroje, který je konfigurovatelný pro simulaci jednoduchých přechodových rázových jevů. Pádová zkouška je volný pád nebo mechanicky urychlený pád a vyvolává přechodový jev krátkého trvání, jenž simuluje dobu náběhu prvotního rázového impulzu (několik milisekund). Delší doba trvání spojená se skutečným jevem podvodního výbuchu se nebere na vědomí. Shoz zkoušeného předmětu na různé materiály nebo na konfigurovatelnou platformu může modelovat vstupní impuls programováním rázového jevu. To může být efektivní tam, kde se požadují klasické rázové impulzy, ale pádové zkoušky jsou přísně omezeny na realistický základ a měly by se považovat pouze za hrubou zkoušku. Je to často metoda, která se obtížně zdůvodňuje, protože pulsusové prvky jsou vybírány téměř namátkově ze záznamů časového průběhu komplexní provozní oscilační dynamické odezvy. Kromě toho je Fourierovo spektrum přibližného pulsusového impulzu naprosto odlišné od provozního SRS, což má výrazný vliv na vybuzení mechanismů potenciálních poruch.

19 METODA 420 – VIBRAČNÍ TŘEPÁNÍ ZA LETU

OBSAH

19.1	ROZSAH PLATNOSTI	478
19.1.1	Účel	478
19.1.2	Použití	478
19.1.3	Omezení	479
19.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	479
19.2.1	Vlivy prostředí	479
19.2.2	Výběr postupů zkoušení	479
19.2.3	Využití naměřených údajů	481
19.2.4	Posloupnost	482
19.3	NÁROČNOSTI	483
19.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	483
19.4.1	Povinné	483
19.4.2	Jsou-li požadované	483
19.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	484
19.5.1	Řízení zkoušky	484
19.5.2	Provoz podvěsu	484
19.5.3	Tolerance	484
19.5.4	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	484
19.5.5	Příprava zkoušky	484
19.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	484
19.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	484

Přílohy

Příloha 19A	VIBRAČNÍ TŘEPÁNÍ ZA LETU – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠENÍ	488
Příloha 19B	SPEKTRA MĚŘENÝCH VIBRACÍ Z TŘEPÁNÍ	498

19.1 ROZSAH PLATNOSTI

19.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je reprodukovat vibrační prostředí krátkého trvání pro materiál upevněný na křídlech nebo na trupu letadla, vznikající během letem vyvolaného vibračního třepání. Materiál, dále uváděný jako podvěsy, typicky tvoří elektromechanické systémy, subsystémy, pumpy, střeby, podvěsy s prostředky elektronických protiopatření (ECM) a palivové nádrže. Vibrační třepání je vibrace s velkou amplitudou, vyskytující se v průběhu omezených letových manévru následkem aerodynamického proudění a konstrukčních vibračních režimů. Vzhledem ke krátké době trvání jevu jsou zkušební pokyny odlišné od Metody 401 (Vibrace).

19.1.2 Použití

Zkušební metoda zahrnuje rozpravu o jevu třepání, příčinách a přitěžujících faktorech. Stanoví se letové manévry vytvářející třepání a pojednává se o relativních vlivech následkem druhu podvěsu, poměru štíhlosti, hmotnosti a umístění. Také se zaměřuje na interakci mezi křídlem nebo trupem hostitelského letadla a vibračními režimy podvěsu. Tato zkušební metoda je vhodná tam, kde se požaduje, aby podvěsy prokázaly přiměřenost bezpečně odolat vibračnímu třepání bez nepříjemné degradace svých funkčních a/nebo konstrukčních charakteristik.

Vibrační třepání se vyskytuje jako následek neustáleného aerodynamického tlaku působícího na konstrukci letadla, včetně externě nesených trupových nebo křídlových podvěsů. Dalším možným zdrojem vibrací podvěsu při třepání je buzení vnějšího obložení podvěsu a křídélek, pokud je jimi vybaven. Takové odezvy jsou velice závislé na konstrukčních detailech konkrétního podvěsu a nejsou vhodné pro zobecněné zkušební metody. Rozsah vyvolaných vibrací u podvěsu závisí v první řadě na následujících faktorech:

- a) Letové podmínky. Úhel náběhu hostitelského letadla je klíčový parametr ovlivňující odezvu podvěsu v podmínkách třepání. Během přímého a vodorovného letu budou podvěsy buzeny aerodynamickým prouděním přes exponované povrchy. Hraniční vrstva vytvoří u podvěsu nos, který se stává turbulentní a po směru toku silnější, tedy uděluje podvěsu vibrační energii. Turbulentní proudění je svou povahou převážně nízkofrekvenční buzení. Bojové manévry letadla nebo manévry ve vysoké rychlosti, trvající krátkou dobu, mají za následek zatížení od odstředivých, gravitačních a aerodynamických sil, které vyvolává v podvěsu dodatečné vibrační buzení.
- b) Provedení letadla. Umístění podvěsu na letadle a počet dalších podvěsů nacházejících se v proudění vzduchu kolem podvěsu bude ovlivňovat náchylnost ke třepání. Podvěsy upevněné na křídlech jsou obecně více vystaveny buzení z třepání než podvěsy umístěné pod trupem. Celková kombinovaná hmotnost jednotlivých zbraní nainstalovaných na letadle bude mít vliv na jeho hbitost při manévrování a také ovlivní celkové chování dynamické odezvy a velikost třepáním vyvolaných odezev.
- c) Dynamické charakteristiky letadla a podvěsu. Modální charakteristiky odezvy letadla a instalovaného podvěsu budou ovlivňovat amplitudu vibrační odezvy. Třepání může být problematické pro pružné podvěsy s velkým činitelem podélnosti, protože buď podvěs, nebo jeho instalace může mít nízkofrekvenční režimy menší než 100 Hz. Tyto režimy mohou být spojené s:
(1) ohybem podvěsu;

- (2) pohybem tuhého tělesa podvěsu vznikajícího z pružnosti jeho nosiče;
- (3) pohybem tuhého tělesa vznikajícího z ohybu a krutu křídla letadla.

19.1.3 Omezení

Přesné laboratorní simulace vibračního třepání vyžadují náležité upevnění k nosné konstrukci letadla, instalaci podvěsu a sjednocení impedance zkušebního zařízení a zkoušeného předmětu až na skutečné provozní podmínky. Obvyklá omezení laboratorních simulačních postupů jsou uvedena dále.

- a) simulace skutečného provozního prostředí třepání není možná, protože omezení v upevnění nebo fyzikální omezující podmínky zkušebního zařízení neumožňují uspokojivou aplikaci vibračního buzení téhož tvaru na všechna místa zkoušeného předmětu;
- b) současná zařízení pro řízení vibrací nemusí být schopna simulovat měřené vibrace kvůli negaussovskému nebo přechodovému vibračnímu prostředí;
- c) zkušební výchozí náročnosti nemusí být použitelné u podvěsů s velkým činitelem podélnosti s proměnným průměrem podél délky podvěsu;
- d) zkušební výchozí náročnosti nezahrnují vibrační buzení generované uvnitř podvěsů.

19.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

19.2.1 Vlivy prostředí

Maximální dynamickou odezvu podvěsů montovaných na křídla nebo trup ovlivňuje velké množství parametrů. Přesná předpověď a charakterizace odezvy k odstranění problémů má také několik přístupů. Obecně mohou měření letových údajů pro požadované profily letových úkolů, modální analýza a analytické modelování dostačujícím způsobem předpovědět možnost poruch na konkrétních místech nosné konstrukce letadla a podvěsech. Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, jež by se mohly vyskytnout, pokud je materiál vystaven prostředí vibračního třepání.

- a) konstrukční porucha nebo únava materiálu upevňovacích míst podvěsu, a to jak na konstrukci letadla, tak na podvěsu;
- b) porucha vnitřních součástí podvěsu;
- c) snížení provozní životnosti podvěsu následkem silného dynamického prostředí;
- d) omezení letových manévřů letadla následkem vazby pohybů draku letadla a podvěsu.

19.2.2 Výběr postupů zkoušení

Postupy této zkušební metody jsou navrženy pro reprodukování hlavních nízkofrekvenčních dynamických odezev měřených za letu plně vybavených podvěsů a pro zajištění realistické laboratorní simulace podmínek příslušných letových úkolů prostřednictvím použití vibračního a teplotního kondicionování. Pro účely této zkušební metody jsou letadlové podvěsy rozděleny do dvou skupin – nízký a vysoký štíhlostní poměr (AR). Každá z těchto dvou skupin rovněž obsahuje zvlášť podvěsy upevněné na křídle a na trupu letadla. Případy naznačené v tabulce 19.1 jsou zahrnuty v této zkušební metodě. Bezrozměrný štíhlostní poměr je definován v rovnici (19.1) jako poměr délky a průměru podvěsu.

Obecně se podvěsy mohou klasifikovat jako podvěsy s nízkým štíhlostním poměrem ($AR < 7$, tuhá konstrukce) nebo podvěsy s vysokým štíhlostním poměrem ($AR > 15$, pružná konstrukce). Materiál s nízkým AR , obvykle pumy nebo těžké předměty, mají základní první ohybové kmity vyšší než podvěsy s vysokým AR – obvykle střely nebo rakety. Tedy první ohybové kmity pro podvěsy s nízkým a vysokým AR jsou přibližně 200 Hz a 60 Hz v tomto pořadí. Neexistuje přesná dělicí čára mezi podvěsy s nízkým a vysokým AR . Každý podvěs s prvním ohybovým kmitočtem o velikosti přibližně 200 Hz nebo větší se může zpracovávat jako podvěs s nízkým AR bez ohledu na konkrétní AR .

TABULKA 19.1 – Rámcové štíhlostní poměry a základní kmitočty podvěsů

Štíhlostní poměr	Základní kmitočet podvěsu F_n (typický) (Hz)
Nízký, $AR < 7$, tuhý podvěs	$F_n > 200$ Hz
AR mezi 7 a 15	Závisí na F_n
Vysoký, $AR > 15$, pružný podvěs	$F_n \approx 60$ Hz

$$\text{Štíhlostní poměr } (AR) = \text{délka podvěsu} / \text{průměr podvěsu} \quad (19.1)$$

Převládající vibrační odezva pro podvěs s nízkým AR během jevu třepání bude obecně v režimu tuhého tělesa upevňovací základny. Důležitou výjimkou je případ, kdy podvěs nemá žádný stálý profil, jako jsou například laserově naváděné pumy s čelním naváděcím systémem v porovnání s částmi bojové hlavice nepatrným. Takové případy vyžadují zvláštní pozornost při stanovování nejnižšího kmitočtu ohybových kmitů, který může být kmitočtem celkového ohybu naváděcího systému na bloku bojové hlavice. Pro jiné druhy podvěsů může být nejvýznamnějším režimem ohyb ocasní části podvěsu na střední části.

Vibrace vyvolané třepáním pro podvěs s vysokým AR jsou mezi režimy platformy a režimy podvěsu svázané. Pružné podvěsy jsou tedy více náchylnější než tuhé podvěsy na zesilování buzení vyvolaného třepáním, a to v důsledku nízkofrekvenční charakteristiky buzení vibračním třepáním. Výše uvedené kategorie modální odezvy nejsou vzájemně uzavřené. Především režimy ohybu podvěsů s vysokým AR mohou být velmi blízko torzním nebo ohybovým režimům křídla, způsobujícím prostředí silných vibrací třepáním.

Vzájemné působení vibračních režimů, dynamického buzení a dalších faktorů se může sloučit a vytvořit stavy, kdy se třepání stane při konstrukci podvěsu hlavním činitelem. Nejhorší případ instalace by se mohl týkat podvěsu s vysokým AR umístěného někde na vnější části křídla rychlého letadla. Nebo nejméně problematická instalace může být podvěs s nízkým AR nesený na trupu ne příliš rychlého letadla.

Vibrační odezvy podvěsu vznikající z vibrací třepáním jsou obvykle omezeny na kmitočty od 5 Hz do 400 Hz. Vibrační energie bude předávána aerodynamickým buzením, ke kterému dochází při provozu a které působí na vnější povrch podvěsu. Pro praktické účely lze vlivy vibrací třepáním simulovat jediné mechanickým

buzením; akusticky řízené buzení vyšších kmitočtů je pro simulaci nízkofrekvenčních pohybů vyloučeno.

19.2.3 Využití naměřených údajů

Kde je to účelné, doporučuje se data z letecké přepravy využít pro rozpracování zkušebních úrovní třepání. Je obzvlášť důležité použít data z letecké přepravy tehdy, když je plánovaným cílem dosažení přesné simulace. Dostačující data z letecké přepravy se doporučuje získat k plnohodnotnému popisu podmínek, kterým je podvės vystaven a podle kterých bude hodnocen. Příklady naměřených vibračních odezev podvěsu vystaveného třepání pro podvěsy s vysokým a nízkým štíhlostním poměrem a pro podvěsy montované na křídlo nebo trup letadla jsou uvedené v příloze 19B.

19.2.3.1 Měřená vibrační data z třepání podvěsu jsou dostupná

Pro zkušební program podvěsu nebo draku letadla s plánovaným získáním dat existují různé pokyny. Při definování letového profilu letadla pro pořízení dat je důležité zajistit, aby letové manévry zahrnovaly i ty, u nichž se očekává třepání – obraty ve větru, klouzání po křídle v ustáleném kurzu, vychylování tahu za letu atd. Je také důležité, aby se vybrala místa pro umístění přístrojových čidel při laboratorní simulaci vibrací z třepání. Především je důležité, aby byl určen každý konstrukční režim příslušného podvěsu, závěsného nosníku a letadla, který by mohl reagovat na vibrace z třepání tak, aby se měřiče zrychlení nebo jiná čidla mohla podle toho umístit. Ve většině případů by se měla pro tento účel dát značná priorita měřením krajních oblastí podvěsu. Při vyhodnocování měřených letových odezev je potřebná vysoká úroveň znalostí o konstrukční dynamice podvěsu, závěsného nosníku a letadla. Takové znalosti by se mohly získat buď z analýzy konečných prvků, nebo nejlépe z experimentální modální analýzy podvěsu v jeho nosném uspořádání na letadle.

Typické metody zpracování signálu v současné době používané pro identifikaci letových jevů nemusí být pro stanovení a kvantifikaci kritických podmínek vibrací z třepání postačující. S třepáním se dostávají dva konkrétní problémy, které jsou, pokud jde o zpracování signálu problematické. Prvním je krátká doba trvání jevu. Druhým je omezená šířka pásma, přes které se vibrace z třepání odehrávají. Doporučuje se, aby se časový průběh a_{ef} použil pro identifikaci jevů vibrací z třepání v rámci úplného měřeného časového průběhu, přitom by se měla použít omezená kmitočtová šířka pásma pokrývající pouze režimy, které pravděpodobně budou vybudeny v průběhu třepání, typicky 5 Hz až 500 Hz. Je také nezbytné, aby délka záznamu časového průběhu byla přiměřená z hlediska dodržení chybových kritérií pro příslušné zpracování dat. Pokud se kvantifikují účinky třepání ve formátu ASD, data by se měla analyzovat až do 500 Hz. Avšak protože data pravděpodobně nebudou ustálená, je nutné věnovat patřičnou pozornost výpočtu a vyhodnocení ASD dat.

Při vytváření náročnosti zkoušení z naměřených dat je přijatelným přístupem sestavení zkoušky s náhodným spektrem s přizpůsobenou náročností. Pro každý režim manévru vyvolávajícího třepání se získá ASD, které nejlépe popisuje vibrační odezvy, přitom se vezmou v úvahu možné nestacionární vlastnosti dat. Použijí se generovaná ASD k sestavení věrohodného nejhoršího případu ASD navrstvením jednotlivých ASD a obalením řadou pravidelně rozložených prvků.

Při každém letovém úkolu vibrace z třepání trvají jen krátkou dobu. Podobně během životnosti podvěsu je podvės jen po krátkou dobu (minuty) vystaven skutečnému třepání. Z toho důvodu by se měl nejhorší případ ASD použít pro každý případ třepání a seskupit přes celkový počet letových úkolů. Je třeba poznamenat, že spektrum náhodných vibrací běžně generované na zkušebních zařízeních je Gaussovo a algoritmus softwarového řízení je založen na Gaussově buzení. Doporučuje se, aby data o vibracích z třepání byla přezkoumána, aby odpovídala Gaussovu rozdělení a jestli mu neodpovídají, pak by se měla amplituda PSD opravit. Postupy pro reprodukci časového průběhu mohou poskytovat lepší přesnost laboratorní simulace, ale vyžadují mimořádná opatření pro finanční zajištění pořízení zkušebních zařízení.

Pro podvěsy s vysokým štíhlostním poměrem nejenže může jev třepání generovat vysoké vibrační odezvy, ale doby působení prostředí třepání mohou být významné s ohledem na životnost letadlových nosičů (několik set hodin) během vícenásobného letového nasazení. Navíc podvěsy s vysokým štíhlostním poměrem jsou pravděpodobně spíše vystaveny náročným manévřům v důsledku profilu letových úkolů vysokovýkonných letadel. U tuhých podvěsů jsou amplitudy vibrací z třepání pravděpodobně nižší než u pružných podvěsů, ale doby vystavení ve vztahu k celkové životnosti letadlových nosičů jsou také pravděpodobně nižší, jako například několik hodin.

Vibrační amplitudy podvěsů s vysokým a nízkým štíhlostním poměrem vznikající vlivem třepání se mění v širokém rozsahu na daném letadle, jakož se liší i mezi různými letadly. Proto se doporučuje založit náročnost vibračního zkoušení třepáním na měřeních provozních letových vibrací. Nejhorší případ podvěsu s vysokým štíhlostním poměrem na křídle vysokovýkonného letadla nutně vyžaduje metodu přizpůsobeného zkoušení. Nicméně pro úvodní projekt a další účely může být použití všeobecných náročností nezbytné.

19.2.3.2 Měřená vibrační data z třepání podvěsu nejsou dostupná

Příloha 19A poskytuje obecně použitelná spektra ASD založená na měřených datech pro každý ze čtyř druhů podvěsů popsanych v této zkušební metodě. Minimálně se požaduje přizpůsobení základních kmitočtů vibračního režimu konkrétnímu letadlu a podvěsu. Podmínky zkoušení umožňují použití výchozích odhadů modálních kmitočtů křídla, konstrukce a podvěsu, ale tyto odhady jsou doporučované pouze pro přípravu návrhu; konečná zkouška by se měla založit na experimentálních datech nebo analytickém modelování, například na analýze konečných prvků. Při absenci jakýchkoli měřených dat se může pro předběžné hodnocení použít výchozí náročnost uvedená v příloze 19A.

19.2.4 Posloupnost

Vibrační zkouška třepáním je navržena pro simulaci hlavních vlivů prostředí, která jsou navozena v úplně vybavených podvěsech v průběhu vnější přepravy na letadlech. Avšak pokud by se měl podvės vystavit zkouškám vlivu dalších prostředí, potom se doporučuje zvolit pořadí aplikace zkoušek odpovídající profilu prostředí životního cyklu.

Účinky třepání mohou ovlivňovat funkční charakteristiku, pokud je podvės zkoušen v podmínkách jiného prostředí, jako je například teplota. Podvěsy, které mohou být citlivé na kombinaci prostředí, by se měly zároveň zkoušet příslušnými kombinacemi. Jestliže se usoudí, že zkouška kombinovaným prostředím není nutná nebo není

vhodná k uspořádání, doporučuje se jeden podvės postupně vystavit všem podmínkám příslušných prostředí.

Pořadí aplikace zkoušek by se mělo zvážit a mělo by odpovídat profilu prostředí životního cyklu podvěsu. Jestliže jsou o pořadí zkoušek pochybnosti, doporučuje se provést vibrační zkoušení třepáním jako první nebo společně s vibračním zkoušením za letu.

19.3 NÁROČNOSTI

Zkušební podmínky jsou stanoveny v článku 19.5.3.

19.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

19.4.1 Povinné

- a) technická identifikace podvěsu;
- b) definování podvěsu;
- c) druh zkoušky: vývojová, kvalifikační nebo jiná;
- d) způsob montáže podvěsu;
- e) orientace podvěsu ve vztahu k ose zkoušení;
- f) zda a kdy se mají provádět provozní ověřování podvěsu;
- g) výchozí a konečné ověření; předepíše se, zda se mají provádět na podvěsu upevněném na zkušebním zařízení;
- h) další důležité údaje požadované k provedení zkoušky a provozních ověřování;
- i) strategie řízení vibrací a požadavky na zkušební protokol;
- j) monitorovací a řídicí body nebo postup pro výběr těchto bodů;
- k) stanovení náročnosti zkoušení;
- l) určení kritérií poruch;
- m) postup zdůvodnění překročení tolerancí v případě rozměrných podvěsů a složitých přípravků;
- n) další podmínky prostředí, ve kterých se má zkoušení provádět, pokud jsou jiné než standardní laboratorní podmínky;
- o) doba předběžného kondicionování;
- p) zda má být podvės během zkoušky v provozu nebo mimo provoz;
- q) požadavky na provozní ověření (jsou-li nařízeny);
- r) tolerance a řídicí meze;
- s) další podrobnosti požadované k provedení zkoušky.

19.4.2 Jsou-li požadované

- a) zvláštní znaky zkušebního zařízení (budič, upevnění, propojení atd.);
- b) klimatické podmínky, pokud se požadují jiné než standardní laboratorní;
- c) vliv zemské přitažlivosti a následná opatření;
- d) úroveň přípustných rušivých magnetických polí;
- e) tolerance, pokud jsou odlišné od tolerancí uvedených v čl. 19.5.3.

19.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

19.5.1 Řízení zkoušky

19.5.1.1 Předběžné zkoušky

Řízení podmínek zkoušení je odvozeno od dynamické odezvy podvěsu. Z tohoto důvodu se doporučuje vytvořit dynamicky charakteristický podvės způsobilý pro předběžné zkoušky, aby se nastolily požadované stavy buzení. Předběžné zkoušky jsou nezbytné pro posouzení dynamického chování podvěsu a zkušebního zařízení. Maximální odezva, zaznamenaná na koncích podvěsu, by mohla být řídicí mezní hodnotou a je důležité, aby místo pro řízení vibrací odpovídalo údajům naměřeným při letecké přepravě. Vibrační zkoušení třepáním se doporučuje provádět ve svislém, příčném a podélném směru. V některých případech křížová vazba zajistí, aby se adekvátní vibrační amplitudy vytvářely v příčné nebo podélné ose.

19.5.1.2 Strategie řízení a alternativy

Doporučuje se účinky třepání zkoušet odděleně od zkoušek plánovaných k znázornění účinků přímého a vodorovného letu. Strategie řízení zkoušky by měla potvrdit, že maximální vibrační odezvy se obvykle vyskytují na koncích podvěsu a že omezit řízení bude nezbytné. Zkoušení třepání se doporučuje provádět jako řízenou odezvu v místě, které odpovídá naměřeným letovým údajům, přednostně přiléhající k místu upevnění. Strategie řízení vibrací by měla být v souladu s AECTP-400, Metoda 401 (Vibrace), článek 7.5.5.

19.5.2 Provoz podvěsu

Pokud je ve Směrnici pro zkoušku nebo v souvisejícím předpise stanoveno, měl by podvės v průběhu provozních simulací být v provozu a jeho funkční charakteristika by se měla měřit a zaznamenávat.

19.5.3 Tolerance

Zkušební tolerance a související charakteristiky spojené s vibračním zkoušením třepáním by měly být v souladu s Metodou 401, článek 5.4.

19.5.4 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Podmínky instalace zkoušeného předmětu spojené se zkoušením třepáním by měly být v souladu s Metodou 401, článek 5.2.

19.5.5 Příprava zkoušky

Příprava zkoušeného předmětu spojená se zkoušením třepáním (předběžné kondicionování a provozní ověřování) by měla být v souladu s Metodou 401, článek 5.1.

19.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny požadavky příslušných technických podmínek v průběhu i po ukončení aplikace vibrací z třepání.

19.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) Piersol Allan G.: Vibrační a akustická zkušební kritéria pro upoutaný let vnějších leteckých podvěsů (Vibration and Acoustic Test Criteria for Captive Flight of Externally Carried Aircraft Stores), AFFDL-TR-71-158, prosinec 1971.
- b) Heaton P. W., Czuchna J. S.: Předpověď dynamického prostředí pro vnější letecké podvěsy během přímého a vodorovného letu letadla (Prediction of Dynamic Environments for Airborne External Stores During Aircraft Straight and Level Flight), IES, 41st Annual Technical Meeting, květen 1995.
- c) Heaton P. W., White G. P.: Upoutaný let leteckých podvěsů – Modelování vibračních spektrálních odchylek (Airborne Store Captive Cruise Vibration Spectral Variations Scaling), Proceedings of the 65th Shock & Vibration Symposium, listopad 1994.
- d) Czuchna J. S., Pado L. E., Hauch R. M., White G. P.: Porovnání metod prognózování vibrací upoutaných leteckých podvěsů (Comparison of Prediction Techniques Airborne Store Captive Cruise Vibration), Proceedings of the 65th Shock & Vibration Symposium, listopad 1994.
- e) Richards David P.: Odvození postupů k odhadům vibrační náročnosti leteckých podvěsů (The Derivation of Procedures to Estimate Vibration Severities of Airborne Stores), Proceedings of the Institute of Environmental Sciences, květen 1990.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 19A
(normativní)

VIBRAČNÍ TŘEPÁNÍ ZA LETU – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠENÍ

Tato příloha se má používat jen tehdy, jestliže nejsou v počátečních etapách programu k dispozici naměřená data a informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat data naměřená na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze, sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí z typických platforem a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

<u>Uspořádání podvěsu</u>	<u>Obrázek</u>	<u>Strana</u>
Křídlový podvės – nízký štíhlostní poměr	Obrázek 19.A.1	490
Trupový podvės – nízký štíhlostní poměr	Obrázek 19.A.2	492
Křídlový podvės – vysoký štíhlostní poměr	Obrázek 19.A.3	494
Trupový podvės – vysoký štíhlostní poměr	Obrázek 19.A.4	496

Schéματα vibračních zkoušek v příloze 19A jsou vytvořena pro simulaci vibrační zkušební amplitudy pro podvěsy umístěné pod křídlem nebo pod trupem letadla. Berou se v úvahu jak podvěsy s vysokým, tak podvěsy s nízkým štíhlostním poměrem. Obecně jsou popsány postupy vhodné pro všechny nové požadavky, kde existují provozní data. Obrázky 19.A.1 až 19.A.4 poskytují obecná vibrační spektra pro vibrace vyvolané třepáním. Spektrální obálka má charakteristický tvar, který se mění v závislosti na štíhlostním poměru podvěsu a jeho umístění.

Odvození zkušebních úrovní obecných vibrací z třepání je složitý proces kvůli možnosti komplexního vzájemného působení mezi podvěsem a letadlem. V důsledku toho existuje možnost extrémních úrovní dynamické odezvy, které mohou být nevhodné jako standardní zkušební úrovně pro všechny podvěsy a draky. Například podvěsy s proměnným průřezem jsou mimo rozsah standardní náročnosti. Nestejnorodá hmotnost může vytvořit nebo se vzájemně ovlivňovat s jinými podmínkami a vyvolat rezonanční stavy, které nejsou zahrnuty ve schématech standardních zkoušek. Při kompilaci náročností standardních zkoušek se věnovala pozornost režimům křídla letadla a režimům podvěsu (tuhé těleso, ohyb). V důsledku toho by se následující standardní náročnosti neměly považovat za všezahrnující, ale jsou nabízeny jako cesta k prvnímu návrhu a pro účely odvozování. Pokud jsou dostupná, doporučuje se využít naměřené údaje nebo analytické modely pro stanovení základního kmitočtového režimu a/nebo vrcholové úrovně ASD amplitudy.

Příloha 19B poskytuje srovnání provozních měření režimů třepání. AECTP-240 (kapitola 246) také poskytuje směrnici k činitelům ovlivňujícím vibrace letadla. Níže uvedená tabulka 19.A.1 uvádí souhrn standardních vibračních zkoušek třepáním

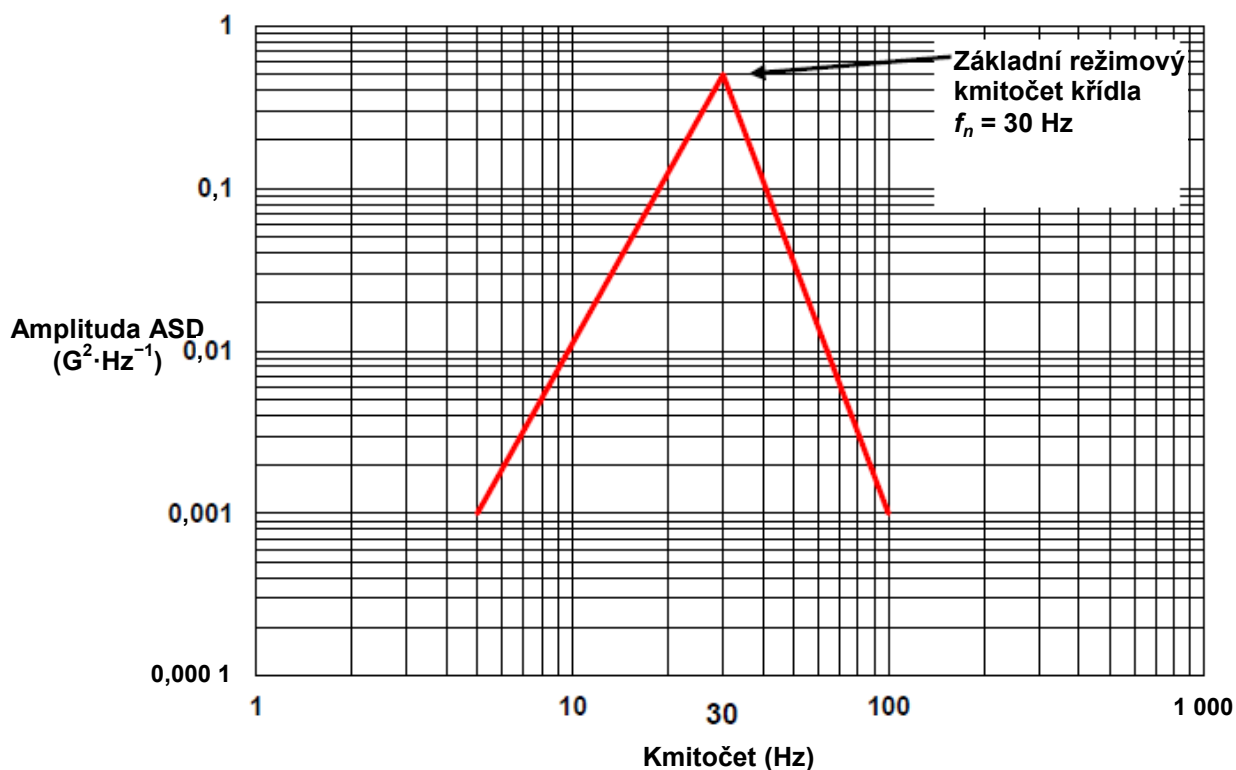
Příloha 19A
(normativní)

z přílohy 19A. Je patrné, že vyvolaná vibrační energie je funkcí jak druhu podvěsu, tak jeho umístění. Tuhý podvės s nízkým štíhlostním poměrem umístěný na trupu letadla je prostředí nejméně náročné. Pružný podvės s vysokým štíhlostním poměrem v pružném uložení na křídle je nejnáročnější prostředí. Toto porovnání je založeno pouze na schématech výchozí náročnosti zkoušení z přílohy 19A a nesmí se používat pro skutečné uvažované letadlo nebo podvės.

TABULKA 19.A.1 – Souhrn schémat vibračních zkoušek třepáním

Uspořádání podvěsu	Obrázek	Maximální doba trvání zkoušky (min)	a_{ef} V, T, L
Křídlový podvės s nízkým štíhlostním poměrem	19.A.1	15	2,63
Trupový podvės s nízkým štíhlostním poměrem	19.A.2	15	1,46
Křídlový podvės s vysokým štíhlostním poměrem	19.A.3	15	5,06
Trupový podvės s vysokým štíhlostním poměrem	19.A.4	15	3,35
VYSVĚTLIVKY V – svisle, T – příčně, L – podélně			

Příloha 19A
(normativní)



Body zlomu náhodného spektra	
Kmitočet (Hz)	ASD ($G^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,001
30	0,500
100	0,001
Náhodné $a_{ef} = 2,63$	

OBRÁZEK 19.A.1 – Křídlový podvės s nízkým štíhlostním poměrem

Obrázek 19.A.1 – Křídlový podvěs s nízkým štíhlostním poměrem – Popis zkoušky

Zkušební parametry:

Osy zkoušení:	Svislá, příčná a podélná
Doba trvání zkoušky:	Použije se doba stanovená profilem prostředí životního cyklu
Ekvivalenční faktor:	Žádný
Vibrační spektrum:	Širokopásmové náhodné vibrace
Strategie řízení:	Jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy

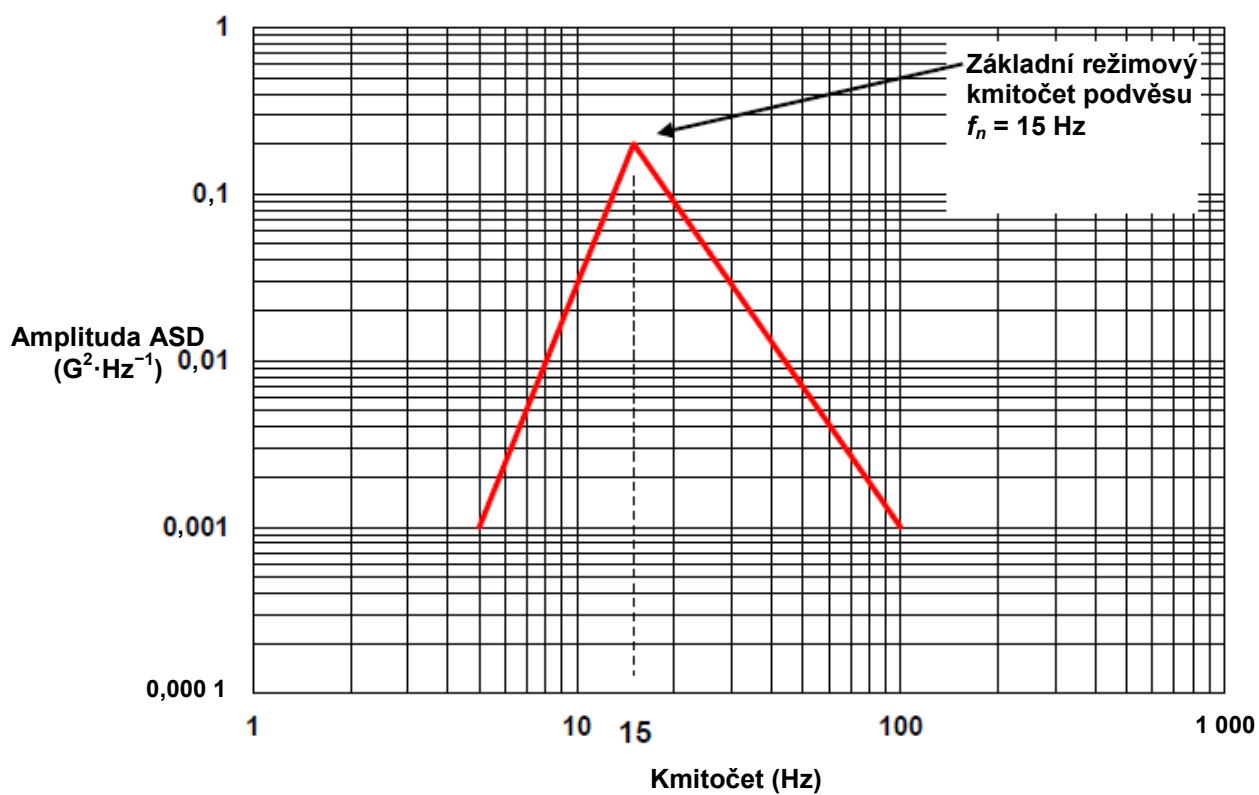
Poznámky k řízení:

- Jestliže nelze dobu trvání zkoušky stanovit z LCEP, standardní doba trvání pro každou osu je 6 sekund pro každý případ vibrací z třepání nebo maximálně 15 minut celkem na každou osu.
- Účinky křížové vazby se mohou využít k uspokojení požadavků na vibrace v příčné a/nebo podélné ose. Pokud je křížová vazba menší než podélné požadavky, zkoušení by se mělo provádět v podélné ose až do letových úrovní nebo když nejsou tato data dostupná, v poloviční amplitudě používané jako maximální působení ve svislé a příčné ose.
- Použije se maximální stupeň strmosti řídicího systému v bodech zlomu 5 Hz a 100 Hz.
- Schéma zkoušky je odvozeno pro měřič/měřiče zrychlení odezev umístěný/umístěné v místě upevnění podvěsu.

Popis schématu

Standardní náročnost pro křídlové podvěsy s nízkým štíhlostním poměrem je uvedena na obrázku 19.A.1 a měla by se aplikovat na každou osu. Tento obrázek ukazuje jednotlivý spektrální vrchol v dominantním režimu křídla spojený buď s ohybem, nebo s krutem. Jestliže skutečný dominantní přirozený kmitočtový režim je známý, doporučuje se provozní kmitočet použít k vystředění vrcholu. Ale pokud dominantní charakteristické kmitočty nejsou známy, doporučuje se použít jako standardní úroveň 30 Hz.

Příloha 19A
(normativní)



Body zlomu náhodného spektra	
Kmitočet (Hz)	ASD ($G^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$)
5	0,001
15	0,200
100	0,001
Náhodné $a_{ef} = 1,46$	

OBRÁZEK 19.A.2 – Trupový podvės s nízkým štíhlostním poměrem

Obrázek 19.A.2 – Trupový podvės s nízkým štíhlostním poměrem – Popis zkoušky

Zkušební parametry:

Osy zkoušení:	Svislá, příčná a podélná
Doba trvání zkoušky:	Použije se doba stanovená profilem prostředí životního cyklu
Ekvivalenční faktor:	Žádný
Vibrační spektrum:	Širokopásmové náhodné vibrace
Strategie řízení:	Jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy

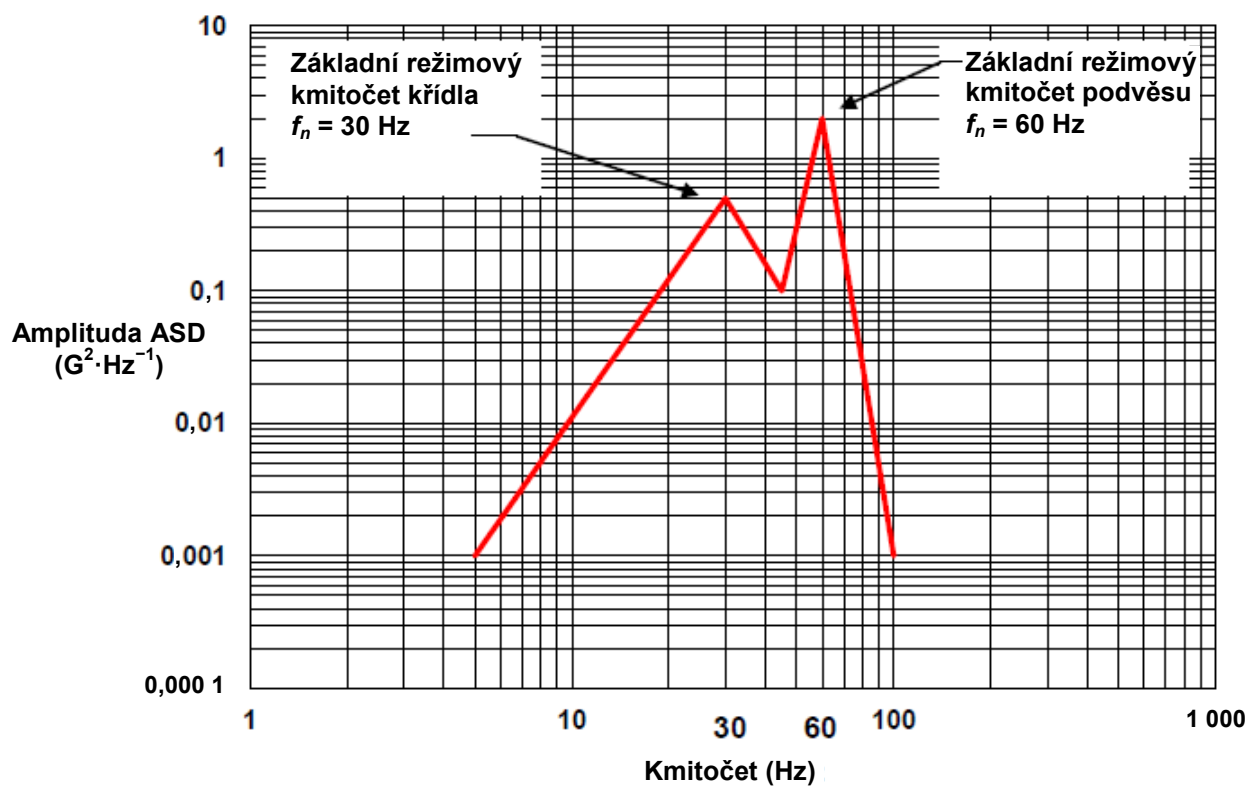
Poznámky k řízení:

- Jestliže nelze dobu trvání zkoušky stanovit z LCEP, standardní doba trvání pro každou osu je 6 sekund pro každý případ vibrací z třepání nebo maximálně 15 minut celkem na každou osu.
- Účinky křížové vazby se mohou využít k uspokojení požadavků na vibrace v příčné a/nebo podélné ose. Pokud je křížová vazba menší než podélné požadavky, zkoušení by se mělo provádět v podélné ose až do letových úrovní nebo když nejsou tato data dostupná, v poloviční amplitudě používané jako maximální působení ve svislé a příčné ose.
- Použije se maximální stupeň strmosti řídicího systému v bodech zlomu 5 Hz a 100 Hz.
- Schéma zkoušky je odvozeno pro měřič/měřiče zrychlení odezvy umístěný/ umístěné v místě upevnění podvěsu.

Popis schématu

Standardní náročnost pro trupové podvěsy s nízkým štíhlostním poměrem je uvedena na obrázku 19.A.2 a měla by se aplikovat na každou osu. Tento obrázek ukazuje jednotlivý spektrální vrchol v přirozeném kmitočtu tuhého tělesa instalovaného podvěsu. Jestliže je přirozený kmitočet tuhého tělesa známý, doporučuje se kmitočet použít k vystředění vrcholu. Ale pokud nejsou tyto informace dostupné, doporučuje se použít jako standardní úroveň 15 Hz.

Příloha 19A
(normativní)



Body zlomu náhodného spektra	
Kmitočet (Hz)	ASD ($G^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,001
30	0,500
45	0,100
60	2,000
100	0,001
Náhodné $a_{ef} = 5,06$	

OBRÁZEK 19.A.3 – Křídlový podvės s vysokým štíhlostním poměrem

Obrázek 19.A.3 – Křídlový podvės s vysokým štíhlostním poměrem – Popis zkoušky

Zkušební parametry:

Osy zkoušení:	Svislá, příčná a podélná
Doba trvání zkoušky:	Použije se doba stanovená profilem prostředí životního cyklu
Ekvivalenční faktor:	Žádný
Vibrační spektrum:	Širokopásmové náhodné vibrace
Strategie řízení:	Jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy

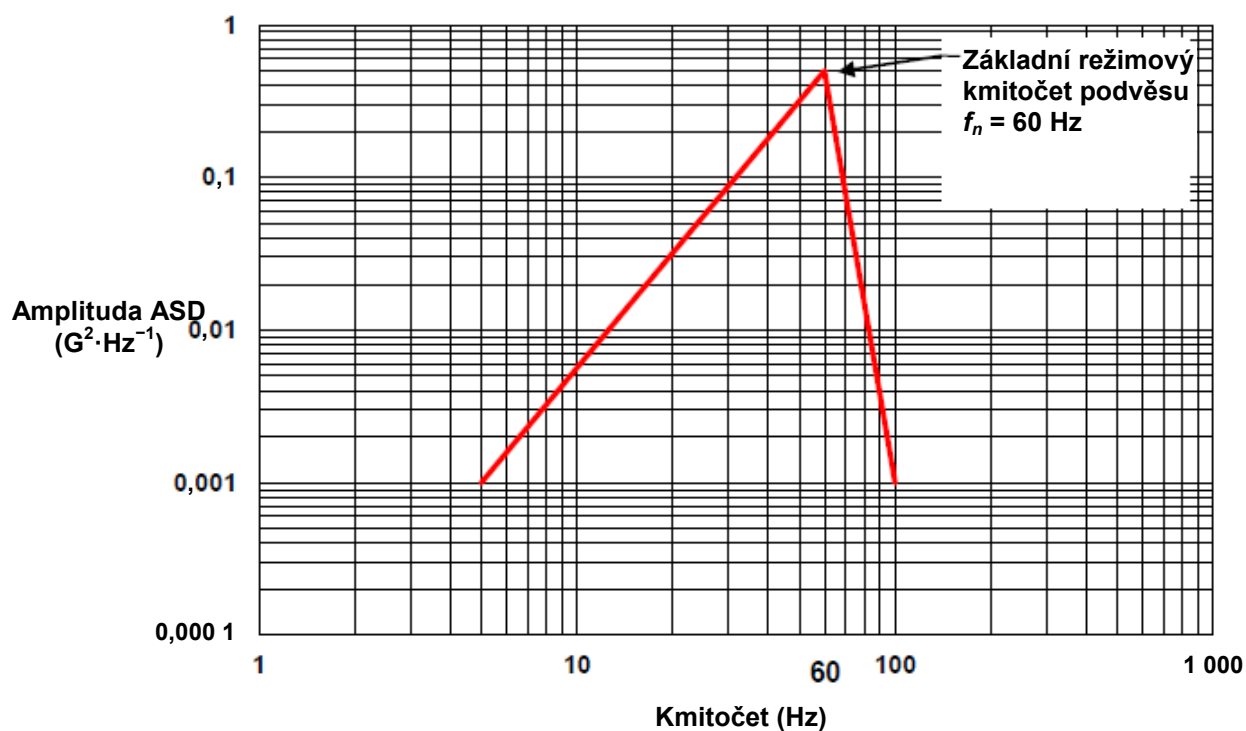
Poznámky k řízení:

- Jestliže nelze dobu trvání zkoušky stanovit z LCEP, standardní doba trvání pro každou osu je 6 sekund pro každý případ vibrací z třepání nebo maximálně 15 minut celkem na každou osu.
- Účinky křížové vazby se mohou využít k uspokojení požadavků na vibrace v příčné a/nebo podélné ose. Pokud je křížová vazba menší než podélné požadavky, zkoušení by se mělo provádět v podélné ose až do letových úrovní nebo když nejsou tato data dostupná, v poloviční amplitudě používané jako maximální působení ve svislé a příčné ose.
- Použije se maximální stupeň strmosti řídicího systému v bodech zlomu 5 Hz a 100 Hz.
- Schéma zkoušky je odvozeno pro měřič/měřiče zrychlení odezev umístěný/ umístěné v místě upevnění podvěsu.

Popis schématu

Standardní náročnost pro podvěsy s vysokým štíhlostním poměrem nesené pod křídlem je uvedena na obrázku 19.A.3 a měla by se aplikovat na každou osu. Tento obrázek ukazuje dva vrcholy spojené s dominantním režimem křídla a první ohybový režim podvěsu. Jestliže jsou dva režimové přirozené kmitočty známé, potom by se měly použít k vystředění vrcholů. Jestliže jsou dva přirozené kmitočty bližší než 10 Hz, potom musí následovat přizpůsobený postup. Při absenci dvou režimových kmitočtů se doporučuje použít režim křídla 30 Hz a ohybový režim podvěsu 60 Hz. Spektrální minima mezi těmito dvěma režimy by se měla nastavit na 45 Hz nebo na polovinu rozdílu kmitočtů těchto dvou režimů, pokud jsou kmitočty známé.

Příloha 19A
(normativní)



Body zlomu náhodného spektra	
Kmitočet (Hz)	ASD ($G^2 \cdot Hz^{-1}$)
5	0,001
60	0,500
100	0,001
Náhodné $a_{ef} = 3,35$	

OBRÁZEK 19.A.4 – Trupový podvěs s vysokým štíhlostním poměrem

Obrázek 19.A.4 – Trupový podvės s vysokým štíhlostním poměrem – Popis zkoušky

Zkušební parametry:

Osy zkoušení:	Svislá, příčná a podélná
Doba trvání zkoušky:	Použije se doba stanovená profilem prostředí životního cyklu
Ekvivalenční faktor:	Žádný
Vibrační spektrum:	Širokopásmové náhodné vibrace
Strategie řízení:	Jednobodové nebo vícebodové řízení odezvy

Poznámky k řízení:

- Jestliže nelze dobu trvání zkoušky stanovit z LCEP, standardní doba trvání pro každou osu je 6 sekund pro každý případ vibrací z třepání nebo maximálně 15 minut celkem na každou osu.
- Účinky křížové vazby se mohou využít k uspokojení požadavků na vibrace v příčné a/nebo podélné ose. Pokud je křížová vazba menší než podélné požadavky, zkoušení by se mělo provádět v podélné ose až do letových úrovní nebo když nejsou tato data dostupná, v poloviční amplitudě používané jako maximální působení ve svislé a příčné ose.
- Použije se maximální stupeň strmosti řídicího systému v bodech zlomu 5 Hz a 100 Hz.
- Schéma zkoušky je odvozeno pro měřič/měřiče zrychlení odezev umístěný/ umístěné v místě upevnění podvěsu.

Popis schématu

Standardní náročnost pro podvės s vysokým štíhlostním poměrem, neseným pod trupem letadla, je uvedena na obrázku 19.A.4 a měla by se aplikovat na každou osu. Tento obrázek ukazuje jednotlivý vrchol spojený s prvním ohybovým režimem podvěsu. Jestliže je skutečný kmitočet dominantního ohybového režimu znám, doporučuje se kmitočet režimu použít k vystředění vrcholu. Jestliže není první režimový kmitočet známý, potom se doporučuje použít standardní kmitočet 60 Hz.

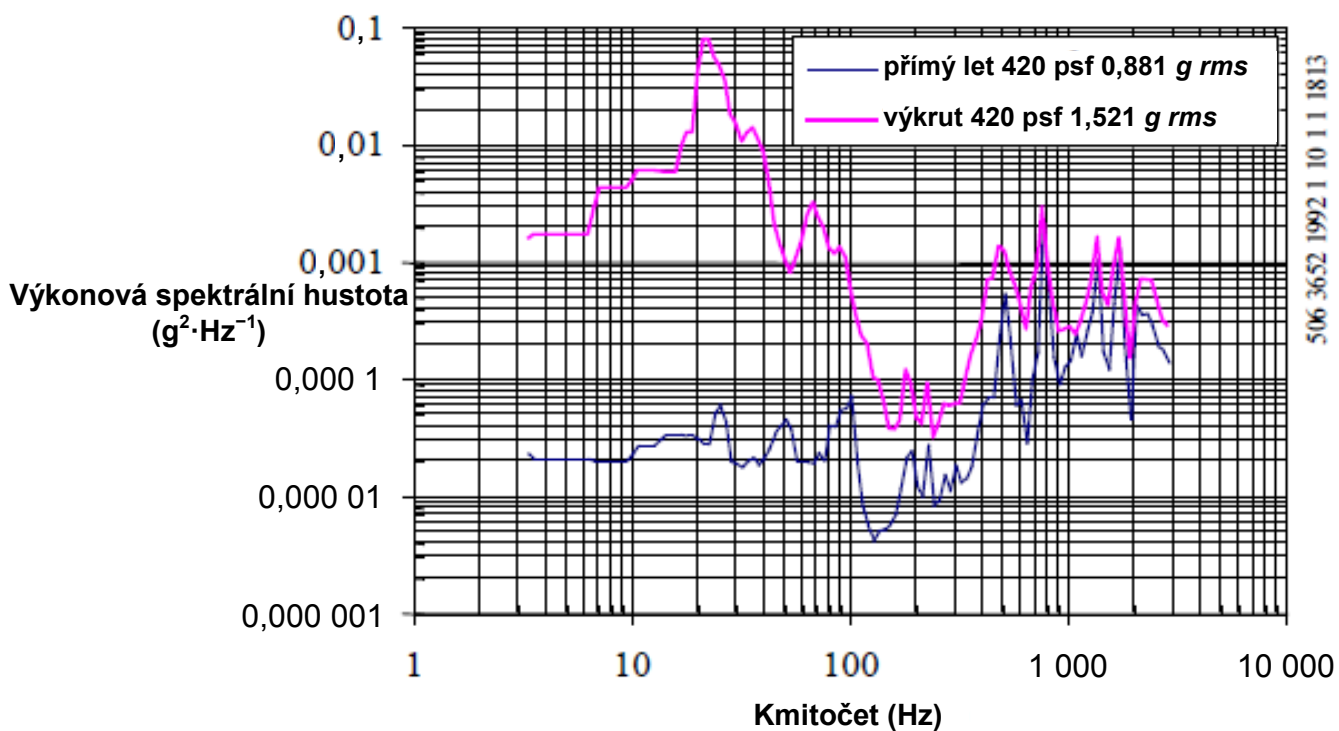
Příloha 19B
(normativní)

SPEKTRA MĚŘENÝCH VIBRACÍ Z TŘEPÁNÍ

Příloha 19B obsahuje jednotlivé příklady měřených vibračních dat podvěsu za letu pro znázornění amplitudy a spektrálních rozdílů ve vibracích podvěsu v režimech třepání. Počáteční spektrální vrchol v těchto grafech se zdá být v pásmu o šířce od 10 Hz do 100 Hz, týkajícím se této zkušební metody. V některých případech existují doplňkové rezonanční vrcholy vyšších kmitočtů; avšak amplituda těchto vedlejších vrcholů je typicky faktor nejméně desetkrát nižší než počáteční vrchol. Jestliže se požaduje, může být vhodná simulace přes celou šířku pásma s kombinovaným mechanickým a akustickým simulačním zařízením. Hlavním cílem metody vibračního zkoušení třepáním je simulování nízkofrekvenčních oblastí, v nichž se zesílení vibrací z třepání vyskytuje.

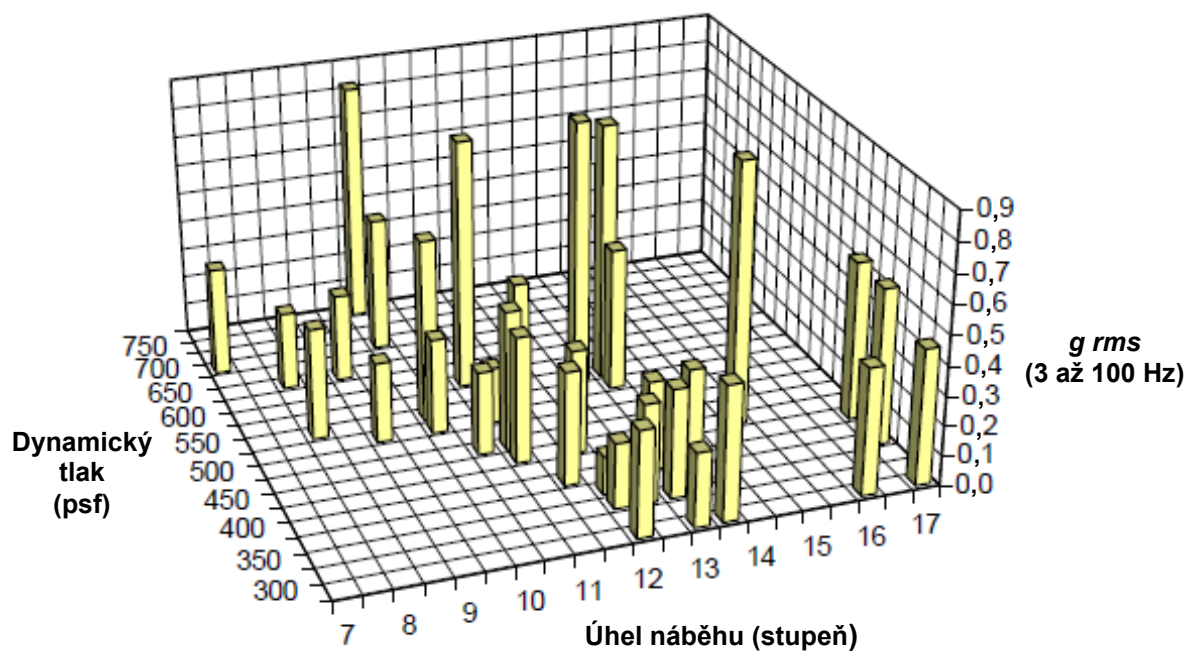
Údaje také znázorňují možné problémy při použití výchozí náročnosti zkoušení z přílohy 19A jako návrhových kritérií bez skutečných v provozu naměřených dat. Obecná zkušební spektra mohou selhat při simulaci doplňkových vibračních režimů, jako je například krut křídla. Poměr amplitud mezi režimy podvěsu a křídla také nemusí být pro situace provozního třepání reprezentativní.

Obrázky 19.B.1 a 19.B.2 jsou vibrační data pro křídlový podvěs s nízkým štíhlostním poměrem ($AR \approx 5$). Obrázek 19.B.1 ukazuje vibrační spektra podvěsu vybaveného přístroji v průběhu přímého a vodorovného letu (SaL) a také při provádění výkrutu (WUT). Oba soubory dat jsou pro letové manévry s dynamickým tlakem 420 psf. V tomto případě je možné vidět nárůst odezvy podvěsu ve svislé ose v těžišti podvěsu o více než tři řády z hodnoty v nízkém kmitočtu. V tomto případě je podvěs buzen vibracemi z třepání křídla letadla; odezva blížící se 25 Hz je důsledkem torzního režimu křídla. Další údaje z této konkrétní kombinace draku a podvěsu naznačující, že vibrační odezva podvěsu také souvisí s úhlem náběhu a letovým dynamickým tlakem, jsou uvedeny na obrázku 19.B.2.



**OBRÁZEK 19.B.1 – Křídlový podvės s nízkým štíhlostním poměrem ($AR \approx 5$),
vyrovnaný let a třepání**

Příloha 19B
(normativní)



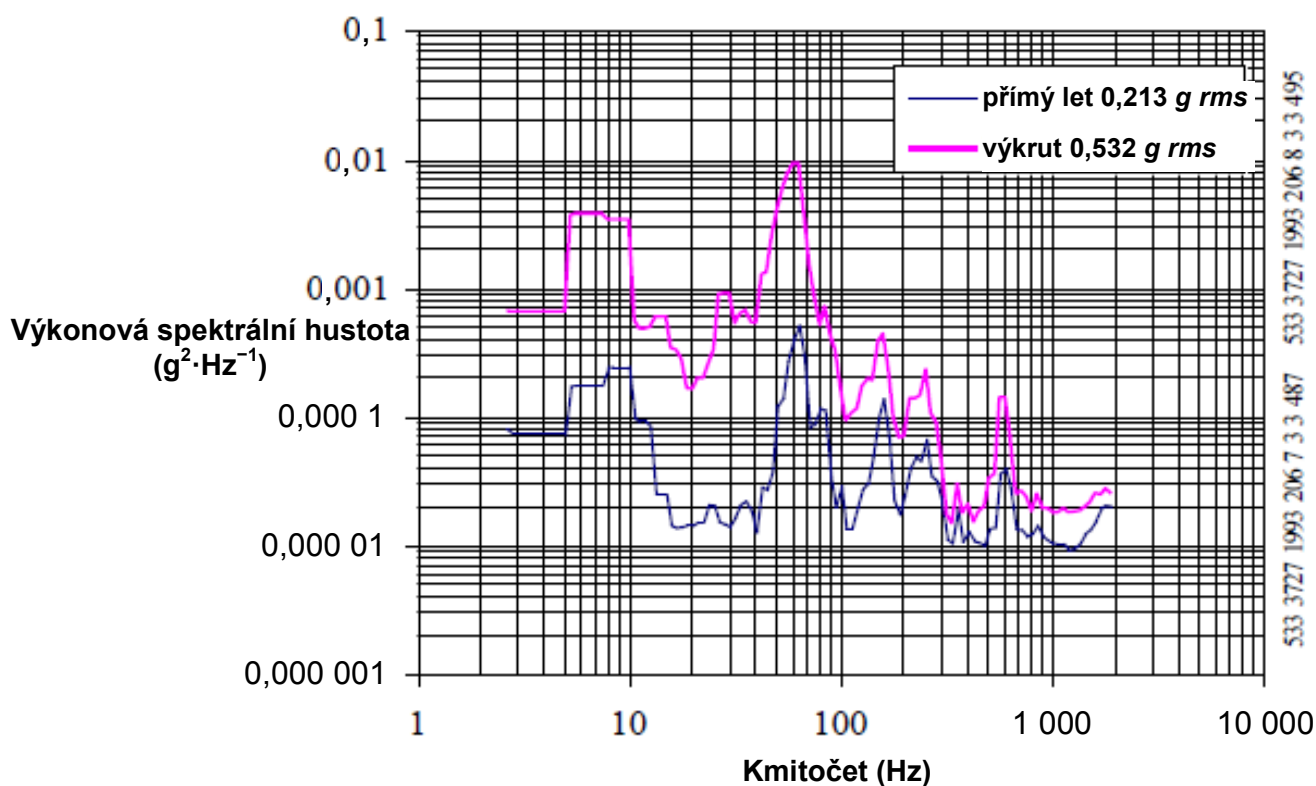
POZNÁMKY:

- 1 Štíhlostní poměr přibližně 5, tuhý podvěs.
- 2 Data získána v kmitočtovém rozsahu 3 Hz až 100 Hz, v němž je znám výskyt třepání podvěsu.
- 3 Data získána z ustálených režimů třepání.

OBRÁZEK 19.B.2 – Vibrace podvěsu jako funkce úhlu náběhu a dynamického letového tlaku

Příloha 19B
(normativní)

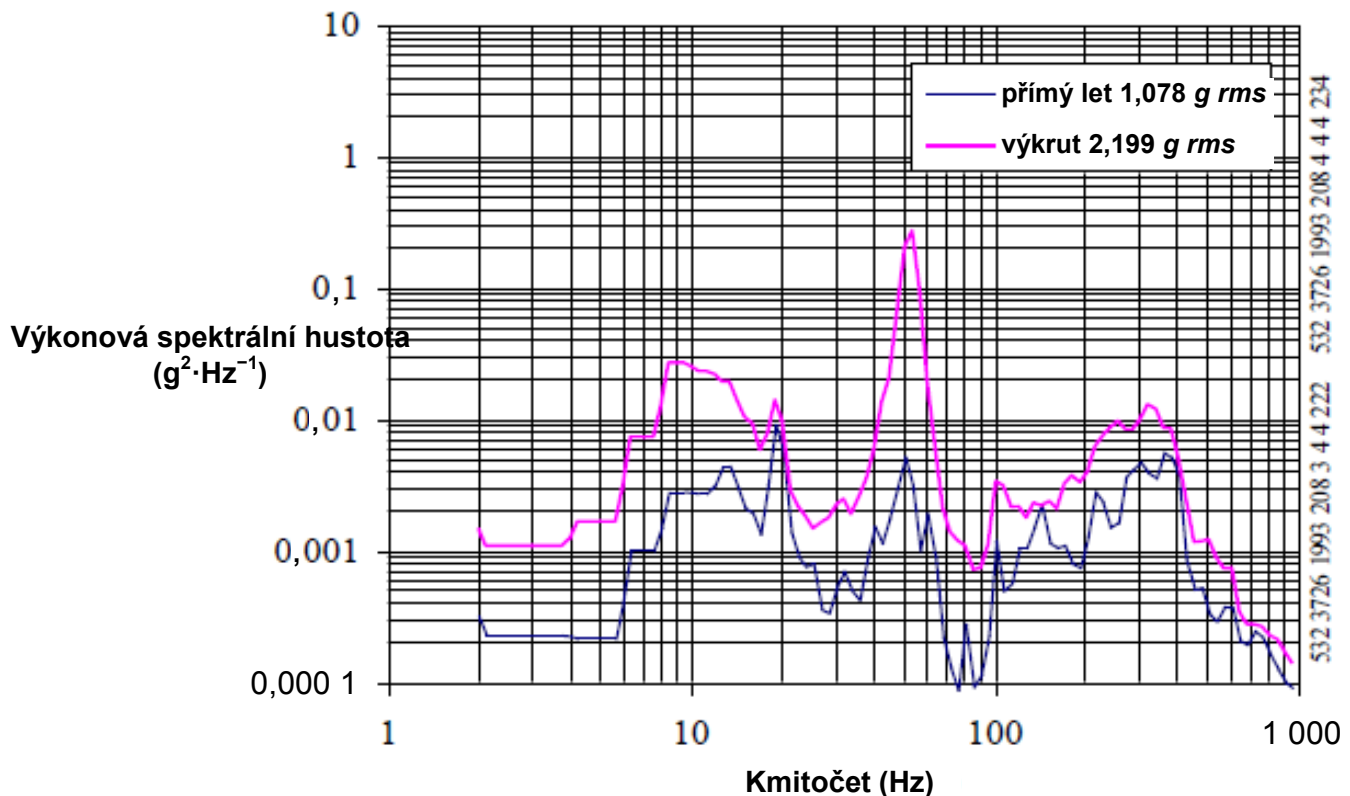
Obrázek 19.B.3 jsou vibrační data pro křídlový podvěs s vysokým štíhlostním poměrem. Vibrační odezvy z přímého a vodorovného letu (SaL) a režimy třepání jsou uvedeny na obrázku 19.B.3. Základní ohybové režimy podvěsu ve svislé a příčné ose se přibližují 60 Hz a ovládají ASD pro režimy třepání. Konkrétně obrázek ukazuje údaje z přední části podvěsu, kde je možné vidět, že rozdíl v amplitudě na 60 Hz je asi 20. Křídlové režimy letadla nejsou v těchto datech převažující jako na obrázku 19.B.1. Nedostatek křídlových režimů by mohl být důsledkem omezeného rozsahu letových situací zahrnutých do těchto letů a/nebo výrazných odlišností dvou provedení křídel letadla a jejich dynamického chování. Vibrační vrchol sestředěný poblíž 8 Hz je pokládán za ohyb křídla a/nebo za klonění podvěsu.



OBRÁZEK 19.B.3 – Křídlový podvěs s vysokým štíhlostním poměrem, vyrovnaný let a třepání

Příloha 19B
(normativní)

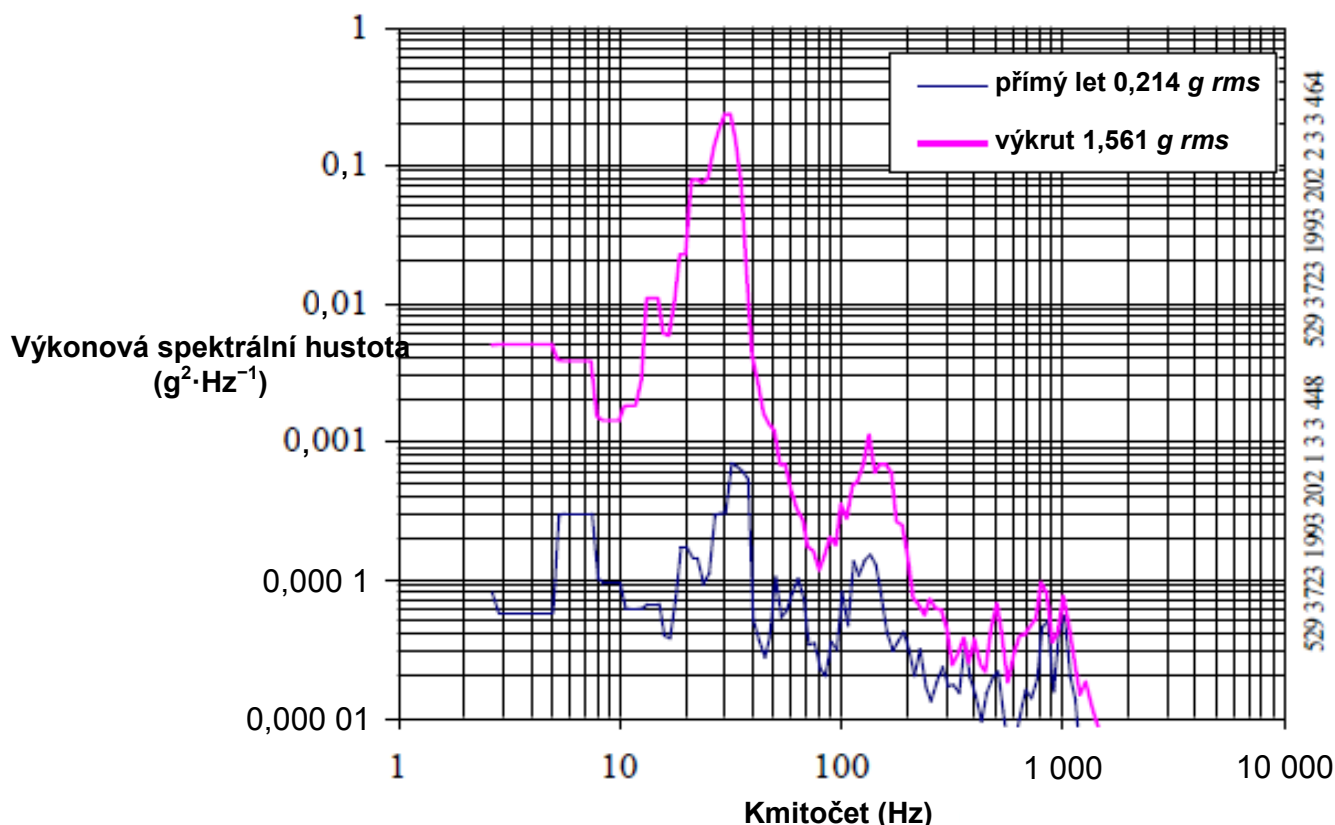
Obrázek 19.B.4 jsou letová vibrační data pro křídlové podvěsy s vysokým štíhlostním poměrem ($AR \approx 17$). Na obrázku jsou uvedena vibrační data podvěsu z přímého a vodorovného letu (SaL) a výkrotu (WUT). Hlavní spektrální rozdíl je zisk odezvy podvěsu v prvním ohybovém režimu podvěsu 50 Hz, který je přibližně 60krát vyšší než přímý a vodorovný let; $0,3 \text{ g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ při třepání ve srovnání s $0,005 \text{ g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ při vodorovném letu.



OBRÁZEK 19.B.4 – Křídlový podvěs s vysokým štíhlostním poměrem ($AR \approx 17$), vyrovnaný let a třepání

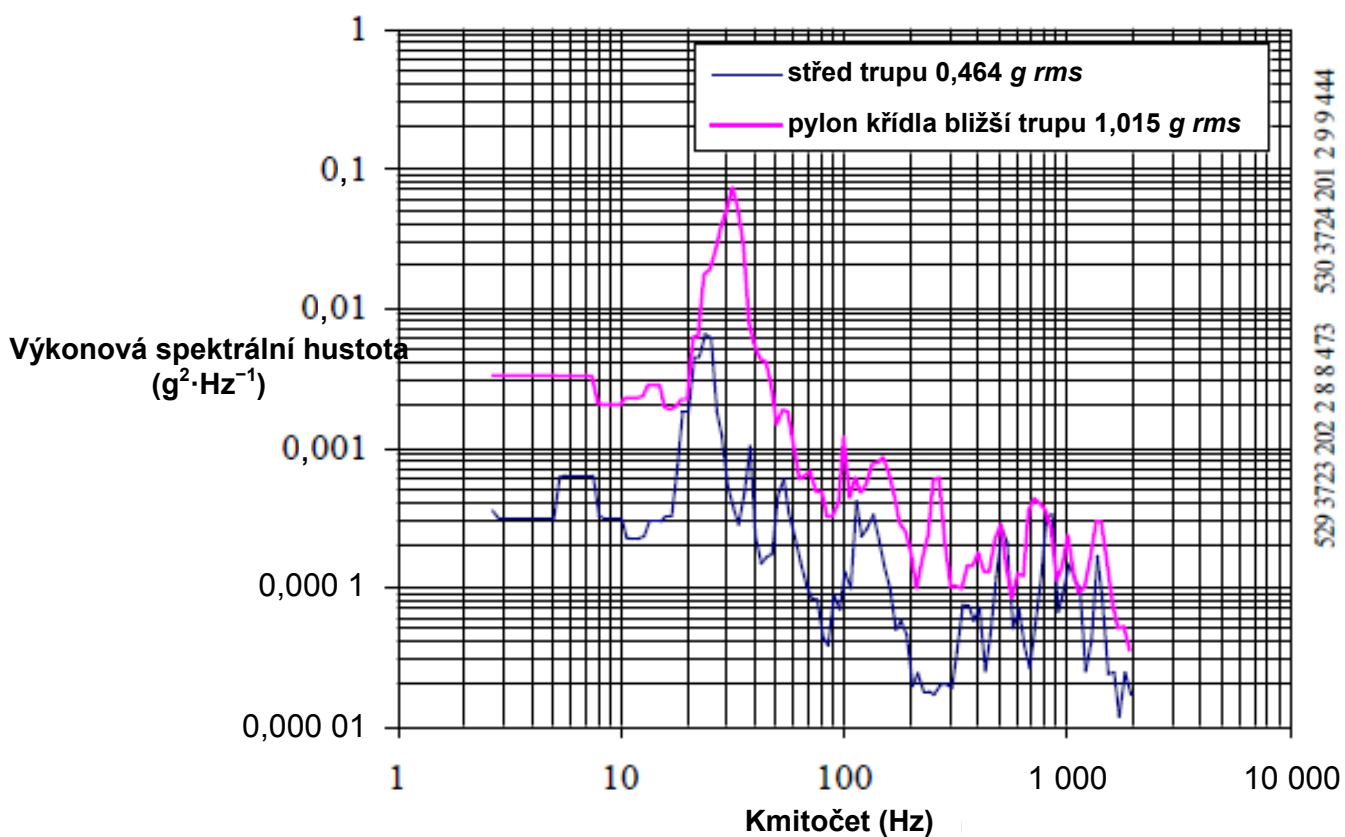
Příloha 19B
(normativní)

Obrázky 19.B.5 a 19.B.6 jsou vibrační data pro podvěs s vysokým štíhlostním poměrem ($AR \approx 18$) během přímého a vodorovného letu (SaL) a výkrotu (WUT), nesený pod křídlem nebo pod trupem letadla. Je-li nesen pod křídlem letadla, vibrační data podvěsu z obrázku 19.B.5 ukazují, že dominantní odezva při třepání je v základním ohybovém režimu podvěsu s hodnotou přibližně 33 Hz. Během těchto dvou manévru není patrné buzení žádných vyšších režimů křídla nebo nosníku. Jak se předpokládalo, jsou odezvy vibrací z třepání u podvěsu neseného na trupu na obrázku 19.B.6 mnohem menší, než když je podvěs nainstalován pod křídlem.



OBRÁZEK 19.B.5 – Křídlový podvěs s vysokým štíhlostním poměrem ($AR \approx 18$), vyrovnaný let a třepání

Příloha 19B
(normativní)



OBRÁZEK 19.B.6 – Křídlový a trupový podvës s vysokým štíhlostním poměrem ($AR \approx 18$) během třepání

20 METODA 421 – VIBRAČNÍ A RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ S VÍCE BUDIČI

OBSAH

20.1	ROZSAH PLATNOSTI	507
20.1.1	Účel	507
20.1.2	Použití	507
20.1.3	Omezení	511
20.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	512
20.2.1	Použití naměřených údajů	512
20.2.2	Posloupnost	512
20.2.3	Vlivy prostředí	512
20.2.4	Výběr zkušebních postupů	513
20.2.5	Druhy vibrací	514
20.2.6	Možnosti strategie řízení	514
20.2.7	Provoz materiálu	514
20.3	NÁROČNOSTI ZKOUŠKY	514
20.3.1	Všeobecná ustanovení	514
20.3.2	Pomocné hodnocení	514
20.3.3	Stanovení úrovní a podmínek zkoušky	514
20.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	515
20.4.1	Všeobecná ustanovení	515
20.4.2	Povinné	515
20.4.3	Jsou-li požadované	516
20.4.4	Zkušební zařízení	516
20.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	516
20.5.1	Příprava zkoušky	516
20.5.2	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	518
20.5.3	Postupy	520
20.5.4	Tolerance a související charakteristiky	523
20.5.5	Řízení	523
20.5.6	Přerušení zkoušky	523
20.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK	525
20.6.1	Všeobecné pokyny	525
20.6.2	Fyzika poruchy	525

20.6.3	Kvalifikační zkoušky	526
20.6.4	Ostatní zkoušky	526
20.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	526

Přílohy

Příloha 20A	TECHNICKÉ INFORMACE PRO UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ PRO METODU MET	530
Příloha 20B	IDENTIFIKACE SYSTÉMU PRO LINEÁRNÍ ČASOVĚ NEMĚNNÉ MDOF SYSTÉMY	534
Příloha 20C	POSTUP I MET (SPECIFICKÁ REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY (TWR)).....	543
Příloha 20D	POSTUP II MET (SPECIFICKÁ MATICE SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY (SDM)).....	551
Příloha 20E	VYPRACOVÁNÍ HARMONOGRAMU LABORATORNÍ VIBRAČNÍ ZKOUŠKY PRO APLIKACI VÍCE BUDIČŮ	555

20.1 ROZSAH PLATNOSTI

20.1.1 Účel

Zkušební metoda s více budiči se provádí za účelem prokázání nebo poskytnutí určité míry jistoty, že při uvažování více zkoušených předmětů může materiál konstrukčně a funkčně odolat specifikovanému dynamickému prostředí, např. stacionární, nestacionární nebo rázové povahy, které musí být reprodukováno na zkoušený předmět v laboratoři s více než jedním stupněm volnosti pohybu. Laboratorní zkušební prostředí může být odvozeno z měření na materiálu v polních podmínkách nebo může vycházet z analyticky generované specifikace.

20.1.2 Použití

- a) **Všeobecné.** Tato metoda se použije pro všechny typy materiálu, s výjimkou případů uvedených v čl. 20.1.3 níže. U kombinovaných zkoušek vlivu prostředí se zkouška provádí v souladu s příslušnou dokumentací ke zkoušce. Tuto metodu je však potřeba použít ke stanovení dynamických zkušebních úrovní, dob trvání, omezení dat a podrobností o zkušebním postupu.
- b) **Účel zkoušky.** Zkušební postupy a pokyny v tomto dokumentu jsou přizpůsobitelné pro různé účely zkoušky, včetně vývoje, spolehlivosti, kvalifikace atd.
- c) **Dynamika životního cyklu.** AECTP-100 a AECTP-240 poskytují přehled různých situací životního cyklu, v průběhu kterých se může vyskytnout určitá forma vibrací (stacionární nebo nestacionární), spolu s předpokládanou příslušnou platformou.
- d) **Organizace.** Značný počet doplňujících informací je uveden v přílohách. Citace odkazů na externí dokumenty jsou na konci hlavního textu (článek 20.7). Přílohy jsou strukturovány následovně:

PŘÍLOHA 20A – TECHNICKÉ INFORMACE PRO UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ PRO METODU MET.

PŘÍLOHA 20B – IDENTIFIKACE SYSTÉMU PRO LINEÁRNÉ ČASOVĚ NEMĚNNÉ MDOF SYSTÉMY.

PŘÍLOHA 20C – POSTUP I MET (SPECIFICKÁ REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY (TWR)).

PŘÍLOHA 20D – POSTUP II MET (SPECIFICKÁ MATICE SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY (SDM)).

PŘÍLOHA 20E – VYPRACOVÁNÍ HARMONOGRAMU LABORATORNÍ VIBRAČNÍ ZKOUŠKY PRO APLIKACI VÍCE BUDIČŮ.

20.1.2.1 Všeobecná rozprava

Tato metoda se používá k prokázání, že sledovaný materiál může konstrukčně a funkčně odolat specifikovanému dynamickému prostředí, které je definováno pohybem s více než jedním stupněm volnosti (SDOF), tj. pohybem s více stupni volnosti (MDOF). Stanovení intervalů spolehlivosti může být rovněž zajímavé, pokud se zkouší více podobných předmětů. Specifikace prostředí může být provedena prostřednictvím podrobného souhrnu dat naměřených v polních podmínkách a souvisejících se zkoušeným materiálem, který vyžaduje více než jeden stupeň volnosti, nebo analytickou generací prostředí, které bylo řádně charakterizováno

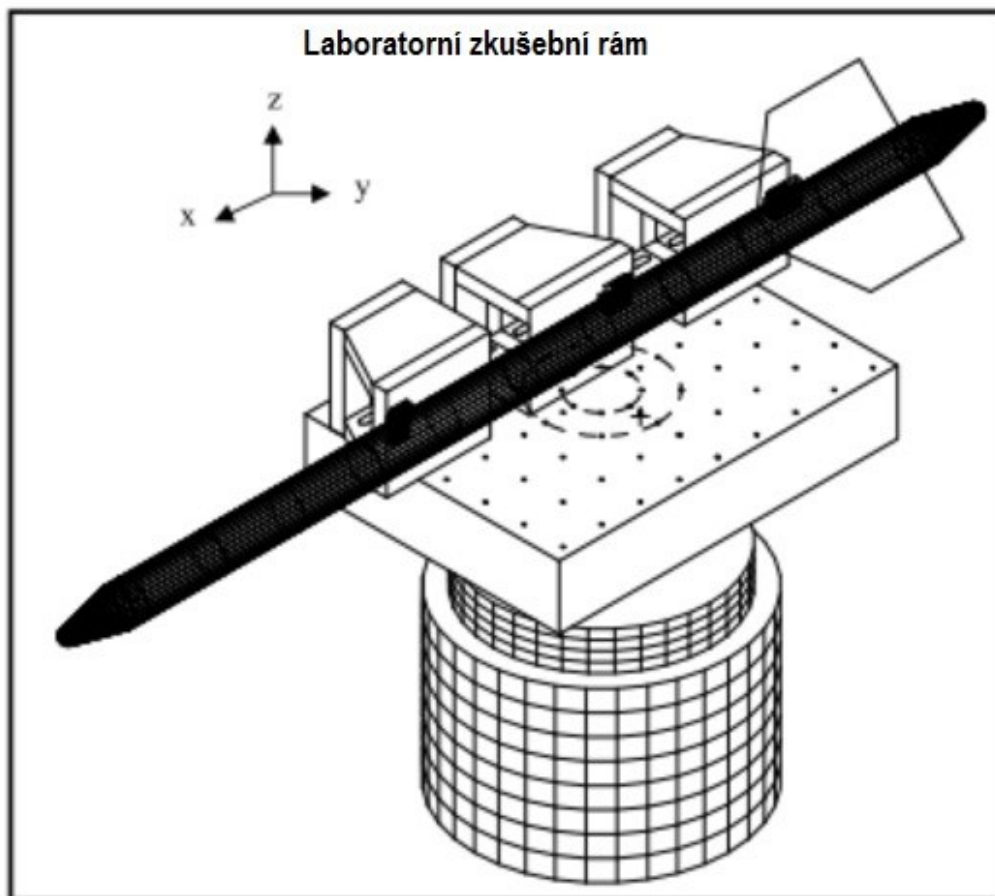
v MDOF. Obecně, specifikace prostředí bude zahrnovat několik stupňů volnosti v uspořádání měřicích bodů materiálu, a zkoušení materiálu v laboratoři v režimu SDOF se považuje za nedostatečné pro správné rozdělení vibrační energie v materiálu, aby bylo možné uspokojit specifikaci. V důsledku zvýšené složitosti MET při postupné aplikaci zkoušek SDOF s jediným budičem (SET), bude muset analytik po důkladném přezkoumání dostupných údajů poskytnout odůvodnění pro volbu této metody. Metody 401, 403 a 423 AECTP-400 poskytují návod při vypracování zdůvodnění a požadavku na MET. Důvody pro výběr MET než SET mohou zahrnovat následující.

- a) MET poskytuje rozdělení vibrační nebo rázové energie do materiálu ve více než jedné ose řízeným způsobem, aniž by se spoléhalo na dynamiku materiálu pro takové rozdělení.
- b) MET lze zvolit, pokud je fyzická sestava materiálu taková, že jeho poměr štíhlosti je vysoký, a zkouška s jediným budičem (SET) se musí spoléhat na dynamiku materiálu pro rozdělení energie.
- c) U velkého a těžkého zkoušeného materiálu může být zapotřebí více než jednoho budiče k zajištění dostatečné energie pro zkoušený předmět.
- d) MET umožňuje více stupňů volnosti při kontrole jak shody impedance, tak i provozních okrajových podmínek materiálu.

20.1.2.2 Terminologie

Pro odlišení zkušebních metod MET a SET je třeba pečlivě definovat několik termínů. Termín „uspořádání zkoušky“ použitý v tomto dokumentu bude odkazovat na celkový popis laboratorního zkoušení včetně zdrojů buzení, upevnění a orientace zkoušeného předmětu. V obou zkušebních sestavách musí být provedeno rozlišení mezi měřením buzení ve vektorové ose buzení a měřením na zkoušeném předmětu buď ve vektorové ose buzení, nebo v jiném vektoru odlišném od vektorové osy buzení. Aby se předešlo nejasnostem ve specifikaci a hlášení, musí být obecně vektorové směry buzení a měření specifikovány pomocí jediného laboratorního setrvačného referenčního rámu vztahujícího se k uspořádání zkoušky. Kromě toho je užitečné určit geometrickou sestavu zkoušeného předmětu spolu s dynamickými vlastnostmi, jako jsou momenty setrvačnosti ve vztahu k jedinému laboratornímu setrvačnému referenčnímu rámu.

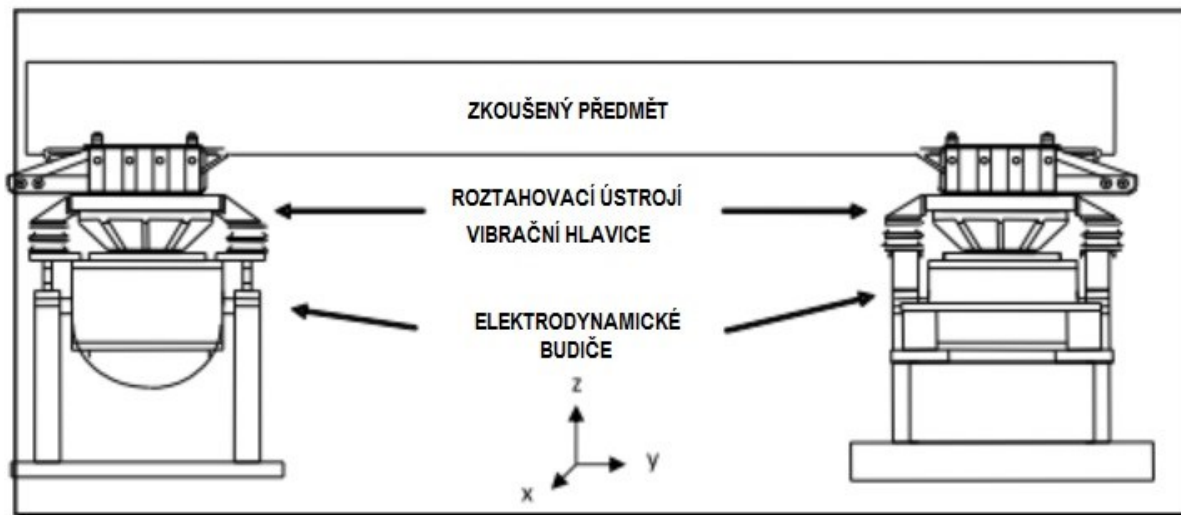
- a) **Pohyb s jedním stupněm volnosti (SDOF)** – pohyb definovaný pohybem materiálu podél nebo kolem jediné osy, jehož popis vyžaduje pouze jednu souřadnici, aby bylo možné v libovolném okamžiku zcela definovat polohu předmětu.
- b) **Pohyb s více stupni volnosti (MDOF)** – pohyb definovaný pohybem zkoušeného předmětu podél nebo kolem více než jedné osy, jehož popis vyžaduje v každém okamžiku dvě nebo více souřadnic k úplnému definování polohy předmětu.
- c) **Měření v jedné ose (SA)** – měření buzení nebo odezvy v jedinečném směru jednoho vektoru (lineární nebo rotační). Pro rotační osu je směr vektoru kolmý na rovinu otáčení budiče nebo zkoušeného předmětu. Obrázek 20.1 zobrazuje jednoosý vstup ve svislém směru do rozměrné konstrukce.
- d) **Víceosé měření (MA)** – měření buzení nebo odezvy, které vyžaduje pro popis více než jeden jedinečný vektor. Viz obrázky 20.2 a 20.3 pro příklady měření MA jak dvouosých, tak tříosých vstupů do běžné konstrukce.



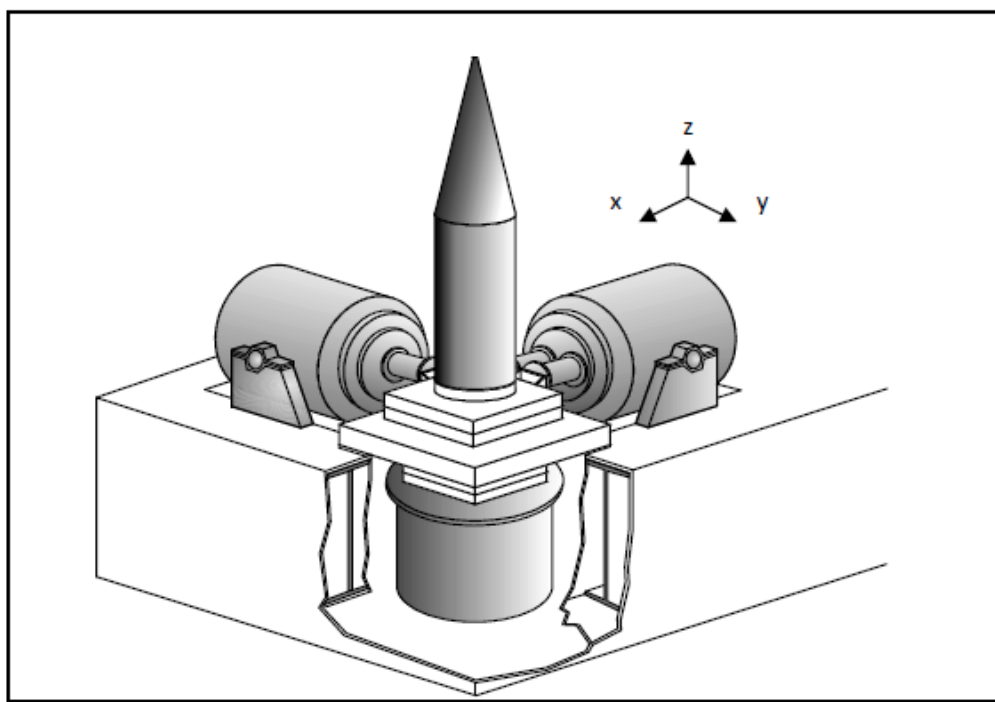
OBRÁZEK 20.1 – SESA – sestava zkoušky s jedním budičem ve svislém směru

- e) **Jeden budič / Jedna osa (SESA)** – aplikace jediného budiče poskytujícího dynamický vstup do zkoušeného předmětu v jednom vektorovém směru. Všechny sestavy SET jsou podle definice SESA.
- f) **Více budičů / Jedna osa (MESA)** – aplikace více budičů poskytujících dynamický vstup do zkoušeného předmětu v jednom vektorovém směru. Například rozměrný materiál může vyžadovat buzení na předním a zadním konci v jedné vektorové ose, jak je znázorněno na obrázku 20.2. Pokud definice buzení vyžaduje více než jeden vektor, viz definice MEMA. Obrázek 20.2 znázorňuje aplikaci dvou budičů. Je třeba vzít na vědomí, že systém bude vyžadovat vhodné ložiskové sestavy, které umožní čistý rotační pohyb MESA nebo kombinovaný lineární a rotační pohyb MEMA.
- g) **Více budičů / Více os (MEMA)** – aplikace více budičů poskytujících dynamický vstup do zkoušeného předmětu způsobem, který vyžaduje více než jeden vektor pro úplný popis buzení a měření. Obrázek 20.3 zobrazuje zkoušku se třemi osami na třech budičích. K popisu zkoušky jsou vyžadovány tři osy: svislá, příčná a podélná. Je třeba vzít na vědomí, že v posledních letech bylo postaveno mnoho sestav víceosých zkušebních platform. Mezi běžné příklady šesti budičů patří hexapod (Stewart Platform), MAST a Team Cube. Existují rovněž přeuročené nadměrně aktivované systémy, které tvoří

více než 6 budičů. V každém případě se dynamické vlastnosti jednotlivých konstrukcí vzájemně odlišují a při návrhu zkoušky MET musí být brány v úvahu.



OBRÁZEK 20.2 – MESA (pokud je řízení nastaveno pro dva budiče, pohyb s jedním stupněm volnosti (1-DOF)) nebo MEMA (pokud jsou řízení a mechanické spojky nastaveny pro dva budiče, pohyb se dvěma stupni volnosti (2-DOF))



OBRÁZEK 20.3 – MEMA – sestava zkoušky tříosého budiče (translační stupně volnosti)

- h) **Jediný vstup / Jediný výstup (SISO)** – označuje vstup jediného signálu pohonu do budicího systému v sestavě SDOF a jednoho měřeného výstupu z upevnění nebo zkoušeného předmětu v sestavě SDOF.
- i) **Jediný vstup / Více výstupů (SIMO)** – označuje vstup jediného signálu pohonu do budicího systému v sestavě SDOF a více naměřených výstupů z upevnění nebo zkoušeného předmětu v sestavě MDOF. Obecně platí, že pro účely specifikace se nepředpokládá, že dynamické chování zkoušeného předmětu přispěje k výstupu DOF, tj. měřená rotace rozměrného zkoušeného předmětu, který je buzen v konzolovém režimu, se bude v zásadě stále považovat za SET s lineárním zrychlením charakterizujícím výstup.
- j) **Více vstupů / Jediný výstup (MISO)** – označuje vstup více signálů pohonu do sestavy budicího systému v sestavě MDOF a jednoho měřeného výstupu z upevnění nebo zkoušeného předmětu v sestavě SDOF. Tato terminologie se nejčastěji používá při zpracování naměřených údajů, kde je jediný výstup složen z měření z více vstupů.
- k) **Více vstupů / Více výstupů (MIMO)** – označuje vstup více signálů pohonu do sestavy budicího systému v sestavě MDOF a více naměřených výstupů z upevnění nebo zkoušeného předmětu v sestavě MDOF. Je důležité si uvědomit, že obecně neexistuje vzájemná shoda mezi vstupy a výstupy a počet vstupů a počet výstupů se může lišit.

V následujících odstavcích budou většinou použity pouze termíny MESA a MEMA, avšak pro zpracování dat měření jsou termíny SISO, SIMO, MISO a MIMO standardní (článek 20.7, odkazy a, c).

20.1.3 Omezení

Tato metoda se zabývá velmi obecnými sestavami zkoušení pro aplikaci buzení na materiálu ve více osách. Obecně platí, že materiál nasazovaný v polních podmínkách má okrajové (nebo impedanční) podmínky, které jsou velmi obtížné, a často je nákladově neúnosné reprodukovat je při laboratorních zkouškách. Celkovým cílem MET je dosáhnout rozdělení budicí energie v materiálu, která se blíží tomu, co se objevuje v průběhu nasazení v provozu, a zároveň minimalizuje rozdíl mezi provozními a laboratorními okrajovými podmínkami. Omezení vyplývající z návrhu upínacích přípravků a/nebo jiná fyzická omezení mohou omezit aplikaci provozního prostředí v laboratoři. Měření v provozu nemusí být rovněž dostačující pro upřesnění uspořádání laboratorní zkoušky. Jako vždy se bude vyžadovat technická analýza a úsudek, aby se zajistilo, že spolehlivost zkoušky je dostatečná pro splnění cílů zkoušky.

Pro tuto metodu platí rovněž následující omezení:

- a) Neřeší aspekty strategie řízení softwaru dodávaného dodavatelem pro MET.
- b) Neřeší výhody ani nevýhody Postupu I a Postupu II MET, jak jsou definovány v článku 20.2.4. Současný stav v oblasti tržního hospodářství není takový, že v této době lze provést komplexní srovnání.
- c) Neřeší optimalizační techniky konfigurace laboratorní zkoušky vzhledem k rozdělení budicí energie ve zkoušeném předmětu.
- d) Nevztahuje se na technické problémy související s osami buzení a hmotností materiálu a momenty setrvačnosti. Rovněž se nezabývá potřebou

specializovaného softwaru pro optimalizaci os buzení s ohledem na hmotnost a produkty setrvačnosti.

- e) Obecně neposkytuje konkrétní informace o toleranci zkoušky, protože to je vysoce závislé na (1) cíli zkoušky, (2) uspořádání měření ve zkušební laboratoři a (3) strategii řízení softwaru dodavatele.
- f) Nezabývá se podrobně potenciálem efektivnosti a účinnosti metody MET v porovnání s metodou SET, což ponechává jako součást specifikace MET pro měřené provozní prostředí.
- g) Nezabývá se optimálními konfiguračními faktory měření v provozu, které jsou v souladu s MET.
- h) Předpokládá se, že buzení je zajištěno mechanicky prostřednictvím elektrodynamických nebo servohydraulických budičů, a nebere v úvahu kombinované akustické (viz Metoda 402) nebo pneumaticky vyvolané režimy buzení.

20.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

20.2.1 Použití naměřených údajů

K vypracování zkušebních úrovní se doporučuje použít údaje o vibracích naměřené v polních podmínkách. Obzvláště důležité je použít údaje z polních podmínek tam, kde je cílem přesná simulace. Měly by být získány dostatečné údaje, aby bylo možné přiměřeně popsat podmínky, které působí na materiál a jsou hodnoceny v každé fázi LCEP. Velikost vzorku měřených údajů by měla být minimálně dostatečná k zohlednění odchylek v údajích způsobených rozdělením stavu a stáří přepravní platformy, nosnosti, provozní obsluhy a provozních podmínek prostředí. Pokyny a postupy pro vypracování harmonogramů laboratorních vibračních zkoušek (LVTS), které lze použít k simulaci prostředí vibrací v polních podmínkách na vibračním stole, jsou uvedeny v příloze 20E.

20.2.2 Posloupnost

Pro určení, kde se v životním cyklu materiálu předpokládají významné účinky rozdělení budicí energie, nebo kde lze dosáhnout podstatných úspor nákladů při použití strategie MET, je nezbytné se seznámit s požadavky dokumentů a aplikovat proces přizpůsobení. Potvrdí se potřeba této metody a její místo v pořadí zkoušek. Obecně se prostředí specifikované pro MET může objevit kdykoli během životního cyklu materiálu a může být rozprostřeno mezi speciálně navrženými prostředími s více osami SET, např. rázy. Zkoušky, které představují kritická prostředí, se provedou na konci mise. U většiny zkoušek se to může lišit, je-li to nutné pro přizpůsobení plánům zkušebních zařízení, nebo z jiných praktických důvodů.

Identifikují se zkušební podmínky, zejména s ohledem na teplotní podmínky. Je potřeba mimořádná opatrnost s ohledem na podrobnosti procesu přizpůsobení. Při těchto výběrech je třeba vycházet z dokumentů s požadavky, z profilu prostředí životního cyklu a informací poskytnutých tímto postupem.

20.2.3 Vlivy prostředí

Obecně platí, že veškerá měřená provozní prostředí vyžadují pro kompletní popis měření víceosé odezvy. MET obecně distribuuje budicí energii do zkoušeného předmětu a minimalizuje účinky okrajových podmínek v provozu. Následuje částečný

seznam účinků na materiál, které lze reprodukovat v laboratoři lépe v rámci MET než SET.

- a) Únava materiálu, praskliny a lomy citlivé na víceosé buzení.
- b) Deformace konstrukce materiálu, např. vyčnívající části.
- c) Uvolnění těsnění a spojů.
- d) Posun součástí.
- e) Odírání povrchových ploch s jednoosým designem.
- f) Kontakt, zkrat nebo poškození elektrických součástí.
- g) Vyosení součástí materiálu (např. optické).

20.2.4 Výběr zkušebních postupů

V rámci metody MET jsou definovány dva základní zkušební postupy. Postupy MESA nebo MEMA lze použít při reprodukci buď odezvy materiálu naměřené v polních podmínkách, nebo analyticky odvozeného víceosého prostředí. Dva základní zkušební postupy jsou shrnuty následovně:

- a) **Postup I – Referenční kritéria časové oblasti.** Tento postup MET je rozšířením metodik Reprodukce časového průběhu tvaru vlny (TWR) SESA, které jsou předmětem Metody 423. Stejně jako v případě SESA, nejsou měřené nebo syntetizované časové průběhy omezeny ani pro zkoušku MEMA TWR na stacionární Gaussovy časové průběhy.
- b) **Postup II – Referenční kritéria kmitočtové oblasti.** Tento postup MET je rozšířením metodik řízení vibrací založených na spektru SESA, které jsou popsány v Metodě 401. Stejně jako v případě SESA, budou časové průběhy syntetizované pro náhodnou zkoušku MEMA, stacionární a Gaussovy.

Podmínky volby postupu

Na základě požadavků na údaje o zkoušce je třeba rozhodnout, zda je tato metoda použitelná. Zejména je třeba stanovit, zda jsou k dispozici pečlivě naměřené a správně zpracované informace o sestavě měření v polních podmínkách ve formě pásmově omezených časových průběhů nebo odhadů autospektrální a křížové spektrální hustoty podle potřeby, aby byly v souladu s laboratorní sestavou metody MET a s požadavky na specifikaci dodavatele softwaru pro systém řízení vibrací. Základní pozornost se věnuje prostředí s jednou osou, které vyžaduje více budičů nebo prostředí s více osami, které vyžaduje více budičů. Obecně platí, že postup MEMA přesahuje složitost postupu MESA, proto by se měly učinit pokusy minimalizovat co nejvíce složitost zkušebního postupu.

Při volbě postupu by mělo napomáhat další používání materiálu v provozu, spolu s významnými účinky rozdělení energie prostředí. Jednou z hlavních úvah při volbě Postupu I je schopnost řešit situace, v nichž statistiky referenčního signálu nejsou stacionární a Gaussovy. Postup II by se měl zvažovat v případě, že referenční data jsou stacionární a soubor signálů představujících životnost může být přiměřeně reprezentován Gaussovou funkcí hustoty pravděpodobnosti a/nebo když se mají použít metody časové komprese. Viz pokyny uvedené v AECTP-300, Metoda 300 a v MIL-STD-810G CN1, Metoda 514.7, článek 4.2.2.1, který se týká manipulace se strmostí za účelem řešení negaussovského chování.

20.2.5 Druhy vibrací

K datu zveřejnění této publikace je Postup II – referenční kritéria kmitočtové oblasti k dispozici pouze pro náhodné buzení MDOF. Pro řešení složitých prostředí, jako jsou kombinovaná prostředí se sinusovým kmitočtem na náhodném nebo úzkopásmové náhodné s rozmítaným kmitočtem na náhodném ve zkoušce MDOF, musí být použit Postup I – referenční kritéria časové oblasti.

20.2.6 Možnosti strategie řízení

Pro pochopení, jak bude MDOF LVTS sloužit jako reference v řídicím procesu, je v příloze 20E, čl. 20.E.3.2 uvedena všeobecná rozprava o procesu řízení MDOF.

20.2.7 Provoz materiálu

Vždy, když je to vhodné, je třeba zajistit, aby zkoušené předměty byly v průběhu vibračních zkoušek v činnosti a funkční. Monitoruje a zaznamenává se dosažený výkon. Je potřeba získat co nejvíce údajů, které definují citlivost materiálu na vibrace. Pokud se provádějí zkoušky k určení provozní způsobilosti při vystavení vlivu prostředí, uvede se zkoušený předmět do činnosti. V ostatních případech se provoz zkoušeného předmětu zkouší pouze tam, kde je to účelné. Provoz během přepravy nebude možný téměř ve všech případech. Existují rovněž případy, kdy se provozní sestava mění v závislosti na fázi nasazení, nebo kde činnost nemusí být vyžadována při vysokých úrovních vibrací, a pravděpodobně by měla za následek poškození.

20.3 NÁROČNOSTI ZKOUŠKY

20.3.1 Všeobecná ustanovení

Pro tuto metodu nejsou definovány žádné výchozí náročnosti. Úrovně a doby trvání budou stanoveny na základě plánovaných profilů používání v provozu a dalších relevantních dostupných údajů. V příloze 20E jsou uvedeny podmínky a metodiky pro vypracování harmonogramů laboratorních vibračních zkoušek (LVTS), které lze použít k simulaci prostředí vibrací v polních podmínkách na vibračním stole.

20.3.2 Pomocné hodnocení

Je potřeba si uvědomit, že vybraná zkouška nemusí být adekvátní simulací celého prostředí a v důsledku toho může být nutné doplnit výsledky zkoušky pomocným hodnocením.

20.3.3 Stanovení úrovní a podmínek zkoušky

Obecně platí, že oba postupy vyžadují měřené údaje odezvy v provozu. Postup I bude vyžadovat více časových průběhů, které budou sloužit jako zkušební reference, a Postup II bude vyžadovat, aby naměřená data byla zpracována do odhadů autospektrální a křížové spektrální hustoty při určování úrovní a podmínek zkoušky. Je však také možné, že postup MET se může spolehnout na analyticky specifikované časové průběhy nebo informace o autospektrální a křížové spektrální hustotě.

20.3.3.1 Vstupní data laboratorní zkoušky

K poskytnutí údajů o měření odezvy materiálu v provozu, které mohou být použity přímo při specifikaci jednoho z postupů pro metodu MET, nebo mohou být odvozeny jako typické pro prostředí, které může být nepřímo specifikováno pro jeden z postupů pro metodu MET, by měla být použita přijatelná technická praxe popsaná v čl. 20.7, odkaz e. Při přímém nebo nepřímém použití měření jsou konkrétní měření prováděna relativně nezávisle na struktuře materiálu nebo v „zónách“ materiálu, které nejsou

citlivé na místní podmínky. Předpokládá se rovněž, že měření odezvy materiálu v provozu, odpovídají měřením odezvy materiálu, která mají být provedena v laboratoři v rámci MET. Je nezbytné stanovit hmotnostní vlastnosti materiálu, včetně těžiště a hmotnosti a momentů setrvačnosti. Kdykoli je to účelné, je třeba získat modální přehled sestavy materiálu v provozu i v laboratoři. To umožní posouzení celkových dynamických charakteristik obou sestav, kromě určení případných nelinearit v důsledku spojů materiálu atd. Správná interpretace analýzy normálního režimu pomůže určit optimální uspořádání laboratorní zkoušky založené na měřeních v provozu. Dokonce i jednoduchý hmotnostní/tuhostní analytický model velmi pomůže při stanovení optimální sestavy laboratorní zkoušky. Pečlivou pozornost je potřeba věnovat i formě a povaze vstupních informací do softwaru MET dodaného dodavatelem.

20.3.3.2 Výstupní data laboratorní zkoušky

Kromě podmínek uvedených v článku 20.3.3.1 může být zkoušený předmět vybaven přístroji na jiných místech než v bodech „řízení“ MET a tyto body se obecně označují na základě diskuse v čl. 20.3.3.1 jako body „monitorování“. Takové měřicí body mohou být užitečné pro jiné účely, jako je analytické modelování materiálu a jeho součástí. Tyto informace o měření a jeho použití zde dále nebudou rozebírány.

20.3.3.3 Úvahy o křížové spektrální hustotě

Při provádění metody MET hraje definice prvků křížové spektrální hustoty (CSD) hlavní roli v míře, v jakém vzájemném vztahu jsou vlastnosti laboratorního pohybu a měření v polních podmínkách, pokud jde o spektrální i časové charakteristiky spojů. V případě Postupu I (reference v časové oblasti) se informace CSD uchovávají v rámci jednotlivých časových průběhů, které mají být použity jako referenční kritéria. V případě Postupu II (reference v kmitočtové oblasti) je nutné specifikovat prvky CSD na základě odhadů CSD vypočtených z dat v polních podmínkách. Příloha 20D řeší řízení prvků CSD podrobněji.

20.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

20.4.1 Všeobecná ustanovení

Pro odpovídající provedení a zdokumentování dynamických zkoušek jsou nutné následující minimální informace. Seznamy je třeba přizpůsobit konkrétním okolnostem a podle potřeby přidat nebo odstranit příslušné položky. Důrazně se doporučuje provádět kontroly vlastností upevnění a materiálu. Tato data jsou užitečná při hodnocení výsledků zkoušek a při hodnocení vhodnosti materiálu vůči měnícím se požadavkům nebo pro nové aplikace. Tato data mohou být zvláště cenná v budoucích programech, kde bude hlavní důraz kladen na využití existujícího materiálu v nových aplikacích. (Pokud je kontrola vlastností vyloučena z programových důvodů, může někdy poskytnout užitečné informace jednoduché vyhledávání rezonancí).

20.4.2 Povinné

- a) Identifikace zkoušeného předmětu.
- b) Definování zkoušeného předmětu.
- c) Druh zkoušky (vývojová, kvalifikační atd.).
- d) Orientace zkoušeného předmětu ve vztahu ke zkušebním osám.
- e) Zda a kdy se mají provádět kontroly provozu.

- f) Určení, zda se výchozí a konečné kontroly mají provádět na zkoušeném předmětu upevněném na zkušebním zařízení.
- g) Další důležité údaje požadované k provedení zkoušky a kontrol provozu.
- h) Strategie řízení vibrací.
- i) Monitorovací a řídicí body nebo postup pro volbu těchto bodů.
- j) Doba teplotního kondicionování.
- k) Použití držáků izolátorů nebo jiných přípravků.
- l) Stanovení náročnosti zkoušek.
- m) Určení kritérií poruch.
- n) Definovat řízení tolerancí. Určení postupu pro případ překročení tolerancí v případě rozměrných zkoušených předmětů nebo vícedílných upínacích přípravků.
- o) Další podmínky prostředí, ve kterých se má zkoušení provádět, pokud jsou jiné než standardní laboratorní podmínky.

20.4.3 Jsou-li požadované

- a) Zvláštní vlastnosti zkušební sestavy (budič, upevnění, propojení atd.).
- b) Vliv zemské přitažlivosti a následná opatření.
- c) Úroveň přípustných rušivých magnetických polí.

20.4.4 Zkušební zařízení

Zvláštní charakter MET vyžaduje použití zkušebního zařízení, které zahrnuje prokázanou schopnost MET, upínací zařízení pro namontování zkušebního materiálu a vhodné vybavení pro zaznamenávání odezvy zkoušeného předmětu na určených řídicích a monitorovacích místech. Kromě toho bude mít zkušební zařízení způsobilosti nezbytné k tomu, aby bylo možné zkoušku vhodně nakonfigurovat podle tvaru zkoušeného materiálu, jak je uvedeno v čl. 20.2.4. Je potřeba se ujistit, že řízení budiče má řádně ověřený hardware a software MET.

20.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

20.5.1 Příprava zkoušky

Pečlivě zkontrolovat platnost referenčních časových průběhů nebo specifikovaných autospektrálních a křížových spektrálních informací. Zajistit, aby specifikace zkoušky byla omezena pásmem podle pásmových limitů budicího systému. Zejména může být nutné odstranit jakékoli nízkokmitočtové složky s vysokou amplitudou, které způsobí stav přetížení řídicího systému budiče nebo povedou k překročení limitu rychlosti. V případě, že referenční údaje musí být upraveny tak, aby odpovídaly omezením budicího systému, musí být věnována pozornost tomu, aby nedošlo k ohrožení záměru zkoušky; a změny musí být zdokumentovány a schváleny odpovědným zkušebním pracovníkem. Většina systémů MET takové kontroly mezních hodnot budicího systému poskytuje; proveditelnost reprodukce buzení vzhledem ke křížovým spektrálním informacím však obecně není ověřována.

Charakterizování zkoušeného materiálu. Například:

- a) Dynamicky pružná konstrukce s proměnným poměrem délky a průměru.
- b) Dynamicky tuhá konstrukce s pružnými doplňky.
- c) Dynamicky/geometricky asymetrická konstrukce.

- d) Materiál v přepravních nebo skladovacích kontejnerech s izolací podle materiálu/kontejneru.

Pokud je zkoušený předmět jedinečný a nesmí se před laboratorní zkouškou degradovat, vyzkouší se dynamický simulační předmět, který představuje dynamické vlastnosti zkoušeného materiálu, aby bylo zajištěno, že MET lze správně kompenzovat. Taková předběžná zkouška umožní specifikaci a zdokonalení strategie řízení, včetně volby řídicích měřicích bodů. Může rovněž umožnit specifikaci celkové sestavy budiče pro optimalizaci strategie zkoušky.

20.5.1.1 Předběžné kroky

Před zahájením zkoušky zkontrolovat informace o zkoušce v plánu zkoušky pro zjištění podrobností zkoušky (postup/postupy, sestavu/sestavy zkoušeného předmětu, úrovně, doby trvání, strategii řízení budiče vibrací, kritéria poruch, provozní požadavky zkoušeného předmětu, požadavky na přístrojové vybavení, způsobilost zařízení, upevnění atd.).

- a) Zvolit vhodnou sestavu MET a přidružené upevnění.
- b) Zvolit vhodný systém sběru dat (např. přístrojové vybavení, kabely, kondicionování signálu, záznamové a analytické zařízení).
- c) Uvést do provozu vibrační zařízení bez nainstalovaného zkoušeného předmětu nebo s hmotnostním simulátorem pro potvrzení správné činnosti.
- d) Zajistit, aby systém pro sběr dat fungoval podle potřeby.

20.5.1.2 Kalibrace

Zajistit, aby budicí zařízení, všechny snímače, zařízení pro kondicionování signálu, nezávislé měřicí systémy a systém řízení vibrací byly kalibrovány, aby vyhovovaly specifikovaným požadavkům zkoušky. Pečlivý návrh nastavení zkoušky, upevnění, montáž snímačů a kabeláže spolu s dobrou kvalitou řízení budou nezbytné pro splnění tolerancí uvedených v čl. 20.5.4.

20.5.1.3 Předběžné kondicionování

Zkoušený předmět by měl být stabilizován na své počáteční klimatické a jiné podmínky, jak jsou uvedené v Pokynech ke zkoušce. Celková doba trvání vystavení materiálu teplotnímu kondicionování pro zkušební program by měla být kratší než doba předpokládané životnosti jakéhokoli komponentu materiálu. Celková doba vystavení musí být stanovena na základě součtu doby předběžného kondicionování plus času v pohotovostním režimu plus skutečné doby laboratorního zkoušení. Celková doba vystavení větší než limit životnosti materiálu může vyvolat zrychlený způsob poruchy materiálu nebo degradaci materiálu, která nesouvisí se simulovanými podmínkami zkoušky vlivu prostředí. Při zkoušení energetických nebo chemicky reaktivních materiálů, které degradují při zvýšené teplotě, je třeba postupovat obzvláště opatrně.

Pro stanovení celkové doby vystavení je nutné zvážit účast inženýra zkušebnímu programu pro každou fázi zkoušení vlivu prostředí, mechanickou, klimatickou a elektrickou a každou další pohotovostní dobu před konečnými provozními nebo výkonovými zkouškami. Pohotovostní doba nebo doba předběžného kondicionování, jako je udržování předmětu při kondicionované teplotě přes víkend, může mít významný dopad. Skutečné zkušební podmínky se týkají doby skladování a provozních zkoušek při vysokých teplotách, vysokoteplotního vsakování během

vibrací a případně zkoušek slunečním zářením. AECTP-200 poskytuje další pokyny ke zrychlenému stárnutí.

20.5.1.4 Předběžná kontrola

Všechny předměty vyžadují předběžnou kontrolu, aby bylo možné poskytnout základní údaje. Předběžnou kontrolu provést následovně:

- Krok 1 Prohlédnout zkoušený předmět, zda neobsahuje fyzické vady atd. a zdokumentovat výsledky.
- Krok 2 Připravit zkoušený předmět ke zkoušce, v jeho provozní sestavě, pokud je to požadováno, jak je uvedeno v Programu zkoušky.
- Krok 3 Provéřit, zda kombinace zkoušeného předmětu / upevnění / budicího systému vyhovuje požadavkům zkoušeného předmětu a Programu zkoušek.
- Krok 4 Je-li to možné, provést provozní kontrolu v souladu s Programem zkoušek a zdokumentovat výsledky pro srovnání s údaji získanými v průběhu nebo po zkoušce. Pokud zkoušený předmět nefunguje podle potřeby, vyřešit problémy a opakovat provozní kontrolu.

20.5.1.5 Provozní kontroly

Vždy, když je to vhodné, zajistit, aby zkoušené předměty byly v průběhu vibračních zkoušek aktivní a funkční. Monitorovat a zaznamenávat dosažený výkon. Získat co nejvíce údajů, které definují citlivost materiálu na vibrace. Pokud se provádějí zkoušky k určení provozní způsobilosti při vystavení vlivu prostředí, uvést zkoušený předmět do činnosti. V ostatních případech provozovat zkoušený předmět tam, kde je to účelné. Provoz v průběhu přepravy nebude možný téměř ve všech případech. Existují rovněž případy, kdy se provozní sestava mění s fází nasazení, nebo kde nemusí být provoz při vysokých úrovních vibrací požadovaný a může mít za následek poškození. Konečné provozní kontroly by měly být provedeny poté, co byl materiál vrácen do klidového stavu za podmínek předběžného kondicionování, a byla dosažena tepelná stabilita.

20.5.2 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušené předměty mohou být různé – od materiálové součástky až po konstrukční sestavy obsahující několik různých podsestav. V důsledku toho je tedy potřebné při postupech instalace vzít v úvahu následující:

- a) Upevnění zkoušeného předmětu by mělo simulovat co nejvěrněji skutečné provozní montážní upevnění (včetně izolátorů vibrací a případně utahovacího momentu). Předměty namontované na pryžových izolačních systémech mohou vyžadovat monitorování teploty izolátoru s plánovaným přerušením zkoušky, aby se zabránilo přehřátí a nepřirozené poruše izolátoru nebo nerealistickému přenosu energie na zkoušený předmět.
- b) Veškerá připojení (kabely, potrubí atd.) by měla být nainstalována tak, aby zkoušenému předmětu způsobovala napětí a deformace podobné těm, které se vyskytují při provozu.

20.5.2.1 Přístrojové vybavení

V nastavení MET a k určení reference pro MET lze použít různé typy senzorů. Obecně a v příkladech použitých v tomto dokumentu bude pro stanovení specifikace postupu měřená velikost zrychlení. Zpracované informace o měření senzoru

z laboratorního prostředí by měly odpovídat zpracovaným informacím o měření provedeném v polních podmínkách. Toho je nejlépe dosaženo namontováním akcelerometru zkoušeného předmětu na stejné místo, z kterého byly naměřené informace získány v polních podmínkách. V případě MDOF se umístění přístrojů a polarita stanou rozhodujícími parametry zkoušky (viz příloha 20A). Pro udržení správných fázových vztahů mezi kanály se doporučuje synchronní vzorkovací a přidržovací analogově digitální převodník (A/D). Pokud je to možné, doporučuje se, aby byly laboratorní údaje a údaje měření v polních podmínkách a přístroje stejné. V opačném případě může být nezbytné před provedením laboratorních zkoušek předběžné zpracování referenčních údajů.

Kalibrovat veškeré měřicí přístroje podle výsledovatelných národních kalibračních norem. Měřicí zařízení a jeho montáž budou kompatibilní s požadavky a směrnicemi uvedenými v čl. 20.7, odkaz e.

- a) **Akcelerometr.** Při výběru jakéhokoli snímače by se měl každý uživatel obeznámit se všemi parametry uvedenými v přiloženém specifikačním listu. Rozhodující výkonové parametry akcelerometru jsou následující:
- (1) Frekvenční odezva: Je požadována plochá frekvenční odezva v rozmezí $\pm 5\%$ frekvenčního rozsahu.
 - (2) Příčná citlivost by měla být menší nebo rovna 5% .
 - (3) Téměř všechny snímače jsou ovlivněny vysokými a nízkými teplotami. Je potřeba si uvědomit a kompenzovat odchylku teplotní citlivosti podle potřeby. Odchylky teplotní citlivosti při zkoušce od požadované teploty by neměly být vyšší než $\pm 5\%$ vzhledem k teplotě, při které byla stanovena citlivost snímače.
 - (4) Při výběru jakéhokoli akcelerometru by měla být hodnocena citlivost na základní zátěž. Stanovení mezí citlivosti na základní zátěž je často konkrétním případem založeným na poměru základní zátěže k předpokládanému translačnímu zrychlení.
 - (5) Akcelerometry s vysokou citlivostí se doporučují, pokud se k tvorbě odhadů rotačního pohybu používají lineární akcelerometry.
- b) **Ostatní měřicí přístroje.** Musí být prokázáno, že jakákoli jiná měřicí zařízení používaná ke sběru dat jsou v souladu s požadavky zkoušky.

20.5.2.2 Analýza dat

Obecně, kvůli neshodám impedance a účinků okrajových podmínek budou existovat rozdíly mezi prostředím v polních podmínkách a v laboratoři. Takové rozdíly mezi informacemi naměřenými v laboratoři a specifikovanými pro zkoušku mohou vyžadovat další analýzu k určení, zda jsou rozdíly důležité pro cíle zkoušky.

- a) Základní analýza pro zajištění splnění tolerancí zkoušky, se obvykle provádí v rámci softwarové a řídicí strategie MET. Pracovníci laboratoře by měli nahlédnout do dokumentace řídicího systému MET dodaného prodejcem a jasně pochopit stanovení těchto tolerancí zkoušky. Ve většině případů to bude vyžadovat přímý kontakt s dodavatelem systému MET. Mezi běžné příklady analytických technik, které se provádějí v průběhu MET, patří v době této počáteční publikace výpočet EU-rms versus čas, ASD, CSD, detekce špiček a histogramy.

- b) Rozsáhlejší analýza dat může být provedena za účelem zkoumání významu odchylek tolerancí zkoušky pomocí specializovaného softwaru off-line. Metody analýzy Postupu I, viz Metoda 423, příloha 22B, a různé techniky podrobné analýzy náhodných údajů použitelné pro Postupy I a II (viz článek 20.7, odkazy d, e).

20.5.2.3 Integrace platformy

- a) **Návrh upínacích přípravků pro zkoušku.** Dodržovat standardní postupy návrhu rázových a vibračních upínacích přípravků s ohledem na kmitočtovou odezvu a schopnost odolávat reakčním silám s přihlédnutím k potenciálně vysokému zatížení generovanému v průběhu zkoušek MEMA v důsledku zrychlení aplikovaných současně ve více stupních volnosti.
- b) **Sestava zkoušky.** Zkoušky MESA i MEMA vyžadují, aby sestava zkoušky byla omezena ve všech stupních volnosti, které nejsou řízeny budičem a uvolněna ve všech stupních volnosti, které jsou takto řízeny. Doporučuje se kinematické vyhodnocení sestavy, které pomůže při výběru správných spojek, ložisek atd., aby se zajistilo, že se na zkoušený předmět nepřenese nesprávná zatížení prostřednictvím řízené aplikace zkoušky, jakož i potenciálně neřízeného pohybu budičů.

20.5.3 Postupy

Následující kroky poskytují základ pro shromažďování nezbytných informací týkajících se platformy a zkoušeného předmětu v rámci zkoušení MET. Je zásadní, aby jakékoli odchylky od zkoušky nebo tolerance zkoušky byly schváleny příslušným zkušebním orgánem a musí být jasně zdokumentovány v Programu zkoušky a závěrečné zprávě.

20.5.3.1 Před zkouškou

Pro odpovídající provedení MET jsou vyžadovány následující informace.

a) **Specifické pro tuto metodu.**

- (1) Volba zkušebního postupu a podrobné informace o zkušebním systému (sestava zkoušeného předmětu / platformy) včetně:
- (a) Umístění řídicích senzorů pro řídicí časové průběhy (specifické aspekty týkající se MET, viz příloha 20A).
 - (b) Referenční časové průběhy pro Postup I MET, nebo referenční ASD a CSD pro Postup II MET.
 - (c) Monitorování/omezení umístění čidel (pokud existují).
 - (d) Úrovně před zkouškou přijatelné pro získání odpovídající kompenzace budičeho systému.
 - (e) Kritéria pro splnění zkoušky, včetně dříve dohodnutých mezních hodnot tolerance MET.
- (2) Způsobilost celkového systému reprodukovat buď měřené prostředí materiálu, nebo analyticky specifikované prostředí materiálu v rámci MET, včetně vstupů s omezeným kmitočtovým pásmem a teplotními účinky (pokud existují).
- b) **Přízpůsobení** – Nezbytné změny v základních zkušebních parametrech / zkušebních materiálech pro přizpůsobení požadavkům profilu prostředí životního cyklu (LCEP) a/nebo omezením zařízení.

20.5.3.2 V průběhu zkoušky

Při provádění zkoušky se shromažďují následující informace.

Specifické pro tuto metodu.

- (1) Shromažďování vhodně zpracovaných informací o řídicím časovém průběhu v digitální podobě pro srovnání se specifikací. Výpočet klíčových specifických metrik časové oblasti v technických jednotkách (EU), jako jsou rms vzhledem k času, a klíčových spektrálních metrik, jako jsou odhady autospektrální a křížové spektrální hustoty, a zajištění dodržování dohodnutých tolerancí.
- (2) Shromažďování vhodně zpracovaných informací o monitorování/limitu časového průběhu v digitální podobě.
- (3) Zaznamenávání počtu vystavení a doby trvání dynamického prostředí.
- (4) Protokol o pomocných podmínkách prostředí, jako je teplota.
- (5) Protokol o jakýchkoli podmínkách tolerance vztahujících se k řídicím měřicím bodům.
- (6) Protokol o funkční poruše materiálu.

20.5.3.3 Po zkoušce

Do protokolu o zkoušce se po zkoušce musí uvést následující údaje.

Specifické pro tuto metodu

- (1) Doba vystavení materiálu dynamickému prostředí MET.
- (2) Jakékoli anomálie měření dat, např. vysoká úroveň hluku přístrojů, ztráta odezvy senzoru.
- (3) Stav zkoušeného materiálu / upínacích prostředků. Zejména jakákoli konstrukční nebo funkční porucha zkoušeného materiálu / upínacích prostředků.
- (4) Jakékoli odchylky od původního programu zkoušky.

20.5.3.4 Postup I. Referenční kritéria časové oblasti

Krok 1 Zvolit zkušební podmínky, které se mají uplatnit a připevnit zkoušený předmět na platformu budícího zařízení. Zvolit řídicí místa a související analytické postupy, které budou použity jako možné zkušební metriky (viz Metoda 423, příloha 22A a přílohy 20A, 20B a 20C této metody). Umístění a polarita všech senzorů (tj. akcelerometrů) se musí shodovat s umístěním a polaritou referenčních signálů (viz příloha 20A). Jasně identifikovat každou osu buzení a zajistit postupy zarovnání pro zajištění, že všechna měření jsou prováděna přesně podél každé osy buzení. Použít všechny průvodní informace týkající se dynamické/geometrické sestavy zkoušeného předmětu, včetně specifikace těžiště zkoušeného předmětu ve třech ortogonálních osách, modálních charakteristik zkušebních upínacích přípravků a všech příslušných hmotnostních momentů setrvačnosti.

Krok 2 Je-li vyžadováno: provést provozní kontrolu zkoušeného předmětu za definovaných podmínek zkoušky vlivu prostředí podle Programu zkoušky. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 3. Pokud ne, vyřešit problém/problémy a tento krok opakovat.

Krok 3 Podrobit zkoušený předmět (nebo dynamický simulátor) procesu identifikace systému, který kompenzací určí počáteční napěťové signály

pohonu budiče. V případě MDOF musí být počáteční signály vysílané budičům za účelem kompenzace statisticky nezávislé a musí tvořit vektory, které jsou lineárně nezávislé na zkoušených DOF. Pokud je použit dynamický simulátor, nahradit dynamický simulátor zkoušeným předmětem po fázi identifikace a kompenzace systému.

- Krok 4 Podrobit zkoušený předmět v jeho provozním režimu kompenzovanému tvaru vlny TWR. Pro zajištění správné dynamické odezvy a ověření správné funkce přístrojového vybavení je nezbytné provést počáteční běh na méně než plné úrovni.
- Krok 5 Zaznamenat potřebná data, včetně řídicího senzoru a časových průběhů pohonu, které lze zpracovat, aby se prokázalo, že bylo dosaženo uspokojivé reprodukce matice signálů referenčních časových průběhů.
- Krok 6 Kontinuálně monitorovat úroveň vibrací a, je-li to možné, zkoušet vlastnosti předmětu po celou dobu jeho vystavení působení vlivu prostředí. Pokud dojde k posunu úrovní nebo k poruše, zastavit zkoušku v souladu s postupem přerušování zkoušky (čl. 20.5.6). Určit důvod posunu a pokračovat v souladu s postupem obnovy po přerušování zkoušky (čl. 20.5.6).
- Krok 7 Opakovat kroky 4, 5 a 6, jak je uvedeno v Programu zkoušek.
- Krok 8 Vyjmout zkoušený předmět z upínacích přípravků a provést funkční kontrolu. Prohlédnout zkoušený předmět, montážní hardware, obal atd., zda nevykazují známky vizuálního mechanického znehodnocení, ke kterému mohlo dojít během zkoušení. Analýza výsledků, viz článek 20.6.

20.5.3.5 Postup II. Referenční kritéria kmitočtové oblasti

- Krok 1 Zvolit zkušební podmínky, které se mají uplatnit a připevnit zkoušený předmět na platformu budičů zařízení. Zvolit řídicí místa a související analytické postupy, které budou použity jako možné zkušební metriky (viz přílohy 20A, 20B a 20D této metody). Umístění a polarita všech senzorů (tj. akcelerometrů) se musí shodovat s umístěním a polarizací referenčních signálů (viz příloha 20A). Jasně určit každou osu buzení a zajistit postupy zarovnání pro zajištění, že všechna měření jsou prováděna přesně podél každé osy buzení. Použít všechny průvodní informace týkající se dynamické/geometrické sestavy zkoušeného předmětu, včetně specifikace těžiště zkoušeného předmětu ve třech ortogonálních osách, modálních charakteristik zkušebních upínacích přípravků a všech příslušných hmotnostních momentů setrvačnosti.
- Krok 2 Je-li vyžadováno: provést provozní kontrolu zkoušeného předmětu za definovaných podmínek zkoušek vlivu prostředí podle Programu zkoušky. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 3. Pokud ne, vyřešit problém/problémy a tento krok opakovat.
- Krok 3 Podrobit zkoušený předmět (nebo dynamicky přesný simulátor, je-li k dispozici) procesu identifikace systému. V případě MDOF musí být počáteční signály vysílané budičům statisticky nezávislé a musí tvořit vektory, které jsou lineárně nezávislé na zkoušených DOF. Pokud je použit dynamický simulátor, vyměnit dynamický simulátor za zkoušený předmět po fázi identifikace a kompenzace systému.

- Krok 4 Podrobit zkoušený předmět v provozním režimu specifikovaným úrovním, monitorovat jak autospektrální, tak křížové spektrální hustoty. Pro zajištění správné dynamické odezvy a ověření správné funkce přístrojového vybavení je nezbytné provést počáteční běh zkoušky na méně než plné úrovni.
- Krok 5 Zaznamenat potřebná data, včetně signálu pohonu a řídicího senzoru autospektrálních a křížových spektrálních odhadů, které prokazují uspokojivé naplnění celkových cílů zkoušky.
- Krok 6 Kontinuálně monitorovat úrovně vibrací a, je-li to možné, zkoušet vlastnosti předmětu po celou dobu jeho vystavení působení vlivu prostředí. Pokud dojde k posunu úrovní nebo k poruše, určit důvod posunu a pokračovat podle postupu přerušování zkoušky (článek 20.5.6).
- Krok 7 Opakovat kroky 4, 5 a 6, jak je uvedeno v Programu zkoušek.
- Krok 8 Vyjmout zkoušený předmět z upínacích přípravků a provést funkční kontrolu. Provést prohlídku zkoušeného předmětu, montážního hardwaru, obalu atd., zda nevykazují známky vizuálního mechanického znehodnocení, ke kterému mohlo dojít v průběhu zkoušení. Analýza výsledků, viz článek 20.6.

20.5.4 Tolerance a související charakteristiky

Otázka přiměřených tolerancí v MET není pro žádný postup MET jednoduchá. Pokyny pro stanovení zkušebních tolerancí pro Postup I MET jsou projednány v příloze 20C a tolerance pro Postup II MET jsou projednány v příloze 20D. Vzhledem k jedinečným faktorům spojených s MET, bude často třeba řešit zkušební metriky na základě „zkouška zkouškou“. Je důležité, aby cíle zkoušek byly jasně pochopeny před stanovením tolerancí zkoušky a aby byly metriky pečlivě zdokumentovány před provedením zkoušky.

20.5.5 Řízení

Přesnost při zajišťování a měření rázových a vibračních prostředí je vysoce závislá na upínacích a montážních prvcích zkoušeného předmětu, měřícím systému a strategii řízení budiče. Je třeba zajistit, aby veškeré podmínky přístrojového vybavení byly v souladu s nejlepšími dostupnými postupy (viz čl. 20.7, odkazy d, e). Pro splnění tolerancí podle čl. 20.5.4 bude nezbytný pečlivý návrh nastavení zkoušky, upínacích přípravků, upevnění snímačů a kabeláže spolu s kvalitním řízením.

20.5.6 Přerušování zkoušky

Přerušování zkoušky může být způsobeno více situacemi. Následující odstavce popisují běžné příčiny přerušování zkoušky a doporučené cesty dalšího postupu pro každou z nich. Doporučuje se, aby zkušební záznamové zařízení zůstalo v činnosti v průběhu jakéhokoli přerušování zkoušky, pokud je budicí zařízení ve stavu pod napětím.

20.5.6.1 Přerušování z důvodu poruchy laboratorního zařízení

Pokud je přerušování zkoušky způsobeno poruchou laboratorního zařízení, je potřeba analyzovat poruchu a určit hlavní příčinu. Rovněž se důrazně doporučuje, aby byly vyhodnoceny jak údaje o řízení, tak o odezvě, aby bylo zjištěno, že v průběhu poruchy zkušebního zařízení nebyly na zkoušený předmět přeneseny žádné

nežádoucí přechodové jevy. Pokud zkoušený předmět nebyl v důsledku poruchy zařízení podroben nadlimitnímu zkoušení, opravit zkušební zařízení nebo přejít na náhradní zkušební zařízení a pokračovat ve zkouškách od okamžiku přerušení. Pokud byl zkoušený předmět v důsledku poruchy zařízení vystaven nadlimitnímu zkoušení, okamžitě informovat zkušební technika nebo programového manažera odpovědného za zkoušený předmět. Provést posouzení rizik na základě faktorů, jako je úroveň a doba trvání jevu se zjevným nadlimitním zkoušením, spektrální obsah jevu, náklady a dostupnost zkušebních zdrojů a analýza specifických otázek zkoušky k určení dalšího postupu.

20.5.6.2 Přerušení z důvodu poruchy provozu zkoušeného předmětu

Nezpůsobilost zkoušeného předmětu / zkoušených předmětů plnit požadované funkce při kontrolách provozu představuje situaci s několika možnými alternativami. Ve všech případech neprodleně informovat zkušební technika nebo programového manažera odpovědného za zkoušený předmět. Porucha subsystémů má často při hodnocení zkoušeného předmětu různý stupeň důležitosti. Alternativy „a“ až „c“ uvedené níže budou pro zkoušku typické.

- a) Upřednostňovanou alternativou je nahrazení zkoušeného předmětu novým nebo upraveným předmětem a znovu zahájit celý zkušební postup.
- b) Další alternativou je nahradit/opravit vadnou nebo nefunkční součást nebo sestavu, součástí nebo sestavou, která funguje podle plánu, a znovu zahájit celou zkoušku. Před pokračováním provést analýzu rizik, protože tato alternativa způsobí u celého zkoušeného předmětu nadlimitní zkoušení, s výjimkou vyměněné součásti. Pokud je nefunkční součást nebo subsystém jednotkou vyměnitelnou na místě (LRU), jejíž životnost je kratší než životnost zkoušeného systému, pokračovat stejně jako by to bylo v polních podmínkách, nahrazením LRU a pokračovat od bodu přerušení.
- c) U mnoha zkoušek na systémové úrovni, které zahrnují buď velmi drahé, nebo jedinečné zkoušené předměty, nemusí být možné získat další hardware pro opakované zkoušky na základě poruchy jednoho subsystému. V takových případech by měla organizace odpovědná za zkoušený systém provést posouzení rizika, aby se určilo, zda je výměna poškozeného subsystému a obnovení zkoušky přijatelnou možností. Je-li takové schválení uděleno, měla by být vadná součást znovu odzkoušena na úrovni subsystémů.

POZNÁMKA

Při vyhodnocování přerušení zkoušky v důsledku poruchy zvážit předchozí zkoušku na stejném zkoušeném předmětu a jakékoli její důsledky.

20.5.6.3 Přerušení z důvodu plánované události

Často se vyskytují situace, kdy dojde k plánovaným přerušením zkoušky. Například ve scénáři taktické přepravy může být náklad znovu zajišťován k přepravnímu vozidlu pravidelně (tj. vázací pásy mohou být znovu zajišťovány na začátku každého dne). Zkoušení odolnosti často představuje vystavení materiálu vlivům prostředí po celou dobu životnosti; proto není realistické očekávat, že náklad projde celým zkušebním postupem, aniž by došlo k jeho znovu zajištění vázacími pásy, jako je tomu při taktickém nasazení. Podobně předměty namontované na pryžových izolačních systémech mohou vyžadovat monitorování teploty izolátoru s plánovaným přerušením zkoušky, aby se zabránilo přehřátí a nepřírozané poruše izolátoru. V průběhu životního cyklu materiálu je často vyžadováno mnoho dalších takových

přerušení, včetně plánovaných událostí údržby. Vzhledem ke kumulativní povaze únavy způsobené dynamickými zkouškami je přijatelné mít přerušení zkoušky, která jsou ve shodě s realistickými událostmi životního cyklu nebo minimalizovat účinky spojené se sníženými parametry zkoušky. Všechna plánovaná přerušení by měla být zdokumentována v Programu zkoušky a v Protokolu o zkoušce.

20.5.6.4 Přerušení z důvodu překročení tolerancí zkoušky

Překročení zkušebních tolerancí nebo znatelná změna dynamické odezvy může mít za následek přerušení zkoušky iniciované obsluhou nebo automatické přerušení, pokud jsou tolerance začleněny do strategie řízení. Pro zjištění příčiny v takových případech, zkontrolovat zkoušený předmět, upevnění a přístrojové vybavení.

- a) Pokud přerušení bylo způsobeno problémem s upevněním nebo přístrojovým vybavením, opravit závadu a pokračovat ve zkoušce.
- b) Pokud k přerušení došlo v důsledku konstrukčního nebo mechanického znehodnocení zkoušeného předmětu, bude problém obecně považován za poruchu zkoušky. Při poruše zkoušeného předmětu se postupuje podle pokynů v čl. 20.5.6.2.

20.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

20.6.1 Všeobecné pokyny

Funkční charakteristiky zkoušeného předmětu musí splňovat všechny příslušné požadavky podle Směrnice pro zkoušku v průběhu a po aplikaci vibrací.

Následující informace jsou uvedeny jako pomoc při hodnocení výsledků zkoušky. Je potřeba podrobně analyzovat jakoukoli poruchu zkoušeného předmětu, aby splňoval požadavky specifikace systému a zvážit související informace, jako například:

- a) Správný sběr informací ze sestavy řídicího akcelerometru, včetně informací o typických dobách trvání časových průběhů na všech zkušebních úrovních na základě výrazů pro kritéria odhadu statistické chyby. Všechny informace o měření časových průběhů musí být časově korelovány, aby byl zajištěn správný odhad.
- b) Správný sběr informací ze sestavy monitorovacího akcelerometru (pokud existuje), včetně informací o typických dobách trvání časových průběhů na všech zkušebních úrovních podle stejných zásad, jaké se používají pro řídicí měření.
- c) Zaznamenání informací o toleranci zkoušky softwaru MET.
- d) V případě potřeby se použije jeden nebo více postupů popsaných v přílohách 20C a 20D pro podrobné porovnání informací o kmitočtové oblasti. Zjednodušeně, využijí se získané informace o časových průbězích k výpočtu dohodnutých zkušebních metrik.

20.6.2 Fyzika poruchy

Analýzy poruch souvisejících s vibracemi musí vztahovat mechanismus poruchy k dynamice vadného předmětu a dynamickému prostředí. Nestačí určit, že se něco zlomilo kvůli vysokocyklové únavě nebo opotřebení. Je nutné dát poruchu do souvislosti s dynamickou odezvou materiálu na dynamické prostředí. Rozsah a podrobnosti analýzy by měly být koordinovány a schváleny příslušným zkušebním orgánem. Do analýzy poruch se doporučuje kromě obvyklých vlastností materiálu,

míst iniciace trhlin atd., zahrnout i stanovení rezonančních vlastních tvarů, kmitočtů, hodnot tlumení a rozložení dynamických deformací.

20.6.3 Kvalifikační zkoušky

Pokud má zkouška prokázat formální soulad s požadavky smlouvy, doporučují se následující definice:

- a) **Definice poruchy.** „Materiál je považován za neúspěšný, pokud utrpěl trvalou deformací nebo zlom; uvolní-li se nějaká pevná část nebo sestava; pokud se jakákoli pohyblivá nebo pohybující se část sestavy v provozu uvolní nebo zpomalí; pokud se jakákoli pohyblivá část nebo řídicí prvky posunou v nastavení, poloze nebo seřízení, a pokud výkon zkoušeného předmětu nesplňuje požadavky specifikace při vystavení funkčním úrovním a následným odolnostním zkouškám“. Je nezbytné zajistit, aby k této formulaci byly přiloženy odkazy na příslušné specifikace, výkresy a kontrolní metody.
- b) **Dokončení zkoušky.** Vibrační kvalifikační zkouška je ukončena, když všechny prvky zkoušeného předmětu prošly úspěšně kompletní zkouškou.

20.6.4 Ostatní zkoušky

Pro zkoušky jiné než kvalifikační zkoušky, se připraví kritéria úspěšnosti a/nebo poruch a kritéria pro dokončení zkoušky, která odpovídají účelu zkoušek.

20.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) NATO STANAG 4370, Zkoušky vlivu prostředí (Environmental Testing), AECTP-200, Vliv okolního prostředí na vojenskou techniku (Environmental Conditions), Category 240.
- b) Mezinárodní provozní postup zkoušení. Vypracování laboratorních harmonogramů vibračních zkoušek (International Test Operations Procedure (ITOP) 01-1-050, “Development of Laboratory Vibration Test Schedules”), 6. června 1997, DTIC AD No. B227368.
- c) Mezinárodní provozní postup zkoušení. Plány laboratorních vibrací (International Test Operations Procedure (ITOP) 01-2-601, “Laboratory Vibration Schedules”), 25. ledna 1999. DTIC AD No. B238288.
- d) Bendat, Julius S., Piersol, Allan G., Analýzy náhodných dat a postupy měření (Random Data Analysis and Measurement Procedures), 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- e) IEST-RD-DTE012.2, Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institut pro environmentální vědy a technologie (Institute of Environmental Sciences and Technology), Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516; Institute of Environmental Sciences and Technology Website.
- f) Fitz-Coy, Norman, Hale, Michael T., O použití lineárních akcelerometrů v laboratorní reprodukci pohybu se šesti DOF: Jednotná analýza v časové oblasti (“On the Use of Linear Accelerometers in Six-DOF Laboratory Motion Replication: A Unified Time-Domain Analysis”), Proceedings of the 76th Shock and Vibration Symposium, listopad 2005. Shock & Vibration Exchange (SAVE), 1104 Arvon Road, Arvon, VA 23004.

- g) Underwood, Marcos A., Keller, Tony, Použití transformace souřadnic k řízení budičů s více DOF (“Applying Coordinate Transformations to Multi-DOF Shaker Control”), Sound and Vibration, leden 2006, Sound and Vibration Website.
- h) Příručka. Rázy a vibrace (Shock and Vibration Handbook), 5th Edition, Edited by Cyril M. Harris and Allan G. Piersol, McGraw-Hill, New York NY, 2002.
- i) Smallwood, David O., Řízení náhodných vibrací s více budiči – aktualizace (“Multiple Shaker Random Vibration Control – An Update”), SAND 98-2044C.
- j) Smallwood, David, Lineární systémy s vícenásobným vstupem/výstupem (MIMO) Extrémní vstupy/výstupy (Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Linear Systems Extreme Inputs/Outputs). Shock and Vibration 13 (2006) 1-25; Manuscript number SAV-05-058; IOS Press, Inc., 4502 Rachael Manor Drive, Fairfax, VA 22032.
- k) Hale, Michael T., Posouzení globálních metrik chyb při provádění reprodukce pohybu MDOF (“Consideration of Global Error Metrics in the Conduct of MDOF Motion Replication”), Proceedings of the 77th Shock and Vibration Symposium, listopad 2006; Shock & Vibration Exchange (SAVE), 1104 Arvon Road, Arvon, VA 23004.
- l) Underwood, Marcos A., Keller, Tony, Použití matice spektrální hustoty k určení řádné, částečné a vícenásobné koherence (“Using the Spectral Density Matrix to Determine Ordinary, Partial, and Multiple Coherence”), Proceedings of the 77th Shock & Vibration Symposium, říjen 2006; Monterey, California.
- m) Underwood, Marcos A., Aplikace zkoušení s více budiči: Teorie a praxe (“Multi-Exciter Testing Applications: Theory and Practice”), Proceedings – Institute of Environmental Sciences and Technology, duben 2002.
- n) Plummer, A. R., Techniky řízení pro konstrukční zkoušení: přehled (“Control Techniques for Structural Testing: A Review”), Proc. IMechE Vol. 221 Part I: J. Systems and Control Engineering, 2007.
- o) Welch, P. D., Použití rychlé Fourierovy transformace pro odhad výkonových spekter: Metoda založená na průměrování času na krátkých, upravených periodogramech (“The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms”), *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, Vol. AU-15, No. 2, červen 1967.
- p) Fitz-Coy, N., Hale, M., Nagabhushan, V., Výhody a problémy nadměrně aktivovaných budičích systémů (“Benefits and Challenges of Over-Actuated Excitation Systems”), Shock and Vibration Journal, Volume 17, Number 3 / 2010.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 20A
(normativní)

TECHNICKÉ INFORMACE PRO UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ PRO METODU MET

20.A.1 VŠEOBECNÁ FILOZOFIE PRO MET

Všeobecná filozofie pro zkoušku s více budiči (MET) je v podstatě stejná jako v případě zkoušky s jedním budičem; nicméně při provádění MET existují další otázky, kterými je třeba se zabývat. Jedná se o řešení dalších podmínek spojených s MESA a MEMA a posouzení přiměřenosti laboratorní zkoušky MET, tj. porovnání referenčních časových průběhů nebo spektrálního obsahu s výsledky získanými v laboratorních zkouškách, které jsou předmětem této přílohy. Po zahrnutí této nové zkušební metody do AECTP-400 nabízejí hlavní dodavatelé systémů pro řízení vibrační metodou MET možnosti pro reprodukci tvaru vlny (TWR), sinusové, rázové a náhodné. Možnosti pro kombinovaná prostředí, jako je úzkopásmové náhodné na náhodném a sinusové na náhodném, jsou obecně implementovány pomocí postupů založených na TWR.

V nejjednodušších podmínkách pro zkoušky MESA a MEMA se používá více budičů k buzení jednoho nebo více mechanických stupňů volnosti. Pro tradiční zkoušení SESA je zkušební reference poskytována buď jako jediný referenční časový průběh, jak je popsáno v AECTP-400, Metoda 423, nebo ve formě jednoduchých grafů závislosti magnitudy na kmitočtu, jako je autospektrální hustota, jak je popsáno v Metodě 401. Pro MET v řídicím procesu je vyžadováno více kanálů. Pro MET definovanou v časové oblasti bude vyžadováno více časových průběhů a pro MET definovanou ve frekvenční oblasti jsou při definování zkušební reference požadovány kromě autospektrálních parametrů rovněž křížové spektrální hustoty. Pro oba případy je proces odhadu identifikace systému (přenosová funkce) nyní maticovou operací na rozdíl od jednoduchého dělení jako v případě SESA.

Další složitosti spojené se zkoušením MESA a MEMA vyžadují zvýšenou úroveň technických dovedností od zkušebních techniků při plánování takových zkoušek a od zkušebních operátorů, kteří tyto zkoušky nakonec provedou. Cíle zkoušek musí být jasně pochopeny, aby se zajistilo, že při řešení nevyhnutelných překážek specifických pro zkoušku, které jsou spojeny s jakoukoli zkouškou MDOF, budou cíle zkoušek stále řádně řešeny.

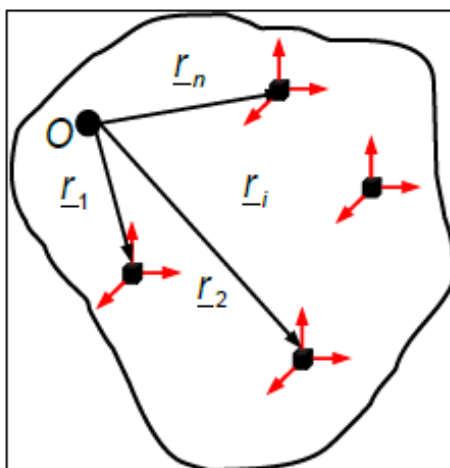
20.A.2 PODMÍNKY REFERENČNÍCH BODŮ PRO ZKOUŠENÍ MDOF

20.A.2.1 Podmínky referenčních údajů

První krok při provádění MET v laboratoři začíná získáním dostatečných referenčních údajů. Kromě standardních záležitostí týkajících se dynamického rozsahu a charakteristik kmitočtové odezvy použitých snímačů a záznamového zařízení ve fázi sběru údajů z polních podmínek se stávají rozhodujícími parametry zkoušky množství a prostorová umístění snímačů. Pochopení základní dynamiky systémů MDOF a fyzických omezení, které tyto systémy kladou na prostorová umístění referenčních snímačů za účelem provedení skutečné reprodukce laboratorního pohybu MDOF, není jednoduché. Podobně je nezbytné, aby operátoři zkoušky byli schopni pochopit dynamiku libovolného souboru údajů, který může být poskytnut vnějším zdrojem pro použití jako referenčních údajů v laboratorní zkoušce.

20.A.2.2 Pohyb referenčního bodu

Jednotné pojednání o použití lineárních akcelerometrů pro rekonstrukci pohybu je uvedeno v čl. 20.7, odkaz f. Konkrétně v čl. 20.7, odkaz f, byl zkoumán počet požadovaných jednoosých snímačů a umístění těchto snímačů ve fázi sběru dat v polních podmínkách pro rekonstrukci pohybu 6-DOF. Hlavní analýza se provádí v časové oblasti pomocí pohybových vztahů z klasické mechaniky



OBRÁZEK 20.A.1 – Těleso s umístěnými akcelerometry

Při řešení laboratorních vstupů požadovaných pro reprodukci 6-DOF, čl. 20.7, odkazy f, p berou v úvahu rovněž těleso vybavené n trojosými lineárními akcelerometry, umístěnými podle obrázku 20.A.1. Z klasické mechaniky je dobře známo, že zrychlení měřené i -tým snímačem je dáno pohybově

$$\underline{a}_i = \underline{a}_0 + \underline{\alpha} \underline{r}_i + \underline{\omega} (\underline{\omega} \underline{r}_i) + \underline{\varepsilon}_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (20.A.1)$$

kde \underline{a}_0 představuje zrychlení referenčního bodu v tělese, $\underline{\alpha}$ a $\underline{\omega}$ představují úhlové zrychlení tuhého tělesa a úhlovou rychlost, \underline{r}_i je umístění i -tého snímače vzhledem k referenčnímu bodu a $\underline{\varepsilon}_i = \underline{\ddot{r}}_i + 2 \underline{\omega} \underline{\dot{r}}_i$ představuje příspěvky v důsledku účinků netuhého tělesa (tj. pružnosti). Ignorováním účinků pružnosti (tj. $\underline{\varepsilon}_i = \underline{0}$), rovnice 20.A.1 představuje n vektorových rovnic o třech vektorových neznámých (\underline{a}_0 , $\underline{\omega}$, $\underline{\alpha}$). Obecně je \underline{a}_0 neznámá, pokud snímač nebyl vybrán a priori pro toto místo. Pro zjednodušení zápisu byly použity k přepsání rovnice 20.A.1 maticové ekvivalentní operace, jak je znázorněno v rovnici 20.A.2, kde účinky pružnosti byly rovněž zanedbány.

$$\underline{a}_i = \underline{a}_0 + \underline{\alpha}^{\times} \underline{r}_i + \underline{\omega}^{\times} \underline{\omega}^{\times} \underline{r}_i = \underline{a}_0 + \underline{\underline{\Omega}} \underline{r}_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (20.A.2)$$

V rovnici 20.A.2 jsou $\underline{\alpha}^{\times}$ a $\underline{\omega}^{\times}$ antisymetrické matice představující vektorové křížové produkty a $\underline{\underline{\Omega}} = \underline{\alpha}^{\times} + \underline{\omega}^{\times} \underline{\omega}^{\times}$ reprezentují příspěvky úhlového pohybu k měřenému lineárnímu zrychlení (tj. příspěvky „tečných“ a „dostředivých“ zrychlení).

Příloha 20A
(normativní)

Za předpokladu, že $\underline{\alpha} = \alpha_x \hat{i} + \alpha_y \hat{j} + \alpha_z \hat{k}$ a $\underline{\omega} = \omega_x \hat{i} + \omega_y \hat{j} + \omega_z \hat{k}$ jsou úhlové zrychlení a úhlová rychlost koordinované v rámci nehybného tělesa, pak

$$\underline{\alpha}^x = \begin{bmatrix} 0 & -\alpha_z & \alpha_y \\ \alpha_z & 0 & -\alpha_x \\ -\alpha_y & \alpha_x & 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{\omega}^x = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}$$

a

$$\underline{\underline{\Omega}} = \begin{bmatrix} -(\omega_y^2 + \omega_z^2) & \omega_x \omega_y - \alpha_z & \omega_x \omega_z + \alpha_y \\ \omega_x \omega_y + \alpha_z & -(\omega_x^2 + \omega_z^2) & \omega_y \omega_z - \alpha_x \\ \omega_x \omega_z - \alpha_y & \omega_y \omega_z + \alpha_x & -(\omega_x^2 + \omega_y^2) \end{bmatrix}$$

Reálná reprodukce pohybu v laboratoři používající změřená zrychlení (data z polních podmínek) pro vytvoření zrychlení řídicího bodu bude vyžadovat znalost \underline{a}_0 (tři neznámé) a $\underline{\underline{\Omega}}$ (devět neznámých), celkem 12 neznámých. Bližší zkoumání $\underline{\underline{\Omega}}$ však odhaluje, že matice se skládá pouze ze šesti jedinečných neznámých (tj. složek $\underline{\alpha}$ a $\underline{\omega}$). Pokud tedy lze \underline{a}_0 , $\underline{\alpha}$, $\underline{\omega}$ určit z naměřených dat v polních podmínkách, může se pohyb v polních podmínkách teoreticky přesně (v mezích měřicích zařízení) reprodukovat v laboratoři. Z čl. 20.7, odkaz f se ukázalo, že v nejobecnějším případě se vyžaduje devět parametrů (\underline{a}_0 , $\underline{\omega}$, $\underline{\alpha}$) pro rekonstrukci pohybu, a tedy minimální počet požadovaných kanálů snímače je devět. Analýza byla rovněž použita k prokázání, že pokud jsou na pohyb uložena specifická omezení (např. $\underline{a}_0 = \underline{0}$), bude postačovat šest správně umístěných akcelerometrů. Kromě toho, pokud se vezme v úvahu u pevného tělesa pohybový vztah mezi úhlovou rychlostí $\underline{\omega}$ a úhlovým zrychlením $\underline{\alpha}$ (tj. $\underline{\alpha} = \frac{d\underline{\omega}}{dt}$), pak implementací úhlového zrychlení v kmitočtové oblasti, se rovněž sníží počet požadovaných parametrů z devíti na šest.

Dvě uvedená omezení (tj. $\underline{a}_0 = \underline{0}$ nebo implementace v kmitočtové oblasti), jejichž výsledkem je, že dostačuje šest snímačů, které jsou v souladu s podmínkami uvedenými v prostředí vibračního zkoušení. Předpoklad, že $\underline{a}_0 = \underline{0}$ nemusí nutně poskytovat dostatečné informace pro přesnou rekonstrukci pohybu. Ve skutečnosti se ukázalo, že v nejobecnějším případě lze jedinečně určit pouze $\underline{\alpha}$, a navíc je třeba využít pohybový vztah mezi $\underline{\alpha}$ a $\underline{\omega}$. Nejvýznamnějším z těchto dvou omezení je tedy zjednodušený vztah mezi úhlovou rychlostí a úhlovým zrychlením ve frekvenční oblasti (tj. $\underline{\alpha}(s) = s \underline{\omega}(s)$). Je třeba si uvědomit, že podmínka platí pouze pro tuhá tělesa. Jakmile se vezme v úvahu pružnost, toto zjednodušení již neplatí, a proto se použití šesti snímačů stává sporným.

Z pohledu implementace, i když bylo ukázáno, že šest správně umístěných lineárních akcelerometrů je dostačujících pro použití jako základ pro reprodukci pohybu 6-DOF, je rovněž zřejmé, že jsou vyžadovány téměř ideální podmínky. Konkrétně, a jak je tomu obecně v případě laboratorních vibračních zkoušek, $\underline{a}_0 \cong \underline{0}$ v rovnici 20.A.1 je nezbytným požadavkem k zajištění přesné reprodukce zrychlení a rychlosti v nemonitorovaných bodech na zkoušeném předmětu. Realističtější

Příloha 20A
(normativní)

záležitostí je, že v praxi se nemusí nutně pracovat s tuhým tělesem a skutečnost, že nevyhnutelně bude existovat nesoulad mechanické impedance mezi polními a laboratorními podmínkami. Za takových podmínek budou předvídatelně problémy s počtem podmínek matice přenosové funkce systému H_{xy} .

K řešení těchto problémů se důrazně doporučuje, aby se použilo schéma pře určené zpětné vazby (počet řídicích kanálů > počet mechanických DOF) sestávající ze správně umístěných lineárních akcelerometrů. Jednou takovou ověřenou sestavou řízení je výběr tří nekolineárních tříosých shluků lineárních akcelerometrů. Tato sestava řízení je velmi univerzální v tom, že může být použita jakákoli rovina, přičemž jediným rozhodujícím faktorem je to, že relativní polohy snímačů zůstávají nekolineární.

Příloha 20B
(normativní)

IDENTIFIKACE SYSTÉMU PRO LINEÁRNÍ ČASOVĚ NEMĚNNÉ MDOF SYSTÉMY

20.B.1 ODHADY PŘENOSOVÉ FUNKCE

Využití metody přeurené zpětné vazby, jak je pojednáno v příloze 20A, je rovněž výhodné při provádění metody stanovení vah, která je analogická k běžné praxi v tradičním zkoušení SDOF, při kterém se pro řešení problémů s dynamikou nákladu používají různá vícekanálová průměrovací schémata. Při provádění vibrační zkoušky MDOF, pokud je použito schéma přeurené zpětné vazby sestávající ze správně umístěných lineárních akcelerometrů, je H_{xy} aproximována ve smyslu metody nejmenších čtverců, čímž poskytuje zvukovou metodu pro implementaci vícekanálového řídicího schématu. Avšak, stejně jak je tomu v obecném případě 1-DOF, je třeba vždy optimalizovat návrh upínacích přípravků, protože žádné řídicí schéma nebude působit nepřírozně na pohyb konstrukce. Přesnost aproximace H_{xy} metodou nejmenších čtverců bude přímo souviset se stupněm modální podobnosti mezi platformou pro nasazení v polních podmínkách a laboratorní zkušební platformou.

Na základě předchozího pojednání o pohybových úvahách při umístění snímače je zřejmé, že je třeba věnovat velkou pozornost vytvoření ústředního bodu, ke kterému by se vztahovaly všechna místa měření. Je nezbytné pečlivě změřit a zaznamenat konkrétní umístění a polaritu každého snímače. Kromě toho tento proces vyžaduje důkladné posouzení toho, jak bude zkoušený předmět upevněn v laboratoři, aby bylo zajištěno, že lze použít „přesná“ místa měření.

20.B.2 TRANSFORMACE SIGNÁLU

Pro situaci, ve které jsou referenční signály pro zkoušku 6-DOF poskytovány v tradičních technických jednotkách (EU) pro translaci (X, Y a Z) a rotaci (Pitch (rotace kolem Y), Roll (rotace kolem X) a Yaw (rotace kolem Z)), je možná transformace mezi vhodně umístěnými lineárními snímači a tradičními technickými jednotkami 6-DOF. Jelikož existuje mnoho kombinací budičů, které mohou být použity pro danou zkoušku MDOF, transformační matice mezi lineárními akcelerometry a tradičními technickými jednotkami 6-DOF, bude transformační matice pro zkoušku specifická. Kromě toho by se mohlo požadovat použití nestejněmého stanovení vah napříč budiči pro daný DOF, nebo dokonce zahrnout nerotační nebo netranslační stupně volnosti, jako je napěťová odezva, do úvahy při vypracování řídicího předpisu pro danou zkoušku. Transformace výstupních signálů založených na mechanickém pohybu jsou rovněž velmi užitečné při řešení nadměrně aktivovaných systémů k zajištění řádně kompenzovaných signálů odesílaných budičům se společnými mechanickými stupni volnosti. Podrobné pojednání o transformaci signálu je uvedeno v článku 20.7, odkazy g, m.

20.B.3 REALIZACE ŘÍZENÍ

Záměrem tohoto dokumentu není poskytovat zvláštnosti řídicích algoritmů používaných při provádění vibračních zkoušek MESA a MEMA. Ve skutečnosti různí dodavatelé řídicího systému pro MET, ne vždy přistupují k řízení stejným způsobem. Existuje však několik základních koncepcí, které jsou rozhodující pro problémy s řízením MESA a MEMA a které budou popsány v následujících částech.

Příloha 20B
(normativní)

Teorie týkající se umístění lineárního akcelerometru popsaná v příloze 20A, byla vypracována z hlediska časové oblasti. Zatímco přístup v časové oblasti je velmi užitečný při rozpracování a pochopení základních pohybů tuhého tělesa, které vedou ke stanovení požadavků na promítnutí zrychlení do libovolného bodu (tj. řídicího bodu), není praktické implementovat ho jako řídicí schéma v reálném čase. V praxi jsou řídicí soubory generovány na základě aproximací přenosové funkce v kmitočtové oblasti.

Dodavatelé řídicích systémů vyvinuli různé řídicí algoritmy pro provádění MDOF MET. Přestože dodavatelé mohou považovat podrobnosti o mnoha svých dodávaných specifických postupech za autorizované, následující obecná rozprava týkající se odhadů přenosových funkcí typu H_1 pro případ MDOF je stále důležitá a slouží jako pracovní úvod do základního řídicího schématu. Jsou analyzovány základní definice, aby se objasnil význam prvků křížového spektra při provádění MDOF MET. Toto pojednání je shrnuto v této příloze a podrobně diskutováno v článku 20.7, odkaz d (Bendat a Piersol).

20.B.3.1 Analýza definic auto a křížového spektra SISO

Před rozbory o odhadech přenosové funkce pro MET vycházejících z matic, je třeba zvážit následující základní skalární definice uvedené v čl. 20.7, odkaz d (Bendat a Piersol). Pojednání předpokládá dva stacionární (ergodické) Gaussovy náhodné procesy $\{x(t)\}$ a $\{y(t)\}$. Konečné Fourierovy transformace pro $\{x(t)\}$ a $\{y(t)\}$ jsou definovány jako

$$X(f) = X(f, T) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$Y(f) = Y(f, T) = \int_0^T y(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Autospektrální a křížové spektrální hustoty pro $\{x(t)\}$ a $\{y(t)\}$ po dobu „neomezeného času“ T jsou definovány jako

$$G_{xx}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[|X(f, T)|^2 \right]$$

$$G_{yy}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[|Y(f, T)|^2 \right]$$

$$G_{xy}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[X^*(f) Y(f) \right]$$

Odhady $G_{xx}(f)$, $G_{yy}(f)$ a $G_{xy}(f)$ vypočítané za interval „konečný čas“ jsou definovány jako

$$\tilde{G}_{xx}(f) = S_{xx}(f) = \frac{2}{T} \left[|X(f, T)|^2 \right]$$

$$\tilde{G}_{yy}(f) = S_{yy}(f) = \frac{2}{T} \left[|Y(f, T)|^2 \right]$$

$$\tilde{G}_{xy}(f) = S_{xy}(f) = \frac{2}{T} \left[X^*(f) Y(f) \right]$$

Příloha 20B
(normativní)

a bude mít diskretní spektrální rozlišení $B_e \approx \Delta f = \frac{1}{T}$. Využití $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ a $S_{xy}(f)$ bude obecně nepřijatelné kvůli velké náhodné chybě spojené s „hrubým“ odhadem. V praxi je náhodná chyba snížena (viz čl. 20.7, odkaz d pro podrobnou rozpravu o chybách) výpočtem souboru n_d různých průměrů délky T pro získání „hladkého“ odhadu definovaného jako

$$\hat{G}_{xx}(f) = \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} \left[|X(f, T)|^2 \right]$$

$$\hat{G}_{yy}(f) = \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} \left[|Y(f, T)|^2 \right]$$

$$\hat{G}_{xy}(f) = \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} \left[X^*(f) Y(f) \right]$$

20.B.3.2 Analýza definic přenosové a koherenční funkce SISO

Dalším velmi užitečným nástrojem v analýze lineárních systémů SISO jsou přenosové funkce a související koherenční odhady. Opět jsou oba koncepty podrobně vysvětleny v čl. 20.7, odkaz d. Použitím dříve definovaných definic auto a křížového spektra je optimální funkce frekvenční odezvy (přenosová funkce) definována jako

$$\hat{H}_{xy}(f) = \frac{\hat{G}_{xy}(f)}{\hat{G}_{xx}(f)}$$

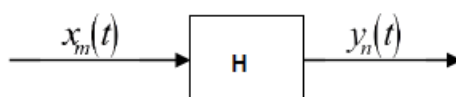
a související koherenční funkce je definována jako

$$\hat{\gamma}_{xy}^2(f) = \frac{|\hat{G}_{xy}(f)|^2}{\hat{G}_{xx}(f) \hat{G}_{yy}(f)}$$

Přenosová funkce poskytuje náhled v kmitočtové oblasti na zesílení a fázový vztah mezi vstupními a výstupními signály, zatímco koherenční funkce označuje míru kauzality v přenosové funkci. Rozsah koherenční funkce je $0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$, přičemž 0 (nula) představuje žádnou kauzalitu a 1 představuje perfektní kauzalitu. Je třeba si uvědomit, že v případě SISO jsou výpočty $\hat{H}(f)$ a $\gamma_{xy}^2(f)$ jednoduchými operacemi dělení, které mají být provedeny na každé z diskretních spektrálních čar. Následující odstavec uvádí obecný pohled MIMO na právě diskutovaný scénář SISO. V následujících pojednáních budou všechny odhady považovány za „vyhlazené“ použitím vhodného počtu měření a symbol $\hat{\cdot}$ bude odstraněn.

20.B.3.3 Odhady autospektra, křížového spektra a počáteční funkce MIMO

Posuzuje se níže popsany systém MIMO, který se skládá z „ m “ vstupů a „ n “ výstupů. Je třeba si uvědomit, že v obecném případě $m \neq n$. Předpokládá se lineární časově invariantní (LTI) systém.



20.B.3.3.1 Vztah pro přenosovou funkci v kmitočtové oblasti

Je třeba vytvořit vztah pro přenosovou funkci v kmitočtové oblasti mezi vstupem a výstupem. Následující rozbor je jedním z více přístupů. Welchova metoda, článek 20.7, odkaz o, se obvykle používá k výpočtu vyhlazeného odhadu spektrálních výrazů v následující rozpravě.

- a) Definovat $\mathbf{X}(f)$ jako sloupcový vektor m vstupních signálů a $\mathbf{Y}(f)$ jako sloupcový vektor n výstupních signálů.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix}$$

- b) Definovat matici přenosové funkce mezi $\mathbf{X}(f)$ a $\mathbf{Y}(f)$ jako $\mathbf{H}_{xy}(f)$ tak, aby vstup předcházel výstupu.

$$\mathbf{H}_{xy} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdot & \cdot & H_{1n} \\ H_{21} & H_{22} & \cdot & \cdot & H_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ H_{m1} & H_{m2} & \cdot & \cdot & H_{mn} \end{bmatrix}$$

- c) Definovat okamžitá výkonová spektra jako

$$\mathbf{S}_{xx} = \mathbf{X}^* \mathbf{X}' \quad \text{Okamžité vstupní autospektrum (Dim: } m \times m)$$

$$\mathbf{S}_{yy} = \mathbf{Y}^* \mathbf{Y}' \quad \text{Okamžité výstupní autospektrum (Dim: } n \times n)$$

$$\mathbf{S}_{xy} = \mathbf{X}^* \mathbf{Y}' \quad \text{Okamžité křížové spektrum (Dim: } m \times n)$$

- d) Definovat kumulativní výkonová spektra nad průměry „ k “ jako

$$\mathbf{G}_{xx} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{S}_{xx_i} \quad \text{Kumulativní vstupní autospektrum (Dim: } m \times m)$$

$$\mathbf{G}_{yy} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{S}_{yy_i} \quad \text{Kumulativní výstupní autospektrum (Dim: } n \times n)$$

$$\mathbf{G}_{xy} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{S}_{xy_i} \quad \text{Kumulativní křížové spektrum (Dim: } m \times n)$$

20.B.3.3.2 Odvození klíčové přenosové funkce

Z uvedených definic „a“ a „b“ výše, vyplývá, že

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}_{xy}' \mathbf{X}$$

$\begin{matrix} nx1 & nxm & mx1 \end{matrix}$

Příloha 20B
(normativní)

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{21} & \cdot & \cdot & H_{m1} \\ H_{12} & H_{22} & \cdot & \cdot & H_{m2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ H_{1n} & H_{2n} & \cdot & \cdot & H_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_m \end{bmatrix}$$

Vztah vstup/výstup se přepíše z hlediska kumulativního autospektra a křížového spektra, jak je definováno výše v čl. 20.B.3.3.1d.

$$\begin{aligned} Y' &= (H'_{xy} X)' = X' H_{xy} \\ X^* Y' &= X^* X' H_{xy} \\ G_{xy} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i^* Y_i' = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i^* X_i' H_{xy} = \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i^* X_i' \right] H_{xy} = G_{xx} H_{xy} \\ G_{xy} &= G_{xx} H_{xy} \\ G_{xx}^{-1} G_{xy} &= G_{xx}^{-1} G_{xx} H_{xy} \\ G_{xx}^{-1} G_{xy} &= H_{xy} \end{aligned}$$

G_{xx} G_{xy} H_{xy}
 mxm mxn mxn

Při provádění laboratorní zkoušky MET bude počáteční odhad H_{xy} vypočítán na základě souboru nekorelovaných náhodných vstupních signálů. Požadovaný signál Y se bude buď přímo měřit, nebo může být vypočítán pomocí predikce vycházející z modelu 6-DOF, přičemž X (který bude představovat vstup do vibračního budiče) zůstane jako neznámý.

Je třeba připomenout, že $Y = H'_{xy} X$, proto $(H'_{xy})^{-1} Y = (H'_{xy})^{-1} H'_{xy} X$ udává $(H'_{xy})^{-1} Y = X$.

Je třeba si uvědomit, že pro obecný případ, ve kterém $m \neq n$, bude výpočet $(H'_{xy})^{-1}$ vyžadovat pseudoinverzní (Moore-Penrose) aproximaci. Tento výpočet zahrnuje dekompozici singulární hodnoty (SVD) H'_{xy} . Prohlížení singulárních hodnot poskytuje dvě užitečné informace. Za prvé, poskytuje informace na základě spektrální linie, pokud jde o hodnotu H'_{xy} , a za druhé, poskytuje informaci o dynamickém rozsahu H'_{xy} , čímž poskytuje náhled do potenciálu šumu při výpočtu řídicích souborů. Odhady H'_{xy} pomocí postupů SVD jsou výpočetně intenzivnější než klasické metody, jako je rozklad podle Choleského; postup SVD je však robustnější a schopný řešit obdélníkové a singulární matice. Postupy SVD poskytují rovněž přímé metody řešení dynamického rozsahu a šumu zkoumáním poměru největších a nejmenších singulárních hodnot.

Z hlediska řídicího algoritmu Postupu II může být zájem o výpočet G_{xx} přímo z H_{xy} .

Připomenutím si shora, že $Y = H'_{xy} X$, z čehož se odvozuje následující

$$\begin{aligned} Y &= H'_{xy} X \\ Y' &= (H'_{xy} X)' = X' H_{xy} \\ Y^* &= (H'_{xy} X)^* = H^*_{xy} X^* \\ Y^* Y' &= (H^*_{xy} X^*) (X' H_{xy}) \end{aligned}$$

To umožňuje

$$\begin{aligned} G_{yy} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_i^* Y_i' = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H^*_{xy} X_i^* [X_i' H_{xy}] = H^*_{xy} \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i^* X_i' \right] H_{xy} = H^*_{xy} G_{xx} H_{xy} \\ G_{yy} &= H^*_{xy} G_{xx} H_{xy} \end{aligned}$$

Což vede přímo k

$$G_{xx} = (H^*_{xy})^{-1} G_{yy} (H_{xy})^{-1}$$

Článek 20.7, odkaz d je podstatně podrobnější a zahrnuje analýzu chyb týkající se výše uvedeného rozboru. Kromě toho různí dodavatelé řídicích systémů se nadále zdokonalují v základních koncepcích pomocí jedinečných (a často patentovaných) metodik ke zlepšení konvergence k referenčnímu souboru vycházejícímu z chyby v časové i kmitočtové oblasti. Výše uvedená rozprava slouží jako ilustrace použití dobře definovaných a zavedených analýz zvýšené úrovně složitosti spojené s vibračními zkouškami MDOF. Obzvláště zajímavé je, že základní principy jsou založeny na předpokladu, že budicí systém je LTI a že referenční měření byla získána z pohybově konzistentního tělesa. Je zřejmé, že žádný předpoklad neplatí pro většinu laboratorních vibračních zkoušek, a to ani v případě SESA. Problémem je stanovení metriky přijatelnosti pro MET.

20.B.3.3.3 Jiná možnost odvození klíčové přenosové funkce

Jiná možnost k odvození v čl. 20.B.3.3.1 a 20.B.3.3.2, která se běžně používá v oblasti řízení vibrací MIMO, je založena na provedení následujících drobných změn v definicích v odstavci 20.B.3.3.1:

- a) Definovat $\mathbf{X}(f)$ jako sloupcový vektor „ m “ vstupních signálů a $\mathbf{Y}(f)$ jako sloupcový vektor „ n “ výstupních signálů jak je definováno v čl. 20.B.3.3.1.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$$

- b) Definovat matici přenosové funkce mezi $\mathbf{X}(f)$ a $\mathbf{Y}(f)$ jako $\mathbf{H}_{yx}(f)$ tak, aby výstup předcházel vstupu. Připomenutím H_{xy} , jak je definováno v odst. 20.B.3.3.1, se zjistí, že $H_{yx} = H'_{xy}$ a $H_{xy}^{-1} \neq H_{yx}$.

Příloha 20B
(normativní)

$$H_{yx} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{21} & \dots & H_{m1} \\ H_{12} & H_{22} & \dots & H_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{1n} & H_{2n} & \dots & H_{mn} \end{bmatrix}$$

$$Y = H_{yx} X$$

$\begin{matrix} nx1 \\ nxm \\ mx1 \end{matrix}$

c) Definovat okamžitá výkonová spektra jako

$$\hat{\Phi}_{xx} = XX^{*'} \quad \text{Okamžité vstupní autospektrum (Dim: } m \times m \text{)}$$

$$\hat{\Phi}_{yy} = YY^{*'} \quad \text{Okamžité výstupní autospektrum (Dim: } n \times n \text{)}$$

$$\hat{\Phi}_{yx} = YX^{*'} \quad \text{Okamžité křížové spektrum (Dim: } n \times m \text{)}$$

Ve srovnání s definicemi uvedenými v čl. 20.B.3.3.1 je zřejmé, že

$$\hat{\Phi}_{xx} = S'_{xx}, \hat{\Phi}_{yy} = S'_{yy} \text{ a } \hat{\Phi}_{yx} = S^*_{xy}$$

d) Definovat kumulativní výkonová spektra nad průměry „k“ jako

$$\Phi_{xx} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{\Phi}_{xx_i} \quad \text{Kumulativní vstupní autospektrum (Dim: } m \times m \text{)}$$

$$\Phi_{yy} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{\Phi}_{yy_i} \quad \text{Kumulativní výstupní autospektrum (Dim: } n \times n \text{)}$$

$$\Phi_{yx} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{\Phi}_{yx_i} \quad \text{Kumulativní křížové spektrum (Dim: } n \times m \text{)}$$

Ve srovnání s definicemi uvedenými v čl. 20.B.3.3.1 je zřejmé, že

$$\Phi_{xx} = G'_{xx}, \Phi_{yy} = G'_{yy} \text{ a } \Phi_{yx} = G^*_{xy}$$

Použití vztahu vstup/výstup systému LTI a provedení následujících substitucí založených na definicích kumulativního autospektra a křížového spektra, jak je definováno výše v odstavcích 20.B.3.3.3c a 20.B.3.3.3d, umožňuje následující:

$$\Phi_{yy} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_i Y_i^{*'} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H_{yx} X_i [H_{yx} X_i]^{*'} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H_{yx} X_i X_i^{*'} H_{yx}^{*'} = H_{yx} \Phi_{xx} H_{yx}^{*'}$$

a

$$\Phi_{xx} = H_{yx}^{-1} \Phi_{yy} [H_{yx}^{*'}]^{-1}$$

nebo definováním $Z = H_{yx}^{-1}$ se zjednoduší na $\Phi_{xx} = Z \Phi_{yy} Z^{*'}$

$$\Phi_{yx} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_i X_i^{*'} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H_{yx} X_i X_i^{*'} = H_{yx} \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i X_i^{*'} = H_{yx} \Phi_{xx}$$

což vede k

$$\Phi_{yx} \Phi_{xx}^{-1} = H_{yx}$$

Příloha 20B
(normativní)

Je třeba poznamenat, že dva přístupy analyzované v článku 20.B.3.3 mají velmi podobnou strukturu. Volba metodiky je obecně jednou z preferencí nebo možnou výpočetní výhodou.

20.B.3.4 Koherenční funkce MIMO

Aby se vyřešil případ MIMO, bude třeba pojetí koherence rozšířit. Podrobná rozprava na toto téma je uvedena v článku 20.7, odkazy d, i. Následují tři základní definice koherence, které se vztahují na případ MIMO pro lineární systém.

20.B.3.4.1 Normální koherence

Normální koherenční funkce je definována jako korelační koeficient popisující lineární vztah mezi libovolnými dvěma jednotlivými spektry. V případě vícenásobného vstupu je třeba věnovat pozornost interpretaci normální koherence. Je možné, že koherence mezi výstupem a daným vstupem může být mnohem menší než jedna, i když vztah je přísně lineární kvůli vlivu jiných vstupních signálů. Pro lineární systém MIMO je normální koherence definována jako

$$\gamma_{mn}^2(f) = \frac{|G_{xy_{mn}}|^2}{G_{xx_{mm}} G_{yy_{nn}}}$$

kde

$G_{xx_{mm}}(f)$ = autospektrum vstupu „ m “;

$G_{yy_{nn}}(f)$ = autospektrum výstupu „ n “;

$G_{xy_{mn}}(f)$ = křížové spektrum mezi vstupem „ m “ a výstupem „ n “.

20.B.3.4.2 Částečná koherence

Částečná koherenční funkce je definována jako normální koherence mezi jedním podmíněným výstupem a dalším podmíněným výstupem, mezi jedním podmíněným vstupem a dalším podmíněným vstupem nebo mezi jedním podmíněným vstupem a podmíněným výstupem. Jednotlivé vstupní a výstupní signály jsou „podmíněny“ odstraněním příspěvků z ostatních vstupů. Pro každou kombinaci vstupu a vstupu, výstupu a výstupu a vstupu a výstupu pro všechny permutace kondicionování existuje částečná koherenční funkce.

20.B.3.4.3 Vícenásobná koherence

Vícenásobná koherenční funkce je definována jako korelační koeficient popisující lineární vztah mezi daným výstupem a všemi známými vstupy. Pro každý výstupní signál existuje vícenásobná koherenční funkce. Vícenásobná koherenční funkce poskytuje vynikající metodu hodnocení stupně a relativní důležitosti neznámých příspěvků, jako jsou šum a nelinearity, pro každý výstupní signál.

Stejně jako v případě normální koherence představuje nízká hodnota vícenásobné koherence nízkou kauzalitu mezi požadovaným výstupním signálem a vstupními signály. Tato informace je zásadní v procesu řízení uzavřené smyčky v tom, že ovlivní odhad přenosové funkce. Ve skutečnosti řídicí systémy MDOF používají vícenásobnou koherenční funkci jako rozhodující zkušební parametr. Konkrétně řídicí algoritmus vypočítá vícenásobnou koherenci pro každý výstupní kanál na každé spektrální linii. Před aktualizací přenosové funkce během zkoušky bude vyhodnocena vícenásobná koherenční funkce, aby bylo zajištěno dosažení určité

Příloha 20B

(normativní)

prahové hodnoty, (tj. $\gamma_{mn}^2(f) \geq 0,7$). Pokud není dosaženo prahové hodnoty stanovené uživatelem, přenosová funkce pro tuto spektrální čáru nebude aktualizována. Částečná a vícenásobná koherence je podrobně analyzována v čl. 20.7, odkaz d. Definice podle Underwooda poskytuje rovněž zajímavý pohled na částečnou a vícenásobnou koherenci v čl. 20.7, odkaz l.

20.B.3.5 Kompenzace řídicího signálu

Předchozí rozpravy o autospektrálních a křížových spektrálních hustotách a o tom, jak jsou použity při výpočtu přenosové funkce systému a přidružených koherenčních funkcí, jsou všechny použity v počáteční fázi identifikace systému u zkoušky MET. Po počáteční identifikaci systému jsou výstupní (řídicí) signály aktualizovány podobně jako v případě tradiční SESA. Přestože se podrobnosti algoritmů každého dodavatele řídicího systému budou lišit, existují dvě základní metodiky aktualizace řídicího signálu.

První metodika aktualizace řídicího signálu je založena pouze na nepřetržitých aktualizacích přenosové funkce systému a provádí se po celou dobu trvání zkoušky, aby se vyřešily drobné změny systému (čl. 20.7, odkaz m). U všech kmitočtů, pro které jsou řídicí signály plně korelovány, nebude korekce přenosové funkce systému možná.

Druhá metodika aktualizace řídicího signálu je založena na spektru chyb, které se počítá mezi spektrem zpětné vazby a specifikovaným referenčním spektrem. Obvykle je určitá část chyby aplikována na opravu vazební matice korigované během každé smyčky. Vazební matice je matice spektrální hustoty, která spojuje vektor zdrojů bílého šumu generovaného řídicím systémem k dosažení požadovaného referenčního spektra.

POSTUP I MET (SPECIFICKÁ REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY (TWR))

20.C.1 POSTUP I MET (REFERENČNÍ KRITÉRIA ČASOVÉ OBLASTI)

Předběžné rozpracování

Protože umístění a orientace snímačů jsou při provádění MDOF MET prvořadé, je pro celkovou platnost a účinnost zkoušky nezbytné provést důkladnou předběžnou kontrolu. Nesouosost jednoho snímače bude mít nepříznivý dopad na matici přenosové funkce jako celku. Mají-li se řešit tyto druhy problémů, provedou se podrobná měření a fotografie skutečného nastavení polních podmínek (tj. jak a kde byl namontován materiál), aby se napomohlo správnému nastavení laboratorních podmínek (protože uspořádání laboratoře by mělo co nejpřesněji napodobovat nastavení v polních podmínkách). Kromě toho, jakmile jsou zkoušený předmět a související měřicí a řídicí přístroje uspořádány v laboratoři, provedou se měření fáze a koherence mezi kanály pohonu a řídicími kanály pro ujištění, že vstupní body a jejich výsledné odezvy jsou logické (např. vertikální vstup by měl do značné míry ovlivňovat vertikální odezvy při nízkých kmitočtech). Rovněž je třeba zajistit, aby spektrální charakteristiky řídicích akcelerometrů a přidruženého zařízení pro kondicionování signálu měly stejné charakteristiky kmitočtové odezvy jako přístroje používané k provádění původních referenčních měření, nebo se řádně předem kondicionují data podle potřeby pro zajištění správných fázových vztahů mezi kanály.

20.C.2 PODMÍNKY ANALÝZY PRO POSTUP I MET

20.C.2.1 Řešení translačního pohybu

Protože lineární snímače jsou obecně měřicími snímači, budou snadno dostupná translační měření. Stačí jen mít zavedený dobře definovaný souřadnicový systém.

20.C.2.2 Řešení úhlového pohybu

Analýza autospektrální hustoty (ASD) poskytuje obecný spektrální pohled na referenční data; neobsahuje však žádné informace o fázi. Přítomnost úhlového pohybu indikují rozdíly ve fázi a amplitudě mezi kolineárními akcelerometry. Jednou z metod zkoumání přítomnosti úhlového zrychlení (buď čistého, nebo kombinovaného s translačním zrychlením) ze souboru lineárních akcelerometrů je určování komplexních přenosových funkcí mezi kolineárními páry lineárních akcelerometrů. Následné provádění stejné analýzy přenosové funkce mezi jednotlivými místy v laboratoři poskytuje další metriku pro měření přesnosti laboratorní zkoušky. Analýza přenosových funkcí odpovídajících polním podmínkám a laboratorní měření často ukazují, kde se mechanická impedance mezi polními a laboratorními podmínkami začíná rozcházet. S odvoláním na měření ASD je možné získat určitý náhled, pokud jde o množství energie přítomné jako funkce kmitočtu, poskytující pohled na odchylky očekávané v důsledku divergence v mechanické impedanci. Podobnosti mezi referenčními a laboratorními přenosovými funkcemi naznačují, že rotace v polních a laboratorních podmínkách jsou podobné.

Ve snaze řešit skutečnou úroveň a přesnost spojenou s rotačními stupni volnosti ze zkoušky řízené výhradně zpětnou vazbou získanou z lineárních akcelerometrů, mohou být vypracovány výpočty úhlového pohybu. Provedou se výpočty jak

Příloha 20C
(normativní)

z referenčních údajů, tak z odpovídajících dvojic laboratorních řídicích akcelerometrů a porovnají se výsledky. Výpočet má podobu aproximace malého úhlu; protože však referenční rovina, na které je akcelerometr namontován, se ve skutečnosti otáčí, nedochází k žádné výpočetní chybě jako funkce úhlu jako v případě aproximace malého úhlu pevné roviny. Pro ilustraci je třeba vzít v úvahu dva lineární akcelerometry umístěné k měření pohybu osy „z“ namontované ve vzdálenosti „l“ palců od jejich relativní středové osy podél osy „y“. Odhad úhlového pohybu rotační osy (R_x) v jednotkách $\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$ na středové čáře mezi dvěma snímači lze vypočítat jako $386(a_{1z} - a_{2z})/2l$. V ideálním případě tato metodika poskytne dobrou metriku pro analýzu úhlového pohybu pro případ „tuhého tělesa“. Kmitočet, při kterém se údaje z polních podmínek a laboratorní údaje začínají lišit, je známkou toho, že se mechanická impedance mezi mechanickým rozhraním taktických polních podmínek a laboratorním upevněním začíná lišit. Velikost odchylky poskytuje určitou představu o kvalitě impedanční shody, a poskytuje klíčový datový bod pro pochopení, zda je přesnost zkoušky dostatečná pro splnění kritérií specifických pro zkoušku. Okamžitý střed rotace (ICR) se obecně nemusí přesně shodovat s ICR zkušební platformy a odhady úhlového pohybu mohou být ve skutečnosti vektory, které nejsou zcela pravoúhlé vzhledem ke skutečné ose rotace. Dokud však laboratorní referenční lineární akcelerometry použité k odhadu úhlového zrychlení korelují s přesným umístěním a fází referenčních měření, je pro řešení přesnosti reprodukce stále zajímavé porovnání lokalizovaného úhlového pohybu.

Je-li to možné (může to být omezeno pásmem), doporučuje se umístit do středu mezi lineární akcelerometry, používané k odhadu požadovaného rotačního DOF, úhlový akcelerometr nebo snímač rychlosti. Přidání úhlového akcelerometru zabezpečí přímé změření přesného stavu v terénu pro úhlové zrychlení v určitém bodě na dané konstrukci.

20.C.3 TOLERANCE ZKOUŠKY PRO POSTUP I MET

Jak je uvedeno v čl. 20.5.4, ohledně otázky filozofie zkoušky TWR, není specifikace tolerance zkoušky dobře kvantifikována. Řada možných metodik na kvantifikaci zkoušek TWR je však uvedena v AECTP-400, Metoda 423, část přílohy. Každá z metrik uvedená v Metodě 423, příloha 22A pro TWR SESA je rovněž použitelná pro případ MDOF, pouze v případě MDOF bude sestávat z „řady“ referenčních kanálů a „řady“ řídicích kanálů. Stejně jako v případě pro TWR SESA se doporučuje, aby referenční časové průběhy byly rozděleny do stacionárních náhodných, rázových nebo nestacionárních kategorií a kritéria tolerance byla aplikována na každý segment na základě klasifikace dat. Pro účely vypracování tolerance pro TWR by tolerance neměly překročit tolerance uvedené v Metodách 401 a 403 pro kategorie stacionárních náhodných vibrací a mechanických rázů. Tolerance pro třetí formu časového průběhu (nestacionární data) jsou do jisté míry závislé na povaze těchto nestacionárních dat. K dispozici jsou metodiky pro nestacionární posouzení, u nichž je amplituda časového průběhu funkcí času a kmitočtu (viz čl. 20.7, odkaz d). Některé nestacionární časové průběhy, které mají časově neměnné kmitočtové charakteristiky, mohou být reprezentovány produktovým modelem (PM) a mohou být zpracovány pro účely tolerance jako stacionární náhodná vibrace s časově proměnnou obálkou. Podrobnosti o specifikaci tolerance TWR pro nestacionární časové průběhy jsou uvedeny v přílohách 22A a 22B Metody 423. Konečně, kromě časového segmentování celkových referenčních a řídicích průběhů, může být

Příloha 20C
(normativní)

žádoucí stanovit samostatné tolerance zkoušky pro běžné šířky pásma referenčních a řídicích časových průběhů, tj. provést segmentaci kmitočtů. Toho lze dosáhnout pomocí schématu digitálního filtru. Pro vypracování tolerance při segmentaci kmitočtu tato metoda neposkytuje žádné pokyny.

20.C.3.1 Analýza složené (celkové) chyby pro Postup I

Jedna ze zřejmých zájmových otázek při řešení přiměřenosti zkoušky 6-DOF TWR tkví ve smyslu komplexnosti. To je analogické při provádění tradičního zkoušení SDOF v praxi poskytnutím komplexního řídicího diagramu shrnujícího schémata průměrování nebo stanovení vah více řídicích kanálů. Zkušenost například ukázala, že ve zkouškách MEMA, ve kterých určitý mechanický stupeň volnosti sestává z velmi malého procenta složené energie ze všech mechanických stupňů volnosti, bude přidružená chyba pro tento DOF často vyšší než požadované zkušební tolerance popsané v čl. 20.C.3 výše. V čl. 20.7, odkaz k a souhrnu uvedeném níže jsou popsány tři uvažované metodiky (možných je mnoho dalších) pro přístup k celkové chybě. Níže uvedené tři metodiky jsou v souladu se základním dělením druhu údajů diskutovaných v Metodě 423, příloha 22A.

20.C.3.2 Celková chyba RMS

Jednou z nejběžnějších metodik měření chyb v časové oblasti používaných při zkouškách TWR je jednoduché srovnání referenčních údajů a laboratorních dat, jako EU-rms vzhledem k času, vypočtenému z krátkých časových úseků po dobu trvání zkoušky. V případě MDOF TWR se chyba rms v závislosti na čase snadno vypočítá pro každý řídicí kanál, jak je ukázáno v kroku 2 níže. Zajímavý by byl rovněž energeticky vážený pohled na chybu rms v závislosti na čase mezi referenčním a řídicím signálem. Tato koncepce je rozpracována v následujících krocích.

Krok 1 Řady $r_{j \times N}$ a $l_{j \times N}$ uvedené v rovnici (20.C.3.2.1) představují referenční respektive laboratorní zkušební data pro N vzorků pro každý z J řídicích kanálů. Zkušební technik by měl sledovat parametry specifické pro zkoušku, jako je vzorkovací kmitočet a nastavení filtru. Předpokládá se, že časové průběhy reprezentované rovnicí (20.C.3.2.1) nebudou mít zkreslení, nebo že zkreslení byla odstraněna v průběhu předběžného zpracování.

$$r_{j \times N}(n) = \begin{pmatrix} r_1(n) \\ r_2(n) \\ \vdots \\ r_j(n) \end{pmatrix} \quad l_{j \times N}(n) = \begin{pmatrix} l_1(n) \\ l_2(n) \\ \vdots \\ l_j(n) \end{pmatrix} \quad n = 1, 2, \dots, N; \quad (20.C.3.2.1)$$

Krok 2 Dvě matice RMS_r a RMS_l uvedené v rovnici (20.C.3.2.2) obsahují hodnoty g -rms pro každý referenční a laboratorní zkušební kanál vypočítané pro každý časový úsek „s“. Index „j“, $j = 1, \dots, J$, představuje číslo řídicího kanálu a index „s“, $s = 1, \dots, S$, představuje číslo časového segmentu. Například, pokud je vzorkovací kmitočet $F_s = 1\,024$ Hz a výpočet efektivní hodnoty rms je počítán každých 0,5 sekundy ($M = 512$

Příloha 20C
(normativní)

vzorků), „s = 1“ bude představovat vzorky „n = 1, ..., M“, „s = 2“ bude představovat vzorky „n = M+1, ..., 2M“ atd.

$$RMS_{J \times S} _r = \begin{pmatrix} rms_r_{11} & \dots & rms_r_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ rms_r_{J1} & \dots & rms_r_{JS} \end{pmatrix} \quad RMS_{J \times S} _l = \begin{pmatrix} rms_l_{11} & \dots & rms_l_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ rms_l_{J1} & \dots & rms_l_{JS} \end{pmatrix} \quad (20.C.3.2.2)$$

$$\text{kde} \quad rms_r_{js} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=((M.s)-M+1)}^{M.s} r_j^2(n)} \quad \text{a} \quad rms_l_{js} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=((M.s)-M+1)}^{M.s} l_j^2(n)}$$

Krok 3 Při konstatování, že sloupce dvou matic uvedených v rovnici (20.C.3.2.2) představují hodnoty *g-rms* referenčních a laboratorních zkušebních kanálů pro daný časový segment „s“, je možné izolovat jednotlivé sloupce a pro každý časový segment vypracovat strategii stanovení vah napříč všemi řídicími kanály. Rovnice (20.C.3.2.3) ukazuje 2-normu vypočítanou pro každý sloupec referenční matice RMS_r . Je třeba si uvědomit, že následné násobení indexovým vektorem U_s , poskytuje způsob izolace požadovaného s-tého sloupce.

$$nc_{1 \times S} _rms_r = (\|(RMS_r)U_1\|_2, \|(RMS_r)U_2\|_2, \dots, \|(RMS_r)U_S\|_2)$$

$$\text{kde} \quad U_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{S \times 1}, \quad U_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{S \times 1}, \quad \dots, \quad U_S = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{S \times 1} \quad (20.C.3.2.3)$$

Krok 4 Rovnice (20.C.3.2.4) ukazuje výpočet váhového faktoru pro každý vstup do referenční matice RMS_r , založený na normalizaci sloupce na odpovídající 2-normu vypočítanou v rovnici (20.C.3.2.3). Tento váhový faktor lze zohlednit při řešení chyby rms mezi referenčními a laboratorními údaji.

$$Wt_{J \times S} = \begin{pmatrix} \frac{(RMS_r_{11})^2}{(nc_rms_r_1)^2} & \frac{(RMS_r_{12})^2}{(nc_rms_r_2)^2} & \dots & \frac{(RMS_r_{1S})^2}{(nc_rms_r_S)^2} \\ \frac{(RMS_r_{21})^2}{(nc_rms_r_1)^2} & \frac{(RMS_r_{22})^2}{(nc_rms_r_2)^2} & \dots & \frac{(RMS_r_{2S})^2}{(nc_rms_r_S)^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(RMS_r_{J1})^2}{(nc_rms_r_1)^2} & \frac{(RMS_r_{J2})^2}{(nc_rms_r_2)^2} & \dots & \frac{(RMS_r_{JS})^2}{(nc_rms_r_S)^2} \end{pmatrix} \quad (20.C.3.2.4)$$

Krok 5 Relativní chyba mezi referenčními signály a signály měřeními v průběhu laboratorních zkoušek může být vypočtena na logaritmické stupnici podle rovnice (20.C.3.2.5).

$$RMS_{j \times S} \text{ err} = 20 \log_{10} \begin{pmatrix} \left(\frac{RMS_{I_{11}}}{RMS_{r_{11}}} \right) & \left(\frac{RMS_{I_{12}}}{RMS_{r_{12}}} \right) & \cdots & \left(\frac{RMS_{I_{1S}}}{RMS_{r_{1S}}} \right) \\ \left(\frac{RMS_{I_{21}}}{RMS_{r_{21}}} \right) & \left(\frac{RMS_{I_{22}}}{RMS_{r_{22}}} \right) & \cdots & \left(\frac{RMS_{I_{2S}}}{RMS_{r_{2S}}} \right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{RMS_{I_{J1}}}{RMS_{r_{J1}}} \right) & \left(\frac{RMS_{I_{J2}}}{RMS_{r_{J2}}} \right) & \cdots & \left(\frac{RMS_{I_{JS}}}{RMS_{r_{JS}}} \right) \end{pmatrix} \quad (20.C.3.2.5)$$

Krok 6 Matice RMS_err může být normalizována váhovým parametrem definovaným v matici Wt , jak je ukázáno v rovnici (20.C.3.2.6).

$$RMS_{j \times S} \text{ Nerr} = \begin{pmatrix} (RMS_err_{11})(Wt_{11}) & (RMS_err_{12})(Wt_{12}) & \cdots & (RMS_err_{1S})(Wt_{1S}) \\ (RMS_err_{21})(Wt_{21}) & (RMS_err_{22})(Wt_{22}) & \cdots & (RMS_err_{2S})(Wt_{2S}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (RMS_err_{J1})(Wt_{J1}) & (RMS_err_{J2})(Wt_{J2}) & \cdots & (RMS_err_{JS})(Wt_{JS}) \end{pmatrix} \quad (20.C.3.2.6)$$

Krok 7 Celková chyba efektivní hodnoty rms může být nyní stanovena pro každý časový segment, jak je ukázáno v rovnici (20.C.3.2.7).

$$Glob_{1 \times S} \text{ rms err} = \left(\sum_{j=1}^J (RMS_Nerr) U_1, \dots, \sum_{j=1}^J (RMS_Nerr) U_S \right) \quad (20.C.3.2.7)$$

Chyba rms uvedená v kroku 7 výše poskytuje globální pohled na chybu rms mezi referenčními a laboratorními daty, ve kterých je zahrnuto každé řídicí místo, a určení váhy chyby z hlediska energie v každém časovém segmentu „s“.

20.C.3.3 Celková chyba ASD

Jedna z nejběžnějších metrik měření chyb v kmitočtové oblasti používaná při zkouškách TWR je založena na porovnání ASD vypočtených v daném časovém segmentu. Úroveň nestacionarity referenčního signálu a/nebo podobnosti v datech v průběhu konkrétního časového úseku může být zvažována při výběru časového úseku, za který se ASD vypočítává. I když je jistě snadné polemizovat o užitečnosti odhadu nestacionárních dat ASD, tato technika je stále užitečná při vytváření přímých porovnání referenčních signálů z polních podmínek a laboratorních dat ze zkoušky TWR. Logickým dělením časových úseků je výběr úseků, které mají být co nejbližší po částech stacionární.

Jak bylo uvedeno výše, téma tohoto dokumentu je zaměřeno na stanovení metrik celkové charakteristiky pro scénář MDOF TWR. Kroky, které následují, vymezí jednu metodiku, kterou je třeba vzít v úvahu při prohlížení výsledků ASD vypočítaných pomocí vícenásobných řídicích kanálů.

Krok 1 Řady $r_{j \times N}$ a $I_{j \times N}$ uvedené v rovnici (20.C.3.3.1) představují referenční respektive laboratorní zkušební data pro N vzorků pro každý z J řídicích kanálů. Zkušební technik by měl sledovat parametry specifické pro zkoušku, jako je vzorkovací kmitočet F_s a nastavení filtru. Předpokládá se, že časové průběhy představované rovnicí (20.C.3.3.1)

Příloha 20C
(normativní)

nebudou mít zkreslení nebo že zkreslení byla odstraněna během předběžného zpracování.

$$r(n) = \begin{pmatrix} r_1(n) \\ r_2(n) \\ \vdots \\ r_J(n) \end{pmatrix} \quad l(n) = \begin{pmatrix} l_1(n) \\ l_2(n) \\ \vdots \\ l_J(n) \end{pmatrix} \quad n = 1, 2, \dots, N; \quad (20.C.3.3.1)$$

Krok 2 Dvě matice ASD_{r_s} a ASD_{l_s} uvedené v rovnici (20.C.3.3.2) představují odhady ASD vypočtené za časový úsek „s“. Index „j“, $j = 1, \dots, J$, představuje číslo řídicího kanálu a index „f“, $f = 1, \dots, F$, kde $F = BS/2$ představuje každou spektrální linii odhadu ASD. Například pokud $F_s = 1\,024$ a velikost bloku (BS) použitá v odhadu ASD je nastavena na $BS = 512$, $F = 256$ a rozlišení kmitočtu by bylo $\Delta f = F_s / BS = 2$ Hz. Při výpočtu odhadů ASD může být časovým úsekem „s“ buď celý rozsah $n = 1, \dots, N$, nebo jeho část.

$$ASD_{r_s}(f) = \begin{pmatrix} asd_{r_{11}} & \dots & asd_{r_{1F}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ asd_{r_{J1}} & \dots & asd_{r_{JF}} \end{pmatrix} \quad ASD_{l_s} = \begin{pmatrix} asd_{l_{11}} & \dots & asd_{l_{1F}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ asd_{l_{J1}} & \dots & asd_{l_{JF}} \end{pmatrix} \quad (20.C.3.3.2)$$

Krok 3 Při konstatování, že sloupce dvou matic uvedených v rovnici (20.C.3.3.2) představují hodnoty $G^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ referenčních a laboratorních zkušebních kanálů pro danou spektrální linii odhadovanou v časovém úseku „s“, lze jednotlivé sloupce izolovat a vypracovat strategii stanovení váhy napříč všemi řídicími kanály pro každou spektrální linii. Rovnice (20.C.3.3.3) ukazuje 2-normu vypočítanou pro každý sloupec referenční matice ASD_{r_s} . Následné násobení indexovým vektorem „ U “ poskytuje způsob izolace jednotlivého požadovaného sloupce.

$$nc_{asd}_{1 \times F} = (\|(ASD_{r_s})U_1\|_2, \|(ASD_{r_s})U_2\|_2, \dots, \|(ASD_{r_s})U_F\|_2)$$

$$\text{kde } U_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad U_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \dots, \quad U_F = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad (20.C.3.3.3)$$

Krok 4 Rovnice (20.C.3.3.4) ukazuje výpočet váhového faktoru pro každý vstup do referenční matice ASD_r na základě normalizace sloupce na odpovídající 2-normu vypočítanou v rovnici (20.C.3.3.3). Tento váhový faktor lze zohlednit při řešení chyby $G^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ mezi referenčními a laboratorními údaji.

$$W_{s_{J \times F}}^t = \begin{pmatrix} \frac{(ASD_{r_{11}})^2}{(nc_asd_{r_1})^2} & \frac{(ASD_{r_{12}})^2}{(nc_asd_{r_2})^2} & \cdots & \frac{(ASD_{r_{1F}})^2}{(nc_asd_{r_F})^2} \\ \frac{(ASD_{r_{21}})^2}{(nc_asd_{r_1})^2} & \frac{(ASD_{r_{22}})^2}{(nc_asd_{r_2})^2} & \cdots & \frac{(ASD_{r_{2F}})^2}{(nc_asd_{r_F})^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(ASD_{r_{J1}})^2}{(nc_asd_{r_1})^2} & \frac{(ASD_{r_{J2}})^2}{(nc_asd_{r_2})^2} & \cdots & \frac{(ASD_{r_{JF}})^2}{(nc_asd_{r_F})^2} \end{pmatrix} \quad (20.C.3.3.4)$$

Krok 5 Relativní chyba mezi referenčními signály a signály měřenými v průběhu laboratorních zkoušek může být vypočtena na logaritmické stupnici podle rovnice (20.C.3.3.5).

$$ASD_{err_s}_{J \times F} = 10 \log_{10} \begin{pmatrix} \left(\frac{ASD_{I_{11}}}{ASD_{r_{11}}} \right) & \left(\frac{ASD_{I_{12}}}{ASD_{r_{12}}} \right) & \cdots & \left(\frac{ASD_{I_{1F}}}{ASD_{r_{1F}}} \right) \\ \left(\frac{ASD_{I_{21}}}{ASD_{r_{21}}} \right) & \left(\frac{ASD_{I_{22}}}{ASD_{r_{22}}} \right) & \cdots & \left(\frac{ASD_{I_{2F}}}{ASD_{r_{2F}}} \right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{ASD_{I_{J1}}}{ASD_{r_{J1}}} \right) & \left(\frac{ASD_{I_{J2}}}{ASD_{r_{J2}}} \right) & \cdots & \left(\frac{ASD_{I_{JF}}}{ASD_{r_{JF}}} \right) \end{pmatrix} \quad (20.C.3.3.5)$$

Krok 6 Matici ASD_{err} lze normalizovat pomocí váhového parametru definovaného v matici W_t , jak je ukázáno v rovnici (20.C.3.3.6).

$$ASD_{Nerr_s}_{J \times F} = \begin{pmatrix} (ASD_{err_{11}})(W_{t_{11}}) & (ASD_{err_{12}})(W_{t_{12}}) & \cdots & (ASD_{err_{1F}})(W_{t_{1F}}) \\ (ASD_{err_{21}})(W_{t_{21}}) & (ASD_{err_{22}})(W_{t_{22}}) & \cdots & (ASD_{err_{2F}})(W_{t_{2F}}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (ASD_{err_{J1}})(W_{t_{J1}}) & (ASD_{err_{J2}})(W_{t_{J2}}) & \cdots & (ASD_{err_{JF}})(W_{t_{JF}}) \end{pmatrix} \quad (20.C.3.3.6)$$

Krok 7 Celková chyba ASD může být nyní stanovena pro každý časový úsek „s“, jak je ukázáno v rovnici (20.C.3.3.7).

$$Glob_{asd_err_s}_{1 \times F} = \left(\sum_{j=1}^J (ASD_{Nerr})U_1, \dots, \sum_{j=1}^J (ASD_{Nerr})U_F \right) \quad (20.C.3.3.7)$$

Spektrum chyby ASD uvedené v kroku 7 výše poskytuje globální pohled na chybu ASD mezi referenčními a laboratorními daty, ve kterých je zahrnuto každé řídicí místo, a určení váhy chyby z hlediska energie v každé spektrální linii.

Příloha 20C
(normativní)

20.C.3.4 Celková chyba SRS

Jak je rozebráno v MIL-STD-810G, Metoda 525.1, významné přechodové jevy, které lze identifikovat v rámci referenčního časového průběhu, mohou být analyzovány po zkoušce pomocí tradiční analýzy SRS nebo analýzy pseudorychlosti SRS. Metodika celkové chyby pro analýzu SRS může být vypracována mírnou změnou přístupu ASD definovaného v článku 20.C.3.3 výše. Konkrétně, jako náhrada za indexování na základě frekvenční linie, indexový kmitočet na bázi 1/12 oktávy s použitím maximax zrychlení v každém 1/12oktávovém pásmu.

POSTUP II MET (SPECIFICKÁ MATICE SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY (SDM))

20.D.1 POSTUP II MET (REFERENČNÍ KRITÉRIA KMITOČTOVÉ OBLASTI)

Předběžné rozpracování

Protože umístění a orientace snímačů jsou při provádění MDOF MET prvořadé, je pro celkovou platnost a účinnost zkoušky nezbytné provést důkladnou předběžnou kontrolu. Nesouosost jednoho snímače bude mít nepříznivý dopad na matici přenosové funkce jako celku. Mají-li se řešit tyto typy problémů, provedou se podrobná měření a fotografie skutečného nastavení polních podmínek (tj. jak a kde byl zkoušený předmět namontován), aby se napomohlo správnému nastavení laboratorních podmínek (jelikož by mělo napodobit co nejpřesněji nastavení v polních podmínkách). Kromě toho, jakmile jsou zkoušený předmět a související měřicí a řídicí přístroje uspořádány v laboratoři, provedou se měření fáze a koherence mezi kanály pohonu a řídicími kanály pro ujištění, že vstupní body a jejich výsledné odezvy jsou logické (např. vertikální vstup by měl do značné míry ovlivňovat vertikální odezvy při nízkých kmitočtech). Doporučuje se zajistit, aby spektrální charakteristiky řídicích akcelerometrů a přidruženého zařízení pro kondicionování signálu měly stejné spektrální vlastnosti jako přístroje používané k provádění původních referenčních měření, nebo se řádně předem kondicionují data podle potřeby pro zajištění správných fázových vztahů mezi kanály. Rovněž se důrazně doporučuje, aby byl vypracován model FEM pro sestavu MET. Jako velmi užitečná, při řešení nežádoucí modální odezvy prostřednictvím implementace další zpětné vazby, která má být zohledněna v řídicím schématu, se často ukazuje předchozí znalost modálních charakteristik laboratorního systému MET.

20.D.2 PODMÍNKY ANALÝZY PRO POSTUP II MET

20.D.2.1 Specifikace parametrů při zkouškách MESA a MEMA

Klasické metriky uvedené v Metodě 401 pro řízení vibračních zkoušek SESA jsou pro analýzu MET nedostatečné. Při provádění vibračních zkoušek MESA nebo MEMA prostřednictvím Postupu II jsou vyžadovány jak parametry autospektrální hustoty (ASD), tak i křížové spektrální hustoty (CSD). Jak by se dalo očekávat, konfigurace MET bude mít vliv na referenční spektrální požadavky. Zváží se například definování náhodné zkoušky pro dva systémy MET znázorněné na obrázcích 20.2 a 20.3. Tabulka 20.D.1 dokládá konstrukci matice spektrální hustoty (SDM) pro 2-DOF MET systém znázorněný na obrázku 20.2, a podobně tabulka 20.D.2 dokládá formát spektrální informace požadované při specifikaci 3-DOF MET systému, který je znázorněn na obrázku 20.3. Je třeba si uvědomit, že formát matice spektrální hustoty (SDM) sestává z prvků autospektrální hustoty (výkonové spektrální hustoty) na diagonále a prvků křížové spektrální hustoty mimo diagonálu. Je třeba si rovněž uvědomit strukturu podle Hermitiana pro případ, kdy SDM je čtvercová.

V ideálním případě budou k dispozici měření v polních podmínkách, která definují jak autospektrální, tak i křížové spektrální hustoty. Jednou poznámkou, která se týká vývoje vibračních kritérií pro Postup II MET, je to, že na rozdíl od případu SESA je obtížné vytvořit souhrnný soubor referenčních spekter pro zkoušku MEMA. Obtížnost spočívá především v nezpůsobilosti charakterizovat prvky CSD napříč souborem měření. Tento problém je podrobněji rozebrán v příloze 20E.

Příloha 20D
(normativní)

TABULKA 20.D.1 – Referenční kritéria MET pro 2-DOF s náhodným lineárním pohybem

$ASD_{z1z1}(f)$	$CSD_{z1z2}^*(f)$
$CSD_{z1z2}(f)$	$ASD_{z2z2}(f)$

TABULKA 20.D.2 – Referenční kritéria MET pro 3-DOF s náhodným lineárním pohybem

$ASD_{xx}(f)$	$CSD_{xy}^*(f)$	$CSD_{xz}^*(f)$
$CSD_{xy}(f)$	$ASD_{yy}(f)$	$CSD_{yz}^*(f)$
$CSD_{xz}(f)$	$CSD_{yz}(f)$	$ASD_{zz}(f)$

Struktura křížové spektrální hustoty

Většina komerčně dostupných řídicích systémů MET poskytuje metodu zadávání prvků CSD ve formě relativní fáze a koherence. Například, pokud si někdo přeje provést pouze vertikální zkoušku s konfigurací dvou budičů znázorněných na obrázku 20.2, ideální referencí by bylo nastavení fáze 0 stupňů s koherencí 1,0. Podobně, pokud by požadovaný pohyb byl čistým stoupáním, ideální referencí by bylo nastavení fáze 180 stupňů s koherencí 1,0. Bohužel volba nastavení koherence 1,0 vede k singulární matici SDM. Kromě toho je velmi vzácné najít v praxi dokonale koherentní měření kvůli šumu a nelinearitám systému. Zkušenosti ukázaly, že při specifikaci vysoce koherentních měření v MET, volba koherence, která je o něco menší než 1,0 ($\gamma_{ij} = 0,95$ až $0,98$) výrazně snižuje numerické problémy spojené se singulární maticí SDM a požadovaný kmitočet a časové charakteristiky jsou stále dosahovány ve vysoké míře.

Požaduje se přímá znalost charakteristik CSD prostředí v polních podmínkách, protože fázové charakteristiky mezi mechanickými DOF mohou mít významný vliv na odezvu UUT. Modální charakteristiky UUT mohou velmi ovlivňovat dynamiku odezvy jako funkce relativního fázování referenčních (řídicích) signálů.

20.D.2.2 Hierarchie řízení

V dřívějších řídicích algoritmech MET, jak je uvedeno v čl. 20.7, odkaz h, byla v hierarchii řízení pro MET obecně upřednostněna korekce prvků ASD. Prvky CSD byly poté opraveny na možnou míru, aniž by došlo k poškození prvků ASD. V moderních algoritmech MET jsou řídicí signály aktualizovány tak, že matice SDM má minimální střední kvadratickou chybu. Míra přesnosti reprodukce prvků CSD ve zkoušce MEMA je často pro zkoušku specifická a související tolerance by měly být upraveny podle potřeby. Doporučuje se například zvážit 6-DOF MET navrženou k řešení funkčního výkonu součásti, jako je stabilizační platforma založená na kardanově závěsu, pro kterou se lze zajímat o rotační stupně volnosti na kmitočtu, který je mnohem menší než úplná zkušební šířka pásma. V takových případech bude udržování přesných charakteristik CSD mezi řídicími body předdefinováno cíli

Příloha 20D
(normativní)

zkoušky funkčních vlastností a charakteristiky CSD při kmitočtech vyšších než šířka pásma požadované funkční zkoušky se nepovažují za kritické.

20.D.2.2.1 Naměřená data jsou dostupná

Po získání změřených údajů z provozu se předpokládá, že se údaje zpracovávají v souladu se správnými postupy analýz údajů (viz čl. 20.7, odkazy d, e). Zejména je získán dostatečný počet statistických stupňů volnosti, aby poskytoval informace s přijatelnou statistickou chybou. Je třeba vzít v úvahu nejen statistickou chybu v odhadech autospektrální hustoty, ale rovněž v odhadech křížové spektrální hustoty (včetně odhadů přenosové a koherenční funkce). Pro odhady přenosové funkce křížové spektrální hustoty je důležité správně diagnostikovat koherenci nebo nedostatek koherence mezi měřeními. Nízká koherence znamená, že vibrační energie mezi měřeními není korelována, takže může být použito více budičů bez křížové spektrální informace. Nízkou koherenci lze rovněž chápat jako zmírnění přísných křížových spektrálních informací a možné použití křížových spektrálních informací, které se přirozeně vyskytují v konfiguraci laboratorních zkoušek. Obecně je třeba věnovat zvláštní pozornost uspořádání měření v polních podmínkách. Zejména umístění a kvalifikaci měřicích bodů, pokud jde o to, zda se jedná o konstrukční body na materiálu, které umožňují popsat celkové vibrační charakteristiky materiálu, nebo jde o body odezvy na materiálu lokální pro specifickou definici odezvy součásti materiálu.

20.D.2.2.2 Naměřená data nejsou dostupná

Pokud změřené údaje nejsou k dispozici a jsou dostupné pouze informace o autospektrální hustotě na úrovni specifikace, je téměř vždy nutné předpokládat, že budicí prostředí jsou na sobě nezávislá (hodnoty koherence jsou téměř nulové). Kromě toho nelze posoudit účinky impedance v provozu a za laboratorních okrajových podmínek. Informace o normálním režimu z materiálu jsou důležité při umožnění obecného oddělení vibračních režimů odezvy. Pečlivá pozornost se musí věnovat specifikaci „řídících“ a „monitorovacích“ měřicích bodů. Řídící měřicí bod by byl obvykle na konstrukčním prvku a popisoval by celkové vibrační vlastnosti předmětu. Monitorovací měřicí bod by popisoval lokální vibrační charakteristiky, které jsou relevantní pro konkrétní součást. Informace o extrémních buzení jsou uvedeny v článku 20.7, odkaz j.

20.D.2.2.3 Použití referencí 1-DOF

Používání vysoce konzervativních vibračních specifikací původně navržených pro laboratorní zkoušku 1-DOF jako nekorelované referenční ASD pro zkoušku MDOF by mělo být řešeno opatrně. Vibrační specifikace vytvořené pro situace 1-DOF jsou často úmyslně konzervativní, částečně proto, že v laboratoři se neočekává významné propojení mechanických DOF. Takové propojení mezi mechanickými DOF je ovšem možné v polních podmínkách nebo v laboratorním prostředí MDOF. Proto použití vysoce konzervativních spekter jako referencí ve zkoušce MDOF by mohlo přinést neobvykle vysokou odezvu v případě, že zkoušená jednotka úzce propojila konstrukční režimy mezi mechanickými DOF. Pokud jsou charakteristiky konzervatismu v referencích 1-DOF jasně definovány, je možné vyvinout alternativní soubor nekorelovaných referencí se sníženým konzervatismem pro řešení situací MDOF.

Příloha 20D
(normativní)

20.D.3 TOLERANCE ZKOUŠKY PRO POSTUP II MET

Obecně je třeba stanovit všechny zkušební tolerance na základě určitého srovnání specifikací autospektrální a křížové spektrální hustoty v kmitočtové oblasti s odpovídajícími autospektrálními a křížovými spektrálními informacemi měřenými laboratorními zkouškami. Podstatná závislost s ohledem na tolerance bude na informacích o autospektrální hustotě, přičemž informace o křížové spektrální hustotě hrají druhořadou roli, kvůli své závislosti na koherenci měřicího kanálu pro charakterizaci chyb. Základní porovnání by mohlo být provedeno pro nominální zkušební tolerance prováděné softwarem MET dodaným dodavatelem. Pracovníci zkušební laboratoře se musí důkladně seznámit s příručkami MET dodaným dodavatelem, aby takové tolerance zjistili, a musí velmi jasně pochopit správnou interpretaci zkušebních tolerancí. Otázka přiměřených tolerancí ve zkoušce MET není bohužel jednoduchá. Obecně zkušební tolerance předepsané v Metodě 401 pro stacionární náhodné vibrace jsou použitelné pro informace o autospektrální hustotě odvozené z MET. Často je však nutné uvolnit zkušební tolerance u informací o křížové spektrální hustotě. K posouzení otázek zkušební tolerance mohou být nezbytné odhady přenosové funkce spolu s odhady normální, částečné a vícenásobné koherenční funkce. V případech, kdy musí být hodnocena vícekanálová měření pro posouzení tolerance zkoušky, bude nezbytná přítomnost zkušeného analytika.

Jelikož se zkouška provádí v reálném čase, je nutné pouze zajistit, aby byl referenční vstup před spuštěním zkoušky řádně kompenzován. Všechny strategie MET a dodavatelský software zajišťují zkoušení na velmi nízké úrovni pro stanovení informací o předběžných přenosových funkcích, které mohou být aktualizovány pro zkoušení na vyšší úrovni. Aktualizovaná přenosová funkce zohledňuje určité nelinearity amplitudy vibračního systému, ke kterým může dojít při zvýšení obecné úrovně vibrací.

Analýza složené (celkové) chyby pro Postup II

Stejné problémy, o nichž pojednává příloha 20C, čl. 20.C.3.1, se vztahují na Postup II MET. Avšak pro zkoušku Postupu II budou mít časové průběhy syntetizované řídicím systémem v širokém smyslu stacionární a Gaussův charakter. Analýza celkové chyby se proto redukuje na analýzu chyb ASD a CSD. Z analýzy v článku 20.D.2.2, je třeba připomenout, že ASD je v řídicím schématu často dávaná priorita a že požadovaný stupeň přesnosti CSD bude stanoven převážně na základě „zkouška zkouškou“. Řešení celkové chyby bude do značné míry záviset na sestavě MET a umístění řídicího snímače. Na translační a rotační stupně volnosti lze nahlížet ve složeném smyslu průměrováním nebo stanovením vah každého snímače ve společné ose, případně určením váhy složené chyby ASD napříč všemi osami, jak je doporučeno v příloze 20C, článek 20.C.3.3. Translační stupně volnosti se snadno vypočítají z přímých měření akcelerometru, zatímco rotační stupně volnosti lze sledovat z hlediska ASD vypočítaného buď z přímých měření úhlového pohybu, nebo z odhadů otáček vypočítaných z lineárních akcelerometrů. Při zvažování odhadů rotačních stupňů volnosti na základě lineárních akcelerometrů je nezbytné řídit se pokyny a opatrným přístupem popsány v příloze 20C, čl. 20.C.2.2.

VYPRACOVÁNÍ HARMONOGRAMU LABORATORNÍ VIBRAČNÍ ZKOUŠKY PRO APLIKACI VÍCE BUDIČŮ

20.E.1 ROZSAH PLATNOSTI

Tato příloha uvádí podmínky a metodiky pro vypracování harmonogramů laboratorních vibračních zkoušek (LVTS), které lze použít k simulaci vibrací z prostředí polních podmínek na vibračním stole. Laboratorní vibrační zkoušky se hojně používají namísto časově náročnějších a méně nákladově efektivních zkoušek v polních podmínkách. Tato příloha se konkrétně zaměřuje na náhodné vibrační zkoušení řízené vibračními spektry v kmitočtové oblasti a je určena k řešení situací s vícenásobnými „budiči“ (označovanými rovněž jako „vibrátory“ nebo „aktuátory“) s důrazem na mechanické jevy s více stupni volnosti (MDOF). Tím dochází k významnému nárůstu složitosti mezi zkoušením s jedním budičem / jednou osou (SESA) a zkoušením s více budiči / více osami (MEMA) z hlediska mechaniky i řízení. Budou řešeny specifické problémy MEMA od definic a konzistence terminologie až po metodiky analýzy dat.

20.E.2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

20.E.2.1 Zkušební zařízení

Vypracování LVTS bude vyžadovat přístup ke zkoušenému předmětu, který je zájmovým předmětem (nebo dynamicky ekvivalentní náhradou), přístup k nosiči vozidla, vhodně umístěné snímače, hardware pro kondicionování signálu a získávání dat a řízené prostředí pro sběr vstupních dat (např. silniční trať pro kolová a/nebo pásová vozidla, vodní cesta pro plavidla, vzdušný prostor pro letadla, vrtulníky a/nebo kosmickou loď).

20.E.2.2 Přístrojové vybavení

LVTS jsou obecně definovány z hlediska jednotek zrychlení. Snímačem volby pro měření zrychlení je akcelerometr. Tato příloha se bude zabývat vypracováním LVTS z hlediska zrychlení.

Důrazně se doporučuje použít stejný model akcelerometru a kondicionování signálu na všech místech vybavených přístroji, aby se zachovaly fázové charakteristiky jak při získávání údajů z polních podmínek, tak ve fázi laboratorní zkoušky při zkoušce MDOF. Doporučené pokyny jsou uvedeny v MIL-STD-810G CN1 (odkaz E.5.1) a doporučené postupy zkoušky a doporučená přesnost snímačů a souvisejícího kondicionování signálu v IEST-RP-DTE012.2 (odkaz E.5.2), Institutu environmentálních věd a technologií.

20.E.3 POŽADOVANÉ PODMÍNKY ZKOUŠKY

Hlavní funkcí vypracování harmonogramu vibrací (VSD) je kombinovat měření vibrací četných událostí, které společně představují vystavení předmětu vibracím po celou dobu životnosti (nebo jeho předdefinovanou podmnožinu) do snadno použitelného souboru LVTS představujícího srovnatelné vystavení. Nejdynamičtější přesnou metodou pro reprodukci plného vystavení by byly postupné vibrace systému na všechny jednotlivé nekomprimované události představující jeho celý životní cyklus. Takový přístup však obecně není proveditelný jak z hlediska harmonogramu, tak z ekonomického hlediska, a musí být učiněny určité kompromisy, aby byly využity výhody zkoušení v laboratoři. Obvykle se používají metodiky komprese času

Příloha 20E

(normativní)

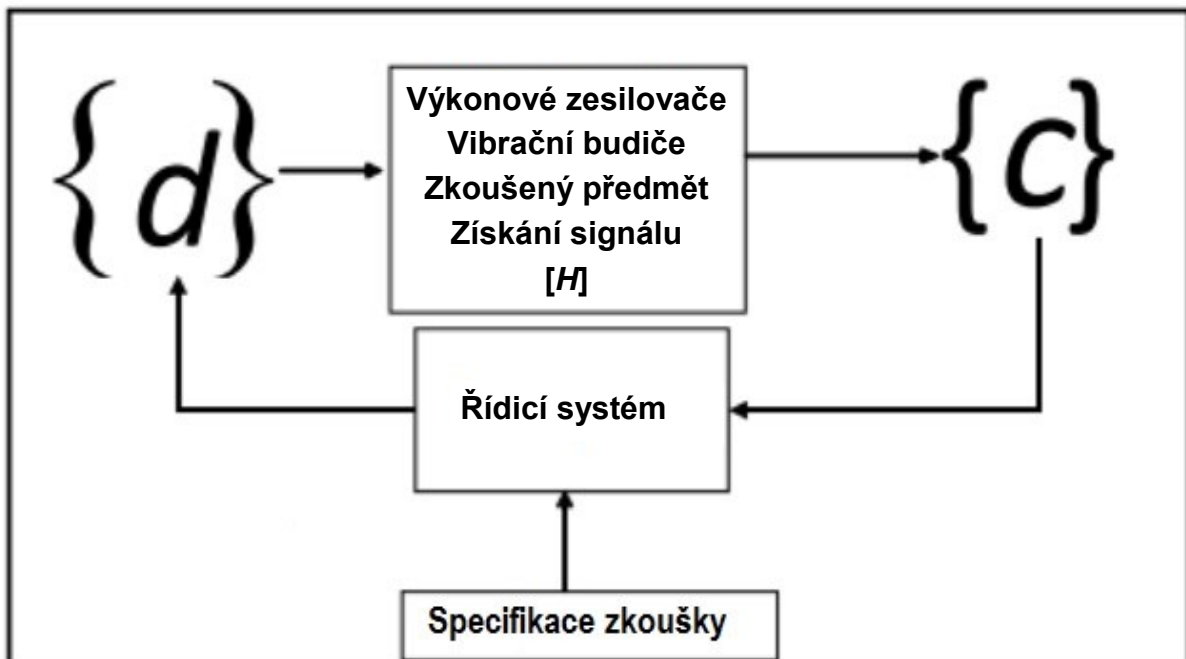
založené na ekvivalenci únavy, takže vibrační zkoušení může být provedeno včas a hospodárně. Obecné pokyny pro vypracování přesných informací a problémy, které by měly být zváženy v průběhu procesu VSD pro postup SESA jsou uvedeny v AECTP-240, Část 2410 (odkaz E.5.3) a MIL-STD-810G CN1, Metoda 514.7. Tato příloha rozšiřuje rozpravu v AECTP-240, Část 2410, obecným popisem situace s více budiči. Analýzy budou omezeny na vypracování náhodného LVTS. V době této publikace neexistují žádná jiná komerčně dostupná řešení s více vstupy a s více výstupy (MIMO) pro rozmítané úzkopásmové náhodné vibrace na náhodné vibraci (NBROR) nebo sinusové vibrace na náhodné vibraci (SOR), než Postup I – metodiky založené na reprodukci časového průběhu tvaru vlny.

20.E.3.1 Uspořádání zkoušky

Problém zkoušky s náhodnými vibracemi MIMO se může vztahovat na několik uspořádání (sestav) zkoušky. První sestavou je více budičů, které budí jeden zkoušený předmět v jedné ose. Tato sestava se často používá pro rozměrné zkoušené předměty, které jsou příliš velké pro jeden budič. Druhou sestavou je buzení jednoho zkoušeného předmětu více budiči ve více než jedné ose. Lineární přemístění podél definovaných směrů se označují jako translační stupně volnosti (DOF) a úhlová přemístění kolem stejných směrů se označují jako rotační stupně volnosti. Pro tuhé těleso existuje až šest stupňů volnosti (tj. posun v ose X, Y, Z a rotace kolem osy X (roll), Y (pitch), Z (yaw)). V některých případech mohou být vybudeny další stupně DOF v důsledku deformací zkoušeného předmětu a/nebo zkoušení předmětu s kloubovými součástmi.

20.E.3.1.1 Základní prvky systému MIMO

Všechny zkušební systémy MIMO jsou analyzovány pomocí společného popisu z hlediska maticových rovnic (viz odkazy E.5.2, E.5.4 a E.5.5). Zjednodušenou verzi obecného problému se zkouškou s náhodnými vibracemi MIMO lze zobecnit na obrázku 20.E.1. Celý mechanický systém je charakterizován výkonovými zesilovači a systémem několika budičů, na nichž je namontován jeden zkoušený předmět. Odezva zkoušeného předmětu je monitorována pomocí vektoru odezev kanálů (označeného jako $\{c\}$). Každý prvek vektoru je obvykle časový průběh zrychlení z jednoho akcelerometru. Lze použít i jiné typy senzorů, přičemž je třeba věnovat pozornost povaze měření vzhledem ke zkoušenému předmětu a jiným senzorům. Výkonové zesilovače jsou řízeny vektorem elektrických pohonů (označeného jako $\{d\}$), generovaným řídicím systémem. Každý prvek vektoru je časovým průběhem pohonu jednoho budiče. Řídicí systém monitoruje odezvu zkoušeného předmětu $\{c\}$ a snaží se vytvářet signály pohonu $\{d\}$ tak, aby statistika řídicích signálů splňovala některá kritéria uvedená ve specifikacích zkoušky.

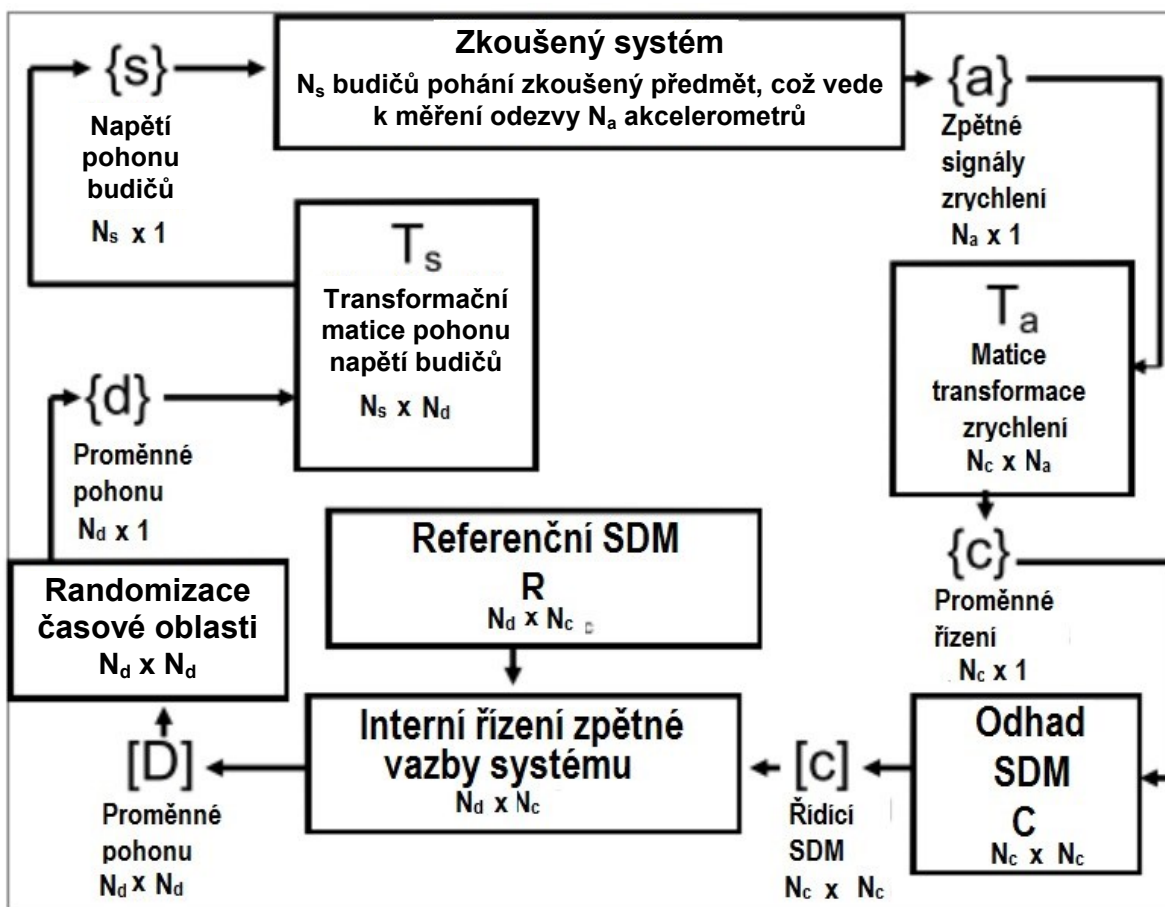


OBRÁZEK 20.E.1 – Základní prvky systému MDOF

20.E.3.1.2 Zobecněné znázornění systému MIMO

Obecnější znázornění systému MIMO je na obrázku 20.E.2. Zkoušený systém je poháněn N_s budiči, což má za následek odezvu N_a řídicích akcelerometrů. Údaje akcelerometru jsou obvykle strukturovány do bloků. Každý záznam zrychlení bude pak vektorem časových vzorků. Některé řídicí systémy pak poskytují transformační matici T_a , která převádí blok N_a časových průběhů akcelerometrů na N_c řídicích proměnných. Matice spektrální hustoty (SDM) řídicích proměnných je poté odhadnuta z aktuálního bloku dat a předchozích dat. Transformační matice T_a je obvykle konstantní nezávislá na kmitočtu. Teoreticky by transformační matice mohla být použita před nebo po odhadu řídicí SDM. Odhadovaná řídicí SDM „ C “ se poté porovná s referenční SDM „ R “ a vypočítá se korekce pro SDM pohonu „ D “. Časové průběhy pohonu $\{d\}$ se poté vypočítají z SDM pohonu „ D “ pomocí randomizace v časové oblasti. Druhá transformační matice T_s se používá k transformaci N_d proměnných pohonu na N_s signálů pohonu budiče. Teoreticky by mohla být T_s implementována před nebo po transformaci do časové oblasti. Jednou z výhod umístění transformace v sekci kmitočtové oblasti řídicího algoritmu je, že matice by pak mohla být vytvořena jako funkce kmitočtu. Považování transformační matice T_s za konstantní předpokládá, že se budiče sladí a požadovanou transformaci lze odvodit.

Příloha 20E
(normativní)



OBRÁZEK 20.E.2 – Zobecněné znázornění systému MDOF

20.E.3.2 Obecná analýza řízení vibrací MDOF

Obecná analýza procesu řízení MDOF je uvedena pro pochopení toho, jak bude MDOF LVTS sloužit jako reference v řídicím procesu. Účelem řídicí smyčky je minimalizovat rozdíl mezi referenčními a řídicími signály při opravování signálů pohonu. Opravy lze vypočítat několika způsoby. Jednou z metod je výpočet pohonu ze vztahu

$$D = Z\hat{R}Z'$$

kde impedanční matice systému Z je aktualizována při shromažďování nových informací nebo modifikované referenční spektrum \hat{R} se počítá na základě chyby ve zpětném spektru. Počáteční vektor pohonu se obvykle počítá pomocí výše uvedené rovnice a referenční SDM. Lze rovněž vypočítat chybu signálu pohonu ze vztahu

$$D_e = Z(R - C)Z'$$

Někdy se používá adaptivní oprava. Někdy se používá kombinace všech metod.

Transformační matice se často nazývají vstupní a výstupní transformační matice. S tímto označením je třeba zacházet opatrně kvůli záměně mezi vstupem

Příloha 20E
(normativní)

a výstupem. Vstup do zkoušeného systému (napětí do výkonových zesilovačů nebo servoovladačů) je výstupem řídicího systému. Výstup zkoušeného systému (například měření akcelerometru) je vstupem do řídicího systému. Články 20.E.4.4.1 a 20.E.4.4.2 uvádějí označení používané pro vstupní a výstupní transformace tak, jak jsou použity v tomto dokumentu.

Drobné chyby při sladování budičů mohou být opraveny řídicím algoritmem, ale zásadní neshody mohou být problematické. Signály pohonu časové oblasti (označené jako $\{\mathbf{s}\}$) jsou odesílány na budiče a dokončují řídicí smyčku.

Pokud T_a není k dispozici, pak $N_a = N_c$ a $\{\mathbf{a}\} = \{\mathbf{c}\}$. Pokud T_s není k dispozici, pak $N_d = N_s$ a $\{\mathbf{d}\} = \{\mathbf{s}\}$. Pokud $N_d = N_c$, počet řídicích proměnných a počet proměnných pohonu je stejný. Toto se nazývá čtvercové řízení. Čtvercové řízení je nejčastější řídicí metodou. Pokud je $N_s > N_a$, systém je nadměrně aktivován a k určení signálů pohonu se obvykle používá metoda nejmenších čtverců pomocí pseudoinverze (pinv). Pokud je $N_s < N_a$, systém je nedostatečně aktivován a přesné řízení řídicí SDM často není možné. V takových případech se implementuje obvykle nějaký druh průměrného řízení. Často, když $N_s \neq N_a$, jsou použity některé kombinace transformačních matic k vynucení čtvercového řízení $N_d = N_c$.

Celý mechanický systém může být charakterizován maticí funkcí kmitočtových odezev $[H]$. V typickém případě budou mít tyto funkce kmitočtové odezvy jednotky $g \cdot V^{-1}$ (zrychlení v gravitačních jednotkách / pohon ve voltech). V typickém případě jsou řídicí signály charakterizovány SDM. Diagonálními prvky jsou autospektrální hustota (ASD nebo PSD) řídicích signálů. Mimodiagonálními prvky jsou křížové spektrální hustoty (CSD) mezi páry řídicích signálů. Vstup do systému je charakterizován SDM napěťových signálů pohonu. Základní vztah mezi signály pohonu a řídicími signály je

$$\mathbf{C} = \mathbf{H}\mathbf{D}\mathbf{H}'$$

Komplexní konjugovaná transpozice je označena $[\]'$. Všechny matice v rovnici jsou komplexní funkce kmitočtu. Matice spektrální hustoty je hermitovská (viz odkaz E.5.6) tj. $D_{ij} = D_{ji}^*$, kde D_{ji}^* je komplexně konjugovaná D_{ji} a D_{ji} je prvkem matice spektrální hustoty. Je třeba si uvědomit, že tento požadavek vyžaduje, aby diagonální prvky byly reálné. Rovněž je třeba poznamenat, že \mathbf{C} a \mathbf{D} jsou čtvercové matice; mají stejný počet řádků a sloupců. \mathbf{C} a \mathbf{D} mají stejnou velikost, pouze pokud \mathbf{H} je čtvercová, tj. stejný počet vstupů a výstupů. Aby byla SDM skutečně realizovatelná, musí být také pozitivně semidefinitní. Tento požadavek bude projednán v článku 20.E.4.5.2.

Matice spektrální hustoty pohonu je převedena do časových průběhů pohonu pomocí metody randomizace v časové oblasti (viz odkaz E.5.4). Matice spektrální hustoty se obvykle odhaduje pomocí Welchovy metody (viz odkaz E.5.7).

20.E.4 POSTUPY ZKOUŠKY

VSD vyžaduje důkladnou znalost dynamického prostředí, kterému bude zkušební hardware vystaven v polních podmínkách. Tyto poznatky musí zahrnovat charakterizaci úrovní a dob trvání vystavení pro všechny důležité podmínky.

Příloha 20E
(normativní)

20.E.4.1 Vypracování scénáře průběhu nasazení nebo životnosti

Dobu trvání vibračních prostředí lze odvodit z profilu prostředí životního cyklu předmětu (LCEP). Životní cyklus bude zahrnovat mnoho různých typů vyvolaných mechanických prostředí, ke kterým může dojít během manipulace, přepravy, rozmístění a provozu materiálu. Ačkoli všechna vyvolaná mechanická prostředí nejsou kritická z hlediska vytváření potenciálních škodlivých amplitud odezvy, přispívají v různé míře k únavovému poškození materiálu. Všechny předpokládané podmínky vystavení by měly být uvedeny v tabulce spolu s odpovídajícími dobami trvání, aby se vytvořil „scénář“ životnosti položek. Scénář je klíčovým parametrem při vypracování jakéhokoli harmonogramu vibrací.

20.E.4.2 Omezení

Mechanické stupně volnosti (DOF), které se mohou pomocí harmonogramu (VSD) řešit, jsou funkcí počtu a umístění snímačů použitých ve fázi sběru dat z polních podmínek. Podobně maximální počet mechanických DOF, které je možné reprodukovat v laboratorním prostředí, je funkcí počtu a umístění aktuátorů a spojovacího hardwaru. Tato příloha posoudí obecný případ vypracování VSD, ve kterém bude referenční SDM definována pomocí šesti klasických (tří translačních a tří rotačních) mechanických stupňů DOF tuhého tělesa. V případě, že se uvažuje o méně než šesti mechanických stupních DOF, je obecná teorie snadno upravitelná tak, aby řešila požadovaný pohyb.

20.E.4.3 Sběr dat z polních podmínek

Po získání změřených údajů z provozu se předpokládá, že se data zpracovávají v souladu s dobrými postupy pro analýzu dat, jako je to v řízení zkoušky s více budiči IEST-RP-DTE022.1 (odkaz E.5.8) a ve Welchově metodě. Zejména, když byl získán dostatečný počet statistických stupňů volnosti (DOF), který poskytuje informace s přijatelnou statistickou chybou. Je třeba vzít v úvahu nejen statistickou chybu při odhadech autospektrální hustoty, ale rovněž při odhadech křížové spektrální hustoty (včetně odhadů přenosové a koherenční funkce).

Přístrojové vybavení

Pro účely této přílohy budou veškeré rozbory týkající se přístrojového vybavení omezeny na lineární akcelerometry a technické jednotky „g“, jak tomu bylo v obecné analýze řízení uvedené v článku 20.E.3.1.1. Lineární akcelerometry mají několik výhod, které zahrnují obeznamenost většiny uživatelů, nízkou cenu, velkou šířku pásma, malou velikost a hmotnost a snadno dostupné nízkonákladové vysoce spolehlivé možnosti kondicionování signálu.

20.E.4.4 Použití režimů tuhého tělesa

Při zkoušení v jedné ose je řídicí vstup často definován jediným akcelerometrem. To je dostatečné, pokud jsou budič a zkušební upínací přípravky pevné ve sledovaném kmitočtovém pásmu. Pokud budič a zkušební upínací přípravky nejsou pevné, může metodika použití jediného akcelerometru pro řízení vést někdy k vážným obtížím. K překonání těchto problémů se běžně používají metody využívající průměr několika akcelerometrů a/nebo omezování síly. Při zkoušení MEMA může být problém závažnější, protože častější je odezva netuhého tělesa. Při zvažování speciálního případu s více budiči, které vybudují zkoušený předmět s více stupni volnosti tuhého

Příloha 20E
(normativní)

tělesa, má použití vstupní transformace pro definování odezvy z hlediska režimů tuhého tělesa několik výhod. Je to poněkud analogické se zobecněním běžné praxe pro zkoušky v jedné ose. Pokud existuje více řídicích kanálů než stupňů volnosti tuhého tělesa a je definována vstupní transformační matice pro transformaci řídicích akcelerometrů do režimů tuhého tělesa, pak v podstatě definuje pohyb každého režimu tuhého tělesa jako vážený průměr akcelerometrů aktivních pro režim. V mnoha případech jde o nejlepší proveditelné řešení, s ohledem na řídicí úlohu budičů. Je to analogické s průměrováním akcelerometrů pro zkoušku v jedné ose, což je běžná praxe. Elastické režimy nejsou řízeny, protože často řídicí úloha nad těmito režimy neexistuje. Systém je poháněn ekvivalentním pohybem tuhého tělesa v každém z režimů tuhého tělesa. Je nutné zajistit, aby transformace řídicích akcelerometrů $\{a\}$ v kterémkoli režimu nevedla k nule pro žádný z režimů tuhého tělesa. Jsou-li přítomny režimy vyššího ohybu, nebudou řízeny. Teoreticky lze ohybové režimy omezit přidáním řídicích proměnných, ale to vyžaduje znalost režimů v nastavení zkoušky. Tyto informace lze určit pouze s materiálem ve zkušební sestavě. Z tohoto důvodu je někdy žádoucí povolit změnu požadavků na zkoušku poté, co jsou tyto informace k dispozici. Jak toho bude přesně dosaženo při psaní specifikace, bude muset být stanoveno později.

Výhodou použití režimů tuhého tělesa ve specifikaci je to, že měření z polních podmínek použítá pro definování prostředí, mohou být prováděna se snímači v místech odlišných od umístění snímačů použitých v laboratorní zkoušce. Měření z polních podmínek se redukuje na ekvivalentní režimy tuhého tělesa pomocí transformační matice zrychlení (viz článek 20.E.4.4.1) a režimy se řídí při zkoušce pomocí jiné transformační matice pro sestavu laboratorní zkoušky. Tyto dvě transformační matice nemusí být stejné. Použití alternativních řídicích bodů při zachování plné transformační matice poskytuje způsob, jak učinit laboratorní zkoušku „ekvivalentní“ ve smyslu režimů tuhého tělesa.

Při pokusu o řízení více režimů vzniká praktický problém. Obecný případ šesti (6) režimů tuhého tělesa vyžaduje specifikaci 6×6 SDM (6 ASD a 15 CSD). Fyzikální pochopení matice SDM spojené s pohybem tuhého tělesa je samo o sobě obtížné bez dalších komplikací s pružnými DOF. Dále je obtížné zajistit, aby specifikace vedla k pozitivně definitní matici SDM, což je fyzikální požadavek. (Další diskuse o pozitivně definitních maticích je předmětem článku 20.E.4.5.2.)

20.E.4.4.1 Transformace zrychlení (vstup)

Matice zrychlení k řízení transformace prostoru T_a , běžně označovaná jako „vstupní transformační matice“ z pohledu řídicího systému, je definována v článku „Použití transformace souřadnic na řízení budiče s více stupni volnosti“ (odkaz E.5.9) a zobecněna v článku „Výhody a problémy nadměrně aktivovaných budičích systémů“ (odkaz E.5.10). Transformační matice zrychlení transformuje soubor měření akcelerometru do souboru řídicích proměnných. Tyto řídicí proměnné jsou často popisy režimů tuhého tělesa. Transformace zrychlení se obvykle provádí v časové oblasti jako

$$\{c\} = T_a \{a\}$$

Příloha 20E
(normativní)

20.E.4.4.1.1 Odvození transformace zrychlení (vstup)

Jedním z cílů této přílohy je definovat standardní názvosloví. Následující souhrn byl restrukturalizován podle názvosloví definovaného v této příloze. S odkazem na odvození vstupní transformace (viz odkaz E.5.10) je měření obecného zrychlení v poloze „ k “, v orientaci „ j “ strukturováno jako rovnice (20.E.4.1).

$$a_{k_j} = \begin{bmatrix} \underline{e}_j^T & -\underline{e}_j^T \left[{}^P \underline{r}_i^P \right]^x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^P \underline{a}_o^P \\ {}^P \underline{\alpha}^P \end{bmatrix} \quad (20.E.4.1)$$

kde a_o je lineární zrychlení v určitém referenčním bodě označeném jako „počátek“, α je úhlové zrychlení tělesa (za předpokladu, že je tuhé), $k \in (1, 2, \dots, N_a)$, $i \in (1, 2, \dots, n^*)$, $j \in (x, y, z)$ a $\underline{e}_x^T = [1 \ 0 \ 0]$, $\underline{e}_y^T = [0 \ 1 \ 0]$, $\underline{e}_z^T = [0 \ 0 \ 1]$ jsou vektory pro výběr řádku (jak je uvedeno za předpokladu, že orientace akcelerometru je řazena podle tradičního pravotočivého kartézského systému). Parametr N_a představuje počet měření akcelerometru (jak bylo definováno výše) a $n^* \leq N_a$ je počet míst měření; výsledkem využití víceosých akcelerometrů je $n^* < N_a$. Vektor r_i je polohový vektor vztahující se k poloze místa měření „ i “ k počátku definovanému uživatelem. $\left[{}^P \underline{r}_i^P \right]^x$ je ekvivalent antisymetrického operátoru křížového produktu, což umožňuje maticové výpočty v rovnici (20.E.4.1). Maticový ekvivalent vektoru (tj. velikost koordinovaného vektoru) je označen jako $\begin{pmatrix} \quad \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \quad \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \quad \end{pmatrix}$, kde pravý horní a dolní index označují sledované těleso a sledovaný bod, levý horní index označuje souřadnicový rámeček, ve kterém byla velikost vektoru koordinována; např. ${}^P \underline{r}_i^P$ v rovnici (20.E.4.1) označuje i -tý bod na tělese P (platforma) koordinovaný v rámci F_p – souřadnicový rámeček platformy.

20.E.4.4.1.2 Rovnice (20.E.4.1)

Rovnice (20.E.4.1) představuje jednu rovnici o šesti neznámých, tři složky lineárního zrychlení referenčního bodu a tři složky úhlového zrychlení tuhého tělesa. K určení těchto veličin je třeba nejméně šest měření. Tyto požadavky nejsou tak přísné jako požadavky uvedené v článku „O použití lineárních akcelerometrů v laboratorní reprodukci pohybu se šesti stupni volnosti (DOF)“, (odkaz E.5.11), z důvodu výše uvedených předpokladů (tj. malé úhlové rychlosti a tuhé těleso). Uváží se nejobecnější případ N_a měření z n^* míst. V tomto případě se rovnice (20.E.4.1) mění na

$$\begin{bmatrix} a_{k_1} \\ a_{k_2} \\ \vdots \\ a_{k_{n^*}} \end{bmatrix}_{(n^* \times 1)} = \begin{bmatrix} \underline{e}_j^T & -\underline{e}_j^T \left[{}^P \underline{r}_1^P \right]^x \\ \underline{e}_j^T & -\underline{e}_j^T \left[{}^P \underline{r}_2^P \right]^x \\ \vdots & \vdots \\ \underline{e}_j^T & -\underline{e}_j^T \left[{}^P \underline{r}_{n^*}^P \right]^x \end{bmatrix}_{(n^* \times 6)} \begin{bmatrix} {}^P \underline{a}_o^P \\ {}^P \underline{\alpha}^P \end{bmatrix}_{(6 \times 1)}, \quad i \in (1, 2, \dots, n^*), j \in (x, y, z)$$

kteřá podle názvosloví definovaného v této příloze má podobu

$$\underbrace{\{\mathbf{a}\}}_{(n \times 1)}_{Meas} = \underbrace{\left[\bar{\mathbf{T}}_a \right]}_{(n \times 6)} \underbrace{\{\mathbf{c}\}}_{(6 \times 1)}_{Motion} \quad (20.E.4.2)$$

kde $\{\mathbf{c}\}_{Motion}$ je matice 6×1 neznámých lineárních a úhlových zrychlení a $\{\mathbf{a}\}_{Meas}$ je matice $n \times 1$ měření zrychlení. Je vidět, že $\left[\bar{\mathbf{T}}_a \right]$ je zcela definována znalostí umístění (i), orientace (ii) a využitých signálů akcelerometrů (iii). Je zřejmé, že pokud je $\bar{\mathbf{T}}_a$ v úplném sloupcovém rozsahu, pak $\left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1}$ existuje, což umožňuje řešit $\{\mathbf{c}\}_{Motion}$ následovně:

$$\begin{aligned} \{\mathbf{a}\}_{Meas} &= \bar{\mathbf{T}}_a \{\mathbf{c}\}_{Motion} \\ \bar{\mathbf{T}}_a^T \{\mathbf{a}\}_{Meas} &= \bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \{\mathbf{c}\}_{Motion} \\ \left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1} \bar{\mathbf{T}}_a^T \{\mathbf{a}\}_{Meas} &= \left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1} \bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \{\mathbf{c}\}_{Motion} \\ \left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1} \bar{\mathbf{T}}_a^T \{\mathbf{a}\}_{Meas} &= \{\mathbf{c}\}_{Motion} \end{aligned}$$

Definováním $\mathbf{T}_a \equiv \left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1} \bar{\mathbf{T}}_a^T$ lze rovnici (20.E.4.2) přepsat jako

$$\{\mathbf{c}\}_{Motion} = \left[\mathbf{T}_a \right] \{\mathbf{a}\}_{Meas} \quad (20.E.4.3)$$

kde $\left[\mathbf{T}_a \right]$ je matice $6 \times n$ označovaná v literatuře jako „transformační matice zrychlení“ nebo „vstupní transformační matice“. Je třeba si všimnout, že kritický požadavek, že $\left[\bar{\mathbf{T}}_a^T \bar{\mathbf{T}}_a \right]^{-1}$ existuje pro odvození vstupní transformační matice $\left[\mathbf{T}_a \right]$, je pouze funkcí umístění a orientace měřících snímačů.

20.E.4.4.2 Transformace pohonu (výstup)

Ačkoli pro vypracování reference MDOF VSD nejsou vyžadovány podrobnosti o transformaci pohonu, je zde pro všeobecné seznámení uveden krátký souhrn koncepce. S odkazem na schéma na obrázku 20.E.2 transformační matice \mathbf{T}_s transformuje N_d proměnných pohonu na N_s signálů pohonu budiče. Odkaz E.5.10 poskytuje formální odvození transformační matice \mathbf{T}_s . Je třeba si povšimnout, že zatímco „transformace zrychlení“ byla vypočtena na základě znalosti polohy a polaritý řídicích akcelerometrů, transformační matice \mathbf{T}_s je závislá na poloze a linii působení (LOA) jednotlivých aktuátorů. V této příloze a v odkazu E.5.10 se \mathbf{T}_s označuje jako „transformace pohonu“ nebo „výstupní transformace“. Následující případy shrnují výpočet \mathbf{T}_s a vliv na řídicí proces.

- a) Případ 1: Sestavy, ve kterých počet stupňů volnosti pohybu nebo řídicích signálů N_c a počet výstupních řídicích proměnných N_d je stejný, se označují jako „čtvercové“ řízení. Pokud je počet výstupních řídicích proměnných N_d a počet budičů N_s stejný, transformační matice \mathbf{T}_s bude jednoduše jednotkovou maticí.

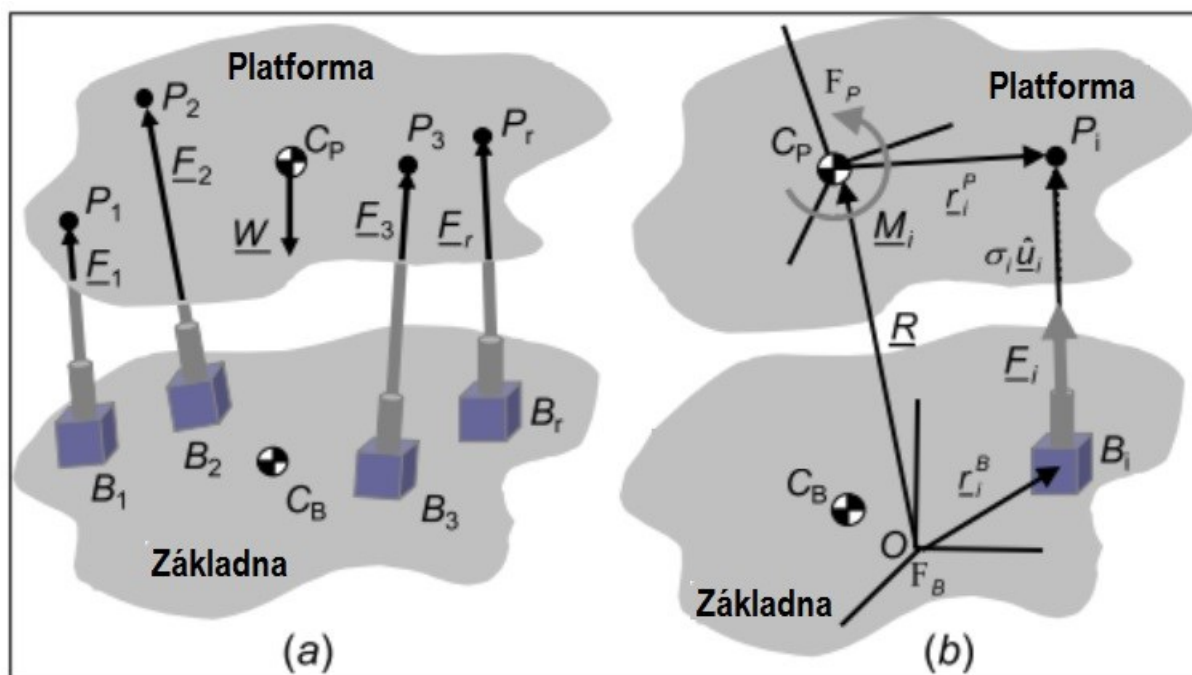
Příloha 20E
(normativní)

- b) Příklad 2: Sestavy, ve kterých počet budičů N_s překračuje počet výstupních řídicích proměnných N_d ; budičí systém se považuje za přeurčený nebo nadměrně aktivovaný. V takových případech budou některé pohony lineární kombinací jiných pohonů. Dále, pokud T_s je konstantou, která se používá v časové oblasti, musí být jednotlivé aktuátory sladěny (např. sladěné funkce kmitočtové odezvy (FRF)).
- c) Příklad 3: Sestavy, ve kterých je počet budičů N_s menší než počet řídicích signálů N_c ; budičí systém je označován jako nedourčený nebo nedostatečně aktivovaný. V takových případech není přesné řízení SDM možné.

Teoreticky by mohla být T_s zavedena před nebo po transformaci do časové oblasti. Jednou z výhod umístění transformace do části kmitočtové oblasti řídicího algoritmu, je taková, že matice by pak mohla být vytvořena jako funkce kmitočtu. Pokládá-li se transformační matice T_s za konstantu, budiče jsou sladěné a požadovanou transformaci lze odvodit.

Odvození transformace pohonu (výstup)

Jak bylo uvedeno výše, jedním z cílů této přílohy je doporučit standardní názvosloví. Následující souhrn z odkazu E.5.10 byl přepracován podle názvosloví doporučeného v této příloze. Obrázek 20.E.3 zobrazuje zobecněný víceosý vibrační systém.



OBRÁZEK 20.E.3 – Zobecněný víceosý vibrační systém

Podrobné odvození rovnice (20.E.4.4) viz odkaz E.5.10. Následující souhrn ukazuje, jak je výstupní transformace T_s spojena s P -maticí (Plucker Matrix) vysvětlenou v odkazu.

$$\begin{bmatrix} {}^B \hat{u}_1 & {}^B \hat{u}_2 & \dots & {}^B \hat{u}_{N_s} \\ {}^P \underline{m}_1^P & {}^P \underline{m}_2^P & \dots & {}^P \underline{m}_{N_s}^P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_{N_s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m({}^B \underline{a}_C^P - {}^B \underline{g}) - {}^B F_E \\ {}^P I_{=C}^P \underline{\dot{\omega}}^P + [{}^P \underline{\omega}^P]^{\times} {}^P I_{=C}^P ({}^P \underline{\omega}^P) - {}^P M_E \end{bmatrix} \quad (20.E.4.4)$$

\mathbf{P}
 $6 \times N_s$

\mathbf{F}
 $N_s \times 1$

\mathbf{C}
 6×1

V rovnici (20.E.4.4) představuje $[\mathbf{P}]$ Pluckerovu matici, která je odvozena ze známých geometrických parametrů spojených s jednotlivými aktuátory, $[\mathbf{F}]$ představuje pohon a $[\mathbf{C}]$ představuje požadovaný pohyb. Proměnné ${}^B \hat{u}_i$ představují vektory LOA pro každý z aktuátorů a ${}^P \underline{m}_i^P$ je momentové rameno spojené se silou f_i . Je třeba si všimnout, že maximální dimenze matice $[\mathbf{C}]$ bude šest, pokud se uvažuje všech šest tradičních pohybových stupňů volnosti DOF (tj. $N_d = 6$). Jak je uvedeno v článku 20.E.4.4.2, sestavy 1. případu, budou mít jednoduše jednotkovou matici jako výstupní transformační matici a sestavy 3. případu (nedostatečně aktivované) nebudou mít jedinečné řešení. Sestavy 2. případu (nadměrně aktivované) se mohou řešit ve smyslu výstupních transformací. Cílem je stanovit $[\mathbf{F}]$ v rovnici (20.E.4.4), poskytující signály pohonu N_s , následujícím způsobem:

- a) Definování $\mathbf{F} \equiv \mathbf{P}^T \mathbf{D}$ a nahrazení do $\mathbf{P} \mathbf{F} = \mathbf{C}$ poskytuje $\mathbf{P} \mathbf{P}^T \mathbf{D} = \mathbf{C}$.
- b) $\mathbf{P} \mathbf{P}^T$ bude v úplném rozsahu (tj. invertibilní matice), pokud $[\mathbf{P}]$ je v úplném rozsahu.
 - (1) Pokud $[\mathbf{P}]$ je v úplném rozsahu: $\mathbf{D} = \left[\mathbf{P} \mathbf{P}^T \right]^{-1} \mathbf{C}$.
 - (2) Pokud $[\mathbf{P}]$ není v úplném rozsahu, umístění aktuátoru není dostatečné pro získání požadovaných mechanických stupňů DOF.
 - (3) Nahrazení výsledků z (1) umožňuje: $\mathbf{F} \equiv \mathbf{P}^T \mathbf{D} = \mathbf{P}^T \left[\mathbf{P} \mathbf{P}^T \right]^{-1} \mathbf{C}$.
 - (4) $\mathbf{T}_s \equiv \mathbf{P}^T \left[\mathbf{P} \mathbf{P}^T \right]^{-1}$.

Rozprava v tomto odstavci a předchozí odvození předpokládaly, že $N_d = 6$. V případě, že $N_d < 6$ bude N_d představovat skutečný počet mechanických stupňů DOF. Ve smyslu názvosloví obrázku 20.E.2 a za předpokladu, že jsou použity sladěné aktuátory, budou napěťové pohony budičů pro situaci s nadměrnou aktivací definovány rovnicí (20.E.4.5):

$$\{s\} = \mathbf{T}_s \{d\} \quad (20.E.4.5)$$

20.E.4.5 Analýza dat

Je třeba zajistit, aby byla vyřešena umístění snímačů, aby byla záruka, že mohou být vyřešeny požadované pohybové stupně DOF (viz čl. 20.E.4.4.1.2) a že jsou prováděny kontroly platnosti společných dat. Poté je doporučeno, aby vhodné

Příloha 20E

(normativní)

kombinace měření lineárního zrychlení byly transformovány na požadované tradiční pohybové stupně DOF pomocí implementace transformační matice zrychlení. Transformované časové průběhy se budou odkazovat na jeden bod konstrukce označovaný jako „počátek“, jak je uvedeno v čl. 20.E.4.4.1.

Matice SDM by se měla počítat pro každou sestavu zkoušky určenou v průběhu nasazení. Při řešení metodik VSD pro redukci souboru údajů, v tomto případě souboru SDM, se analytik bude muset zabývat prvky ASD (diagonální prvky SDM) a prvky CSD (mimodiagonální prvky SDM).

20.E.4.5.1 Popis prvků CSD na základě fáze a koherence

Přestože se mimodiagonální prvky SDM počítají jako CSD, u dodavatelů řídicích systémů je běžné, že je možné definovat křížové prvky z hlediska fáze a koherence. Toto je výhodná možnost v tom, že je často fyzicky snazší interpretovat prvky CSD matice SDM z hlediska fáze a koherence. Existuje přímý vztah mezi těmito dvěma metodikami definování křížových prvků SDM, který je závislý na definici běžné

koherence mezi dvěma signály $\gamma_{ij}^2 = \frac{|G_{ij}|^2}{G_{ii}G_{jj}}$. Normalizace prvků CSD matice SDM

pomocí $\sqrt{G_{ii}G_{jj}}$ poskytuje normalizovanou matici spektrální hustoty (SDM_n), ve které prvky ASD nejsou ovlivněny a velikost normalizovaných prvků CSD je definována jako $\frac{G_{ij}}{\sqrt{G_{ii}G_{jj}}}$, což je ekvivalent druhé odmocniny běžné koherenční funkce, aniž by to ovlivnilo původní fázový vztah prvků CSD. Podobně může být normalizovaná matice spektrální hustoty SDM_n převedena zpět do původní formy CSD matice SDM.

20.E.4.5.2 Úvahy o pozitivně definitní matici SDM

Jakákoli specifikovaná matice spektrální hustoty musí být pozitivně semidefinitní, aby byla fyzikálně realizovatelná. V praxi musí být pozitivně definitní. Determinant matice musí být ≥ 0 . Všechny vlastní hodnoty SDM musí být ≥ 0 . To musí platit na všech kmitočtech. Musí být možné provést Choleského rozklad specifikované SDM. Další vlastnost pozitivně semidefinitních matic je z maticových výpočtů (viz odkaz E.5.12):

$$|\Phi_{ij}|^2 \leq \Phi_{ii}\Phi_{jj} \text{ nebo } 0 \leq \gamma^2 = \frac{|\Phi_{ij}|^2}{\Phi_{ii}\Phi_{jj}} \leq 1$$

Z hlediska náhodných vibrací musí být běžná koherence γ^2 mezi signály menší nebo rovna jedné. Z praktického hlediska, pokud je koherence mezi kterýmkoli párem signálů jedna, bude SDM pozitivně semidefinitní a řídicí systém bude mít problémy. Je třeba si všimnout, že obecně pokud matice **D** je hermitovská a pozitivně semidefinitní, bude rovněž matice **C** hermitovská a pozitivně semidefinitní.

Pokud jsou všechny vlastní hodnoty nezáporné, matice je pozitivně semidefinitní. Pokud je některé z vlastních čísel nula, znamená to, že jeden nebo více řádků matice spektrální hustoty jsou lineární kombinací dalších řádků. V praxi by se mohlo obvykle předpokládat, že se bude jednat pouze o pozitivně definitní matice. Je potřeba si všimnout, že i malé množství šumu nebo nelinearity povede k pozitivně definitní matici. Pokud je matice pozitivně definitní, může být matice vždy vypočtena pomocí Choleského rozkladu

$$\Phi = LL'$$

kde L je dolní trojúhelníková matice. Lze bez ztráty obecnosti přepsat jako

$$\Phi = LIL'$$

kde I je jednotková matice. V této aplikaci I není ve skutečnosti jednotkovou maticí. I je matice spektrální hustoty. Při každém kmitočtu je I diagonální maticí jedničkovou. Prvky v I jsou nezávislé, protože všechny nediagonální prvky jsou nulové. Nyní je jasné, proč matice křížové spektrální hustoty musí být pozitivně definitní. Pokud je některý z prvků v I nulový, znamená to, že je méně než N (počet řádků nebo sloupců v Φ) nezávislých zdrojů v Φ . Některé z řádků a sloupců jsou lineární kombinace jiných řádků a sloupců. Jednotková matice je pozitivně definitní, proto Φ musí být pozitivně definitní. Pomocí interpretace postupů analýzy a měření náhodných dat, (viz odkaz E.5.13), lze diagonální prvky I interpretovat jako autospektrální hustoty nezávislých zdrojů náhodného šumu. Maximální počet nezávislých zdrojů šumu je N . Pokud jsou některé prvky v I nulové, problém lze stále vyřešit vytvořením odpovídajících řádků a sloupců L rovných nule. Toto je pozitivně semidefinitní případ. Tento případ odpovídá případu, kdy existuje méně než N nezávislých zdrojů. Některé ze zdrojů N jsou lineární kombinace jiných zdrojů. Tento případ bude pro řídicí systém velmi obtížný. Obecně lze říci, že některé zdroje mohou být malé, ale nikoli nulové. Část tohoto dokumentu se bude zabývat generováním požadované řídicí matice SDM, aby byl řídicí problém dosažitelný a snad i relativně snadný pro implementaci do řídicího systému.

Obecně je řídicí problém inverzním problémem. Je známa požadovaná řídicí SDM (výstup zkoušeného systému) a musí být vypočítán pohon SDM (vstup do zkoušeného systému). Zde je bod možných nejasností. Výrobci řídicího systému považují pohon SDM za výstup řídicího systému, který je vstupem do budicího systému. Podobně vstup řídicího systému je výstupem budicího systému. Články 20.E.4.4.1 a 20.E.4.4.2 obsahují názvosloví pro vstupní a výstupní transformace, jak jsou použity v tomto dokumentu.

Inverzní problémy mohou být velmi obtížné, protože se vyžaduje násobení inverzní maticí. Je-li matice špatně podmíněna, bude výsledek podobný dělení nulou pro skalární případ.

Pro případ, kdy je počet vstupů a výstupů stejný, je H čtvercovou maticí funkce FRF. Řešením je invertování H . Řešení pro matici pohonu je pak dáno

$$Z = H^{-1}$$

$$D = ZRZ'$$

To samozřejmě předpokládá, že H je dobře podmíněná a existuje inverze. Část tohoto dokumentu se bude zabývat problémy, které pomohou procesu dosažení dobře podmíněné matice H .

Matice H se obvykle odhaduje ze vztahu

$$\hat{H} = \hat{S}_{CD} \hat{D}^{-1}$$

Musí existovat inverzní \hat{D} . Z toho vyplývá, že \hat{D} musí být pozitivně definitní. Počáteční odhad matice H se stanoví vybuzením systému souborem nezávislých bílých vstupů v prostředí před zkouškou. Pokud má být H v průběhu zkoušky

Příloha 20E
(normativní)

korigována, musí být \hat{D} v průběhu zkoušky pozitivně definitní, nebo se musí použít zvláštní opatření, aby se zabránilo inverzi \hat{D} na kmitočtech, kde \hat{D} není pozitivně definitní. Toto je jeden z důvodů, proč má reference R zřídka některou koherenci rovnou jedné.

20.E.4.5.3 Komprese dat

K úpravě prvků ASD lze použít metodiky časové komprese, jakou je metodika Miner-Palmgren. Odkazy E.5.1 a E.5.3 poskytují rozbor časové komprese. Zjednodušeně řečeno, hypotéza Miner-Palmgren (Minerovo pravidlo) je množina matematických rovnic, které se používají k měření úrovní vibračních spekter a jejich přidružených dob zkoušek. Poskytuje vhodný prostředek pro analýzu únavového poškození způsobeného cyklickým namáháním. Matematické výrazy a popisy proměnných pro tuto techniku jsou ukázány v rovnici (20.E.4.6):

$$\frac{t_2}{t_1} = \left[\frac{S_1}{S_2} \right]^M \quad (20.E.4.6)$$

kde

t_1 = ekvivalentní doba zkoušky;

t_2 = doba provozu pro specifické podmínky;

S_1 = náročnost (střední kvadratická hodnota (rms)) ve zkušebních podmínkách;

S_2 = náročnost (rms) v provozních podmínkách;

(Poměr S_1/S_2 je běžně známý jako faktor zvětšení).

M je hodnota založená na (ale ne stejná) sklonu křivky S-N pro příslušný materiál, kde S představuje amplitudu zatížení a N představuje střední počet aplikací konstantních amplitud zatížení, u nichž se očekává, že způsobí poruchu. Pro MDOF VSD byla vybrána výchozí hodnota $M = 7$ podle odkazu E.5.1.

Doporučuje se, aby prvky ASD pro konečné vibrace nebyly větší o více než 3 decibely (dB) než maximální hodnoty naměřené v polních podmínkách. Postup podle Miner-Palmgren bude použit pro část ASD matice SDM stejným způsobem, jaký by byl použit pro tradiční situaci 1-DOF. Podrobnosti, jako je zachování běžných zkušebních dob trvání mezi mechanickými DOF, jsou uvedeny v čl. 20.E.6.

20.E.4.5.4 Strategie omezení

Mohou být rovněž použity tradiční metodiky stupňovitého spouštění, pokud nesoulady impedance vedou k nerealisticky vysoké odezvě zkoušeného předmětu. Techniky stupňovitého spouštění mohou být použity u všech aktuátorů se stejnou vahou nebo stupňováním stanovení vah u každého aktuátoru jako funkce koherence mezi aktuátory a sledovaným místem. Kromě tradičního stupňovitého spuštění založeného na spektrech zrychlení je možné rovněž zvážit omezení založené na jiných parametrech (např. von Misesovo napětí nebo síla). Stejně jako u každého schématu stupňování je zásadní, aby výsledné odchylky od zkoušky nebo zkušebních tolerancí byly schváleny příslušným zkušebním orgánem a musí být jasně zdokumentovány v Programu zkoušek a v závěrečné zprávě.

20.E.4.5.5 Podmínky minimálního pohonu

Příloha 20E
(normativní)

Při řešení cíle stanovit referenční matice SDM u situací zkoušky s více budiči (MET) bylo zjištěno několik problémů. Jedna z hlavních oblastí zájmu souvisí se skutečností, že je vysoce pravděpodobné, že budou existovat rozdíly v mechanické impedanci mezi polními a laboratorními podmínkami. Vzhledem k těmto problémům s nesouladem impedance je nežádoucí nutit zkoušený předmět do toho, co by mohlo být nepřirozeným stavem, když je upevněn v laboratoři. Optimálně je žádoucí dosáhnout specifikovaného autospektra bez nadměrného zatížení budicího systému. Smallwood učinil obecný přístup ke stanovení minimálních kritérií pohonu v článku „Lineární systémy Extrémní vstupy/výstupy MIMO“ (odkaz E.5.14). Tato metodika bohužel vždy nezaručuje, že výsledná matice SDM bude pozitivně semidefinitní.

Nezávislé pohony

Přestože je to aktivní oblast výzkumu, nebyly v době této publikace formálně stanoveny obecné metodiky pro splnění minimálních kritérií pohonu. Navrhovaný přístup k směřování napětí na pohonech směrem k minimům při zachování pozitivně definitní matice SDM, je rozebírán v článku „Navrhovaná metoda generování matice spektrální hustoty pro vibrační zkoušku MIMO“ (odkaz E.5.15) a je shrnut níže:

- a) S předpokládaným návodem od modální zkušební komunity se předpokládá, že signály pohonu do budicího systému nebudou korelované. Obvykle pro vibrační zkoušky jsou pohony napěťovými vstupy do budičů. Pro simulaci jsou často vstupy do modelu síly. Systém je vždy možné budit nekorelovanými vstupy. Toto je standardní postup v modální komunitě a je to standardní postup při provádění identifikace systému pro zkušební systémy MIMO. To vede k logické otázce: Je možné vygenerovat soubor nekorelovaných vstupů, které vytvoří požadovaný soubor autospektra odezvy (diagonála výstupní SDM)?
- b) Obecná rovnice vztahující řídicí bod zrychlení k napětím pohonu je uvedena v článku „Náhodné vibrace, teorie a praxe“ (odkaz E.5.16):

$$\mathbf{S}_y = \mathbf{H}\mathbf{S}_x\mathbf{H}'$$

kde \mathbf{H}' je konjugovaná transponovaná matice \mathbf{H} , a \mathbf{S}_x a \mathbf{S}_y jsou matice SDM. \mathbf{H} je matice funkcí kmitočtové odezvy vztahující výstup ke vstupu budicího systému. V našem případě bude ideálně \mathbf{S}_x diagonální matice. Nechť $\bar{\mathbf{X}}$ je sloupcový vektor diagonály \mathbf{S}_x nebo $\bar{\mathbf{X}} = \text{diag}(\mathbf{S}_x)$ a $\bar{\mathbf{Y}} = \text{diag}(\mathbf{S}_y)$. Vztah mezi autospektrům, jak je uveden v dodatku 20E.4, důkaz 1, je dán

$$\bar{\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{H}}\bar{\mathbf{X}}$$

kde

$$\bar{\mathbf{H}} = \mathbf{H} * \text{conj}(\mathbf{H})$$

kde * označuje násobení prvků prvkem. $\bar{H}_{ij} = |H_{ij}|^2$.

Řešení je dáno

$$\bar{\mathbf{X}} = \bar{\mathbf{H}}^{-1}\bar{\mathbf{Y}}$$

V některých případech bude výsledek zahrnovat záporné prvky v $\bar{\mathbf{X}}$. To není fyzikálně možné. Znamená to, že požadovaných ASD nelze dosáhnout nezávislými pohony.

Příloha 20E
(normativní)

V tomto případě jsou záporné hodnoty nastaveny na nulu a výstupní SDM je přepočítaná z $\mathbf{S}_y = \mathbf{H}\mathbf{S}_x\mathbf{H}'$ pomocí upravené vstupní matice spektrální hustoty (záporné hodnoty nastavené na nulu). Výsledné autospektrum zrychlení řídicího bodu nebude na požadovaných úrovních. K vyřešení tohoto problému se autospektra zrychlení řídicího bodu změni na požadované úrovně, přičemž se zachová stejná fáze a běžná koherence. To se provádí vynásobením matice SDM zleva a zprava diagonální maticí, jejíž prvky jsou druhou odmocninou poměru požadované ASD k vypočítané ASD:

$$\mathbf{S}_{Y_{new}} = \mathbf{S}_s \mathbf{S}_{Y_{old}} \mathbf{S}_s$$

kde \mathbf{S}_s je diagonální matice a

$$S_{s,ii} = \sqrt{\frac{Y_{ii,new}}{Y_{ii,old}}}$$

POZNÁMKA

Nastavení $S_{Y_{ii,new}} = 1$ poskytuje efektivní způsob výpočtu normalizované SDM, kde jsou na diagonálách jedničky a velikost mimodiagonálních prvků na druhou je obyčejná koherence a fáze mimodiagonálních prvků je fáze křížového spektra.

Pohon SDM lze poté vypočítat jako

$$\mathbf{S}_{X_{new}} = \mathbf{Z} \mathbf{S}_{Y_{new}} \mathbf{Z}'$$

kde $\mathbf{Z} = \text{pinv}(\mathbf{H})$, Moore-Penrose pseudoinverzní. Pokud je \mathbf{H} čtvercová a plná, končí řešení obvykle zde. Pokud \mathbf{H} není čtvercová nebo není plná

$$\mathbf{S}_{Y_{new}} = \mathbf{H} \mathbf{S}_{X_{new}} \mathbf{H}'$$

Diag($\mathbf{S}_{Y_{new}}$) nemusí vést k požadovaným ASD. V tomto případě výsledek často zlepšit iterační přístup.

20.E.4.6 Nezávislá doporučení

Někdy je žádoucí definovat referenční spektrum z hlediska diagonální matice autospektra. Tímto směrem nás vede několik důvodů. Jedním z běžných případů je, že je k dispozici pouze znalost autospektra z prostředí polních podmínek. Tato situace může vést k několika faktorům. Za prvé, údaje z polních podmínek mohly být získány bez fázových informací. Za druhé, výsledné křížové spektrum může mít velmi komplikovanou strukturu, kterou je nepraktické implementovat do specifikace. Obálkové amplitudy jsou možné, ale obálkování fáze je mnohem obtížnější. Za třetí, specifikace může být složena z několika prostředí, což velmi ztěžuje definici křížového spektra. Za čtvrté, vozidlo, u kterého byly získány údaje z polních podmínek, nemusí být totožné se zkoušeným vozidlem. Za páté, okrajové podmínky v polních podmínkách se mohou lišit od okrajových podmínek v laboratoři.

Malé změny modálních kmitočtů způsobené kterýmkoli z výše uvedených faktorů mohou změnit fázi na jakémkoli kmitočtu poblíž režimu ve velkém rozsahu. Všechny tyto faktory ztěžují specifikaci křížového spektra. Jednou z možností je ignorovat křížová spektra a nastavit je na nulu. To má teoretickou výhodu spočívající v poskytnutí buzení, které v jistém smyslu pokrývá řídicí proměnnou prostoru odezvy.

Signály pohonu lze snadno vypočítat za vzniku nekorelovaného pohybu (v tomto případě SDM nekorelovaného referenčního spektra \mathbf{Y} je diagonální) ze vztahu

$$S_{X0} = Z S_{Y0} Z'$$

Tento přístup je v současné době k dispozici v komerčních řídicích systémech. Jednoduše se zadá referenční SDM jako diagonální matice s křížovým spektrem (nebo ekvivalentně koherencemi) nulovým nebo téměř nulovým. Toto je typický konzervativní přístup.

Na rozdíl od rozboru o nezávislém pohonu v článku 20.E.4.5.5 existuje nebezpečí spojené s koncepcí nezávislých referencí v tom, že tato specifikace řídicích proměnných může být příliš konzervativní poblíž kmitočtů, kterým dominuje jediný režim. Důležitým vodítkem, že výsledek může být příliš konzervativní, je průběh napětí pohonu. Tento průběh by se měl monitorovat, a pokud je v některém kmitočtovém pásmu příliš velký, mohou být sjednána a zavedena omezení.

20.E.4.7 Přehled doporučených postupů

Následující seznam obsahuje doporučení a obecné pokyny, které je třeba vzít v úvahu při řešení víceosého VSD.

- a) Pokud je to možné, specifikovat zkoušku z hlediska pohybu tuhého tělesa.
- b) Je žádoucí přesná specifikace řídicích akcelerometrů. Při zkoušce využít více řídicích akcelerometrů než stupňů volnosti.
- c) Pokud je to možné, měla by být určena celá matice SDM. Může být žádoucí metoda automatizace generování obálek. To umožní, aby generování obálek bylo pro vývojové specialisty méně specifické.
- d) Pokud je specifikována celá SDM, je navrženo, aby byla koherence nastavena téměř na nulu, pokud je požadovaná koherence pod 0,2. Je třeba si uvědomit, že odhad koherence je zkreslený výsledek (výsledek bude vždy pozitivní). Je známo, že odhadovaná koherence nebude nikdy nulová; řídicí software se však může pokusit dosáhnout co nejnižší koherence. Tolerance koherence musí připustit zkreslení. Pokud je koherence malá, fáze není důležitá. Pro zjednodušení je stanovení nulové fáze přiměřenou specifikací, když je koherence nízká.
- e) Pokud je krok „c“ příliš komplikovaný, doporučuje se, aby zkouška byla provedena s téměř nulovou koherencí.
- f) Pokud z kroku „e“ vyplynou nerealistické odezvy, zkusit použít možnost nezávislého pohonu.
- g) Zvážit kompromisní polohu mezi nezávislými referenčními kritérii kroku „e“ a kritérii nezávislého pohonu, jak je doporučeno v kroku „f“.
- h) Pokud jsou požadavky na pohon při některých kmitočtech nadměrné, povolit úpravu zkoušky tak, aby se požadavky na pohon snížily, jak je uvedeno v čl. 20.E.4.5.4 a 20.E.4.5.5.
- i) Rozumí se, že zkoušení s více vstupy a více výstupy (MIMO) je složitější než zkoušení s jedním vstupem a jedním výstupem (SISO). Specifikace musí odpovídat přání zkušeného technika pro zkoušky vlivu prostředí. Aby bylo dosaženo požadovaných výsledků zkoušek, musí být udržována dobrá komunikace mezi projektovým týmem, technikem zkoušek vlivu prostředí a zkušební laboratoří.

20.E.5 POŽADOVANÉ ÚDAJE

Příloha 20E
(normativní)

Jak je uvedeno v AECTP-240, Část 2410 (odkaz E.5.3), musí být údaje z polních podmínek získány na základě předpokládaného průběhu nasazení zkoušeného předmětu (UUT). Jak je podrobně uvedeno v čl. 20.E.4.4.1.1 a odkazu E.5.1, umístění a orientace snímačů jsou rozhodující a musí být důkladně zdokumentovány.

20.E.5.1 Vypracování referenční matice SDM

Jak je uvedeno v čl. 20.E.4.5, matice SDM z hlediska požadovaných režimů tuhého tělesa, které se má zkoušet, by se měla vypočítat pro každou sestavu zkoušky určenou pro průběh předpokládaného nasazení.

Charakteristiky prvků křížové spektrální hustoty (CSD) matice SDM

Na základě charakteristik prvků CSD matice SDM, bude proces vypracování harmonogramu vibrací (VSD) poskytovat specifikaci vibrací odpovídající jednomu ze tří následujících případů:

- a) **Případ 1.** Prvky koherence blížící se k nule (nezávislý pohyb stupňů DOF) – Toto je nejjednodušší situace, kterou je třeba se zabývat tak, že každý pohyb DOF ASD lze řešit individuálně pomocí stejných metodik používaných v 1-DOF VSD, jak je uvedeno v odkazu E.5.3. Při programování systému pro řízení vibrací se doporučuje, aby byla koherence nastavena na nízkou nenulovou úroveň ($\gamma^2 = 0,1$) ve sledované zkušební šířce pásma. Pro tak malou koherenci je fázový parametr v podstatě náhodná proměnná a není nutné stanovovat specifikaci fáze.
- b) Zvláštní situací, která může vést analytika k vypracování specifikace vibrací MDOF s nezávislými pohyby DOF, by byla složená specifikace, která zahrnuje více vozidel (tj. specifikace kombinovaných kolových vozidel srovnatelná se specifikacemi v MIL-STD-810G, Metoda 514.7). Protože každé vozidlo bude mít tendenci mít své vlastní charakteristiky CSD, není možné definovat prvky CSD tak, že se na každé vozidlo bude vztahovat jediný koherenční a fázový vztah. Metodiky obálkování, které dobře fungují při řešení prvků ASD založených na velikosti, se jednoduše nedají použít při řešení fázových vztahů mezi mechanickými DOF.
- c) **Případ 2.** Nenulová koherence v části zkušební šířky pásma – Při vypracování specifikace vibrací MDOF založené na jediné platformě by se dalo předpokládat, že prvky CSD měřené v celém rozsahu situací řešených v průběhu nasazení, by měly být podobné povahy. Dynamické vlastnosti konstrukce a často blízkost měřících snímačů budou mít velký vliv na charakteristiky CSD. Často se vyskytují situace, ve kterých je koherence mezi pohybovými DOF vysoká a fáze je dobře definována, ale pouze na části zkušebního spektra. Toto je běžně pozorováno u mnoha kolových vozidel, kde je koherence vysoká při nižších kmitočtech (tj. kmitočtech pod 50 Hz) a téměř nulová při vyšších kmitočtech. V takových situacích by bylo možné stanovit specifikace koherence a fáze pouze pro část spektra s vysokou koherencí. Se zbytkem spektra by se zacházelo jako v případě 1. Rovněž při stanovování referenčních kritérií CSD musí analytik zajistit, aby výsledná kritéria byla fyzikálně realizovatelná (další podrobnosti viz článek 20.E.4.5.3).
- d) **Případ 3.** Nenulová koherence napříč celou zkušební šířkou pásma – Tato situace je srovnatelná s případem 2, přičemž koherence je definována v celé zkušební šířce pásma. Předpokládá se, že by to byla nejméně pravděpodobná

Příloha 20E
(normativní)

situace při vypracování VSD MDOF. Je to však rovněž sestava, která se bude nejobtížněji řešit jak z hlediska vypracování VSD, tak z hlediska implementace. Kromě otázky zajištění, že je výsledná referenční SDM fyzicky realizovatelná, je při implementaci plně definovaného referenčního kritéria SDM pro laboratorní zkoušku často hlavním problémem klasický problém nesouladu mechanických impedancí mezi polními a laboratorními podmínkami. Konkrétně, pokud mechanické impedance mezi polními a laboratorními podmínkami nejsou příliš dobře sladěné (a obvykle nejsou) mohou existovat části spektra, ve kterých může být koherence výrazně odlišná od specifikované a jednoduše nekontrolovatelná. I když je tato situace možná i v případě 2, je téměř jisté, že se jedná o situaci, jako je případ 3, ve kterém má celá zkušební šířka pásma referenčního kritéria CSD. Toto téma nekontrolovatelné koherence spojené s nesoulady mechanických impedancí je problémem řízení pro všechny tři případy a je dále rozebráno v posouzení minimálního pohonu podle čl. 20.E.4.5.5.

- e) Bez ohledu na to, kterým ze tří případů je SDM charakterizována, je vysoce pravděpodobné, že budou rozdíly v mechanických impedancích mezi polními a laboratorními podmínkami. V některých případech mohou tyto rozdíly impedance vést k nadměrným signálům pohonu. Přestože různí dodavatelé řídicích systémů řeší tuto situaci v různé míře, může být stále potřebné vyřešit tento problém pomocí zásahu operátora zkoušky pomocí technik, jako jsou metodiky uvedené v čl. 20.E.4.5.4 a 20.E.4.5.5.

20.E.5.2 Doporučení k tolerancím zkoušky

Stanovení tolerancí pro zkoušku MIMO je náročné vzhledem k velkému množství informací zahrnutých v referenčních autospektrech a křížových spektrech. Navíc celková energie nemusí být nutně rozložena rovnoměrně na každý mechanický stupeň volnosti (DOF) a dominantní stupně DOF mají často tendenci převládat v řízení. Cílem zde je stanovit přiměřený výchozí bod pro stanovení tolerancí zkoušky. Zkušenosti se specifickými sestavami zkoušek mohou být využity k upřesnění definovaných základních pokynů níže. Jak je obvyklé, měly by být v Programu zkoušky jasně zdokumentovány veškeré tolerance specifické pro zkoušku.

- a) Autospektra: ± 3 dB pro $f \leq 500$ Hz a ± 6 dB pro $f > 500$ Hz.

Část spektra, která skutečně dosáhne maximálních tolerančních limitů, se přepokládá v úzkých šířkách pásma. Tolerance na celkovou úroveň *Grms* každého řízeného stupně DOF musí být v rozmezí ± 15 % odpovídající referenční hodnoty.

- b) Křížová spektra: Tolerance se definují z hlediska fáze a koherence. Je třeba si uvědomit, že bude existovat statistická variace koherenčních a fázových odhadů jako funkce statistických stupňů DOF použitých pro odhad řízení matice SDM a rovněž jako funkce koherence mezi vstupy. Opatrnost je potřebná v tom, že očekávaná statistická odchylka stanoví nižší mez, jak těsná může být příslušná tolerance.

- (1) Koherence: Pro běžnou koherenci v rozsahu $0,5 \leq \gamma^2 < 1,0$ se nastaví tolerance na $\pm 0,1$ (je nezbytné vyhnout se stanovení referenční hodnoty koherence nebo tolerance na 1,0).

Příloha 20E
(normativní)

(2) Fáze: Je-li $\gamma^2 < 0,5$, je přijatelná jakákoli fáze. Pokud je $0,5 \leq \gamma^2 < 1,0$ a kmitočet f je v pásmu $f_h \pm 3\Delta f$, kde f_h je kmitočet, kde referenční rychlost fázové změny je větší než $10^\circ \cdot \text{Hz}^{-1}$ a Δf je vzdálenost řádků referenčních spekter; výchozí tolerance fáze bude $\pm 40^\circ$. Jinak, pokud bude mimo kmitočtové pásmo odkazované na takovou vysokou rychlost fázové změny, bude výchozí tolerance fáze $\pm 10^\circ$.

c) Omezení: Viz odstavec 20.E.4.5.4.

20.E.5.3 Laboratorní data

V případě, že referenční SDM je přímo použita jako referenční při zkoušce MET (tj. řízení transformace vstupu/výstupu (I/O), jak je uvedeno v odkazu E.5.9) a předpoklady tuhého tělesa jsou správné, nevyžaduje se, aby řídicí akcelerometry byly v laboratoři umístěny na přesně stejných místech, jaká byla použita ve výchozí fázi sběru dat. Kritickým parametrem je, že všechna řídicí místa použitá v laboratorní zkoušce jsou odkazována na stejný „počátek“, jaký byl vybrán ve vypracování původního harmonogramu VSD. Často je však žádoucí, na základě porovnání polohy mezi údaji polních a laboratorních podmínek, přizpůsobit řídicí místa v laboratoři původním měřicím bodům.

20.E.6 METODY VSD MDOF

20.E.6.1 Posouzení možností

Po přezkoumání požadavků na sběr a analýzu dat je tato část věnována definování kroků pro dvě možné metody vypracování VSD MDOF (viz odkaz E.5.17). Metoda I je zpracována v oblasti SDM a Metoda II provádí průměrovací kroky v oblasti Choleského. Příklad je uveden v článku 20.E.6.2.

20.E.6.1.1 Metoda I

Následuje popis Metody I VSD MDOF v deseti krocích (oblast SDM):

- Krok 1 Připravit převod měření získaných z polních podmínek do pohybu DOF.
Identifikovat polohové vektory $r_1 - r_n$ a vektory pro výběr řádků e_j , jak je definováno v článku 20.E.4.4.1.1, odpovídající měřením v polních podmínkách.
Identifikovat průběh nasazení.
Identifikovat požadovanou šířku kmitočtového pásma.
Identifikovat vzorkovací kmitočet z měření v polních podmínkách.
- Krok 2 Transformovat měření z polních podmínek do pohybu stupňů volnosti (DOF) podle rovnice (20.E.4.3) pro každou „sérii“ určenou v průběhu nasazení.
- Krok 3 Vypočítat SDM pro každou sérii určenou v kroku 2. Dimenze výsledných matic SDM bude $[6 \times 6 \times d]$, kde „ d “ je počet spektrálních čar uvažovaných pro řešení požadované šířky kmitočtového pásma.
Jelikož matice SDM se počítá z údajů naměřených v polních podmínkách, měla by být pozitivně definitní; měla by se však provést kontrola, aby se ověřilo, že každá jednotlivá SDM je pozitivně definitní. To slouží rovněž jako vynikající kontrola kvality údajů.

Příloha 20E
(normativní)

Pokud jsou vyžadovány drobné opravy pro vynucení stavu, kdy jsou jednotlivé matice SDM pozitivně definitní, viz pokyny v kroku 7.

- Krok 4 Převést prvky CSD (mimodiagonální prvky SDM) na normalizovanou formu, ve které velikost druhé mocniny křížových prvků koreluje s běžnou koherencí, přičemž fáze se nezmění.

Toho se dosáhne normalizací (dělením) prvků CSD pomocí $\sqrt{G_{xx} G_{yy}}$.

I když není nezbytně nutné tento krok provádět, je často snazší pochopit fyzikální význam prvků CSD, pokud se na ně nahlíží z hlediska fáze a koherence.

- Krok 5 Pro optimalizaci provádění základních statistik uspořádat buď všechny matice SDM pro požadované série do logické struktury nebo je sloučit do jednoho souboru známé maticové struktury, jako je [SDM_Run1, SDM_Run2, ..., SDM_RunM].

- Krok 6 Vypočítat váhový průměr matice SDM z N matic SDM v kroku 5.

Je důležité, aby váhový průměr byl proveden na základě skutečných komplexních prvků CSD (nikoli normalizované SDM).

Váhový faktor z průměru bude přímo korelován s dobami průběhu nasazení uvedenými v kroku 1. Pokud jsou jednotlivé série pozitivně definitní, měl by být výsledný průměr rovněž pozitivně definitní. Numerické problémy však mohou přinést nepozitivně definitní výsledky. Aby se minimalizovaly numerické problémy, zprůměrovat pouze spodní trojúhelníkovou část SDM a vyplnit horní trojúhelníkovou část SDM využitím hermitovské struktury matice (viz odkaz E.5.16).

Je třeba se vyhnout jakémukoli typu obálování, protože je vysoce pravděpodobné, že přinese výsledek nepozitivně definitní.

- Krok 7 Jelikož jsou data SDM ovlivňována činnostmi jako je průměrování, je vhodné ověřit, že výsledky zůstávají pozitivně definitní. Jak bylo diskutováno výše, příležitostné numerické problémy mohou být v některých případech znepokojující. Je-li to nutné, vynutí se stav, aby byla SDM vypočítaná v kroku 6 pozitivně definitní.

To se provádí systematickým snižováním velikosti prvků křížové spektrální hustoty, dokud není možný rozklad podle Choleského v každé hloubce (spektrální čáře) SDM. (Pokud je to vyžadováno, může být tento proces poněkud konzervativní, pokud jde o snížení koherence mezi DOF v tom, že systematické snižování velikostí křížových prvků je aplikováno na každý křížový prvek stejně).

- Krok 8 Upravit velikost diagonálních prvků autospektra (diagonální prvky SDM), které vycházejí z kroku 7, na maximální úroveň efektivní hodnoty rms každé z N matic SDM v kroku 5, na základě jednotlivých DOF pomocí pravidla Miner-Palmgren.

Uvědomit si, že pro každý DOF bude vypočítán nový celkový čas zkoušky a je vysoce pravděpodobné, že výsledné zkušební časy pro každý DOF nebudou stejné.

Protože se velikost autospektra zvyšuje, aniž by se měnily prvky křížové spektrální hustoty, výsledná změněná matice SDM by měla být stále

Příloha 20E
(normativní)

pozitivně definitní. Jak je však uvedeno v kroku 7, důrazně se doporučuje, že pokud by se s SDM kdykoli manipulovalo, mělo by se ověřit, že výsledná SDM zůstává pozitivně definitní.

Krok 9 Zkontrolovat čas zkoušky související s každým DOF, který je výsledkem kroku 8, a zvolit přiměřený čas zkoušky, na který se může vztahovat celá SDM. V tomto kroku je třeba se vyvarovat změně dominantního DOF o více než maximální obálku naměřených hodnot pro tento DOF.

Stejně jako v případě vypracování harmonogramu VSD pro 1-DOF, je třeba vzít v úvahu obecné pokyny k tomu, aby konečné amplitudy zkoušky vyplývající z časové komprese nebyly o více než 3 dB nad maximálními naměřenými údaji z polních podmínek. Jakmile je vybrán zkušební čas, znovu uplatnit pravidlo Miner-Palmgren podle potřeby na DOF. Znovu se ujistit, že výsledná SDM je pozitivně definitní a upravit podle potřeby v kroku 7.

Krok 10 Upravit velikost výsledků z kroku 9 až o 3 dB, avšak nepřesáhnout 3 dB nad obálkou naměřených hodnot na DOF pro zohlednění neřízených proměnných, jako jsou změny ve vozovém parku a podmínky průběhu nasazení, které se neuvažují ve scénáři průběhu nasazení. Při udržování všech DOF v rozmezí 3 dB od obálky měřených hodnot z jejich příslušných DOF často existují praktická omezení. V takových případech se pokusit přidružit maximální kompresi k DOF nejnižší úrovně nebo DOF, o kterém je známo, že je mechanicky robustní. Výsledná SDM a přidružení doby zkoušky podle kroku 9 definují konečnou specifikaci.

Toho se dosáhne vynásobením matice SDM zleva a zprava druhou odmocninou poměru požadované změny velikosti jako

$\mathbf{S}_{Ynew} = \mathbf{S}_s \mathbf{S}_{Yold} \mathbf{S}_s$ (např. pro změnu velikosti prvků ASD matice SDM o 3 dB při zachování stejné fáze a běžné koherence, budou diagonální prvky \mathbf{S}_s definovány jako $S_{s,ii} = \sqrt{2}$).

[V případě, že uživatel zdokumentuje důkazy o tom, že průběh nasazení je dostatečně přesný pro minimalizování neřízených proměnných, může být výchozí změna velikosti o 3 dB v tomto kroku snížena].

20.E.6.1.2 Metoda II

Následuje popis Metody II VSD MDOF v deseti krocích (oblast Choleského):

Krok 1 až 4 Korelovat přímo s osnovou Metody I.

Krok 5 Provést Choleského rozklad na individuální SDM přidružené ke každé sérii měření v průběhu nasazení.

Protože každá jednotlivá série byla založena na fyzikální události, měly by být jednotlivé SDM pozitivně definitní, což by umožnilo rozklad Choleského. (Je třeba připomenout, že všechny série by měly být odzkoušeny, aby se ověřilo, že každá byla pozitivně definitní nebo opravená podle požadavků v kroku 3). Pro optimalizaci provádění základních statistik uspořádat buď všechny dolní trojúhelníkové matice vyplývající z Choleského rozkladu pro požadované série do logické struktury nebo je sloučit

Příloha 20E
(normativní)

- do jednoho souboru známé maticové struktury, jako je [CHOL_Run1, CHOL_Run2, ..., CHOL_RunM].
- Krok 6 Vypočítat váhový průměr dolní trojúhelníkové matice z N Choleských rozkladů z kroku 5.
- Váhový faktor z průměru bude přímo korelován s průběhem nasazení identifikovaným v kroku 1. Je třeba si uvědomit, že výsledný průměr bude stále sestávat z kladných vlastních čísel, což znamená, že při převodu zpět do formátu SDM bude výsledek pozitivně definitní.
- Po převodu zpět do oblasti matice SDM budou výsledné prvky CSD obecně velmi srovnatelné s průměrnými hodnotami CSD vypočítanými v kroku 6 Metody I. Úrovně střední kvadratické hodnoty rms prvků hustoty ASD však nebudou stejné. Navíc spektrální tvar prvků hustoty ASD bude obecně mírně upraven.
- Krok 7 Upravit velikost prvků hustoty ASD matice SDM vyplývajících z kroku 6 tak, aby odpovídaly úrovním rms v Metodě 1 krok 6.
- Převést prvky CSD (mimodiagonální prvky SDM) na normalizovanou formu, ve které velikost druhé mocniny křížových prvků koreluje s běžnou koherencí, přičemž fáze se nemění. (Opět, i když není nezbytně nutné provést tento krok, je často snazší pochopit fyzikální význam prvků CSD, pokud se na ně nahlíží z hlediska fáze a koherence).
- Je třeba si uvědomit, že Metoda II zahrnuje průměrování maticových kořenů. Předpokládá se, že výsledná fáze a koherence SDM budou velmi podobné těm z průměrovaných údajů z polních podmínek vytvořených v Metodě I. Předpokládá se, že prvky hustoty ASD spektrálních tvarů se budou mírně lišit (tj. < 3 dB na spektrální linii pro SDM podobnou statistickým rozptylem). Skutečné rozdíly závisí do značné míry na statistické odchylce složek kořenů. Pokud je statistická odchylka významná, lze zvážit vytvoření více referencí seskupením sérií s podobnými spektrálními tvary nebo návratem k Metodě I.
- Krok 8 až 10 Korelovat přímo s osnovou Metody I.

20.E.6.2 Příklad

Pro ilustraci výše vysvětleného procesu byl odvozen jednoduchý příklad (Metoda I je uvedena jako první). S použitím dostupného kolového vozidla byl vstup do palubního raketového úložného stojanu vybaven přístroji, jak je znázorněno na obrázku 20.E.4. Snímač ve středu obrázku 20.E.4 byl umístěn do uživatelem definovaného počátku, pozice [0,0,0], ve smyslu kartézského souřadnicového systému. V tradiční orientaci podle pravé ruky byl dopředný směr vozidla definován jako kladná osa x , směrem ke straně řidiče vozidla byla kladná osa y a přes střechu vozidla byla kladná osa z . Na všechny snímače se odkazuje, pokud jde o jejich relativní umístění k počátku, jak bylo uvedeno výše v části této přílohy týkající se transformace zrychlení.

Příloha 20E
(normativní)



OBRÁZEK 20.E.4 – Umístění snímače (vstup do úložného stojanu raket)

Metoda I Příklad

- a) Po stanovení jasné definice souřadnicového systému jsou identifikovány klíčové parametry vysvětlené v kroku 1. Pozice čtyř rohových míst akcelerometrů použitých v tomto příkladu, v jednotkách vzdálenosti v palcích, jsou definovány jako

$$r_1 = [-17, -6, 0]', r_2 = [-17, 6, 0]', r_3 = [17, -6, 0]', r_4 = [17, 6, 0]'$$

kteřé jsou v antisymetrické formě

$$[{}^P r_1^P]^x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -6 \\ 0 & 0 & 17 \\ 6 & -17 & 0 \end{bmatrix}, [{}^P r_2^P]^x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 17 \\ -6 & -17 & 0 \end{bmatrix}, [{}^P r_3^P]^x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -6 \\ 0 & 0 & -17 \\ 6 & 17 & 0 \end{bmatrix}, [{}^P r_4^P]^x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & -17 \\ -6 & 17 & 0 \end{bmatrix}$$

Pro zjednodušení, tým pro přípravu přístrojového vybavení umístil trojosé snímače tak, že kanál používaný k měření pohybu v ose y byl ve skutečnosti 180 stupňů mimo fázi vzhledem k referenčnímu souřadnicovému systému. Tento problém je vyřešen jednoduše definováním vektorů pro výběr řádků jako

$$e_x^T = [1, 0, 0], e_y^T = [0, -1, 0], e_z^T = [0, 0, 1]$$

Matici \bar{T}_a a matici T_a lze nyní vypočítat podle rozboru v čl. 20.E.4.4.1.1 jako

$$\bar{T}_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 17 \\ 0 & 0 & 1 & -6 & 17 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 17 \\ 0 & 0 & 1 & 6 & 17 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -17 \\ 0 & 0 & 1 & -6 & -17 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -17 \\ 0 & 0 & 1 & 6 & -17 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_a = \begin{bmatrix} 0,250 & 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 \\ 0 & -0,250 & 0 & 0 & -0,250 & 0 & 0 & -0,250 & 0 & 0 & -0,250 & 0 \\ 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 & 0,250 & 0 & 0 & 0,250 \\ 0 & 0 & -0,0417 & 0 & 0 & 0,0417 & 0 & 0 & -0,0417 & 0 & 0 & 0,0417 \\ 0 & 0 & 0,0147 & 0 & 0 & 0,0147 & 0 & 0 & -0,0147 & 0 & 0 & -0,0147 \\ 0,0046 & 0,0131 & 0 & -0,0046 & 0,0131 & 0 & 0,0046 & -0,0131 & 0 & -0,0046 & -0,0131 & 0 \end{bmatrix}$$

Data z polních podmínek byla vzorkována při 4 096 Hz a požadovaná šířka pásma je 500 Hz. Pro uvedený příklad byl průběh nasazení vytvořen pomocí Beta rozdělení, jak je vysvětleno v odkazu E.5.3, a je uvedeno v tabulce 20.E.1. S ohledem na čas související s rychlostmi pod 5 mil za hodinu (mph) je celkový počet najetých mil přibližně 300.

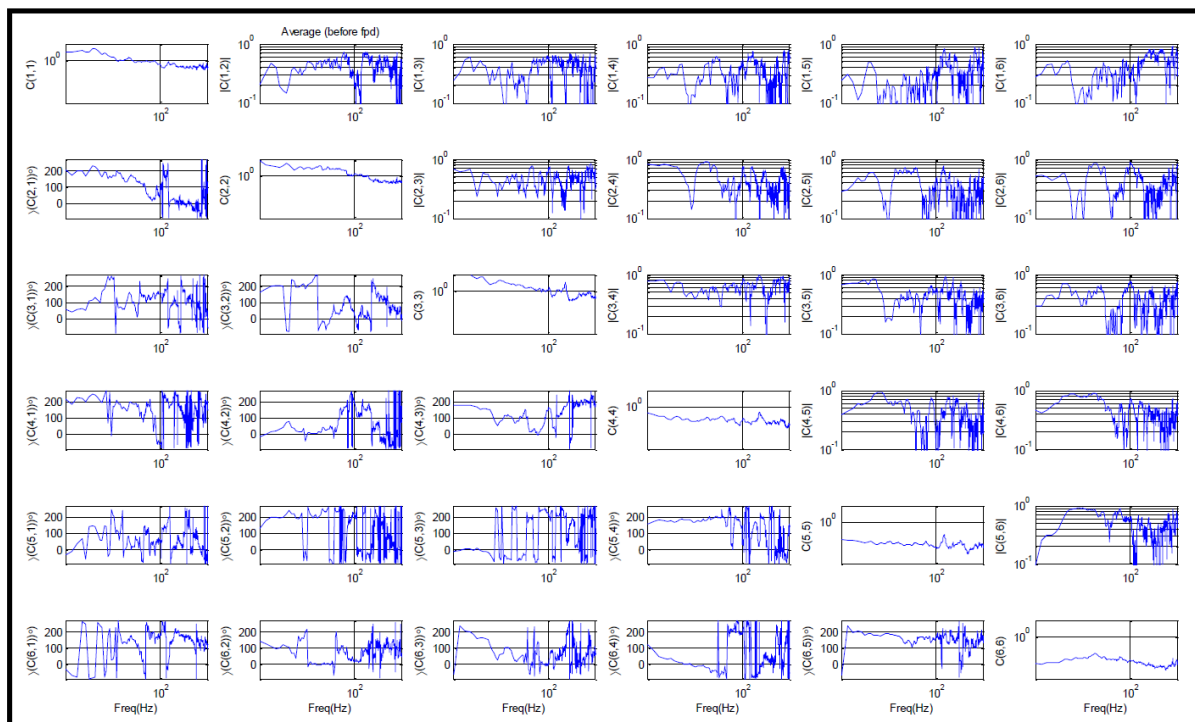
- b) Data z polních podmínek byla poté převedena na pohyb DOF $\{c\}_{Motion}$ pomocí rovnice (20.E.4.3) podle kroku 2.
- c) Časové průběhy $\{c\}_{Motion}$ byly poté transformovány do kmitočtové oblasti ve formě SDM na sérii, jak je popsáno v kroku 3. Každá SDM byla zkoušena podle vlastnosti Choleského rozkladu a ověřena, že je pozitivně definitní.
- d) Každá matice SDM byla poté normalizována, jak bylo navrženo v kroku 4, aby analytik mohl přezkoumat stupeň koherence mezi DOF.
- e) Podle kroku 5 byly matice SDM nakonfigurovány do vhodné struktury umožňující statistickou analýzu. Data byla uspořádaná jako $SDM_vše = [SDM_Run1, SDM_Run2, \dots, SDM_Run8]$. Sleduje se pouze 8 z 9 sérií určených v průběhu nasazení. Při kontrole údajů z polních podmínek byly údaje z radiálních vln při rychlosti 5 mph výrazně nižší než u ostatních sérií; rozhodlo se, že nemají žádný vliv na únavu a nebyly brány v úvahu při výpočtu základních statistik souboru.

Příloha 20E
(normativní)

TABULKA 20.E.1 – Průběh nasazení

Klasifikace komunikace	Rychlost (mph)	Čas (hod)	Vzdálenost (míle)
Vrstvený kámen	5	0,690	3,45
	10	1,545	15,45
	15	0,737	11,05
Terén	10	5,180	51,80
	20	6,332	126,64
	30	2,002	60,06
Radiální vlny	5	0,811	4,055
	7	1,841	12,88
	10	1,183	11,83

- f) Dále byl podle kroku 6 vypočítán váhový průměr z hlediska času na komunikaci, jak je definován v tabulce 20.E.1. Tento průměr by měl být vypočítán z hlediska komplexních prvků CSD, nikoli z normalizované matice SDM. Výsledný váhový průměr SDM byl poté odzkoušen na každé spektrální linii, aby se stanovilo, zda bylo nebo nebylo splněno kritérium „pozitivně definitní“. Obrázek 20.E.5 zobrazuje váhový průměr SDM. S využitím hermitovské vlastnosti matice SDM je obrázek 20.E.5 uspořádán tak, že spodní trojúhelníková část představuje fázi mezi stupni DOF, horní trojúhelníková část představuje druhou odmocninu běžné koherence a diagonální prvky jsou hustoty ASD šesti stupňů DOF tuhého tělesa. Přestože jsou příliš malé na podrobné posouzení na jedné stránce, jak je znázorněno, jsou všechny grafy koherence v rozsahu 0,1 a 1,0. To má ilustrovat, že mezi stupni DOF existuje určitá úroveň koherence, zejména pod 100 Hz v daném příkladu. S využitím navrhovaného procesu vypracování harmonogramu VSD se analytik pokusí zachovat co nejvíce koherence v konečné specifikaci a přitom zajistit, aby byl konečný výsledek pozitivně definitní.
- g) Aby se vyřešila možnost, vypořádat se s nepozitivně definitními výsledky, byl napsán program, který postupně a rovnoměrně snižuje magnitudy prvků křížové spektrální hustoty, dokud není v kroku 7 splněno kritérium „pozitivně definitní“. Tato metoda ve skutečnosti snižuje magnitudy některých prvků CSD více, než je požadováno. Řešení tohoto možného nedostatku je jednou z motivací pro vypracování Metody II.
- h) V tomto bodě byla podle kroku 8 vypočtena úroveň efektivní hodnoty rms pro každou hustotu ASD (diagonální vstup SDM) na požadované šířce pásma (3 až 500 Hz v tomto příkladu). Každá hustota ASD byla poté upravena na úroveň maximální efektivní hodnoty rms pomocí rovnice (20.E.4.6).

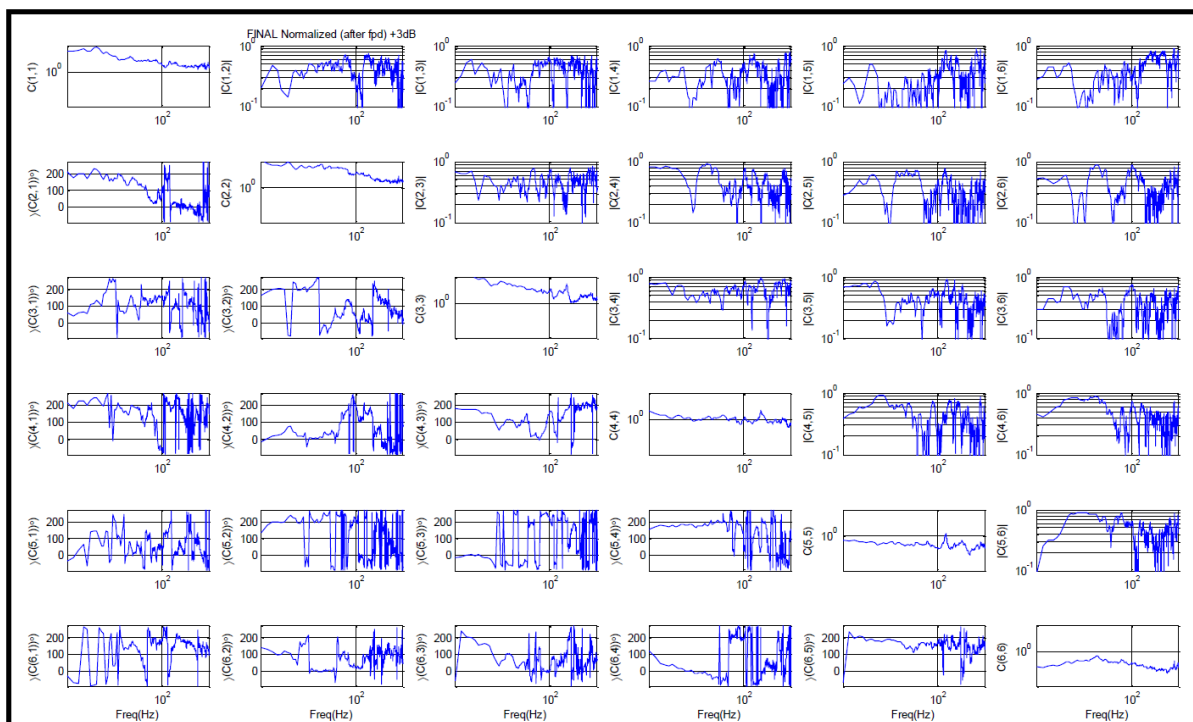


OBRÁZEK 20.E.5 – Normalizovaný váhový průměr SDM

- i) Podle kroku 9 byly rovněž zdokumentovány nové zkušební časy spojené s každou hustotou ASD. Podle předpokladu, nové časy spojené s každým stupněm DOF již nebyly stejné. Protože harmonogram VSD je navržen tak, aby poskytl souběžnou referenci 6-DOF, bude nutné zvolit společný čas zkoušky a upravit velikost všech záznamů hustoty ASD na zvolenou dobu trvání zkoušky. Pro daný příklad byl vybrán zkušební čas 15 minut. Jako vždy u volby komprimovaných dob trvání zkoušky, je třeba dodržovat pokyny, které nezvýrazní výkonové úrovně hustoty ASD více než 2:1. To samozřejmě není vždy možné při řešení 6 prvků hustoty ASD. V takových případech by se analytik měl vyhnout zvyšování dominantních stupňů DOF nebo DOF se známými konstrukčními nedostatky o více než 3 dB nad maximálními naměřenými úrovněmi ASD.
- j) Prvky zahrnující SDM byly založeny na průměrných odhadech hustoty ASD a CSD, což je v rozporu s pokyny uvedenými v odkazu E.5.3, ve kterém úrovně hustoty ASD prováděné výpočty 1-DOF harmonogramu VSD byly ve skutečnosti založeny na hustotě ASD vypočítané jako součet střední hodnoty ASD a směrodatné odchylky vypočítané na základě spektrální linie. Účelem přímé práce se středními hodnotami úrovní hustoty ASD je zabránit nadměrnému konzervatismu v procesu VSD. Konzervatismus určený k řešení neřízených proměnných, jako jsou změny ve vozovém parku a podmínky průběhu nasazení, které se neuvažují ve scénáři průběhu nasazení, se v kroku 10 řeší jediným skalárem (+3 dB v tomto příkladu). Je zřejmé, že analytik má možnost upravit konečnou úroveň konzervatismu na základě znalosti konkrétního harmonogramu VSD.

Příloha 20E
(normativní)

Konečná referenční matice SDM vytvořená Metodou I je znázorněna na obrázku 20.E.6. Je třeba si uvědomit, že fázové a koherenční prvky jsou v podstatě nezměněny ve srovnání s průměrem SDM na obrázku 20.E.5



OBRÁZEK 20.E.6 – Metoda I – normalizovaná referenční SDM

Metoda II Příklad

První čtyři kroky Metody II korelují přímo s Metodou I. Hlavní odchylka v Metodě II spočívá v tom, že veškeré průměrování bude počítáno v oblasti Choleského. V kroku 5 se provádí rozklad Choleského na jednotlivé SDM spojené s každou sérií v průběhu nasazení. Protože každá jednotlivá série byla založena na měřené fyzikální události, jednotlivé SDM byly pozitivně definitní, jak se předpokládalo, což umožnilo Choleského rozklad. V případě, že daná série selhala, došlo k ověření Choleského rozkladu a byla ověřena všechna místa měření a relativní polarity; prozkoumají se spektrální čáry, na kterých rozklad selhává. Pokud rozklad selhává jen na několika spektrálních liniích, bylo by možné zachránit měření pomocí metodik snížení velikosti CSD navržených v Metodě I. Data Choleského oblasti byla poté uspořádána do vhodné struktury pro statistickou analýzu. Stejně jako v Metodě I byl použit Matlab k výpočtu vážených průměrů a data oblasti Choleského byla uspořádána jako $CHOL_vše = [CHOL_Run1, CHOL_Run2, \dots, CHOL_RunM]$. V kroku 6 byl vypočítán vážený průměr, z hlediska času na komunikaci, jak je definován v tabulce 20.E.1, pro spodní trojúhelníkovou matici osmi rozkladů Choleského z kroku 5. Vážený průměr byl poté převeden zpět do oblasti SDM. Jak se předpokládalo, koherenční charakteristiky výsledné SDM byly srovnatelné s vlastnostmi SDM na obrázku 20.E.5 a efektivní hodnoty rms prvků hustoty ASD

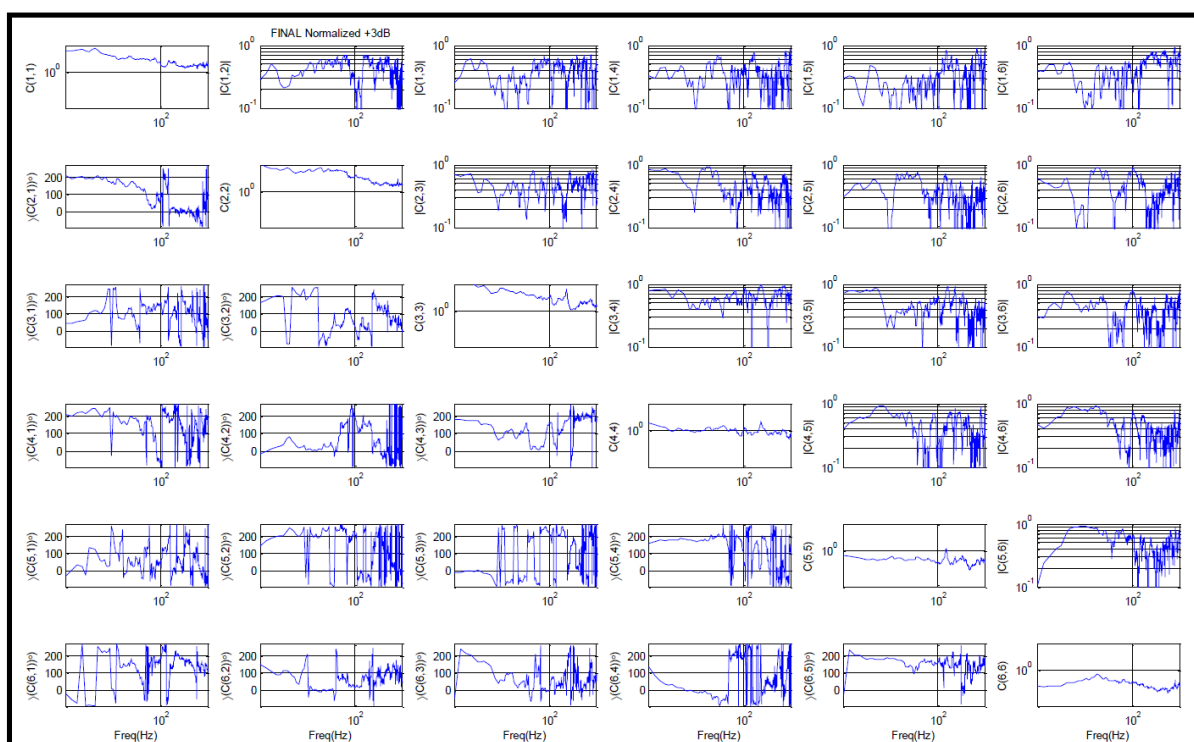
Příloha 20E
(normativní)

vyžadovaly úpravu velikosti podle kroku 7. Kroky 8 až 10 byly provedeny přímo, jak je uvedeno v osnově Metody I.

Referenční SDM vyplývající z Metody II (obrázek 20.E.7) poskytla podobné fázové a koherenční charakteristiky jako referenční SDM vyplývající z Metody I (obrázek 20.E.6). Je třeba si uvědomit, že příklad Metody I využil průměrování pouze dolních trojúhelníkových prvků CSD, čímž se vyhnul potenciálním numerickým problémům a proto nevyžadoval, aby SDM byla nutně pozitivně definitní způsobem, který by vedl ke snížení koherence konzervativnějším způsobem, než je požadováno.

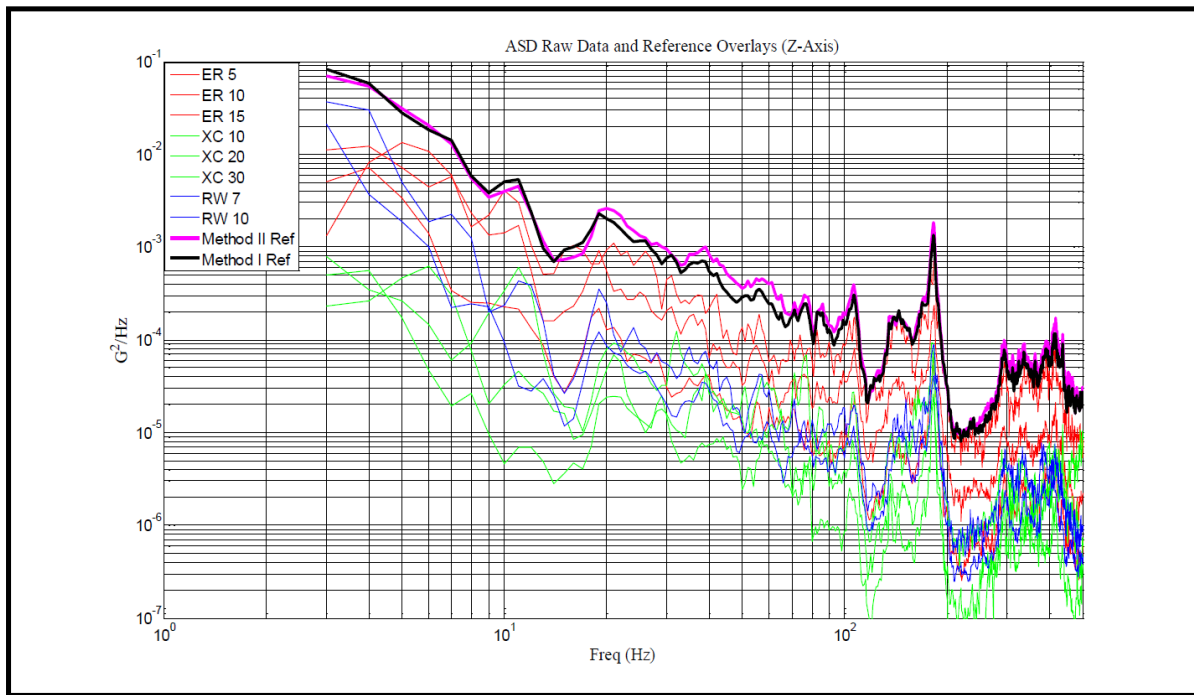
Porovnání hustoty ASD. Dále budou ilustrovány drobné odchylky spektrálního tvaru mezi hustotou ASD vyplývající ze dvou diskutovaných metod VSD. Obrázky 20.E.8 a 20.E.9 znázorňují reference ASD pro osu Z (svislou) a rotaci kolem osy Z (R_z), jak byly vytvořeny oběma metodami VSD. Reference hustot ASD se překrývají se surovými (nezveličenými) referenčními údaji, z nichž byly specifikace vytvořeny. Je třeba si uvědomit, že tvary hustoty ASD obálkují data z polních podmínek bez nadměrného konzervatismu.

Jak bylo uvedeno výše, doba trvání zkoušky pro referenční SDM získanou oběma metodami v tomto příkladu, byla stanovena na 15 minut. Je zřejmé, že jak je znázorněno na obrázcích 20.E.8 a 20.E.9, související reference ASD jsou vysoce korelované.

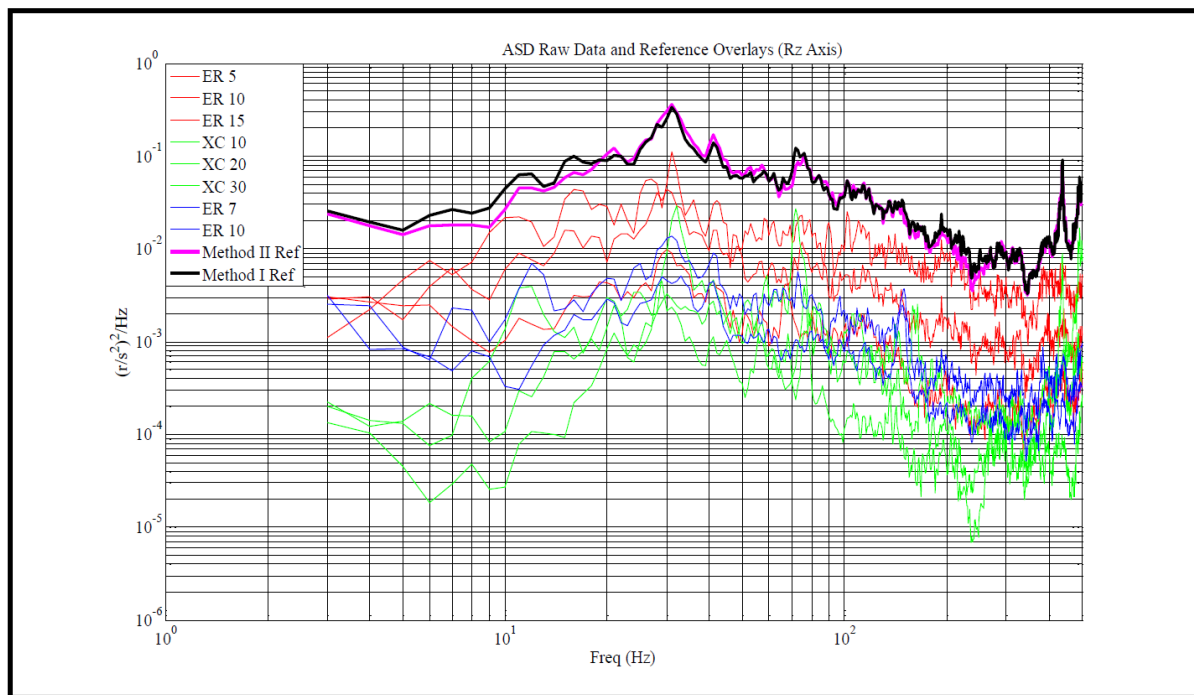


OBRÁZEK 20.E.7 – Metoda II – referenční SDM

Příloha 20E
(normativní)



OBRÁZEK 20.E.8 – Reference ASD pro osu Z



OBRÁZEK 20.E.9 – Reference ASD pro rotaci kolem osy Z (R_z)

20.E.6.3 Závěrečné poznámky

Pro stanovení vstupní specifikace pro systém MDOF byly definovány dvě metodiky. Ukázalo se, že jednoduché metodiky obálkování nejsou vhodné při zvažování prvků hustoty CSD kvůli citlivosti těchto operací spojených s udržováním fyzicky realizovatelné reference. Výsledné reference SDM získané popsáním procesem, jsou zcela vyplněné SDM. Zavedení zcela vyplněné SDM do řídicího systému MDOF účinným způsobem je nezbytné, z důvodu rozsahu zahrnutých informací.

I když syntetizace signálu pohonu s charakteristikami hustoty CSD z údajů z polních podmínek je žádoucí, je zřejmé, že je vysoce nepravděpodobné, že by mechanická impedance laboratorní sestavy odpovídala impedanci dat z polních podmínek. Proto bude obtížné udržovat charakteristiky hustoty CSD v celé požadované spektrální šířce pásma, a proto bude hierarchie řízení obecně klást důraz na prvky ASD. Rovněž není neobvyklé, že při zkouškách MDOF se určitý mechanický stupeň volnosti skládá z velmi malého procenta složené energie ze všech mechanických stupňů volnosti. V takových případech bude příslušná chyba nízkého stupně DOF často vyšší než požadované tolerance zkoušky a je třeba vzít v úvahu celkové tolerance zkoušky.

V uvedených příkladech byla věnována pozornost omezení míry konzervativizmu v procesu VSD. Lze si rychle uvědomit, že míra konzervativizmu je kumulativní ve všech stupních volnosti a pokud nebude řádně regulována, budou zkouškové úrovně významně vyšší než měřené prostředí. Na rozdíl od běžné techniky, přidávat v podstatě 3 dB ke všem měřením před provedením průměrování nebo obálkování v 1-DOF oblasti podle odkazu E.5.3, všechny vážené průměry v ukázaných příkladech 6-DOF byly založeny na hrubých zprůměrovaných datech. V posledním kroku byla přidána konzervativnost pro zohlednění proměnných, jako je proměnlivost vozového parku a vynechání scénáře průběhu nasazení. Zesílení velikosti spojené s technikami časové komprese bylo omezeno na ne více než maximální měřené úrovně. Pokud jde o tolerance, může být rovněž rozumné definovat fázové a koherenční tolerance pouze u části zkušební šířky pásma. V uvedeném příkladu koherence výrazně poklesla při kmitočtech nad 50 Hz. Protože fázový člen je v podstatě náhodná proměnná pro nízkou koherenci, nebylo v ukázaném příkladu doporučeno nastavení tolerancí pro kmitočty vyšší než 50 Hz.

DODATEK 20E.1 – SLOVNÍK

Viz článek 20.1.2.2 této metody. Následují další termíny specifické pro tuto přílohu.

E.1.1 Harmonogram laboratorní vibrační zkoušky (LVTS)

Všechny informace potřebné k provedení vibrační zkoušky na vibračním budiči. Informace obvykle zahrnují: širokopásmová spektra (nebo profil), sinusové nebo úzkopásmové informace (pokud jsou použity), dobu průběhu zkoušky, umístění řídicího akcelerometru, metody řízení a tolerance a jakékoli požadované specifické informace zkoušky.

E.1.2 Průběh nasazení (scénář)

Tabulka předpokládaných událostí vystavení vlivu prostředí a odpovídající doby trvání.

DODATEK 20E.2 – ZKRATKY

Zkratka	Název v originálu	Český název
AECTP	Allied Environmental Conditions and Test Publication	spojenecká publikace o podmínkách a zkouškách v prostředí
ASD	Auto Spectral Density (also referred to as the Power Spectral Density (PSD))	autospektrální hustota (označovaná také jako výkonová spektrální hustota)
CG	Center of Gravity	těžiště
CSD	Cross Spectral Density	křížová spektrální hustota
dB	Decibel	decibel
DFT	Discrete Fourier Transform	diskrétní Fourierova transformace
DOF	Degree Of Freedom	stupeň volnosti
DTC	US Army Developmental Test Command	Velitelství pro vývojové zkoušky americké armády
FRF	Frequency Response Function	funkce kmitočtové odezvy
$g \cdot V^{-1}$	Gravitational units/Volts of drive	gravitační jednotka / napětí pohonu
Hz	Hertz	hertz
I/O	Input/Output	vstup/výstup
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IES	Institute of Environmental Sciences	Institut environmentálních věd
IEST	Institute of Environmental Sciences and Technology	Institut environmentálních věd a technologií
LCEP	Life Cycle Environment Profile	profil prostředí životního cyklu
LOA	Line Of Action	postup činnosti
LVTS	Laboratory Vibration Test Schedule	harmonogram laboratorní vibrační zkoušky
MA	Multi-Axis	více os
MDOF	Multiple Degree-Of-Freedom	více stupňů volnosti
MEMA	Multiple-Exciter Multiple-Axis	více budičů více os
MESA	Multiple-Exciter Single-Axis	více budičů jedna osa
MET	Multiple Exciter Test	zkouška s více budiči
MIL-STD	Military Standard	vojenský standard (USA)

Příloha 20E
(normativní)

MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	více vstupů více výstupů
MISO	Multiple-Input Single-Output	více vstupů jeden výstup
NATO	North Atlantic Treaty Organization	Organizace Severoatlantické smlouvy
NBROR	Narrowband Random On Random	úzkopásmová náhodná na náhodné vibraci
pinv	Moore Penrose Pseudo Inverse	Moore Penrose pseudoinverze
PSD	Power Spectral Density	výkonová spektrální hustota
rms	Root Mean Square	efektivní hodnota; střední kvadratická hodnota
RTC	US Army Redstone Test Center	Americké zkušební středisko pozemních sil Redstone
SA	Single-Axis	jedna osa
SDM	Spectral Density Matrix	matice spektrální hustoty
SDOF	Single Degree-Of-Freedom	jeden stupeň volnosti
SESA	Single-Exciter/Single-Axis	jeden budič / jedna osa
SIMO	Single-Input Multiple-Output	jeden vstup více výstupů
SISO	Single-Input Single-Output	jeden vstup jeden výstup
SOR	Sine-On-Random	sinusová na náhodné vibraci
TWR	Time Waveform Replication	reprodukce časového průběhu tvaru vlny
UUT	Unit Under Test	zkoušená jednotka
VSD	Vibration Schedule Development	vypracování harmonogramu vibrací

DODATEK 20E.3 – SYMBOLY

Symbol	Definice
{ }	Vektor, kde každý prvek je diskretní časový průběh nebo funkce kmitočtu, diskretní Fourierova transformace (DFT) časového průběhu. Obecně budou malá písmena použita pro funkce času a velká písmena budou použita pro funkce kmitočtu. Někdy se používají malá písmena k označení prvků v matici.
[]	Označuje matici. Třetí dimenze obvykle označuje časové vzorky nebo vzorky jako funkce kmitočtu.
[] ^T	Transpozice matice.
[]'	Transpozice reálné matice nebo se často používá jako zkrácený zápis, který představuje komplexní konjugovanou transpozici matice.
[] ^{*'}	Komplexní konjugovaná transpozice matice (viz rovněž []' výše).
[] [†]	Moore Penrose pseudoinverzní matice.
^	Nad proměnnou označuje odhadovanou hodnotu.
{ a }	Vektor zpětných signálů zrychlení.
A	Matice spektrální hustoty zpětných signálů, obvykle v jednotkách $G^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$.
{ c }	Vektor řídicích signálů ze systému MIMO. Každý prvek ve vektoru je funkcí času. Lze ho považovat za dvourozměrnou matici. První rozměr je vstupní číslo. Druhým rozměrem je časový index.
{ C }	DFT vektoru { c }.
C	Matice spektrální hustoty řídicích signálů. Diagonální prvky jsou reálné autospektrální hustoty řídicích signálů. Mimodiagonální prvky jsou komplexní funkce kmitočtu, které poskytují křížovou spektrální hustotu mezi páry řídicích signálů.
{ d }	Vektor signálů pohonu do systému MIMO. Každý prvek ve vektoru je funkcí času. Lze ho považovat za dvourozměrnou matici. První rozměr je vstupní číslo. Druhým rozměrem je časový index.
[D]	Signály pohonu v kmitočtové oblasti. { d } je vytvořen z [D] pomocí metody zvané randomizace v časové oblasti. Zpočátku $\mathbf{D} = \mathbf{Z}\mathbf{R}\mathbf{Z}'$.
E []	Očekávaná hodnota.
g	Gravitační zrychlení.
[H]	Matice funkcí kmitočtové odezvy (FRF) vztahující se k odezvě řídicího systému na signály pohonu. Obvykle budou mít prvky jednotky $g \cdot V^{-1}$. Každý prvek je funkcí kmitočtové odezvy. Třetí rozměr je obvykle amplituda jako funkce souboru kmitočtů vztahujících se k DFT vstupních signálů a signálů odezvy.
N_s	Počet signálů pohonu, počet budičů.

Příloha 20E

(normativní)

N_c	Počet řídicích signálů.
N_a	Počet zpětných signálů zrychlení.
N_d	Počet výstupních řídicích proměnných.
R	Referenční řídicí matice spektrální hustoty; požadovaná matice spektrální hustoty.
$\{s\}$	Vektor napětí pohonu budiče.
S	Matice spektrální hustoty pohonů v budiči.
S_{CD}	Matice spektrální hustoty mezi řídicím signálem a pohony budičů.
T_a	Matice zrychlení k řízení transformace prostoru.
T_s	Transformační matice pohonu v řídicím prostoru na napětí $\{s\}$ k budičům.
$Z = H^t$	Impedanční matice systému, obvykle jednotky Volt·g ⁻¹ .

DODATEK 20E.4 – PŘEHLED ALGEBRY MATIC

Matice je pole čísel seřazených v řádcích a sloupcích. Velikost matice je obvykle uváděna jako $[n,m]$ nebo $n \times m$, kde „ n “ je počet řádků a „ m “ je počet sloupců. V tomto dokumentu se rovněž používají trojrozměrné matice, kde třetí rozměr je obvykle vzorkem v časové nebo kmitočtové oblasti. Tento dodatek pojednává pouze o dvourozměrných maticích. Předpokládá se, že pokud má matice 3 rozměry, mohou být operace prováděny na každé dvojrozměrné matici podél třetího rozměru. Například pokud je matice maticí funkcí kmitočtové odezvy, budou maticové operace prováděny na každé kmitočtové linii. Definice uvedené v tomto dodatku vycházejí z informací poskytnutých především v odkazech E.5.12 a E.5.13.

- a) SDM: Matice spektrální hustoty je trojrozměrná matice. Na každé kmitočtové linii (3. index) je matice komplexní čtvercová matice. Každý diagonální prvek je autospektrém odpovídajícího prvku. Zhruba je prvek v SDM definován jako

$$G_{ji}(k) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[X_j(k, T) X_i^*(k, T)]$$

kde $G_{ji}(k)$ je křížová spektrální hustota mezi j -tým a i -tým náhodným procesem.

$X_j(k, T)$ a $X_i(k, T)$ jsou diskrétní Fourierovy transformace časových průběhů, a „ k “ je index kmitočtu. Pokud $i = j$, spektrum se nazývá autospektrém nebo výkonovým spektrem. Ve skutečnosti přesná spektrální hustota není obecně známa a používá se odhad. Někteří autoři definují prvky jako

$$G_{ij}(k) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[X_i^*(k, T) X_j(k, T)]$$

Matice SDM je hermitovská pozitivně definitní.

- b) Hermitovská matice: Matice \mathbf{A} je hermitovská, pokud jsou diagonální prvky reálná kladná čísla a odpovídající mimodiagonální prvky jsou komplexní sdružené páry:

$$a_{ii} = \text{kladné reálné číslo};$$

$$a_{ji} = a_{ij}^* = \text{conj}(a_{ij});$$

kde a_{ij} je prvek j -tého řádku, i -tého sloupce v matici \mathbf{A} .

POZNÁMKA

Všechny platné matice spektrální hustoty (SDM) jsou hermitovské.

- c) Pozitivně definitní matice a pozitivně semidefinitní matice: Pokud má čtvercová hermitovská matice \mathbf{A} všechny kladné vlastní hodnoty, matice je pozitivně definitní. Pokud matice obsahuje nulové vlastní hodnoty, matice je pozitivně semidefinitní. Choleského rozklad je možný pro všechny pozitivně definitní matice.

$$\mathbf{A} = \mathbf{L}\mathbf{L}'$$

kde \mathbf{L} je dolní trojúhelníková matice s reálnými kladnými hodnotami na diagonále. \mathbf{L}' je komplexní konjugovaná transpozice \mathbf{L} . Pokud je matice \mathbf{A} pozitivně semidefinitní, musí být výpočtu \mathbf{L} věnována zvláštní pozornost. Pokud je na diagonále \mathbf{L} nalezen nulový prvek, musí být celý sloupec

Příloha 20E
(normativní)

nastaven na nulu. Výpočet Choleského rozkladu je ve skutečnosti nejjednodušší způsob, jak zkontrolovat stav pozitivně definitní. Pokud algoritmus selže, matice **A** není pozitivně definitní

- d) Transformace pozitivně definitní matice:

$$\text{Necht' } \mathbf{B} = \mathbf{HAH}'$$

Pokud je matice **A** pozitivně definitní, **B** je pozitivně definitní.

POZNÁMKA

Všechny platné matice SDM jsou pozitivně semidefinitní nebo pozitivně definitní. Protože v měřených datech je vždy přítomen určitý šum, bude měřená SDM vždy pozitivně definitní.

- e) Normální koherence γ^2 : Normální koherence mezi dvěma signály je definována jako

$$\gamma_{12}^2 = \frac{|G_{12}|^2}{G_{11}G_{22}}$$

G_{12} je křížová spektrální hustota mezi signály a G_{11} a G_{22} jsou dvě autospektra.

Běžná normální koherence je omezena podmínkou $0 \leq \gamma_{12}^2 \leq 1$.

Koherence je měřítkem lineárního vztahu mezi signály. Pokud je koherence rovna jedné, existuje mezi signály dokonalý lineární vztah. Pokud je koherence rovna nule, signály jsou považovány za nezávislé a mezi signály neexistuje lineární vztah.

Pokud je jedna nebo více běžných koherencí v SDM rovných jedné při nějakém kmitočtu, matice je při tomto kmitočtu semidefinitní.

- f) Rozklad singulární hodnoty: Rozklad singulární hodnoty má při zkouškách MIMO několik uplatnění. Rozklad singulární hodnoty je definován jako

$$\mathbf{M} = \mathbf{USV}'$$

M je jakákoli matice. **U** a **V'** jsou ortonormální. To znamená, že

$$\mathbf{UU}' = \mathbf{I} \text{ a } \mathbf{VV}' = \mathbf{I}$$

S je diagonální matice nezáporných reálných čísel. Běžnou konvencí je uspořádání diagonálních prvků **S** v nerostoucím tvaru.

- g) Pseudoinverze: Moore Penrose pseudoinverze se často používá při řízení MIMO. Některé vlastnosti jsou popsány níže. Moore Penrose pseudoinverze lze odvodit následovně

$$\mathbf{M} = \mathbf{USV}'$$

$$\mathbf{U}'\mathbf{M} = \mathbf{U}'\mathbf{USV}' = \mathbf{SV}'$$

$$\mathbf{S}^{-1}\mathbf{U}'\mathbf{M} = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{SV}' = \mathbf{V}'$$

$$\mathbf{VS}^{-1}\mathbf{U}'\mathbf{M} = \mathbf{VV}' = \mathbf{I}$$

$\mathbf{M}^\dagger = \mathbf{VS}^{-1}\mathbf{U}'$ je známá jako pseudoinverzní matice **M**.

Příloha 20E
(normativní)

Inverze redukované \mathbf{S} je snadná, protože matice je diagonální. Pro výpočet \mathbf{S}^{-1} jsou prvky větší než tolerance invertovány a uchovány, prvky menší než tolerance jsou nahrazeny nulou.

$$\mathbf{M}\mathbf{M}^t\mathbf{M} = \mathbf{M} \text{ a } \mathbf{M}^t\mathbf{M}\mathbf{M}^t = \mathbf{M}^t$$

$$\mathbf{M}\mathbf{M}^t \text{ a } \mathbf{M}^t\mathbf{M} \text{ jsou hermitovské.}$$

Pokud počet sloupců v \mathbf{M} překročí počet řádků a řádky jsou nezávislé $\mathbf{M}\mathbf{M}^t = \mathbf{I}$. Pokud počet řádků v \mathbf{M} překročí počet sloupců a sloupce jsou nezávislé $\mathbf{M}^t\mathbf{M} = \mathbf{I}$. Podrobnější rozbor lze nalézt v souboru nápovědy pro pinv v MATLABu.

h) Hodnost matice: Hodnost matice \mathbf{M} se rovná počtu nenulových singulárních hodnot v \mathbf{M} . V numerické lineární algebře mohou být singulární hodnoty použity k určení efektivní hodnosti matice. Definuje se míra singulárních hodnot jako poměr singulárních hodnot a největší singulární hodnoty. Necht' „ r “ jsou číselné hodnoty větší než prahová hodnota. Pokud je míra menší než prahová hodnota, singulární hodnoty se nastaví na nulu. Počet nenulových singulárních hodnot ve výsledné matici je efektivní hodností matice. Efektivní hodností matice je „ r “. U čtvercové matice, pokud je „ r “ menší než počet řádků a sloupců v matici, matice se považuje za špatně podmíněnou.

i) Aproximace matice:

$$\text{Necht' } \tilde{\mathbf{M}} = \mathbf{u}\mathbf{s}\mathbf{v}'$$

kde \mathbf{s} = diagonální matice singulárních hodnot větších než prahová hodnota, která je definována jako poměr singulárních hodnot dělených největší singulární hodnotou. Necht' n = počet uchovaných singulárních hodnot. \mathbf{s} má n řádků a sloupců. \mathbf{u} je počet prvních n sloupců z \mathbf{U} . \mathbf{v}' je prvních n řádků z \mathbf{V}' .

$$\tilde{\mathbf{M}} \text{ minimalizuje } \|\mathbf{S} - \mathbf{u}\mathbf{s}\mathbf{v}'\|_F$$

Proto je $\tilde{\mathbf{M}}$ velmi užitečná aproximace matice \mathbf{M} .

j) Frobeniova norma: Frobeniova norma matice \mathbf{M} je definována jako

$$\|\mathbf{M}\|_f = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |m_{ij}|^2} = \sqrt{\text{trace}(\mathbf{A}'\mathbf{A})} = \sqrt{\sum_{i=1}^{\min(m,n)} \sigma_i^2}$$

kde σ_i jsou singulární hodnoty matice \mathbf{M} .

k) Stopa: Stopa pozitivně definitní matice je definována jako součet diagonálních prvků. Důležitou vlastností stopy, která se často používá, je

$$\text{trace}(\mathbf{A}\mathbf{B}) = \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{A})$$

l) Změna velikosti autospektra: Při generování SDM může být někdy užitečné změnit velikost autospektra a ujistit se, že výsledek zůstává pozitivně definitní. Toho lze dosáhnout násobením (zleva a zprava) diagonální matice redukčními faktory. Trojnásobný součin změní velikost autospektra při zachování koherence a fáze mezi páry kanálů beze změny.

$$\mathbf{G}_{\text{new}} = \mathbf{S}\mathbf{G}_{\text{old}}\mathbf{S}'$$

Příloha 20E

(normativní)

kde \mathbf{G}_{new} je nová pozitivně definitní matice SDM, \mathbf{G}_{old} je původní pozitivně definitní SDM, a \mathbf{S} je diagonální matice redukčních faktorů. Každé autospektrum bude změněno odpovídajícím prvkem v \mathbf{S} (viz odkaz E.5.2).

Toto je pohodlný způsob, jak vygenerovat normalizovanou SDM (diagonální prvky jsou autospektra a druhá mocnina magnitudy mimodiagonálních prvků je normální koherence a fáze je fází křížového spektra). Normalizovaný tvar se vypočítá změnou velikosti SDM na jednotkové autospektrum násobením (zleva a zprava) SDM diagonální maticí, jejíž prvky jsou inverzní druhou odmocninou autospektra. Výsledné jednotkové autospektrum je poté nahrazeno původním autospektrům.

Inverzní stav se počítá nahrazením diagonálního autospektra jedničkami a následnou změnou velikosti násobením (zleva a zprava) diagonální maticí, jejíž prvky jsou druhou odmocninou původního autospektra.

m) Důkaz 1:

Prvek v \mathbf{S}_Y je dán vztahem (n = počet vstupů a m = počet výstupů)

$$Y_{ij} = \sum_{r=1}^n \sum_{k=1}^n X_{rk} H_{ir} H_{jr}^* \quad i = 1:m \quad j = 1:m$$

Diagonální prvek je dán vztahem

$$Y_{ii} = \sum_{r=1}^n \sum_{k=1}^n X_{rk} H_{ir} H_{ir}^* = \sum_{r=1}^n \sum_{k=1}^n X_{rk} |H_{ir}|^2 \quad i = 1:m$$

Pokud je \mathbf{S}_X diagonální, $X_{rk} = 0$, pokud $r \neq k$ redukuje se na

$$Y_{ii} = \sum_{r=1}^n X_{rr} |H_{ir}|^2 \quad i = 1:m$$

Toto může být zapsáno jako soustava lineárních rovnic

$$\bar{\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{H}} \bar{\mathbf{X}}$$

Což lze vyřešit pro $\bar{\mathbf{X}}$ jako $\bar{\mathbf{X}} = \bar{\mathbf{H}}^{-1} \bar{\mathbf{Y}}$.

DODATEK 20E.5 – ODKAZY

- E.5.1 MIL-STD-810G Change Notice 1, Department of Defense Test Method Standard: Aspekty environmentálního inženýrství a laboratorní zkoušky (Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests), 15. duben 2014.
- E.5.2 IEST-RP-DTE012.2, Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institute of Environmental Sciences and Technology, Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516.
- E.5.3 AECTP-240, Edice 4, Část 2410, Vypracování harmonogramů laboratorních vibračních zkoušek (Development of Laboratory Vibration Test Schedules), 1. června 2009.
- E.5.4 Smallwood D. O., Náhodné řízení více budičů s křížovou vazbou (Multiple Shaker Random Control with Cross Coupling), Proceedings of the Institute of Environmental Sciences (IES), 18. až 20. dubna 1978, pages 341–347.
- E.5.5 Underwood M., Aplikace zkoušení s více budiči: Teorie a praxe (Multi-Exciter Testing Applications: Theory and Practice); Proceedings of the Environmental Sciences and Technology, ESTECH2002, 1. května 2002, Anaheim, CA.
- E.5.6 US Army Developmental Test Command (DTC) / US Army Redstone Test Center (RTC), Metodický návod specifikace vibrací MIMO (Methodology Study of MIMO Vibration Specification Guidance), březen 2010.
- E.5.7 Welch P. D., Využití rychlé Fourierovy transformace pro odhad výkonového spektra: Metoda založená na průměrování času na krátkých modifikovaných periodogramech (“The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Base on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms”), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Audio and Electroacoustics, Volume AU-15, Number 2 / červen 1967.
- E.5.8 IEST-RP-DTE022.1, Řízení zkoušky s více budiči: Doporučená praxe pro oddělení návrhů, zkoušek a hodnocení (Multi-Shaker Test and Control: Design, Test, and Evaluation Division Recommended Practice 022.1), 2014.
- E.5.9 Underwood M., Keller T., Použití transformace souřadnic na řízení budiče s více stupni volnosti (“Applying Coordinate Transformations to Multi-DOF Shaker Control”), Sound and Vibration Magazine, leden 2006.
- E.5.10 Fitz-Coy N., Hale M., Nagabhushan V., Výhody a problémy nadměrně aktivovaných budičích systémů (“Benefits and Challenges of Over-Actuated Excitation Systems”), Shock and Vibration Journal, Volume 17, Number 3 / 2010.

Příloha 20E
(normativní)

- E.5.11 Hale M., Fitz-Coy N., O použití lineárních akcelerometrů v laboratorní reprodukci pohybu se šesti DOF: Sjednocená analýza v časové oblasti (On the Use of Linear Accelerometers in Six-DOF Laboratory Motion Replication: A Unified Time-Domain Analysis), 76th Shock and Vibration Symposium, 2005.
- E.5.12 Golub, van Loan, Maticové výpočty (Matrix Computations), John Hopkins Press, 3rd Edition, 1989.
- E.5.13 Bendat J., Piersol A. G., Analýza náhodných dat a postupy měření (Random Data Analysis and Measurement Procedures), John Wiley and Sons, Inc, New York, 3rd Edition, 2000.
- E.5.14 Smallwood D. O., Lineární systémy s více vstupy a s více výstupy (MIMO), extrémní vstupy/výstupy ("Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Linear Systems Extreme Inputs/Outputs"), Shock and Vibration Journal, Vol. 14, Number 2 / 2007, pages 107–132.
- E.5.15 Smallwood D. O., Navrhovaná metoda pro generování matice spektrální hustoty pro vibrační zkoušku s více vstupy a více výstupy (MIMO) (A Proposed Method To Generate a Spectral Density Matrix for a Multiple Input, Multiple Output (MIMO) Vibration Test), 80th Shock and Vibration Symposium, 2010.
- E.5.16 Wirsching, Paez, Ortiz, Náhodné vibrace, teorie a praxe (Random Vibrations, Theory and Practice), Wiley 1995.
- E.5.17 Hale M., Metodika vypracování specifikace vibrací 6-DOF (A 6-DOF Vibration Specification Development Methodology), IEST Proceedings, květen 2011.

21 METODA 422 – BALISTICKÝ RÁZ

OBSAH

21.1	ROZSAH PLATNOSTI	598
21.1.1	Účel	598
21.1.2	Použití	598
21.1.3	Omezení	600
21.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	600
21.2.1	Vlivy prostředí	600
21.2.2	Výběr postupu zkoušení	601
21.2.3	Všeobecné úvahy a terminologie	604
21.2.4	Využití naměřených údajů	605
21.2.5	Posloupnost	605
21.3	NÁROČNOSTI	606
21.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	606
21.4.1	Povinné	606
21.4.2	Jsou-li požadované	606
21.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	606
21.5.1	Zkušební zařízení	606
21.5.2	Řízení zkoušky	607
21.5.3	Přístrojové vybavení	608
21.5.4	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	608
21.5.5	Příprava zkoušky	608
21.5.6	Postupy zkoušení	609
21.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK	613
21.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	613

Přílohy

Příloha 21A	BALISTICKÝ RÁZ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY	616
-------------	---	-----

21.1 ROZSAH PLATNOSTI

21.1.1 Účel

Tato metoda zahrnuje soubor balistických rázových zkoušek týkajících se obecně výměny pohybové energie mezi dvěma nebo více tělesy nebo výměny pohybové energie mezi kapalinou nebo plynem a pevným tělesem. Zkouška se provádí za účelem:

- a) poskytnutí určitého stupně jistoty, že materiál může konstrukčně a funkčně odolat málo častým rázovým jevům způsobeným vysokými úrovněmi výměny pohybové energie na konstrukční uspořádání, k němuž je materiál upevněn;
- b) experimentálního odhadu stupně křehkosti materiálu vztahující se k balistickému rázu, aby se pro ochranu konstrukční a funkční integrity materiálu mohly použít postupy ke zmírnění rázu.

21.1.2 Použití

Balistická rázová zkušební metoda simuluje přechodové rázy vysoké úrovně, které obvykle pocházejí z nárazu střel nebo jiné munice na obrněná bojová vozidla, zodolněné cíle nebo jiné konstrukce. Přechodový jev se může považovat za specifickou aplikaci přechodového nebo výbuchového rázu. Fyzikální jev je charakterizován celkovou materiálovou a mechanickou odezvou v bodě konstrukce na pružný nebo nepružný náraz. Takový náraz může vytvářet velmi vysokou hodnotu výměny pohybové energie v bodě, a to na malé konečné ploše nebo na velké ploše. Vysoká hodnota výměny pohybové energie může být způsobena srážkou dvou pružných těles nebo tlakovou vlnou působící na ploše.

21.1.2.1 Definice balistického rázu

Balistický ráz je přechodový ráz vysoké úrovně, který obvykle pochází z nárazu střel nebo jiné munice na obrněná bojová vozidla. Obrněná bojová vozidla musí odolat rázům, které jsou důsledkem nárazů neprůrazných střel velké ráže, výbuchů min a dělostřeleckých útoků vedených nepřímou střelbou, přičemž si stále udrží svou bojeschopnost. Čl. 21.7, odkaz d pojednává o vztazích mezi různými rázovými prostředím (balistický ráz, přepravní ráz, ráz na železnici atd.) pro obrněná bojová vozidla. Skutečné rázové úrovně se mění podle druhu vozidla, podle konkrétní použité munice, podle místa nárazu nebo blízkosti a podle toho, kde na vozidle se ráz měří. V této zkušební metodě neexistuje žádný záměr definovat skutečné rázové prostředí pro konkrétní vozidla. Kromě toho je třeba poznamenat, že balistická rázová technologie má dosud omezenou schopnost definovat a kvantifikovat skutečný rázový jev. Dokonce, i když je učiněn značný pokrok ve vývoji postupů měření, v běžném přístrojovém vybavení, jako například v rázových snímačích, přesto jsou rozměrné a pro použití těžkopádné. Rozvíjení analytických (výpočetních) metod pro stanovení rázových úrovní, šíření a zmírnění rázu zaostává za technologií měření. Analytické metody ve vývoji a v používání se nerozvíjely do úrovně, kde analytické výsledky jsou tak spolehlivé, že to odstraní potřebu zkoušení. Totiž předpověď balistické rázové odezvy není obecně možná až na nejjednodušší konfigurace. Pokud je obrněné vozidlo vystaveno nárazu neprůrazné munice velké ráže nebo výbuchu, v konstrukci lokálně dochází k silovému zatížení velmi vysoké intenzity a relativně krátkého trvání. Silové zatížení je lokalizované, ale vozidlo jako celek je vystaveno napětovým vlnám putujícím po povrchu a skrz konstrukci. V určitých případech se pro balistické rázové simulace používaly výbuchové rázy.

K takovému zkoušení existuje několik námitek. Vlastnosti balistického rázu jsou ukázány v následujících odstavcích.

21.1.2.2 Výměna pohybové energie balistického rázu

Balistický ráz obvykle projevuje výměnu pohybové energie mezi dvěma tělesy nebo mezi kapalinou a pevným tělesem. To obecně má za následek změnu rychlosti v nosném materiálu. Balistický ráz má část své charakterizace pod 100 Hz a velikost balistické rázové odezvy v daném bodu dostatečně daleko od zdroje balistického rázu je funkcí velikosti výměny pohybové energie. Balistický ráz bude obsahovat charakteristiku šíření vln v materiálu (asi podstatně nelineární), ale obecně vzato je materiál deformován a provázen konstrukčním útlumem jiným než je útlum materiálu přirozený. Pro balistický ráz nemusí konstrukční spoje nutně vykazovat velký útlum, protože nízkofrekvenční konstrukční odezva se obecně snadno přenáší přes tyto spoje. Při zpracování balistických rázových dat je důležitá schopnost rozeznat anomálie. Pokud jde o technologii měření, jsou měřiče zrychlení, tenzometry a snímače rázů vhodná měřicí čidla; viz čl. 21.7, odkaz a. Pro laboratorní podmínky jsou efektivní laserové rychloměry. Balistická rázová odolnost není obecně "zaprojektována" do materiálu. Výskyt balistického rázu a jeho obecná povaha se může stanovit pouze empiricky z minulých událostí založených na dobře ujasněných scénářích. Balistická rázová odezva materiálu v polních podmínkách je obecně velmi nepředvídatelná a neopakovatelná u jiného materiálu.

21.1.2.3 Fyzikální jev balistického rázu

Balistický ráz je fyzikální jev charakterizovaný celkovou materiálovou a mechanickou odezvou v bodě konstrukce na pružný nebo nepružný náraz. Takový náraz může vytvářet velmi vysokou hodnotu výměny pohybové energie v bodě, a to na malé konečné ploše nebo na velké ploše. Vysoká hodnota výměny pohybové energie může být způsobena srážkou dvou pružných těles nebo tlakovou vlnou působící na ploše. Všeobecné charakteristiky balistických rázových prostředí jsou následující:

- a) poblíž zdroje vznikající napěťové vlny v konstrukci způsobené vysokými deformačními rychlostmi v materiálu (nelineární oblast materiálu), které se šíří do blízkého pole a mimo něj;
- b) kombinované nízké a vysoké kmitočty (10 Hz až 1 000 000 Hz) a velmi širokopásmový kmitočtový vstup;
- c) velké zrychlení (300 g až 1 000 000 g) s poměrně vysokou konstrukční rychlostí a odezvou na výchylku;
- d) krátká doba trvání – méně než 180 ms;
- e) vysoké zbytkové konstrukční výchylky, rychlost a odezva na zrychlení (po události);
- f) ráz je způsobený (1) nepružnou srážkou dvou pružných těles nebo (2) mimořádně vysokým tlakem kapaliny aplikovaným po krátký časový interval na povrch pružného tělesa přímo spojeného s konstrukcí a s bodovým zdrojovým vstupem. Vstup je buď vysoce lokalizovaný jako v případě srážky nebo plošného zdrojového vstupu nebo široce rozptýlený jako v případě tlakové vlny;
- g) poměrně vysoká impedance konstrukčního řídicího bodu (P/v , kde P je síla nárazu nebo tlak a „ v “ je konstrukční rychlost). U zdroje by impedance mohla být výrazně menší, jestliže rychlost částic materiálu je vysoká;

- h) časové průběhy měřené odezvy, které jsou svým charakterem vysoce náhodné. Odezva má malou opakovatelnost a velice závisí na detailech uspořádání;
- i) rázová odezva v bodech na konstrukci je poněkud ovlivněna konstrukčními nespojitostmi;
- j) konstrukční odezva může být doprovázena teplem vytvářeným nepružným nárazem nebo tlakovou vlnou v kapalině;
- k) charakter konstrukční odezvy na balistický ráz nenaznačuje, že materiál nebo jeho součásti se mohou snadno roztrždit na prvky nalézající se v „blízkém poli“ nebo „vzdáleném poli“ balistického rázového zařízení. Obvykle je materiál nacházející se těsně u zdroje vystaven vysokým zrychlením ve vysokých kmitočtech, zatímco materiál nacházející se daleko od zdroje bude obecně vystaven vysokému zrychlení v nízkých kmitočtech jako důsledek filtrování zasahujícího konstrukčního uspořádání.

21.1.3 Omezení

Vzhledem k vysoce specializované povaze balistického rázu a značné citlivosti balistického rázu na uspořádání se zkušební metoda aplikuje teprve po pečlivém zvážení informací obsažených v čl. 21.7, odkazy c, d.

- a) Tato metoda nezahrnuje opatření pro provádění balistických rázových zkoušek při vysokých nebo nízkých teplotách. Zkouška se provede při okolní teplotě zkušebny, pokud není stanoveno jinak nebo jestliže existuje důvod věřit, že buď provozní vysoká teplota, nebo nízká teplota může zesílit balistické rázové prostředí.
- b) Tato metoda se netýká výbuchů, EMI ani druhotných tepelných jevů.

21.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

Po prostudování dokumentů obsahujících požadavky a aplikaci procesu přizpůsobení zkoušky ke stanovení, kde se v životním cyklu materiálu vyskytují balistické rázové jevy, se pro potvrzení potřeby této zkušební metody a jejího zařazení do posloupnosti ostatních metod využije následující.

21.2.1 Vlivy prostředí

Obecně platí, že balistický ráz má potenciál pro vyvolávání nežádoucích účinků na všech elektronických, mechanických a elektromechanických materiálech. Úroveň nežádoucích účinků obecně narůstá s úrovní a dobou trvání balistického rázu a klesá se vzdáleností od zdroje (bodu nebo bodů nárazu) balistického rázu. Doba trvání pro balistický ráz, který vytváří v materiálu napěťové vlny s vlnovými délkami odpovídajícími vlnovým délkám přirozeného kmitočtu mikroelektronických prvků uvnitř materiálu, bude zvyšovat nežádoucí účinky. Doba trvání pro balistický ráz, který vytváří posuv konstrukční odezvy odpovídající nízkofrekvenčním rezonancím mechanických a elektromechanických materiálů, bude zvyšovat nežádoucí účinky. Následující seznam není určen k tomu, aby byl vyčerpávající, ale poskytuje příklady problémů, které by se mohly vyskytnout, když je materiál vystaven prostředí balistického rázu.

- a) porucha materiálu jako důsledek narušení konstrukční integrity mikroelektronických čipů včetně jejich upevnění;
- b) porucha materiálu následkem odskoku kontaktů relé;

- c) porucha materiálu jako následek chybné funkce obvodové desky, zničení obvodové desky a poruchy na elektronickém konektoru. Příležitostně mohou být v důsledku balistického rázu z obvodové desky vypuzeny nečistoty, které mohou způsobit krátká spojení. Upevnění obvodových desek může být náchylné k poškození vlivem značných změn rychlosti a velkých výchylek;
- d) porucha materiálu jako následek trhlin a lomů v krystalech, keramice, epoxidech nebo skleněných povlacích;
- e) porucha materiálu v důsledku náhlých změn rychlosti konstrukčního upevnění materiálu nebo vnitřního konstrukčního uspořádání mechanického a elektromechanického materiálu.

21.2.2 Výběr postupu zkoušení

Tato zkušební metoda zahrnuje pět postupů zkoušení balistického rázu. Tabulka 21.1 uvádí souhrn typických parametrů pro každý postup zkoušení. Příloha 21A poskytuje standardní zkušební úroveň SRS a přiřazené amplitudy zrychlení pro Postupy II až IV, jestliže nejsou dostupná data o balistickém rázu měřená v polních podmínkách. S pomocí požadavků Směrnice pro zkoušku se určí, který postup zkoušení je vhodný. Ve většině případů bude volba postupu určována skutečným uspořádáním materiálu; pečlivě se zváží všechny velké konstrukční nespojitosti, které mohou posloužit ke zmírnění účinků balistického rázu na materiál. V některých případech se výběr postupu bude řídit praktičností zkoušky. Uváží se veškerá balistická rázová prostředí očekávaná v průběhu životního cyklu materiálu, jak v jeho logistických, tak provozních režimech. Při výběru postupu zkoušení se vezme v úvahu následující:

- a) Provozní účel materiálu. Z dokumentů stanovujících požadavky se určí funkce, které má materiál vykonávat buď během, nebo po vystavení prostředím balistického rázu.
- b) Okolnosti přirozeného vystavení pro balistický ráz. Okolnosti přirozeného vystavení pro balistický ráz jsou založeny na dobře vybraných scénářích z předchozí praxe a na změnách ve výskytu takových scénářů. Například pokud je obrněné vozidlo vystaveno výbuchu miny, musí se za účelem výběru vhodné zkoušky balistického rázu přijmout řada předpokladů. Konkrétně velikost miny, místo nárazu hlavní tlakové vlny, umístění materiálu ve vztahu k „bodů“ nárazu atd. Jestliže je obrněné vozidlo vystavené nárazu neprůrazné střely, konfigurace energetického vstupu bude odlišná od konfigurace vstupu z výbuchu miny, stejně jako budou účinky balistického rázu na materiál uvnitř obrněného vozidla. V každém případě se upraví každý scénář tak, aby odhadoval odezvu materiálu jako funkci amplitudové úrovně a kmitočtového rozsahu. Potom bude nezbytné se rozhodnout, které scénáře zkoušet a které zkoušení je nejkritičtější. Odezvy z některých scénářů mohou „obalit“ ostatní, což může redukovat potřebu určitých zkoušek, jako například komunikace, železnice, střelba atd. Při plánování zkoušek se nerozděluje žádná měřená nebo očekávaná odezva na balistický ráz do samostatných amplitudových a/nebo kmitočtových rozsahů využitím různých zkoušek k naplnění jednoho postupu.

TABULKA 21.1 – Typické parametry postupu simulace balistického rázu

Postup zkoušení		Maximální hmotnost zkoušeného předmětu (kg)	Zkušební šířka pásma (Hz)
I	Balistická korba a věž (BHaT)	Neomezená	Celé spektrum
II	Balistický rázový simulátor velkého rozsahu (LSBSS)	500	10 – 100 000
III	Lehký rázový stroj (LWSM)	114	10 – 3 000
IV	Rázový stroj střední hmotnosti (MWSM)	2 273	10 – 1 000
V	Dopadový stůl	18	1 – 500

21.2.2.1 Postup I – Balistická korba a věž (BHaT)

Reprodukce rázu v celém kmitočtovém spektru spojená s balistickými nárazy na obrněná vozidla se provádí střílením projektilů (ostré střelecké zkoušky) na „balistickou korbu a věž“ (BHaT) se zkoušeným materiálem namontovaným na konstrukci BHaT. Tento postup je velmi nákladný a vyžaduje, aby bylo k dispozici skutečné vozidlo nebo prototyp, stejně jako vhodná ohrožující munice. V důsledku těchto omezení se často provádí mnoho jiných postupů.

Zkoušené předměty se nainstalují na BHaT, která je kopií vozidla ve skutečném měřítku v projektovaném uspořádání a umístění. Pokud se to požaduje, hmotnost vozidla se k dosažení vhodné dynamické odezvy upravuje. Příslušná ohrožení (druh munice, vzdálenost a orientace) se postupně aplikují na korbu a/nebo věž. Tento postup se používá k vyhodnocení provozu skutečných součástí nebo vzájemného působení různých součástí během skutečných balistických nárazů. Tento postup je také používán pro stanovení skutečných rázových úrovní pro jedno určité místo, které může být nad nebo pod „standardní“ rázovou úrovní určenou v příloze 21A.

Postup I se od ostatních balistických rázových metod liší tím, že rázové úrovně nejsou známy do té doby, než se uskuteční každý konkrétní výstřel (druh munice, úhel dopadu, místo nárazu, provedení pancíře atd.) a provedou se potřebná měření. Rázové úrovně se stanovují pomocí interakce ohrožující munice a pancíře stejně jako pomocí konstrukce vozidla. Ačkoli se úrovně nemohou stanovit předem, tato metoda vytváří nejrealističtější rázové úrovně.

21.2.2.2 Postup II – Balistický rázový simulátor velkého rozsahu (LSBSS)

Zkoušení balistického rázu kompletních součástí přes spektrum od 10 Hz do 100 kHz lze provádět s využitím zařízení jako je například balistický rázový simulátor velkého rozsahu (LSBSS). Tento postup se používá pro součástky o hmotnosti až do 500 kg a je podstatně levnější než metoda BHaT z Postupu I. Tento postup se používá především ke zkoušení rozměrných, na pevný podklad montovaných součástí ve „standardní“ rázové úrovni určené v příloze 21A. Postup je účelný pro hodnocení součástí s neznámou rázovou citlivostí.

21.2.2.3 Postup III – Lehký rázový stroj (LWSM)

Součástky o hmotnosti menší než 113,6 kg a zajištěné proti otřesům k eliminaci citlivosti na kmitočty nad 3 kHz se mohou zkoušet při standardním spektru 10 Hz až 3 kHz z přílohy 21A s použitím lehkého rázového stroje (LWSM) podle MIL-DTL-901. LWSM se nastavuje na meze výchylky 15 mm. Použití LWSM je méně nákladné než simulace v celém spektru a může být vhodné, když konkrétní zkoušený předmět nereaguje na vysokofrekvenční ráz a nemůže odolat extrémní nízkofrekvenční odezvě na dopadovém stole (Postup V).

Balistický ráz se simuluje použitím nárazu kladiva. Zkoušený předmět je instalován na zkušebním kovadlinovém stole rázového stroje s využitím taktického upevnění zkoušeného předmětu. Kovadlinový stůl dostává přímý úder kladivem, který reprodukuje ve spodních kmitočtech obecné ohrožení korby nebo věže. Tento postup vytváří zkoušení „díličím spektrem“ (až do 3 000 Hz) ve standardních zkušebních úrovních určených v příloze 21A.

21.2.2.4 Postup IV – Rázový stroj střední hmotnosti (MWSM)

Součástky o hmotnosti menší než 2 273 kg a necitlivé na kmitočty vyšší než 1 kHz lze zkoušet při standardním spektru 10 Hz až 1 kHz z přílohy 21A s použitím rázového stroje střední hmotnosti (MWSM) podle MIL-DTL-901. MWSM se nastavuje na meze výchylky 15 mm. Použití MWSM může být vhodné pro těžké součástky a subsystémy, které jsou zajištěné proti otřesům a/nebo nejsou citlivé na vysoké kmitočty.

Balistický ráz se simuluje použitím nárazu kladiva. Zkoušený předmět je instalován na zkušebním kovadlinovém stole rázového stroje s využitím taktického upevnění zkoušeného předmětu. Kovadlinový stůl dostává přímý úder kladivem, který reprodukuje ve spodních kmitočtech obecné ohrožení korby nebo věže. Tento postup vytváří zkoušení „díličím spektrem“ (až do 1 000 Hz) ve standardních zkušebních úrovních určených v příloze 21A.

21.2.2.5 Postup V – Dopadový stůl

Součástky o malé hmotnosti, typicky menší než 18 kg, které jsou zajištěné proti otřesům, se mohou mnohdy hodnotit z hlediska balistické rázové citlivosti v kmitočtech až do 500 Hz s využitím dopadového stolu. Tato metoda má často za následek nadlimitní zkoušení v nízkých kmitočtech. Obrovská většina součástek, která vyžaduje na obrněném vozidle rázovou ochranu, může být bez váhání namontována s tlumením proti otřesům. Běžně dostupné pádové zkušební stroje jsou nejméně nákladné a nejpřístupnější zkušební metodou. Rázový stůl vytváří půlsinusové impulzy zrychlení, které se výrazně liší od balistických rázů. Odezva materiálu v pružném uložení může být docela dobře obalena půlsinusovým akceleračním impulzem, pokud je nadlimitní zkoušení v nízkých kmitočtech a podlimitní zkoušení ve vysokých kmitočtech přijatelné. Historicky byly tyto nedokonalosti akceptovány pro většinu balistických rázových kvalifikačních zkoušek.

Balistický ráz se simuluje nárazem vznikajícím z dopadu. Zkoušený předmět je nainstalován na stole komerčního pádového stroje s využitím taktického upevnění zkoušeného předmětu. Stůl a zkoušený předmět se shazují z vypočtené výšky. Stůl dostává přímý úder na nárazový povrch, který se blíží spodním kmitočtům obecného ohrožení korby nebo věže. Tento postup se používá pro zkoušení „díličím spektrem“

pružně uložených součástí, které mohou odolat nadlimitnímu zkoušení v nízkých kmitočtech.

21.2.3 Všeobecné úvahy a terminologie

Po rozhodnutí o výběru jednoho z pěti balistických rázových postupů, založeném na dokumentech obsahujících požadavky na materiál a na procesu přizpůsobení, se dokončí proces přizpůsobení určením vhodných úrovní parametrů, příslušných zkušebních podmínek a použitelných zkušebních metod pro tento postup. Věnuje se mimořádná pozornost posuzování detailů v procesu přizpůsobení. Tyto volby se založí na dokumentech obsahujících požadavky, a to na profilu prostředí životního cyklu, na dokumentaci provozního prostředí a údajích zajišťovaných k této metodě. Při výběru zkušebních úrovní se vezmou v úvahu následující informace.

Obecně bude zrychlení odezvy experimentální proměnná z měření pro balistický ráz. Ale to nevylučuje další měřicí proměnné, jako je například rychlost, posun nebo deformace, z toho, aby byly měřeny a zpracovávány analogickým způsobem, pokud jsou výklad, schopnosti a omezení měřené veličiny jednoznačné. Věnuje se mimořádná pozornost vysokofrekvenčnímu prostředí vytvářenému balistickým útokem, stejně jako schopnostem měřicí soustavy přesně zaznamenat odezvy materiálu. Pro účely této metody budou následující termíny užitečné pro diskusi vztahující se k analýze měření odezev ze zkoušení balistického rázu.

Účinná doba trvání přechodového jevu – „Účinná doba trvání přechodového jevu“ je minimální časový interval, obsahující všechny hodnoty časového průběhu významných amplitud začínající na šumovém prahu přístrojové soustavy právě před výchozím impulzem a postupující k bodu, kde časový průběh amplitudy je kombinací měřeného šumu a výrazně doznívající konstrukční odezvy. Obecně je pro stanovení vhodné doby trvání měření pro definování jevu balistického rázu požadován zkušený analytik. Čím delší je doba trvání balistického rázu, tím více nízkofrekvenčních dat se zachová. Hodnota časového průběhu amplitudy se může rozkládat na několik „rázů“ s rozdílnou účinnou dobou trvání přechodového jevu, i když to vypadá, že čára celkového časového průběhu obsahuje několik nezávislých jevů podobných rázu, v nichž existuje rozpad poblíž šumového prahu přístrojové soustavy mezi jevy. Každý jev se může považovat za samostatný ráz. Metoda 403 poskytuje další popis účinné doby trvání přechodového jevu.

Analýza spektra rázových odezev – Článek 21.7, odkaz b definuje maximax ekvivalentního statického zrychlení spektra rázových odezev (SRS) a poskytuje příklady SRS vypočítaných pro klasické impulzy. Hodnota SRS v daném netlumeném přirozeném oscilačním kmitočtu f_n je určena jako absolutní hodnota z maximálních kladných a záporných odezev zrychlení hmoty pro daný základní vstup do tlumeného systému s jedním stupněm volnosti. Základní vstup je měřený časový průběh rázové amplitudy o určené době trvání; určená doba trvání by měla být účinná doba trvání přechodového jevu. Pro některé rozsahy (pro zpracování dat o balistické rázové odezvě) se maxima ekvivalentního statického zrychlení spektra rázových odezev stala hlavním analytickým deskriptorem. V tomto popisu měření jsou maximax ekvivalentní statické hodnoty zrychlení zakreslené na pořadnici s netlumeným přirozeným kmitočtem systému s jedním stupněm volnosti se základním vstupem zakresleným podél souřadnice x . Výraz „ekvivalentní statické zrychlení“ lze chápat v pravém slova smyslu výhradně pro tuhé lehké součástky s izolačním upevněním.

Zkušební Metoda 403 poskytuje další popis účinné doby trvání přechodového jevu a SRS.

21.2.4 Využití naměřených údajů

Odvodí se SRS a účinná doba trvání přechodového jevu T z měření odezvy materiálu na prostředí balistického rázu nebo, je-li to vhodné, z dynamicky modelovaného měření podobného prostředí. Vzhledem k základnímu velmi vysokému stupni nahodilosti spojenému s odezvou na balistický ráz, je třeba věnovat mimořádnou pozornost dynamickému modelování podobného prostředí. Pro balistický ráz neexistují žádné známé zákony podobnosti; je to kvůli citlivosti odezvy na velikost rázu a obecnému uspořádání.

21.2.4.1 Měřená balistická rázová data jsou dostupná

Jestliže jsou měřená data dostupná, data lze zpracovat s použitím spektra rázové odezvy (SRS). Použití Fourierova spektra (FS) nebo energetické spektrální hustoty (ESD) se nedoporučuje, ale může být zajímavé ve zvláštních případech. Pro technické a historické účely se SRS stalo standardem pro zpracování naměřených údajů. V následující rozpravě se bude předpokládat, že SRS je prostředek ke zpracování dat. Obecně je maximax SRS spektrum (ekvivalentní statické zrychlení) hlavní zájmovou veličinou. S tímto podkladem se stanoví SRS požadované pro zkoušku z analýzy časového průběhu měřeného zrychlení prostředí. Po pečlivém vymezení dat k získání jistoty, že neexistují žádné anomálie v časových průbězích amplitudy, podle doporučení uvedených v čl. 21.7, odkaz a, se vypočítá SRS. Analýzy budou provedeny pro $Q = 10$ v posloupnosti přirozených kmitočtů v intervalech nejméně 1/12oktávového odstupu k překlenutí kmitočtového pásma v souladu s cílem konkrétního zkušebního postupu.

Pro statistickou analýzu jsou málokdy k dispozici dostačující údaje z polních podmínek. Proto se někdy pro vytvoření požadovaného zkušebního spektra, odpovídajícího proměnlivosti prostředí, používá amplituda přerůstající obálku dostupných spektrálních dat. Míra povoleného nárůstu amplitudy je založena na technickém posouzení a měla by se podpořit zdůvodněním takového posouzení. V těchto případech je často výhodné obalit měřené SRS vypočítáním maximax spektra přes vzorkovaná spektra a přidáním +6 dB rezervy k SRS maximax obálce. Tento amplitudový nárůst by se neměl používat pro standardní SRS zkušební úroveň uvedené v příloze 21A této metody.

21.2.4.2 Měřená balistická rázová data nejsou dostupná

Jestliže není pro částečnou konfiguraci k dispozici žádná databáze, opatrně se použije pro předepsání balistické rázové zkoušky konfigurační podobnost a všechna související naměřená data. Vzhledem k citlivosti balistického rázu na uspořádání systému a k široké proměnlivosti obsažené v měřeních balistického rázu je třeba při stanovování zkušebních úrovní balistické simulace opatrnosti. Tabulka 21.A.1 a obrázek 21.A.1 v příloze 21A poskytuje „standardní“ hodnoty pro očekávané úrovně balistických rázů pro případ, kdy nejsou k dispozici žádné výsledky měření z polních podmínek.

21.2.5 Posloupnost

Pokud není v profilu životního cyklu určeno jinak, a protože balistický ráz se běžně vyskytuje v boji a potenciálně těsně u konce životního cyklu, plánují se obvykle balistické rázové zkoušky na konci posloupnosti zkoušek. Obecně se balistické

rázové zkoušky vzhledem k jejich jedinečnosti a specializované povaze mohou pokládat za nezávislé na ostatních zkouškách.

21.3 NÁROČNOSTI

Zkušební podmínky jsou určeny v článku 21.5 a v příloze 21A.

21.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

21.4.1 Povinné

21.4.1.1 Před zkouškou

- a) druh balistického rázového zkušebního zařízení;
- b) prostředky iniciace balistického rázového zkušebního zařízení;
- c) doba trvání balistického rázu;
- d) obecné uspořádání materiálu včetně měřicích míst na materiálu nebo poblíž něj;
- e) podrobné uspořádání zkušebního systému (konfigurace zkoušený předmět / platforma) včetně:
 1. umístění balistického rázového zkušebního zařízení;
 2. umístění materiálu;
 3. konstrukční přenosové cesty mezi balistickým rázovým zařízením a materiálem a jakékoli obecné uspořádání vazeb balistického rázového zařízení na platformu a platformy na materiál včetně stanovení konstrukčních spojů.

21.4.1.2 Během zkoušky

- a) pro účely vyhodnocení zkoušky se zaznamenají odchylky od plánovaných nebo předběžných zkušebních postupů nebo úrovní parametrů, včetně jakýchkoli procedurálních odchylek, které se mohou vyskytnout;
- b) poškození zkušebního zařízení nebo zkušebních upínacích přípravků, které mohou mít za následek změnu vstupních zkušebních úrovní a vyloučení dalšího zkoušení až do výměny nebo opravy poškozených prostředků.

21.4.1.3 Po zkoušce

- a) doba trvání každého vystavení, jak se zaznamená přístroji na zkušebním upínacím přípravku nebo na zkoušeném předmětu a počet konkrétních vystavení;
- b) jakékoli odchylky v měření dat, například vysoká úroveň šumu přístrojů, ztráta snímačů nebo držáků snímačů jako důsledek zkoušení atd.

21.4.2 Jsou-li požadované

- a) podmínky klimatického kondicionování, jestliže jsou jiné než standardní laboratorní podmínky;
- b) zkušební tolerance, jestliže jsou odlišné od tolerancí uvedených v postupu zkoušení nebo doplňující tolerance.

21.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

21.5.1 Zkušební zařízení

Nejběžnější zařízení je rázový zkušební stroj s dopadovým stolem používaný pro rázové zkoušení malých předmětů. Pro větší předměty, které jsou citlivé

na vysokofrekvenční ráz, široké kmitočtové spektrum a dobře snáší pouze omezenou výchylku, mohou být užitečnými prostředky k provádění balistické rázové simulace lehký rázový stroj (LWSM) a rázový stroj střední hmotnosti (MWSM), blíže popsané v MIL-DTL-901. Pro rozměrné předměty se používá balistický rázový simulátor velkého rozsahu (LSBSS), který k pohonu desky s upevněným materiálem využívá nálož trhaviny. Zkušební zařízení pro balistické rázové zkoušky popisuje dále uvedený čl. 21.7, odkaz d.

- a) Postup I – Zařízení BHaT je pancéřovaná karoserie vozidla. Musí zahrnovat skutečné, plně funkční vozidlové pancéřování, ale nesmí mít žádný provozuschopný motor, pérování, zbraň, pásy atd. Počet funkčních součástí a celková hmotnost zařízení BHaT se upravují tak, aby se splnily požadavky každého jednotlivého zkušebního pokusu.
- b) Postup II – Zařízení LSBSS je konstrukce o hmotnosti 22 700 kg, která používá pro simulaci rázu vysoce účinnou výbušninu a vysoký hydraulický tlak; takovému rázu způsobenému nárazem střel protivníka jsou vystaveny součásti a materiál obrněných vozidel (až do hmotnosti 500 kg). Čl. 21.7, odkaz g poskytuje další informace týkající se zařízení LSBSS.
- c) Postup III – Lehký rázový stroj podle MIL-DTL-901 používá k provádění nárazu na zkušební stůl obsahující zkoušený předmět kladivo o hmotnosti 182 kg. Používají se dopady kladiva z výšky 0,3 m, 0,9 m a 1,5 m ze dvou směrů ve třech osách, jestliže není známá osa nejhoršího případu. Pokud je tato osa známá a odsouhlasená, je potřebné zkoušet pouze v ose nejhoršího případu.
- d) Postup IV – Rázový stroj střední hmotnosti podle MIL-DTL-901 používá k provádění nárazu na zkušební stůl obsahující zkoušený předmět kladivo o hmotnosti 1 360 kg. Výška dopadu kladiva je funkcí hmotnosti předmětů na zkušebním stole (zkoušený předmět a veškerá upevnění) a je určena v tabulce 1 z čl. 21.7, odkaz f, MIL-DTL-901.
- e) Postup V – Dopadové stoly mají typicky plochu pro montáž zkoušeného předmětu na kovadlině, která se shazuje ze známé výšky. U některých strojů je kovadlina urychlována pružným lanem, k dosažení požadované nárazové rychlosti se využívá hydraulického nebo pneumatického tlaku. Doba trvání a tvar (pulsinový nebo pilovitý) impulzu nárazového zrychlení je udáván „programovacím zařízením“ (pružná podložka nebo vzduchokapalinové zařízení), které postupně stanovuje kmitočtové spektrum simulovaného rázu. Zkušební Metoda 403 poskytuje k průběhu klasického rázu další pokyny.

21.5.2 Řízení zkoušky

- a) Pro pružně uložené součástky je často nezbytné stanovit přenosovou funkci systému pružného uložení. Typicky je „fiktivní břemeno“ o příslušné hmotnosti a těžišti nainstalováno na místě zkoušeného předmětu a vystaveno plné úrovni rázů. Vstupní ráz a odezvy zkoušeného předmětu se měří, aby se přezkoušela funkční charakteristika pružného uložení. Jakmile je funkční charakteristika pružného uložení ověřena, hodnocení provozního zkoušeného předmětu může začít.
- b) Předtím, než se zkoušený předmět vystaví rázu plné úrovně, provádí se typicky celá paleta „přípravných“ rázů. Pro Postup I (BHaT) se před střelbou skutečnou tlakovou municí běžně provádí výstřel nízké úrovně za účelem kontroly přístrojů. Typový výstřel sloužící ke kontrole přístrojů by měl mít

113 až 454 gramů trhaviny a měl by vybuchnout ve vzdálenosti 25 až 457 mm od vnějšího povrchu pancíře; obvykle by neměl vytvářet více než 10 % z rázu očekávaného z tlakové munice. U Postupu II (LSBSS) je obvykle před zkoušením na plnou úroveň proveden nízkourovňový výstřel pro kontrolu přístrojů. U Postupu III (LWSM podle MIL-DTL-901) se obvykle pro kontrolu přístrojů používá úder kladivem z výšky 0,3 m a jakékoli problémy s měřením se vyřeší před zahájením úderů z výšek 0,9 m a 1,5 m. U Postupu IV (MWSM podle MIL-DTL-901) se pro kontrolu přístrojů použije výška kladiva ze skupiny 1. Podobný postup se používá u Postupu V (Dopadový stůl), kde se pro kontrolu přístrojů provádí dopad nízké úrovně před prováděním rázů plné úrovně.

21.5.3 Přístrojové vybavení

Je nezbytné používat takové metody měření zrychlení nebo rychlosti, které byly ověřeny v rázových prostředích zahrnujících rázy vysoké úrovně o vysokých kmitočtech charakterizující balistický ráz. Obecně měření balistického rázu vyžadují použití nejméně dvou různých technologií měření pro ověření platnosti formou kontroly křížovými součty. Kromě toho je kmitočtové spektrum balistického rázu obvykle tak široké (10 Hz až více než 100 000 Hz), že žádný jednotlivý snímač nedokáže provést správná měření v celém spektru. Široké časové prostředí kmitočtu skýtá problém kalibrace měřicích čidel a jiných tolerancí uváděných ve Směrnici pro zkoušku. Fyzické rozměry snímače pro balistická měření, náročné prostředí a náklady mohou omezovat způsobilost měřit ve více než jedné ose. Článek 21.7, odkazy e, h poskytují další podrobnosti o měřicích přístrojích a metodách měření.

21.5.4 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušený předmět pro zkoušku balistického rázu se uspořádá tak, jak se předpokládá během provozního používání. Především je potřebné věnovat pozornost detailům upevnění materiálu ke zkušební platformě.

21.5.5 Příprava zkoušky

21.5.5.1 Předběžné plánování

Před zahájením jakéhokoli zkoušení se přezkoumají informace o předběžné zkoušce obsažené ve Směrnici pro zkoušku pro stanovení zkušebních údajů, jako například postupů, uspořádání zkoušeného předmětu, úrovní balistického rázu a počtu balistických rázů. Typické plánovací požadavky jsou uvedeny dále.

- a) Vybrat vhodný zkušební postup.
- b) Pokud je balistický ráz kalibrovanou zkouškou, stanovit příslušné úrovně balistických rázů pro zkoušku ještě před kalibrací.
- c) Zajistit, aby zařízení pro kondicionování a záznam signálu balistického rázu měla dostatečný amplitudový rozsah a šířku kmitočtového pásma. Stanovení vrcholového signálu a účelného rozsahu přístrojů může být obtížné. Obecně neexistuje žádná obnova dat z oříznutého signálu. Ale jestliže je kondicionování signálu mimo rozsah, je obvykle možné získat smysluplné výsledky pro signál 20 dB nad šumovým prahem měřicí soustavy. V některých případech mohou být vhodná redundantní měření – jedno měření mimo rozsah a jedno měření v oblasti nejlepšího odhadu vrcholového signálu. Šířka kmitočtového pásma většiny záznamových zařízení je obvykle běžně

dostupná, ale je třeba zajistit, aby vstupní filtr záznamového zařízení neomezoval kmitočtovou šířku pásma signálu.

21.5.5.2 Kontrola před zkouškou

Pro zajištění výchozích údajů vyžadují všechny zkoušené předměty provedení kontroly před zkouškou ve standardních okolních podmínkách. Kontrola se provede následujícím způsobem.

Krok 1 Uskutečnit úplnou vizuální prohlídku zkoušeného předmětu se zvláštním zřetelem na každou oblast mikroelektronických obvodů. Věnovat mimořádnou pozornost upevnění zkoušeného předmětu na platformě a možným přenosovým cestám napěťových vln.

Krok 2 Výsledky zaznamenat.

Krok 3 Instalovat zkoušený předmět do zkušební upínacího přípravku (je-li použit).

Krok 4 Provést kontrolu funkčnosti v souladu se schválenou Směrnicí pro zkoušku společně s jednoduchými zkouškami k ověření správné odezvy měřicí soustavy.

Krok 5 Zaznamenat výsledky pro porovnání se zkušebními daty.

Krok 6 Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, přistoupit k první zkoušce. Pokud nefunguje správně, vyřešit problém a začít znovu krokem 1.

Krok 7 Demontovat zkoušený předmět a pokračovat v kalibraci.

21.5.6 Postupy zkoušení

Následující postupy poskytují základ pro sběr potřebných dat týkajících se platformy a zkoušeného předmětu v prostředí balistického rázu. Protože se může použít jedno ze čtyř nebo více balistických rázových zařízení, následující pokyny musí odpovídat vybranému balistickému rázovému zařízení. Všeobecné požadavky příslušné pro Postupy II až IV jsou uvedeny v dalším textu a jsou doplněny podrobnými postupy pro každý postup zkoušení balistického rázu I až V. Podrobný níže uvedený popis zkoušek pro Postupy II až V předpokládá, že pro tyto postupy se budou využívat standardní zkušební amplitudy z přílohy 21A. Jestliže jsou pro zkoušení k dispozici naměřená data, data se nahradí tak, aby odpovídala náročnosti zkoušení podle přílohy 21A.

Pro balistické rázové Postupy II až IV se vystaví zkoušený předmět balistickému rázu odpovídající úrovně nejméně třikrát v ose orientace nejvyšší rázové citlivosti (tj. ve směru nejhoršího případu). Provede se ověření funkce součástí v průběhu každé zkoušky a po jejím ukončení. Pro kmitočty nad 1 kHz platí, že mnoho balistických rázových jevů vytváří ve všech třech osách podobné rázové úrovně. Jestliže jsou rázové úrovně známé z předchozích měření, může se rázové zkoušení přiměřeně přizpůsobit. Pokud rázová měření nejsou k dispozici, použijí se kroky a) až g) uvedené dále.

a) Zajistit, aby zkoušený předmět setrval na místě a aby stále fungoval během rázů i po nich; rázy jsou na průměrné rázové úrovni určené v tabulce 21.A.1 přílohy 21A nebo pod touto úrovní. Zkoušený předmět musí také zůstat na místě a stále fungovat po rázech, které jsou na úrovni nejhoršího případu úrovně rázu z tabulky 21.A.1 přílohy 21A nebo pod touto úrovní. Zajistit, aby materiál kritický pro přežití osádky (např. protipožární systémy) stále fungoval jak během, tak po nejhorším rázovém jevu.

- b) Nainstalovat snímač/snímače použitý/použité k měření rázu na konstrukci co nejblíže konstrukčnímu upevnění. Provést v tomto místě měření ve třech osách. Jestliže není měření ve třech osách vhodné, uskutečnit tolik měření v jedné ose, kolik je účelné.
- c) Analyzovat rázová měření v časové oblasti stejně jako v kmitočtové oblasti. Vypočítat SRS s použitím součinitele útlumu 5 % z kritického tlumení ($Q = 10$); SRS počítat v nejméně 12 kmitočtech na oktávu, úměrně rozložených v pásmu od 10 Hz do 10 kHz (např. 120 kmitočtů přibližně rozmístěných takto: 10; 10,59; 11,22; 11,89; 12,59 ... 8 414; 8 913; 9 441; 10 000 Hz).
- d) Pro zkušební ráz se má uvažovat o přijatelné simulaci požadavku, 90 % bodů v pásmu od 10 Hz do 10 kHz musí spadat do mezí uvedených v tabulce 21.A.2 přílohy 21A.
- e) Jestliže je více než 10 % SRS bodů v pásmu 10 Hz až 10 kHz nad horní mezí, vyskytlo se nadlimitní zkoušení. Jestliže více než 90 % SRS bodů je mezi horní a dolní mezí, uskutečnila se požadovaná kvalifikační zkouška. Jestliže se nic z výše uvedeného nevyskytlo a více než 10 % bodů je pod dolní mezí, provedlo se podlimitní zkoušení. Průměrování časového průběhu nebo SRS z více měřicích snímačů v téže ose není pro splnění kvalifikačních požadavků přijatelné.
- f) Pokud zkoušený předmět nebo jeho upevnění měly v průběhu přípustné zkoušky nebo podlimitní zkoušky poruchu, změnit konstrukci materiálu a/nebo jeho upevnění tak, aby se nedostatek odstranil.
- g) Znovu odzkoušet překonstruovaný materiál a/nebo jeho upevnění podle výše uvedeného postupu.

21.5.6.1 Postup I – Balistická korba a věž (BHaT)

- Krok 1 Zvolit podmínky zkoušení a nainstalovat zkoušený předmět na balistickou korbu a věž (BHaT), což může vyžadovat pro dosažení korektní dynamické odezvy navýšení hmotnosti. Při tomto postupu obecně nebude potřebné vzhledem k použití skutečných prostředků provádět žádné kalibrace. Vybrat měřicí metodu, která již byla v prostředích balistického rázu ověřena.
- Krok 2 Provést ověření funkčnosti zkoušeného předmětu.
- Krok 3 Střílet na BHaT tlakovou municí a kontrolovat, zda zkoušený předmět funguje tak, jak se požaduje. Typicky realizovat rázová měření v místě upevnění („vstupní ráz“) a na zkoušeném předmětu („odezva zkoušeného předmětu“).
- Krok 4 Zaznamenat potřebná data pro porovnání s údaji získanými před zkouškou.
- Krok 5 Pokud je nezbytné zdokumentovat poškození zkoušeného předmětu, vyhotovit fotodokumentaci.
- Krok 6 Provést provozní ověření zkoušeného předmětu. Provozně technické údaje zaznamenat.

21.5.6.2 Postup II – Balistický rázový simulátor velkého rozsahu (LSBSS)

- Krok 1 Nainstalovat zkoušený předmět na LSBSS za použití stejných upevňovacích prostředků, jaké by se použily na skutečném obrněném

vozidle. Zvolit orientaci zkoušeného předmětu se záměrem vyvolat největší ráz v ose nejhoršího jevu.

- Krok 2 Model zkoušeného předmětu se typicky instaluje do té doby, než měření potvrdí, že příslušná výbušná „receptura“ (tj. kombinace hmotnosti trhaviny, vzdálenosti exploze od povrchu a hydraulické výchylky) byla stanovena tak, že se podařilo získat rázové úrovně určené v tabulce 21.A.1 a na obrázku 21.A.1 přílohy 21A. Po prohlídce modelu nainstalovat na LSBSS skutečný zkoušený předmět.
- Krok 3 Ostřelovat LSBSS a ověřovat, zda zkoušený předmět funguje před výstřelem, během něj i po něm tak, jak se požaduje.
- Krok 4 Zaznamenat základní údaje pro porovnání s daty získanými po zkoušce.
- Krok 5 Vystřelit tři zkušební výstřely v rázové úrovni určené tabulkou 21.A.1 přílohy 21A.
- Krok 6 Zkontrolovat zkoušený předmět; vyfotografovat každé významné poškození a zaznamenat data pro srovnání s údaji získanými před zkouškou.

21.5.6.3 Postup III – Lehký rázový stroj (LWSM)

- Krok 1 Upravit upevnění pro desku kovadliny vyrovnáním čtyř zvedáků stolu, aby se dráha pohybu včetně dynamické deformace desky omezila na 15 mm. Nainstalovat zkoušený předmět na LWSM za použití stejných upevňovacích prostředků, jaké by se použily na skutečném obrněném vozidle. Zvolit orientaci zkoušeného předmětu se záměrem vyvolat největší ráz v ose nejhoršího jevu.
- Krok 2 Provést ověření před zkouškou a zaznamenat data pro porovnání s údaji získanými po zkoušce.
- Krok 3 Typicky realizovat rázová měření v místě vstupu, aby se zajistilo, že nízkofrekvenční rázové úrovně určené v tabulce 21.A.1 a na obrázku 21.A.1 přílohy 21A byly dosaženy při dopadu z výšky 1,5 m.
- Krok 4 Provést dopad kladiva z výše 0,3 m a potom provozní ověření; údaje zaznamenat.
- Krok 5 Provést dopad kladiva z výše 0,9 m a potom provozní ověření; údaje zaznamenat.
- Krok 6 Provést dopad kladiva z výše 1,5 m a potom provozní ověření; údaje zaznamenat.
- Krok 7 Opakovat krok 5 ještě dvakrát.
- Krok 8 Jestliže je osa nejhoršího jevu neznámá, viz článek 21.5.1c, opakovat kroky 2 až 6 pro každý směr každé osy až do celkových 18 dopadů kladiva z výšky 1,5 m.

21.5.6.4 Postup IV – Rázový stroj střední hmotnosti (MWSM)

- Krok 1 Upravit upevnění pro desku kovadliny vyrovnáním čtyř zvedáků stolu, aby se dráha pohybu včetně dynamické deformace desky omezila na 15 mm.
- Krok 2 Nainstalovat zkoušený předmět na MWSM za použití stejných upevňovacích prostředků, jaké by se použily na skutečném obrněném vozidle. Zvolit orientaci zkoušeného předmětu se záměrem vyvolat největší ráz v ose nejhoršího jevu, viz dále uvedený krok 7.

- Krok 3 Provést ověření před zkouškou a zaznamenat data pro porovnání s údaji získanými po zkoušce.
- Krok 4 Typicky realizovat rázová měření v místě vstupu, aby se zajistilo, že nízkofrekvenční rázové úrovně určené v tabulce 21.A.1 a na obrázku 21.A.1 přílohy 21A byly dosaženy při dopadech ze skupiny III. Viz dále uvedená tabulka 21.2, skupina III; tabulka je odvozena z MIL-DTL-901.
- Krok 5 Provést dopad kladiva z výšky skupiny I a následně provozní ověření; údaje zaznamenat.
- Krok 6 Provést dopad kladiva z výšky skupiny III a následně provozní ověření; údaje zaznamenat.
- Krok 7 Opakovat krok 6 ještě dvakrát.
- Krok 8 Jestliže je osa nejhoršího jevu neznámá, viz článek 21.5.1c, opakovat kroky 2 až 6 pro každý směr každé osy až do celkových 18 dopadů kladiva z výšky skupiny III.

21.5.6.5 Postup V – Dopadový stůl

- Krok 1 Analyticky odhadnout očekávanou odezvu skutečného protirázově upevněného zkoušeného předmětu a vypočítat spektrum rázové odezvy (SRS). Nebo na základě zkušebních údajů naměřených v polních podmínkách vypočítat úroveň provozního SRS. Vybrat půlsinusový akcelerační impulz, jehož SRS „obaluje“ očekávanou odezvu protirázově upevněného předmětu. Tato metoda obalení má typicky za následek nadlimitní zkoušení v nejnižších kmitočtech.
- Krok 2 Napevno instalovat zkoušený předmět na dopadový stůl.
- Krok 3 Provést provozní ověření a pro porovnání s daty získanými po zkoušce přechodová rázová data zaznamenat.
- Krok 4 Realizovat zkoušku použitím příslušného půlsinusového akceleračního impulzu třikrát v každém kladném a záporném směru ve všech třech osách, do celkového počtu 18 dopadů.
- Krok 5 Provést provozní ověření a pro porovnání s daty získanými před zkouškou údaje zaznamenat.

TABULKA 21.2 – Postup IV – MWSM podle MIL-DTL-901 – Výšky dopadu kladiva

Celková hmotnost na stole kovadliny (kg)	Skupina I (cm)	Skupina II (cm)	Skupina III (cm)
pod 454	23	53	53
454 až 907	30	61	61
907 až 1 361	38	69	69
1 361 až 1 588	46	76	76
1 588 až 1 814	53	84	84
1 814 až 1 905	61	91	91
1 905 až 1 996	61	99	99
1 996 až 2 087	61	107	107
2 087 až 2 177	69	114	114
2 177 až 2 268	69	122	122
2 268 až 2 359	76	137	137
2 359 až 2 449	76	152	152
2 449 až 2 540	76	168	168
2 540 až 2 812	84	168	168
2 812 až 3 084	91	168	168
3 084 až 3 357	99	168	168

21.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Analyzují se jakékoli poruchy zkoušeného předmětu pro splnění požadavků specifikace systému a vezmou se v úvahu související data. Důkladně se vyhodnotí všechny poruchy konstrukčního uspořádání zkoušeného předmětu, jako jsou například držáky, které nemusí přímo způsobit funkční poruchu materiálu, ale mohly by vést k poruše během režimů v provozním prostředí.

21.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- a) Příručka pro pořizování a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), IES-RP-DTE012.1, Institute of Environmental Sciences, 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, Illinois 60056.
- b) Kelly Ronald D., George Richman: Principy a metody analýzy rázových dat (Principles and Techniques of Shock Data Analysis), The Shock and Vibration Information Center, SVM-5, United States Department of Defense.
- c) Walton W. Scott, Joseph Bucci: Zdůvodnění specifikace a zkoušení rázu u obrněných pozemních bojových vozidel (The Rationale for Shock Specification and Shock Testing of Armored Ground Combat Vehicles), Proceedings of the 65th Shock and Vibration Symposium, Volume I, říjen 1994, s. 285–293.

- d) Walton W. Scott: Metody simulace balistického rázu pro zkoušení součástí obrněných vozidel (Ballistic Shock Simulation Techniques for Testing Armored Vehicle Components), Proceedings of the 64th, Shock and Vibration Symposium, Volume I, říjen 1993, s. 237–246.
- e) Walton W. Scott: Hodnocení pyrotechnického rázu v rámci postupů měření balistického rázu (Pyroshock Evaluation of Ballistic Shock Measurement Techniques), Proceedings of the 62nd Shock and Vibration Symposium, Volume 2, s. 422–431, říjen 1991.
- f) MIL-DTL-901E, Zkoušení silného rázu, Požadavky na lodní stroje, zařízení a systémy (Shock Tests H.I. (High Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements For), USA Department of the Navy, 20. červen 2017.
- g) Hollburg Uwe: K simulaci balistických rázových zatížení (On the Simulation of Ballistic Shock Loads), Proceedings of the 58th Shock and Vibration Symposium, Volume 1, s. 119–135, říjen 1987.
- h) Zkoušení balistického rázu (Ballistic Shock Testing), International Test Operation Procedure (ITOP) 4-2-828, 5. leden 2000.

PŘÍLOHY

Příloha 21A
(normativní)

BALISTICKÝ RÁZ – SMĚRNICE PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOST ZKOUŠKY

Tato příloha se má používat jen tehdy, jestliže nejsou v počátečních etapách programu k dispozici naměřená data a informace jsou důležité pro konstrukci materiálu. Pokud je možné získat data naměřená na materiálové platformě, doporučuje se náročnosti získané s využitím informací z této přílohy považovat za předběžné.

Údaje obsažené v této příloze sloužící pro zpracování předpovědi zkušebních úrovní, jsou založeny na obálce měřených dat a mohou být více či méně přísnější než data ze simulace vlivu prostředí. Další popis skutečných naměřených prostředí z typických platform a provozní podmínky jsou obsaženy v AECTP-240. Doporučuje se výchozí náročnosti zkoušek poskytnuté v následujících oddílech zmírnit na základě odborných posudků, jestliže se tato forma využije.

Příloha 21A poskytuje charakteristiky standardního spektra rázové odezvy (SRS) pro použití v rámci postupů balistického rázu II až IV. Příloha není vhodná pro Postupy I a V. Postup I (BHaT) je skutečná střelecká zkouška spíše než laboratorní simulace. Postup V je založen na analytické nebo měřené úrovni SRS pro pádovou zkoušku. Tabulka 21.A.1 uvádí typické vlastnosti pro měřený balistický ráz a charakteristický maximální vrchol SRS. Charakteristické průměrné, nejhorší a minimální jevy SRS spektra jsou uvedeny na obrázku 21.A.1 pro šířku pásma 10 Hz až 100 kHz. Amplitudy stanovené v tabulce 21.A.1 nebo alternativně na obrázku 21.A.1, jsou požadavky laboratorní simulace a nevyžadují žádnou obálku nebo faktor zvětšení. Tyto zkušební úrovně jsou založeny na měřených balistických rázových datech pro různá vozidla, tlakovou munici a konfigurace nárazu.

TABULKA 21.A.1 – Vlastnosti balistického rázu

Maximální ¹ rezonanční kmitočet (Hz)	Průměrný ráz			Nejhorší rázový jev		
	Vrcholová výhybka (mm)	Vrcholová rychlost (m·s ⁻¹)	Vrcholová ² hodnota SRS, a_m	Vrcholová výhybka (mm)	Vrcholová rychlost (m·s ⁻¹)	Vrcholová ² hodnota SRS, a_m
10	15	1,0	6,0	42	2,8	17
29,5	15	3,0	52,5	42	8,5	148
100	15	3,0	178	42	8,5	502
1 000	15	3,0	1 780	42	8,5	5 020
10 000	15	3,0	17 800	42	8,5	50 200
100 000	15	3,0	178 000	42	8,5	502 000

POZNÁMKY

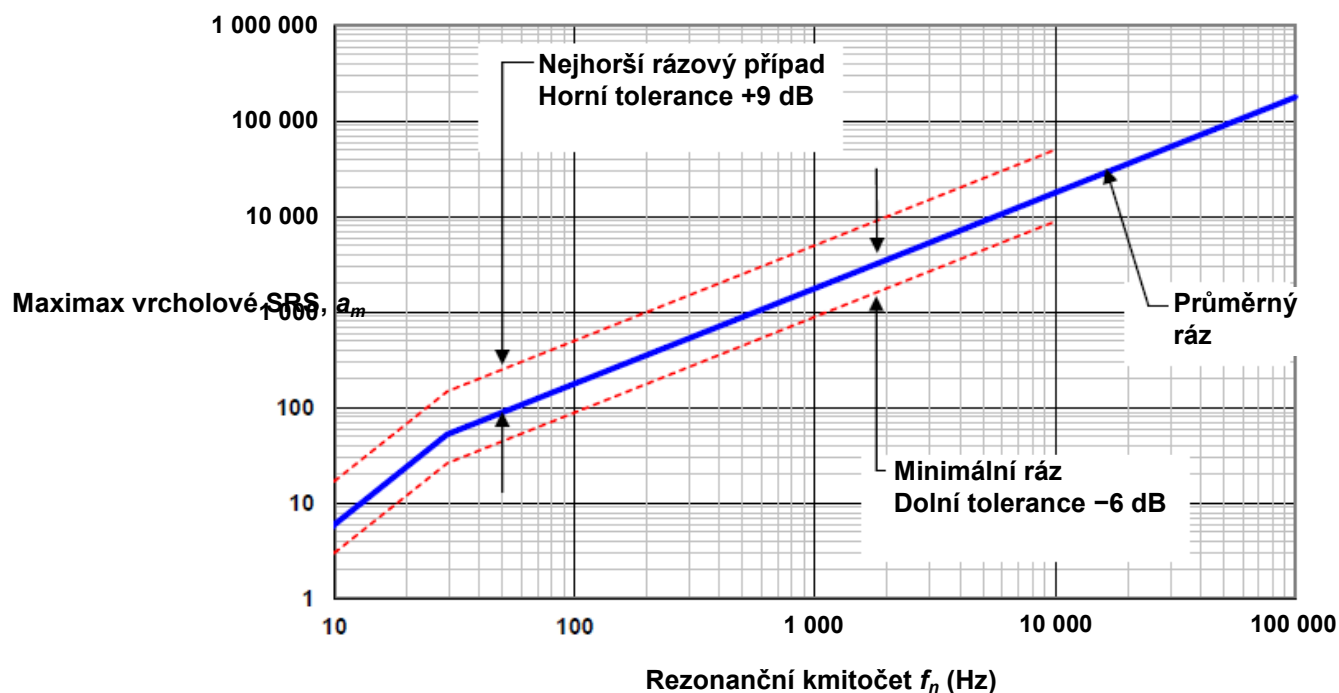
1 Jsou uvedeny zkoušky zahrnující všechny kmitočty od 10 Hz do maximálního kmitočtu.

2 Hodnoty SRS nebo ekvivalentního statického zrychlení se počítají pro součinitel útlumu rovný 5 % z kritického, $Q = 10$.

TABULKA 21.A.2 – Funkce tolerance SRS pro standardní balistický ráz

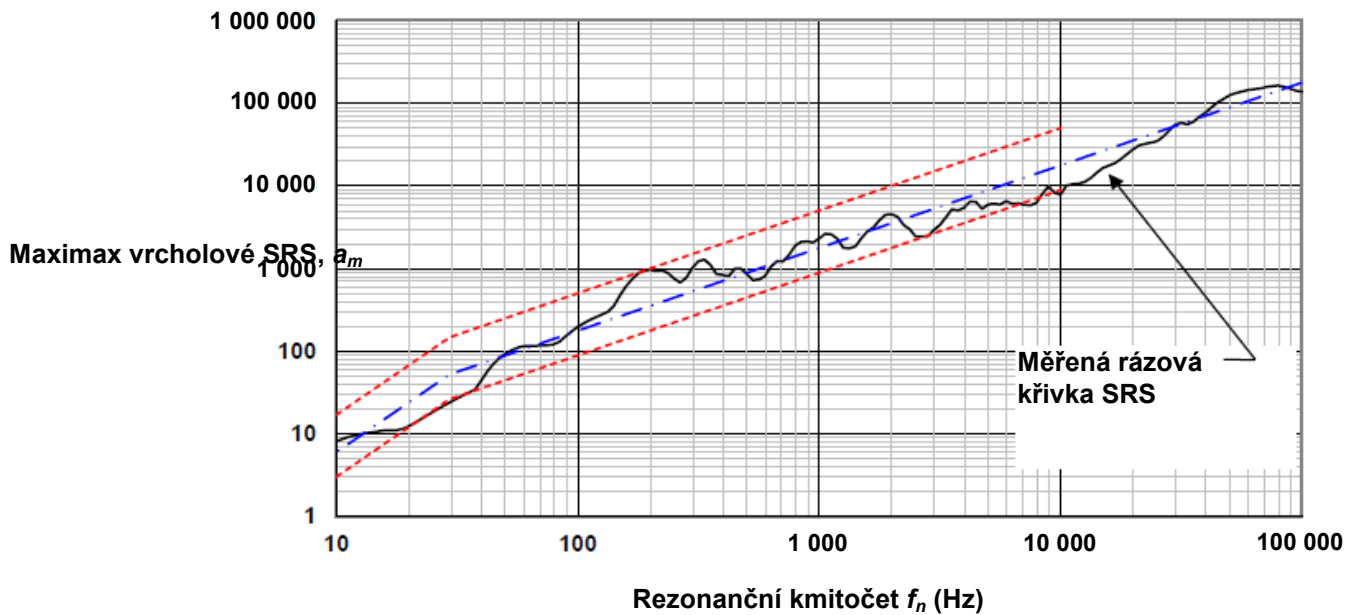
Toleranční meze SRS	Rezonanční kmitočet f_n	
	Od 10 Hz do 29,5 Hz	Od 29,5 Hz do 10 kHz
Horní mez (+9 dB)	$SRS = (0,170\ 2) f_n^2$	$SRS = (5,020) f_n$
Dolní mez (-6 dB)	$SRS = (0,030\ 26) f_n^2$	$SRS = (0,892\ 72) f_n$

Zkušební tolerance jsou uvedeny v tabulce 21.A.2 a jsou minimálním a nejhorším jevem SRS. Horní mez SRS je průměr plus 9 dB a dolní mez je průměr minus 6 dB. Toleranční meze se používají pro hranice šířky pásma požadovaného postupu zkoušení, nebo jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku. Toleranční mez se nedá použít nad 10 kHz. Zkušební metoda definuje konkrétní postupy, počet aplikovaných rázů a veškeré příslušné nepřípustnosti pro dostupná měřená zkušební data nebo další požadavky Směrnice pro zkoušku.



OBRÁZEK 21.A.1 – Zkušební úrovně a tolerance standardního balistického rázu SRS

Příloha 21A
(normativní)



OBRÁZEK 21.A.2 – Měřený balistický ráz SRS

Obrázek 21.A.2 znázorňuje laboratorní simulaci balistického rázu měřeného SRS, standardní průměrnou hodnotu, toleranční meze a zkušební kritéria „vyhověl-neyhověl“ popsané v postupu zkoušení. Pro požadovanou zkušební šířku pásma 10 Hz až 10 kHz je měřené SRS mírně mimo horní i dolní toleranční meze pro několik kmitočtů. Z výpočtů SRS jsou základní pásma mimo tolerance přibližně 20 Hz až 30 Hz, 7 kHz až 8 kHz a 9,5 kHz až 10 kHz. V tomto případě suma mimotolerančních hodnot SRS 14 bodů pod dolní toleranční mez, překračuje maximum 10 % nebo 12 bodů. Zkouška není přijatelná, protože měřené SRS je podlimitním zkoušením zkoušeného předmětu.

22 METODA 423 – REPRODUKCE ČASOVÉHO PRŮBĚHU TVARU VLNY

OBSAH

22.1	ROZSAH PLATNOSTI	621
22.1.1	Účel	621
22.1.2	Použití	621
22.1.3	Omezení	629
22.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	630
22.2.1	Použití naměřených údajů	630
22.2.2	Posloupnost	630
22.2.3	Vlivy prostředí	630
22.2.4	Postup zkoušky	631
22.3	NÁROČNOSTI	631
22.3.1	Náročnosti zkoušky	631
22.3.2	Všeobecné podmínky	631
22.3.3	Provoz zkoušeného předmětu	633
22.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	633
22.4.1	Povinné	633
22.4.2	Jsou-li požadované	634
22.4.3	Zkušební zařízení	634
22.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	634
22.5.1	Postup I – reprodukce v polních podmínkách změřeného nebo analyticky odvozeného časového průběhu vstupu / odezvy materiálu metodikou SESA	634
22.5.2	Příprava zkoušky	635
22.5.3	Podmínky instalace zkoušeného předmětu	637
22.5.4	Tolerance	637
22.5.5	Řízení	642
22.5.6	Přerušování zkoušky	643
22.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	645
22.6.1	Vyhodnocení výsledků zkoušky	645
22.6.2	Analýza dat	645
22.6.3	Protokol o zkoušce	645
22.6.4	Fyzika poruchy	646
22.6.5	Kvalifikační zkoušky	646

22.6.6	Ostatní zkoušky	646
22.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	647
22.7.1	Odkazy	647
22.7.2	Související dokumenty	647

Přílohy

Příloha 22A	UKÁZKA ANALÝZY PO ZKOUŠCE SESA PRO ODHAD TOLERANCE ZKOUŠKY	650
Příloha 22B	SOUHRN POSTUPŮ ZPRACOVÁNÍ ANALÝZY PO ZKOUŠCE A SPECIFIKACE TOLERANCE ZKOUŠKY	678

22.1 ROZSAH PLATNOSTI

22.1.1 Účel

Reprodukce časového průběhu podle metodiky „Reprodukce časového průběhu tvaru vlny“ (TWR) v laboratoři se provádí za účelem:

- a) Zajistit určitý stupeň jistoty, že materiál dokáže konstrukčně a funkčně odolat změřenému/změřeným nebo analyticky odvozenému/odvozeným zkušebnímu časovému průběhu / zkušebním časovým průběhům, kterému/kterým má být materiál pravděpodobně vystaven v prostředí provozních polních podmínek.
- b) Experimentálního odhadu úrovně křehkosti materiálu ve vztahu k formě, úrovni, době trvání nebo opakované aplikaci zkušebnímu časovému průběhu / zkušebním časovým průběhům.

22.1.2 Použití

22.1.2.1 Reprodukce časového průběhu tvaru vlny

Tato zkušební metoda pojednává o TWR z hlediska jednoho budiče / jedné osy (SESA). Přestože je velká část filosofie a terminologie zkoušek TWR společná pro SESA, více budičů / jedna osa (MESA) a více budičů / více os (MEMA), bude tato metoda omezena na zkoušky SESA. Aplikace TWR s více budiči jsou řešeny v Metodě 421. Tato metoda poskytuje pokyny pro vypracování kritérií zkušebních tolerancí pro zkoušky TWR v jedné ose. Příloha 22A řeší zkoušky TWR SESA pomocí ilustrací. Příloha 22B poskytuje přehled analytických nástrojů po zkoušce, které jsou účelné v TWR pro ověření souladu se zkušebními tolerancemi.

22.1.2.2 Reprodukce časového průběhu tvaru vlny SESA

TWR SESA sestává z reprodukce buď změřeného/změřených nebo analyticky odvozeného/odvozených (například syntetizovaného/syntetizovaných z předpovědí založených na modelu) časového průběhu / časových průběhů v laboratoři s jediným budičem v jedné ose a provádí se za účelem přesného zachování spektrálních a časových charakteristik měřeného prostředí. Bez ztráty obecnosti v analýze, která bude následovat, bude aplikace této metody sestávat z jediného časového průběhu. TWR SESA v této metodě je založena na „deterministickém/pravděpodobnostním“ rámci teorie náhodných procesů. Analyticky odvozený časový průběh je považován za zcela deterministický v podstatě bez vztahu k pravděpodobnostnímu rámci, např. pravděpodobnosti výskytu. Za měřený časový průběh v rámci pravděpodobnostního rámce se považuje realizace vzorku ze souboru možných časových průběhů generovaných zkouškou, která je mnohokrát reprodukována za stejných podmínek. Pro jediný měřený časový průběh je optimální předpokládat, že měřený časový průběh představuje průměr souboru náhodných procesů určený průměrováním v souboru záznamů při každém časovém přírůstku a má koeficient spolehlivosti 0,5. Pro více než jeden měřený časový průběh zachycený za stejných zkušebních podmínek, může být možné vytvořit soubor časového průběhu, pro který průměrování prvků souboru pro každý časový přírůstek vzorku poskytne platné odhady statistických momentů pro neznámý stochastický proces, který je základem generování časového průběhu. Tato obecná deterministická/pravděpodobnostní filosofie pro TWR SESA má důležité důsledky pro zvažování modelování časového průběhu. Reprodukce jediného časového průběhu v této metodě je obecně transparentní pro rozlišení mezi deterministickým časovým průběhem a průměrem souboru stochastického časového průběhu.

Až donedávna nebyla reprodukce časových průběhů, představujících měřené vzorky v podmínkách polního prostředí, které jsou proměnlivé v čase, a dokonce v kmitočtu, nebo v kombinaci obou změn časových/kmitočtových, pomocí běžně dostupného softwaru řídicího systému budiče možná. Nástup výkonnějšího přístrojového (hardware) / programového (software) vybavení pro zpracování dat a zavedení pokročilých strategií řízení, vedl k hardwaru a softwaru řídicího systému budiče, který umožňuje pohodlnou reprodukci rozšířených, časově proměnlivých zkušebních prostředí na jednom budiči v jedné ose v laboratoři. Metodika zkoušky TWR silně odráží koncepci „přizpůsobení zkoušky“.

22.1.2.3 Časový průběh

Obecný termín „časový průběh“ se používá v celé této metodě při pokusu o zachycení všech možností TWR použitých při reprodukci v polních podmínkách měřených (stochastických) nebo analyticky odvozených (deterministických) prostředí v laboratoři. Následujících šest forem časového průběhu patří k možným kandidátům pro zkoušení TWR.

- a) Stacionární náhodný Gaussův časový průběh s libovolnou hustotou ASD, s libovolnou dobou trvání.
- b) Stacionární náhodný negaussovský časový průběh (pro určité formy negaussovského rozdělení, např. lokální šikmost a vysoká strmost) se specifikovanou hustotou ASD, s libovolnou dobou trvání.
- c) Časový průběh rázu s krátkou dobou trvání.
- d) Nestacionární časový průběh, který má časově proměnnou amplitudu, časově proměnný kmitočet nebo obojí se střední dobou trvání (delší než časový průběh typického rázu).
- e) Nestacionární/stacionární časový průběh sledování, který se opakuje ve fixních periodách (např. ráz ze střelby).
- f) Nelineární forma časového průběhu.

Pro obecné použití má časový průběh, který má být reprodukován v TWR, podstatně kratší dobu trvání než typické stacionární náhodné prostředí a obvykle delší dobu trvání než mechanické rázy. Časový průběh TWR může tvořit libovolná kombinace forem uvedených v 22.1.2.3 „a“ až „f“ výše.

22.1.2.4 Všeobecné podmínky a terminologie

Pro účely následujícího rozboru je jediný měřený časový průběh funkcí konečné doby trvání, která má jednotný přírůstek časového vzorku a mění se amplitudu, která je poskytována v digitální formě. Pro usnadnění se uvažovaný jediný časový průběh bere jako zrychlení, ale níže uvedené zásady platí stejně dobře pro jiné zástupce časových průběhů, jako je rychlost, posun, síla atd.

Předpokládá se, že pro jakýkoli měřený fyzický jev se může měření opakovat neomezeně mnohokrát za přesně stejných podmínek omezených pouze prostředky měření, tj. zástupce souboru je pro základní náhodný proces obecně neznámý. V rozboru, který bude následovat, bude odkaz na soubor měření časového průběhu, související se základním náhodným procesem, předpokládat následující:

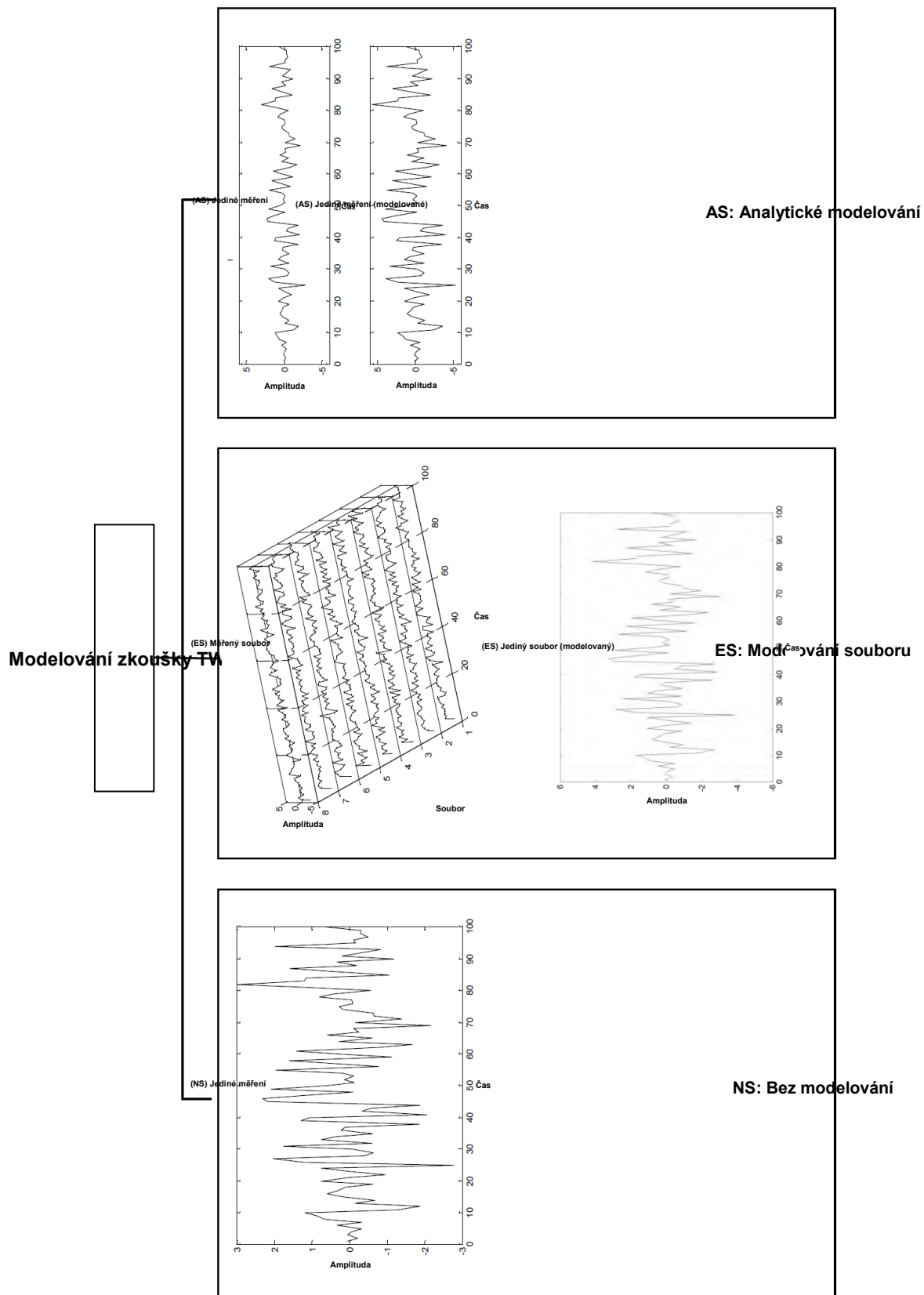
- a) Měřené časové průběhy pocházejí z jediného fyzického jevu a mají společnou korelační strukturu. To v zásadě předpokládá jednotný a shodný vzorkovací kmitočet pro všechny časové průběhy a společné počáteční a konečné body.

- b) Základní náhodný proces má deterministickou složku (nebo „signál“), kterou lze odhadnout časově proměnnou střední hodnotou souboru.
- c) Základní náhodný proces má náhodnou složku (nebo „šum“), kterou lze odhadnout časově proměnnou standardní odchylkou souboru.
- d) Pokud má soubor měřených časových průběhů pouze jeden prvek, pak se tento prvek bude považovat za deterministickou složku základního náhodného procesu nebo za střední hodnotu s koeficientem spolehlivosti 0,5, tj. tento časový průběh vzorku má pravděpodobnost 0,5, že bude větší nebo menší než skutečná střední hodnota základního náhodného procesu v každém časovém přírůstku.

POZNÁMKA

Toto není úplně správné, protože časové průběhy mají informace o sériové korelaci, které v zásadě korelují časový průběh od jednoho časového přírůstku k dalšímu časovému přírůstku, a proto se koeficient spolehlivosti může lišit v závislosti na stupni sériové korelace.

Obrázek 22.1 poskytuje schematické znázornění tří základních zkušebních režimů TWR navržených k objasnění problému modelování časových průběhů. Obecně se Metoda 423 pokouší definovat modelování časového průběhu, ale neposkytuje žádné přímé pokyny pro modelování časového průběhu; logický výklad modelování jakéhokoli časového průběhu je odsunut do postupů mimo tuto metodu. První zkušební režim TWR zahrnuje jediný měřený časový průběh (nebo zřetězení N měřených časových průběhů) reprodukováných TWR bez modelování a pro modelování (označuje se jako **NS** pro bez modelování). V tomto režimu neexistuje žádný explicitní souborový základ pro základní náhodný proces a předpokládá se, že časový průběh pro reprodukci má koeficient spolehlivosti 0,50. Druhý režim zkoušení zahrnuje soubor N měřených časových průběhů z jediného jevu představujícího funkce vzorku ze základního náhodného procesu. V tomto druhém režimu musí být jakýkoli základ pro modelování získán od N -tého prvku souboru, mimo tuto metodu, a bude obecně zahrnovat samostatné faktory modelování pro odhady deterministické a náhodné složky definované souborem (označuje se jako **ES** pro možnost modelování souboru). Třetí režim zahrnuje analyticky odvozený časový průběh, který předpokládá základ pro modelování amplitudy (pro jediný časový průběh nebo soubor), a označuje se jako **AS** pro analytické modelování. V tomto třetím režimu musí základ pro modelování vycházet z rozsahu mimo tuto metodu a je obecně „ad hoc“, jak bude definováno v čl. 22.1.2.6. Čtvrtý režim modelování s úmyslem přidat konzervativnost je možný zavedením prodloužené doby trvání zkoušky a označuje se **TS** pro modelování času. Stručně řečeno, (1) **NS** je doporučené plně přizpůsobené zkoušení TWR, pro které je tato metoda navržena tak, aby umožňovala řešení bez dovoleného modelování; (2) **ES** znamená správný způsob modelování založený na přiměřeném shromažďování informací o průběhu vzorku souboru a zdůvodnění mimo tuto metodu a (3) **AS** zjednodušuje zkoušení TWR pomocí modelování založeného na metodice mimo tuto metodu, ale obecně se nedoporučuje, pokud nebyla metodika řádně ověřena. (4) **TS** znamená konzervativnost, pokud jde o dobu trvání zkoušky přesahující základní scénář nasazení materiálu.



OBRÁZEK 22.1 – Základní zkušební režimy TWR ve vztahu k modelování časového průběhu

Modelování založené na jiné než statistice měřeného souboru se v této metodě nazývá ad hoc. Jak je naznačeno výše, vytvoření souboru znamená, že existuje odhad střední hodnoty (deterministické složky) souboru pro základní náhodný proces a „zbytkový soubor“ vytvořený odečtením střední hodnoty od každého prvku souboru (náhodná složka) pro základní náhodný proces. Deterministická složka je „ortogonální“ nebo podle definice nekoreluje s náhodnou složkou. Modelování pro naměřený soubor náhodného procesu musí brát v úvahu individuální modelování deterministických i náhodných složek. Modelování založené na extrakci parametrů z jednotlivých časových průběhů, hodnocení těchto parametrů a modelování časových průběhů na základě tohoto hodnocení parametrů je obecně ad hoc. Nazývá se „ad hoc“, protože modeluje deterministickou složku a náhodnou složku v podstatě stejně. Pro takového zástupce souboru musí být deterministická složka (signál) a náhodná složka (šum) modelována samostatně.

O základních náhodných procesech v rámci této metody se bude předpokládat, že mají vzorkované kontinuální časové průběhy, např. analogový napěťový signál, na rozdíl od diskrétních procesů, jako je Poissonův proces výpočtu průběhu. Scénář laboratorních zkoušek však může zahrnovat diskrétní základní náhodný proces prostřednictvím aplikace řady zřetězených časových průběhů při TWR. Takový scénář rozšířených laboratorních zkoušek může poskytnout úplnější informace pro posouzení konstrukční a funkční integrity materiálu. Scénáře rozšířených laboratorních zkoušek budou dále diskutovány, až budou v článku 22.3 dále popsány zkušební osy, doba trvání a počet aplikací časového průběhu / časových průběhů. Ukázalo by se rovněž, že TWR je schopna reprodukce časových průběhů, které jsou generovány v důsledku snížení rovnoměrně vzorkovaného časového průběhu pro účely únavy. Průběhy vhodné pro únavové zkoušky se obvykle skládají pouze z diskrétních bodů vrcholů a sedel a jsou výsledkem aplikace procesu počítání cyklů na rovnoměrně vzorkovaný časový průběh. Počítání cyklů a identifikace vrcholů/sedel obecně zkresluje měřený časový průběh v čase a mohou být charakterizovány jako forma nelineárního časového průběhu, který může být vynucen omezením pásma v rámci šířky pásma budiče pomocí vhodné interpolace.

22.1.2.5 Časově proměnný časový průběh – fyzikální jev

Časově proměnný průběh zachycený v měřicích signálech je způsoben měřením časově proměnného jevu. Obecně platí, že časově proměnné charakteristiky prostředí (s výjimkou rázu) jsou delší než nejnižší rezonanční kmitočty charakteristik zkoušeného materiálu. Časově proměnný průběh se může pohybovat zejména od tří sekund do několika set sekund.

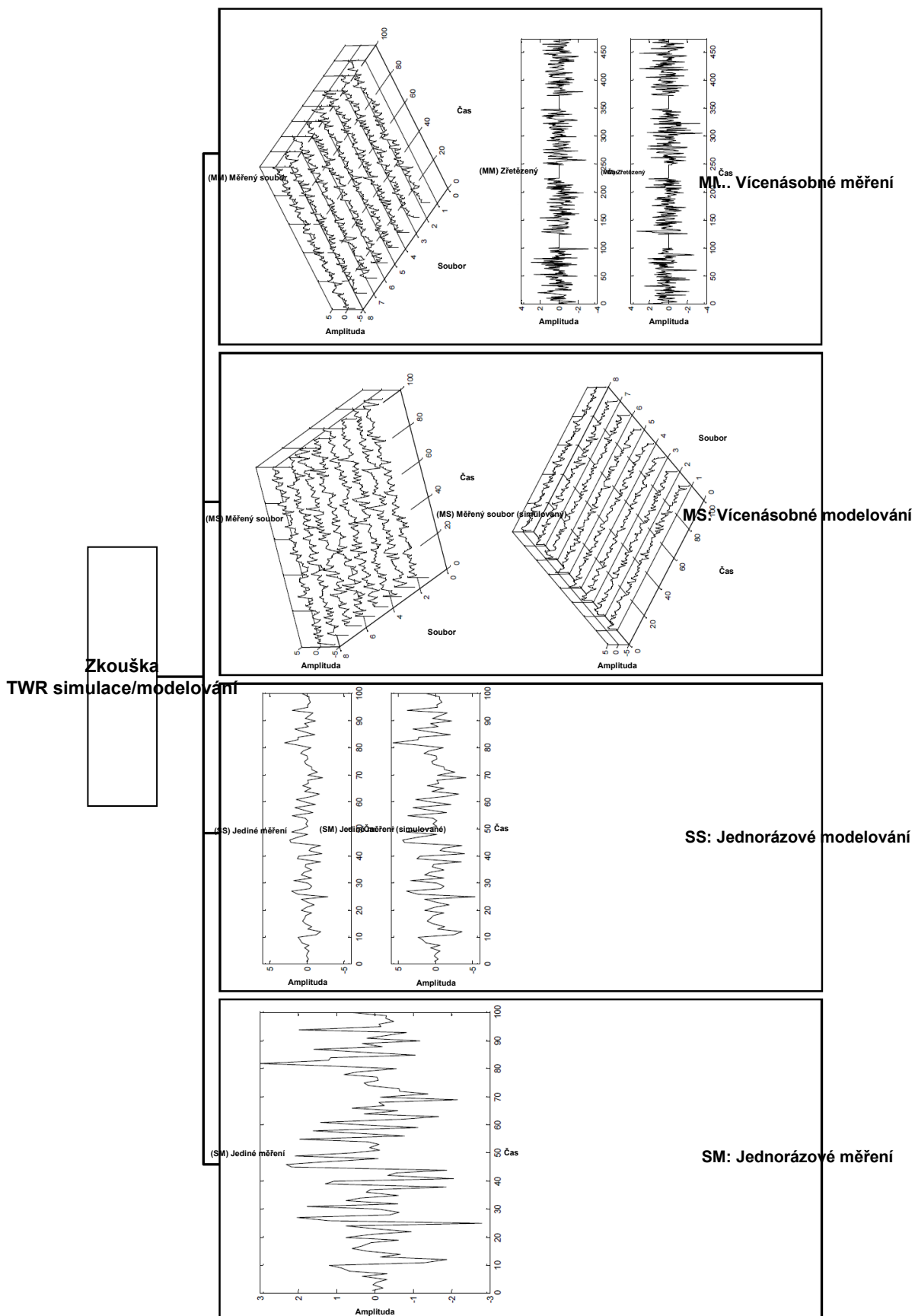
22.1.2.6 Obecná filozofie zkoušky TWR s ohledem na simulaci časového průběhu (a modelování)

Jak je zdůrazněno v čl. 22.1.2.4, modelování časového průběhu ke zvýšení konzervativnosti laboratorních zkoušek je obecně mimo rozsah této metody. Obrázek 22.2 definuje možnosti simulace v rámci TWR, včetně logického zdůvodnění modelování časového průběhu, o kterém se předpokládá, že bude uvedeno mimo tuto metodu.

Budou představeny dva termíny důležité pro pochopení simulace TWR. První termín, **vnitřní statistika**, se týká časově proměnných statistických odhadů dostupných z jediného měřeného časového průběhu (obvykle z krátkodobých odhadů). Jediný časový průběh má koeficient spolehlivosti 0,50 a časově proměnné statistické

odhady neposkytují žádné informace týkající se základního náhodného procesu vycházejícího ze souboru, s výjimkou odhadu střední hodnoty základního náhodného procesu. Druhý termín, **vnější statistika**, se týká časově proměnných statistických odhadů dostupných z více než jednoho měřeného časového průběhu, které tvoří soubor časových průběhů vzorku. V tomto případě je k dispozici nejen odhad střední hodnoty základního náhodného procesu, ale rovněž odhad jeho rozptylu na základě časového přírůstku. Pro komplexní zkoušení materiálu TWR zaměřené na LCEP specifikující analytické časové průběhy pomocí simulace, je nezbytná znalost vnější statistiky. Obecně je určování analytických časových průběhů pomocí simulace založené na vnitřní statistice velmi omezené a obvykle nespolehlivé při zkoušení základního náhodného procesu. Naopak, pokud je k dispozici velmi malý soubor vzorků měřeného časového průběhu, odhady parametrů základního náhodného procesu mají tendenci mít velké chyby zajišťující nespolehlivou simulaci. V tomto posledním případě je optimálnější scénářem zkoušky poskytnutí reprodukce každého z jednotlivých měřených časových průběhů v předem definovaném pořadí. Užitečným způsobem, jak zobrazit vnitřní versus vnější statistiku, je představit si jednosměrnou analýzu rozptylu, podle níž vnitřní statistika odpovídá „chybě uvnitř“ a vnější statistika odpovídá „chybě mezi“.

Obrázek 22.2 se pokouší objasnit problémy se simulací pro čtyři možné zkušební režimy TWR uvedené na obrázku. Kdykoli je prováděna simulace, je zřejmé, že změřený časový průběh / změřené časové průběhy je modelován / jsou modelovány jako výsledek simulace. Toto modelování se samo o sobě nepovažuje za „ad hoc“. Levá krajní část obrázku poskytuje nejjednodušší scénář zkoušky TWR s jediným měřeným časovým průběhem a bez modelování **NS** a bez simulace (s názvem **SM** pro jednorázové měření). Levá střední část obrázku poskytuje jediný změřený časový průběh s odhadem vnitřního průměrného časového průběhu, který se používá pro vytvoření simulovaného souboru sestávajícího z jediného časového průběhu, kde je implikováno **AS** (s názvem **SS** pro jednorázovou simulaci). Pravá střední část obrázku poskytuje případ více měření z jednoho jevu s následnou tvorbou souboru simulací založeného na kombinované vnitřní/vnější statistice a zahrnutým **ES** (s názvem **MS** pro vícenásobné modelování). Pravá krajní část obrázku poskytuje případ více měření z jednoho jevu a možnost zřetězení měření (za předpokladu, že informace o souboru pro simulaci jsou příliš omezené), (s názvem **MM** pro vícenásobné měření). Obecně může **MM** povolit (ale nedoporučuje se) použití „ad hoc“ modelování jednotlivých měření, které mají být zřetězena. Souhrnem, (1) **SM** je doporučené základní plně přizpůsobené zkoušení TWR, kterému je tato metoda určena; (2) **SS** je méně žádoucí přístup k reprodukci podrobností jediného časového průběhu s minimální sadou informací, která má za následek modelování jediného časového průběhu; (3) **MS** se doporučuje jako specializovaný informační / pracovní náročný, ale přesný přístup k reprodukci základního náhodného procesu podle TWR a konečně (4) **MM** se doporučuje pro formu zkoušení zřetězených časových průběhů, kde postupy modelování „ad hoc“ je lépe nepoužívat.



OBRÁZEK 22.2 – Základní kombinace simulace zkoušky TWR

Je velmi důležité, aby rozdíly uvedené na obrázcích 22.1 a 22.2 byly při zkouškách TWR rozpoznány. Kromě toho je důležité vzít na vědomí následující:

- a) Pro Gaussovy distribuované stacionární časové průběhy s nulovou střední hodnotou je modelování pouze na náhodné složce a způsoby provedení modelování pro více než jeden časový průběh jsou uvedeny v AECTP-240, Část 2410. Pro tyto časové průběhy se vypočítá statistika v kmitočtové oblasti, tj. odhady autospektrální hustoty, a stanoví se obálky.
- b) U časových průběhů s časově proměnným kvadratickým průměrem je nepravděpodobné, aby zástupce souboru základního náhodného procesu měl časově neměnný nebo konstantní rozptyl. Pokud základní náhodný proces má časově proměnný rozptyl, nelze časové průběhy vzorku modelovat konstantou a stále zachovávat pravděpodobnostní strukturu procesu.
- c) U více časových průběhů ze stejného základního náhodného procesu nemusí být vytvoření souboru přímočaré, protože je téměř nemožné získat měřené časové průběhy s přesně stejnou délkou opakováním experimentu, tj. procesu sběru dat (viz čl. 22.7.1, odkaz c). Je rovněž důležité si uvědomit, že měřené časové průběhy musí být „registrovány“ nebo „sériově korelovány“ podle nějakého fyzického jevu, aby bylo průměrování přes prvky souboru pro každý časový bod vzorku smysluplné. V případě, kde je k dispozici ověřený soubor, je možné odhadnout jak střední hodnotu, tak rozptyl náhodného procesu při každém přírůstku průměrováním přes prvky souboru. Za těchto okolností by mohlo zkoušení TWR probíhat na základě použití (a) střední hodnoty souboru, (b) „maxima“ prvků souboru, (c) všech N prvků souboru nebo (d) střední hodnoty souboru plus/minus část druhé odmocniny rozptylu souboru. Všechny čtyři z těchto možností zachovávají pravděpodobnostní strukturu neznámého náhodného procesu, který je základem realizace souboru. Je velmi důležité poznamenat, že „modelování“ střední hodnoty souboru nebo kteréhokoli prvku souboru konstantním faktorem obecně neposkytne časové průběhy, které jsou typické pro pravděpodobnostní strukturu náhodného procesu, pokud rozptyl neznámého náhodného procesu je konstantní v čase. Použití výše uvedeného bodu (d) pro zkoušení TWR vyžaduje další rozšíření. Odhad rozptylu získaný z průměrování v souboru při každém časovém přírůstku poskytne nezkraslený odhad rozptylu v časovém přírůstku s podstatnou náhodnou chybou nebo odchylkou. Modelování každého časového bodu druhou odmocninou rozptylu (s příslušným znaménkem) zabezpečí „nelineární“ transformaci modelovaného časového průběhu (protože sousední časové přírůstky mohou být modelovány faktory, které se liší o řádovou velikost). Proto je nezbytné vyhladit odhad rozptylu souboru v čase, aby se získaly přijatelné časově proměnné modelové faktory. Toto vyhlazení představuje chybu zkreslení s výhodou snížené náhodné chyby nebo variability. Bohužel existuje jen málo konkrétních návodů ohledně stupně vyhlazení, které by měly být aplikovány, a ve skutečnosti se to stává formou nelineárního regresního problému (tj. vyhlazování závisí na skutečném neznámém tvaru vyhlazovaných dat). Modelování založené na statistických odhadech souboru by měl provádět pouze odpovědný analytik dat obeznámený s teorií náhodných procesů a metodami nelineární regrese.

Toto shrnuje zdůvodnění filosofie této metody simulace a nepřímo doporučuje „modelování“ měřených časových průběhů.

Při zkoušení TWR, které zahrnuje analyticky určené deterministické informace o časovém průběhu, existuje značná pružnost zkoušky v závislosti na předpokladech, které jsou učiněny, ať už jsou to ad hoc, nebo z nějakého racionálního základu. V tomto případě se tato metoda stává pouze nástrojem pro reprodukci toho, co je generováno, bez ohledu na předpoklady pro specifikaci. Jakékoli zdůvodnění modelování amplitudy je opět mimo rozsah této metody. Prodloužená doba trvání nebo opakování je přijatelnou alternativou k modelování amplitudy.

22.1.3 Omezení

Tato metoda řeší velmi obecné časově proměnné průběhy, které nemusí být nutně identifikovatelné se základními stacionárními nebo nestacionárními náhodnými procesy. Z různých sestav přístrojového a programového vybavení (hardware/software) TWR je zřejmé, že jediným požadavkem pro použití této metody je pásmově omezený charakter časového průběhu pro reprodukci a jeho slučitelnost s pásmově omezenými charakteristikami zařízení (budiče) řízeného hardwarem/softwarem TWR. Například měřené časové průběhy, které se liší kmitočtem, lze reprodukovat, pokud je šířka pásma časového průběhu omezena na celkovou šířku pásma řídicího systému budiče. Negaussovské časové průběhy lze reprodukovat zkouškou TWR. Všechny měřené časové průběhy mohou být reprodukovány zkouškou TWR za předpokladu, že jsou v mezích možností pásma řídicího systému budiče, na který jsou použity pro účely zkoušek. Omezení této metody zahrnují následující:

- a) Specificky se nezabývá velmi dlouhými (několikahodinovými) časovými průběhy, které lze podle charakteru nazvat „stacionární“ (Gaussovy nebo negaussovské a případně mají významné diskrétní složky, např. měřená prostředí UAV). Je možné opakovat daný časový průběh vícekrát, avšak změny spojené se skutečnými opakováními experimentu v polních podmínkách nebudou zachyceny. Je důležité si uvědomit, že vzhledem k jedinému stacionárnímu Gaussovu nebo negaussovskému časovému průběhu dostatečné délky je možné (1) rozdělit tento časový průběh na více segmentů při nulových přechodech (pro každý segment je požadována téměř nulová střední hodnota) a (2) náhodně umístit tyto segmenty do permutovaného pořadí, aby vytvořily několik časových průběhů dostatečné délky, ale v podstatě stochasticky na sobě nezávislé. To může být zvláště atraktivní pro měřená stacionární negaussovská prostředí, kde musí být negaussovská „přesná momentová struktura“ zachována po dlouhou dobu. Alternativou k tomu je přesné modelování časového průběhu měření a následné stochastické generování neomezeného počtu segmentů pro vstup TWR.
- b) Netýká se explicitně opakovaných prostředí, která mohou být nestacionární povahy z důvodu výskytu prostředí. Například není poskytnut žádný rozbor o statistikách výskytu, které mohou být modelovány z hlediska nestacionárního (s proměnnou rychlostí) Poissonova procesu.
- c) Obecně se nezabývá charakteristikami časového průběhu na materiálu z hlediska „náběhové doby“ odezvy materiálu.

22.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

22.2.1 Použití naměřených údajů

Po kontrole požadavků na zkoušku z dokumentace a použití procesu přizpůsobení v AECTP-100 k určení, kde se v životním cyklu materiálu předpokládají významné časově proměnné účinky, použít tuto část k potvrzení potřeby této metody a k jejímu zařazení do posloupnosti s jinými metodami pomocí následujících zásad.

Účinky přechodu na časový průběh TWR

Metoda 423 je ve značném rozsahu v souladu s filosofií přizpůsobení zkoušky. Tato metoda je založena na použití naměřených nebo analyticky odvozených údajů. Záznam údajů by měl být dostatečně dlouhý, aby popisoval prostředí. Časový průběh s vysokou amplitudou měřený v polních podmínkách má potenciál vyvolat nepříznivé účinky na veškerý elektronický materiál. Potenciál nepříznivých účinků může souviset s časem přechodu a dobou trvání časového průběhu. Pokud je přechod na časový průběh a časové proměnné charakteristiky v časovém průběhu krátký, mohou být „doby nárůstu“ v odezvě materiálu dostatečné, aby způsobily zhoršení výkonu. Pokud je doba trvání časového průběhu ve srovnání s dobami přechodu podstatná, mohou být účinky na materiál rovněž značné, např. nízkocyklová únava. Při provádění zkoušky TWR je žádoucí, aby nástup/ukončení závažného prostředí byl konzistentní s nástupem/ukončením prostředí předpokládaného v polních podmínkách.

22.2.2 Posloupnost

- a) Všeobecné ustanovení. Jako obecný návod pro posloupnost zkoušky (viz AECTP-100, čl. 5.5) se využívá předpokládaná posloupnost situací životního cyklu.
- b) Specifické pro tuto metodu. Obecně se významné časové proměnné průběhy mohou vyskytnout kdykoli během životního cyklu materiálu a jsou obvykle rozprostřeny mezi stacionárními náhodnými a rázovými prostředími, která jsou zahrnuta v návodech uvedených v Metodách 401, případně 403.

22.2.3 Vlivy prostředí

Mechanický ráz má potenciál vyvolat nepříznivé účinky na fyzickou a funkční integritu veškerého materiálu. Obecně je potenciál poškození funkcí amplitudy, rychlosti a doby trvání rázu. Rázy obsahující kmitočet, který odpovídá přirozeným kmitočtům materiálu, zvětší nepříznivé účinky na celkovou fyzickou a funkční integritu materiálu.

Vibrace mají za následek dynamické výchylky vně i uvnitř materiálu. Tyto dynamické výchylky a související rychlosti a zrychlení mohou způsobit nebo přispět ke konstrukční únavě a mechanickému opotřebení konstrukcí, sestav a částí. Dynamické výchylky mohou navíc vést k nárazům na prvky a/nebo k narušení funkce. Některé typické příznaky problémů vyvolaných vibracemi jsou uvedeny v následujícím seznamu, který nemusí být vyčerpávající.

- a) Odřená kabeláž.
- b) Uvolněné upevňovací prvky/součásti.
- c) Přerušované elektrické kontakty.
- d) Zkratky elektrických obvodů.

- e) Deformovaná těsnění.
- f) Vadné součástky.
- g) Optické nebo mechanické vychýlení.
- h) Popraskané a/nebo nalomené konstrukce.
- i) Pohyb malých částic a vadných součástek.
- j) Malé částice a vadné součásti usazené v obvodech nebo mechanismech.
- k) Nadměrný elektrický šum.
- l) Koroze v ložiscích.

22.2.4 Postup zkoušky

Postup I: Reprodukce SESA časového průběhu vstupu / odezvy materiálu změřeného v polních podmínkách nebo odvozeného analyticky. Stanovit, zda existuje pečlivě změřený a správně zpracovaný časový průběh změřený v polních podmínkách, nebo zda existuje generovaný, rovnoměrně vzorkovaný, pásmově omezený, analytický časový průběh. Zjistit, zda lze časový průběh umístit do přenosného datového souboru, jako je například soubor ASCII, pro archivaci a reprodukci. Pokud existují v polních podmínkách změřené nebo analyticky odvozené časové průběhy prostředí pro součást materiálu, určit, zda časové průběhy mají rozšířený tvar na celém materiálu, tj. stanovit rozsah prostorové korelace.

22.3 NÁROČNOSTI

22.3.1 Náročnosti zkoušky

Úrovně a doby trvání zkoušek by měly být stanoveny pomocí předpokládaných profilů prostředí životního cyklu, dostupných údajů nebo údajů získaných přímo z programu sběru údajů o prostředí.

Je třeba poznamenat, že zvolená zkouška nemusí být nutně přiměřenou simulací celého prostředí, a v důsledku toho může být nezbytné doplnit výsledky zkoušky pomocným hodnocením.

Pro reprodukci TWR měřených časových průběhů v laboratoři jsou zkušební úrovně plně specifikovány časovými průběhy naměřenými v polních podmínkách. Pokud je k dispozici několik časových průběhů naměřených v polních podmínkách, bude zkoušející technik obecně chtít vytvořit jediný datový soubor skládající se z několika „událostí“ přiměřeně rozložených v čase. Obecně se pro tuto metodu nedoporučuje, aby se použil jakýkoli faktor, konstanta nebo cokoli jiného na „vylepšení“ měřeného časového průběhu pro zkoušku (z důvodů analyzovaných v čl. 22.1.2.6). Nedoporučuje se, aby časové průběhy, které přesahují kapacitu vibračního budiče, byly sníženy, např. běh při -3 dB. Pro kompenzaci řídicího systému budiče před zkouškou, tj. vytvoření přenosové funkce budičového systému, může být časový průběh aplikován na nižších úrovních buď na zkoušený předmět, nebo na dynamicky podobný náhradní předmět. Stanovit zkušební podmínky, zejména s ohledem na teplotu. Mimořádnou pozornost je potřeba věnovat posouzení detailů v procesu přizpůsobení. Při volbě úrovně a podmínek zkoušky vycházet z dokumentů s požadavky, profilu prostředí životního cyklu a z informací poskytnutých v rámci tohoto postupu.

22.3.2 Všeobecné podmínky

Jak bylo uvedeno v článku 22.1.2, statistické odhady definující chování nestacionárního náhodného procesu lze provádět pouze na souborech časových průběhů nestacionárního procesu. Obvykle je k dispozici pouze jeden ukázkový časový průběh ze souboru neznámého nestacionárního náhodného procesu. Je naprosto nezbytné, aby zkušební časový průběh byl plně zdokumentován tak, aby bylo možné provést přenos souboru zkušebního časového průběhu do jiných laboratoří pro použití nebo zkoušení a aby mohl být opakován v budoucnu. Zkušební časový průběh musí doprovázet informace o umístění měřicích snímačů a obecném uspořádání zkoušky. Jakýkoli takový analytický popis může být přímo spojen s porovnáním mezi časovým průběhem vstupu do řídicího systému budiče (referenční časový průběh) a výstupem zkoušky, jak je zaznamenán řídicím systémem budiče (řídicí časový průběh). Pro vyjasnění terminologické normy je „referenční časový průběh“ pouze zástupcem časového průběhu pro laboratorní zkoušku. „Řídicí časový průběh“ je digitální soubor vytvořený řídicím systémem budiče, který představuje „výsledek“ zkoušky. Tento řídicí časový průběh je vytvořen převodem analogového napěťového signálu z měřicího zařízení, např. z akcelerometru namontovaného na zkoušeném předmětu nebo na rozhraní zkoušeného předmětu v místě, kde má být reprodukován referenční časový průběh, do digitální podoby pomocí analogově digitálního zařízení pro kondicionování signálu. Je označován jako „řídicí“ časový průběh, protože právě ve srovnání referenčního časového průběhu s řídicím časovým průběhem je analogový vstup do budičeho zařízení kompenzován za účelem reprodukce referenčního časového průběhu. „Řídicí“ časový průběh představuje „nejlepší přizpůsobení“ výstupu parametrů budičeho řídicího systému prostřednictvím kompenzace na požadovaný referenční časový průběh vstupu. Příloha 22A uvádí podrobnosti o porovnání typického referenčního/řídicího časového průběhu. Úspěšná zkouška podle TWR je definována jako zkouška, při které se řídicí časový průběh porovnává s referenčním časovým průběhem v tolerančních mezích stanovených pro zkoušku. Toleranční meze mohou být specifikovány v časové oblasti, kmitočtové oblasti nebo kombinaci obou. Příloha 22B poskytuje základ pro vypracování smysluplných tolerančních mezí podle SESA TWR. Základní toleranční meze poskytuje většina dodavatelů dodávaného softwaru TWR pro účely „řízení“, tj. vhodné kompenzace systému před zkouškou, ale obecně bude zkušební laboratoř chtít zavést a implementovat některé dobře definované analytické postupy pro porovnání souboru řídicího časového průběhu se souborem referenčního časového průběhu. Přílohy 22A a 22B poskytují návod pro tuto oblast.

Zkoušený předmět může být vybaven přístroji na jiných místech než v bodě „řízení“. Ostatní měření prováděná v průběhu zkoušek se považují za monitorovací měření. Taková měření mohou být užitečná pro účely, jako jsou analytické modelování materiálu nebo pouze pro monitorování dynamických charakteristik odezvy materiálu a nebudou zde dále diskutována. Pro laboratorní zkoušení SESA umožňuje software TWR pouze porovnávání a monitorování jednotlivých měření pro účely kompenzace signálu „řízení“.

Aby byly splněny stanovené zkušební podmínky u postupu TWR, je třeba podrobit zkoušený předmět dostatečnému počtu časových průběhů vhodných situací. Obecně platí, že to kolikrát je zkoušený předmět podroben časovému průběhu dané situace, se určí z profilu životního cyklu materiálu téměř stejným způsobem, jak je stanovena

doba trvání pro stacionární náhodné vibrace nebo jak je určen počet aplikací rázů pro ráz. V každém případě, pokud nejsou k dispozici konkrétní informace z profilu životního cyklu materiálu, je potřeba podrobit zkoušený předmět nejméně třem událostem s časovým průběhem, aby byla získána důvěra v integritu zkoušeného materiálu.

22.3.3 Provoz zkoušeného předmětu

Kdykoli je to vhodné, je třeba se ujistit, že zkoušený předmět je v činnosti a funguje v průběhu zkoušení TWR. Monitoruje a zaznamenává se dosažený výkon korelovaný v čase se zkušebním časovým průběhem. Doporučuje se získat co nejvíce údajů, které definují citlivost materiálu na prostředí časového průběhu. Pokud se provádějí zkoušky k určení provozní způsobilosti při vystavení vlivu prostředí, je nezbytné uvést zkoušený předmět do provozu. V ostatních případech se zkoušený předmět provozuje, pokud je to praktické. Provoz během přepravy nebude možný téměř ve všech případech. Existují rovněž případy, kdy se provozní konfigurace mění v závislosti na fázi nasazení materiálu, nebo kdy nemusí být vyžadován provoz při vysokých úrovních časového průběhu a je pravděpodobné, že může způsobit poškození.

22.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

22.4.1 Povinné

Pro odpovídající provedení a zdokumentování zkoušek TWR se požadují následující informace. Seznamy lze přizpůsobit konkrétním okolnostem a podle potřeby jednotlivé položky přidávat nebo odstraňovat.

- a) Všeobecné. Informace uvedené v AECTP-400, Metoda 400, kapitola 3.
- b) Specifické pro tuto metodu.
 - (1) Podrobné informace o systému zkoušek (sestava zkoušeného předmětu / platformy), včetně:
 - (a) Umístění řídicího snímače pro řídicí časový průběh (pro zkoušení v jedné ose to bude bod poblíž původního referenčního měřicího bodu).
 - (b) Referenčního časového průběhu, který má být reprodukován (uložen na disku řídicího systému TWR).
 - (c) Monitorování umístění snímačů (pokud existují).
 - (d) Zkušební šířky pásma a předběžného zpracování referenčního časového průběhu, je-li třeba.
 - (e) Úrovně předběžné zkoušky přijatelné pro získání odpovídající kompenzace systému budiče.
 - (f) Kritéria pro splnění zkoušky, včetně mezních hodnot tolerance TWR, vztahujících se k referenčnímu časovému průběhu a řídicímu časovému průběhu.
 - (2) Způsobilost celého systému reprodukovat časový průběh v TWR včetně pásmově omezeného vstupu a teplotních účinků (pokud existují). Pro použití více než jednoho časového průběhu, musí být jednotlivé časové průběhy odděleny v časových intervalech, které umožňují zkoušenému předmětu zaujmout dynamický stav před zkouškou (pokud to není v rozporu s požadavky LCEP). Impedanční neshody a okrajové

podmínky jsou důležité pro posouzení schopnosti provést úspěšnou zkoušku TWR.

- c) Přízpůsobení. Nezbytné variace v základních zkušebních postupech, aby vyhovovaly požadavkům LCEP a/nebo omezením zařízení.

22.4.2 Jsou-li požadované

- a) Specifické vlastnosti zkušební sestavy (vibrační zařízení, upínací přípravek, připojení rozhraní atd.).
- b) Vliv zemské přitažlivosti a následná opatření.
- c) Hodnota přípustného rušivého magnetického pole.
- d) Tolerance, pokud se liší od čl. 22.5.4.

22.4.3 Zkušební zařízení

Používá se zkušební zařízení, včetně veškerého pomocného vybavení, které umožňuje provést zkoušku TWR s řídicími strategiemi a tolerancemi uvedenými v čl. 22.5.4. Kromě toho se použijí měřicí snímače, vybavení pro záznam a redukci dat, která jsou schopná měřit, zaznamenávat, analyzovat a zobrazovat data dostatečná pro zdokumentování zkoušky a získání všech dalších požadovaných údajů. Zejména je třeba rozhodnout o prostředcích k určení, zda byly dodrženy zkušební tolerance prostřednictvím opatření dodaných dodavatelem nebo opatřeními následného digitálního zpracování, jak je popsáno v přílohách. Pro zkoušení TWR je důležité, aby všechna měření a monitorování fungování zkoušeného předmětu byly časově korelovány.

22.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

22.5.1 Postup I – reprodukce v polních podmínkách změřeného nebo analyticky odvozeného časového průběhu vstupu / odezvy materiálu metodikou SESA

Reprodukce SESA, v polních podmínkách změřeného časového průběhu představujícího vstup do materiálu nebo odezvu materiálu, uvažuje pouze nemodelovaný měřený časový průběh v laboratoři s jediným budičem v jedné ose nebo mechanickým stupněm volnosti.

Předběžné kondicionování

Zkoušený předmět by měl být stabilizován podle svých počátečních klimatických a jiných podmínek, jak je stanoveno ve Směrnici pro zkoušku. Celková doba trvání vystavení materiálu teplotnímu kondicionování pro program zkoušky by měla být kratší než předpokládaná doba životnosti jakékoli součásti materiálu. Celková doba vystavení musí být stanovena na základě součtu doby předběžného kondicionování, času v pohotovostním režimu a skutečné doby laboratorních zkoušek. Celková doba vystavení delší než životnost materiálu, může vyvolat zrychlený způsob poruchy materiálu nebo znehodnocení materiálu, která nesouvisí se simulovanými podmínkami zkoušky vlivu prostředí. Zkoušení energetických nebo chemicky reagujících materiálů, které se za zvýšených teplot znehodnocují, by měla být věnována zvýšená pozornost.

Pro stanovení celkové doby vystavení materiálu působení prostředí je nutné posouzení technika programu zkoušek pro každou fázi zkoušek vlivu prostředí, mechanickou, klimatickou a elektrickou a každou další pohotovostní dobu před konečnými provozními nebo výkonovými zkouškami. Pohotovostní doba nebo doba

předběžného kondicionování, jako je udržování předmětu při teplotě kondicionování přes víkend, může mít významný dopad. Skutečné zkušební podmínky se týkají doby skladování a provozních zkoušek při vysokých teplotách, vysokoteplotního vsakování během vibrací a případně zkoušek slunečním zářením. AECTP-200 poskytuje další pokyny ke zrychlenému stárnutí.

22.5.2 Příprava zkoušky

Pečlivě zkontrolovat platnost referenčního časového průběhu. Zajistit, aby referenční časový průběh byl omezen pásmem podle limitů pásma programového vybavení (software) budiče a řídicího systému. Odhadnout požadavky na sílu na základě špičkového zrychlení v referenčním časovém průběhu a celkovou hmotnost, kterou má budič pohánět, a porovnat ji s mezními silami budiče. Pokud je to možné, integrovat časový průběh zrychlení pro získání průběhu rychlosti, a následně integrovat průběh rychlosti, aby se získal průběh posunu pro zajištění, že budič je schopen reprodukovat časový průběh zrychlení bez dopadu na zastavení činnosti budiče. Nárazová zastavení budiče, dokonce i při odpruženém hydraulickém aktuátoru, povede obvykle k urychlení poškození materiálu. Je-li integrace neúčelná nebo by se měla považovat za pravděpodobně nepřesnou, lze systém provozovat pomocí makety odpovídající hmotnosti, aby se určilo, zda je k dispozici dostatečný zdvih budiče. Obecně by měly být ověřeny odhady dodavatele softwaru pro maximální rychlost a posun a měly by být použity některé zdokonalené postupy zpracování signálu.

Upozornění

Integrace je obtížný úkol, který může poskytnout nespolehlivé odezvy. Pomocí techniky, jakou je vlnková transformace, se doporučuje odstranění předpětí stejnosměrného proudu nebo posun velmi nízkého kmitočtu, který klesne pod požadovaný minimální kmitočet, aniž by došlo k fázovému zpoždění.

22.5.2.1 Předběžné kroky

Rozhodování o strategii kompenzace referenčního časového průběhu při TWR, tj. určení napětí pohonu budiče, je velmi důležitý a potenciálně časově náročný úkol. Musí být jasně pochopen přístup dodavatele zařízení ke kompenzaci referenčního časového průběhu. Musí být jasně pochopeny výhody a nevýhody strategií redukce chyb kompenzace času a kmitočtu. Okrajové podmínky a impedanční neshody téměř vždy vyžadují maximální využití všech softwarových strategií dodavatele pro kompenzaci. Použití kluzných stolů budiče představuje zvláštní problémy pro kompenzaci referenčního časového průběhu. Dodavatelský software obecně umožňuje kompenzaci na (1) pásmově omezeném náhodném signálu, (2) snížené úrovni referenčního časového průběhu, nebo (3) úplné úrovni referenčního časového průběhu v průběhu zkoušky, nebo akumulovaného z předchozího zkoušení v úplném rozsahu. Některý dodavatelský program (software) může povolovat různé kompenzační funkce (přenosové funkce) v různých částech referenčního časového průběhu. Doporučuje se, aby zkoušení bylo zpočátku prováděno na dynamickém simulačním předmětu, který představuje dynamické vlastnosti zkoušeného materiálu, aby bylo zajištěno, že referenční časový průběh může být správně kompenzován a přesně reprodukován. Je třeba pamatovat, že šířka pásma řídicího časového průběhu odráží odezvu dynamického simulačního předmětu nebo materiálu a může být podstatně větší než šířka pásma referenčního časového průběhu. „Řízení“ TWR je obecně aktivní pouze na šířce pásma referenčního časového průběhu, což umožňuje nekompenzovanou odezvu mimo tuto šířku pásma. Dodavatelský software

může povolit řízení za hranici pásma referenčního časového průběhu. Pokud lze včas zjistit rozdíly v šířce pásma (referenční vzhledem k řídicímu), bude to užitečné při vyhodnocování výsledků zkoušky, zejména s ohledem na splnění zkušebních tolerancí.

22.5.2.2 Předběžná kontrola

Ověřit, že před zahájením zkoušky je stanovena každá z následujících položek kontrolního seznamu.

- a) Požadavky na zkušební upínací přípravky.
- b) Požadavky/postup pro kontrolu způsobilosti zkušebních upínacích prostředků.
- c) Požadavky/postup pro kontrolu způsobilosti zkoušeného předmětu / zkušebních upínacích prostředků.
- d) Korelace míst řízení a monitorování měření s uspořádáním, pro které byl získán referenční časový průběh.
- e) Tolerance zkoušky.
- f) Požadavky na kombinovaná prostředí.
- g) Časový plán / časové plány zkoušky a doba trvání vystavení předmětu působení vlivu prostředí.
- h) Osy vystavení předmětu působení vlivu prostředí.
- i) Postupy zastavení zkoušky kvůli problémům se zkušebním zařízením nebo zkoušeným předmětem, poruchám atd.
- j) Postup obnovy přerušení zkoušky (viz čl. 22.5.6).
- k) Kritéria dokončení zkoušky včetně případného dodatečného zpracování pro upřesňující posouzení tolerance (STTR).
- l) Možnosti splnění požadavků zkoušky (síla, zrychlení, rychlost, posun). V případě potřeby vyžádání schválení změny. Zdokumentování jakékoli změny.
- m) Přípustné úpravy zkoušeného předmětu a zkušebních upínacích prostředků (pokud existují); musí být zdokumentovány v Programu zkoušek a protokolu o zkoušce.
- n) Přiměřené požadavky na ukládání digitálních dat.

22.5.2.3 Specifický postup

Následující kroky poskytují základ pro sběr nezbytných informací pro zkoušení TWR.

Postup I – reprodukce v polních podmínkách změřeného nebo analyticky odvozeného časového průběhu vstupu / odezvy materiálu metodikou SESA.

- Krok 1 Zvolit zkušební podmínky a namontovat zkoušený předmět (nebo dynamický simulátor předmětu) na budič vibrací. Zvolit akcelerometry a analytické postupy, které se řídí pokyny uvedenými v článku 22.7.1, odkaz b.
- Krok 2 Provést provozní kontrolu zkoušeného předmětu za standardních podmínek okolního prostředí, je-li třeba. Pokud zkoušený předmět funguje uspokojivě, pokračovat krokem 3. Pokud ne, vyřešit problémy a tento krok opakovat.
- Krok 3 Zkoušený předmět (nebo dynamický simulátor) podrobit procesu identifikace systému, který určuje kompenzované napětí pohonu budiče.

To může zahrnovat pečlivý pohled na součásti referenčního časového průběhu, tj. stacionární vibrace, rázy, přechodové vibrace; a stanovení vlastností potenciální časové varianty kompenzační funkce. Pokud je použit dynamický simulátor, pak po kompenzaci vyměnit dynamický simulátor za zkoušený předmět.

- Krok 4 Zkoušený předmět podrobit v jeho provozní sestavě kompenzovanému tvaru vlny. Často je žádoucí provést počáteční běh na menší než plné úrovni, aby byla zajištěna správná dynamická odezva a ověřena funkčnost přístrojového vybavení.
- Krok 5 Zaznamenat potřebné údaje a zvláštní pozornost věnovat ukazateli zkušební chyby dodaného komerčního softwaru a obecně řídicímu časovému průběhu zrychlení, který lze následně zpracovat, pro prokázání uspokojivé tolerance.
- Krok 6 Provést provozní kontrolu zkoušeného předmětu a zaznamenat údaje o výkonu, je-li třeba. Pokud je zaznamenána porucha, postupovat podle pokynů v čl. 22.5.6.2.
- Krok 7 Opakovat kroky 4, 5 a 6 pro počet reprodukcí, který je stanoven v dokumentu s požadavky, nebo minimálně třikrát pro statistickou spolehlivost za předpokladu, že během zkoušky bude zachována integrita sestavy zkoušky.
- Krok 8 Zdokumentovat série zkoušky včetně uložení všech řídicích a monitorovacích digitálních časových průběhů a analyzovat výsledky podle článku 22.6.

22.5.3 Podmínky instalace zkoušeného předmětu

Zkoušené předměty se mohou různit od součástí materiálu po konstrukční sestavy obsahující několik různých podsestav. V důsledku toho musí instalační postupy zohlednit následující:

- Upevnění zkoušeného předmětu by mělo simulovat skutečné upevnění v provozu (včetně izolátorů vibrací a případně utahovacího momentu). Předměty namontované na pryžových izolačních systémech mohou vyžadovat monitorování teploty izolátoru s plánovaným přerušením zkoušky, aby se zabránilo přehřátí a nepřírozené poruše izolátoru nebo nereálnému přenosu energie do zkoušeného předmětu.
- Všechna připojení (kabely, potrubí atd.) by měla být nainstalována tak, aby na zkoušený předmět působila napětí a deformace podobné těm, které se vyskytují v provozu.

Rovněž je třeba uvážit následující:

- Možnost vystavení zkoušeného předmětu působení prostředí současně podél několika os pomocí více než jednoho generátoru vibrací (další pokyny viz Metoda 421).
- Rezonance materiálu.
- Směr zemské přitažlivosti nebo faktor zatížení (mechanizmy, izolátory vibrací atd.) musí být zohledněny kompenzací nebo vhodnou simulací.

22.5.4 Tolerance

Obecné filosofické pojednání. V tomto bodě metodiky zkoušení TWR není specifikace tolerance zkoušky dobře kvantifikována. Vypracování tolerance zkoušky pro TWR je založeno na odlišné filozofii laboratorní zkoušky na rozdíl od filozofie zkoušky obsažené v Metodách 401 a 403. Důvod této změny ve filozofii je zakotven v realizaci zkoušení TWR. Zkoušení TWR může zahrnovat reprodukci kombinace stacionárního Gaussova, stacionárního negaussovského a nestacionárního měřeného prostředí v rámci jednoho časového průběhu označeného jako referenční časový průběh. Specifikace tolerance se může vztahovat k aktuální specifikaci tolerance v Metodách 401 a 403, nebo se může nezávisle stanovit na základě povahy zkoušení TWR. Především je důležité poznamenat, že TWR neposkytuje „**strategii řízení tvaru vlny**“, která znamená vyhovění pro řídicí časový průběh každé z časových/amplitudových souřadnic každého bodu v referenčním časovém průběhu (vyhovění s určitou předem stanovenou tolerancí amplitudy, přičemž zcela splňuje časové omezení vzorkování). Sestavy hardwarového/softwarového vybavení řízení budiče a zpětné vazby k dosažení tohoto požadavku na šířku pásma 2 000 Hz nejsou v současné době k dispozici. TWR implicitně „průměruje“ informace o referenčním časovém průběhu (tvaru vlny) jak v čase, tak i na kmitočtu. Pro časové a kmitočtové průměrování existují dva zdroje. Prvním zdrojem je kompenzace tvaru vlny napěťového pohonu pomocí **lineární konvoluce** odhadu funkce impulzní odezvy budičového systému s referenčním časovým průběhem. Podmínka linearity systému není téměř nikdy splněna, takže referenční časový průběh je průměrován v čase prostřednictvím lineární konvoluce (na rozdíl od zajištění konvoluce pomocí dvourozměrné nestacionární/nelineární funkce impulzní odezvy, která se okamžitě mění v čase). Druhým zdrojem je implicitní a téměř nevyhnutelné průměrování významného množství energie ze signálů mimo šířku pásma referenčního časového průběhu (tj. šířku pásma pro řízení TWR). Tyto dva zdroje časového/kmitočtového průměrování vážně omezují specifikaci meze tolerance amplitudy, zohledněním časového bodu (nebo přírůstku) po časovém bodu (nebo přírůstku), mezi referenčními a řídicími časovými průběhy. Zkušenosti ukázaly, že rozdělení časových bodů podle časových rozdílů mezi body referenčních a řídicích časových průběhů je téměř vždy negaussovské, což vede k potřebě komplexní specifikace a interpretace tolerance. I když se to může zdát významným omezením pro provádění zkoušení TWR, je důležité si uvědomit, že středem zájmu TWR je reprodukce stochastického prostředí polních podmínek, u kterého má kterýkoli měřený časový průběh vzorku (z potenciálně nekonečného počtu takových průběhů) nulovou pravděpodobnost výskytu. Protože přesná struktura pravděpodobnosti „**skutečného**“ prostředí polních podmínek je obecně neznámá, znamená to, že specifikace tolerance zkoušky může být docela široká a cíl zkoušky (ať už je to konstrukční integrita nebo funkční schopnost) může být splněn současně. V nejširší interpretaci to může hraničit se závěrem, že pokud referenční a řídicí časové průběhy jsou vykresleny vedle sebe, vizuálně „vypadají podobně“, pak byla splněna tolerance, pokud jde o teorii náhodných procesů a funkce vzorků, i když rozdíl amplitudy, časový bod po časovém bodě (TPP), mezi referenčními a řídicími průběhy může být značný. Při zvažování tolerance pro tuto metodu, i když TPP poskytuje zajímavé zobrazení vykreslením referenčního časového průběhu vzhledem k řídicímu časovému průběhu podél ortogonálních os (viz příloha 22A), se nedoporučuje, aby srovnání TPP bylo hlavním určujícím faktorem pro splnění tolerance zkoušky. Místo toho se doporučuje, aby se pro specifikaci tolerance použily časové a kmitočtové průměrné odhady provedené ve stejném časovém rámci na referenčních a řídicích časových průbězích. Zejména se doporučuje, aby se průměry založené na kmitočtu integrované do odhadu ASD,

SRS a průměry založené na čase integrované do odhadu kvadratického průměru (nebo střední kvadratické hodnoty) použily ve specifikacích tolerance, kdykoli je to možné. Metody 401 a 403 zahrnují zkušební tolerance odhadů ASD a SRS. Tolerance v těchto dvou metodách lze snadno interpretovat a obecně se při zkoušení TWR snadno splní. Pokud jde o průměry založené na čase, je důležité si uvědomit, že zatímco střední kvadratická hodnota rozdílu mezi dvěma nezávisle distribuovanými Gaussovými náhodnými proměnnými je funkcí druhé odmocniny součtu jejich rozptylů, rozdíl úrovní střední kvadratické hodnoty dvou náhodných proměnných (zprůměrované na určitý počet realizací) může mít řádově vyšší nebo i větší hodnotu. To znamená, že rozptyl průměru N proměnných z rozdělení pravděpodobnosti s rozptylem σ^2 je σ^2/N . Přílohy 22A a 22B podrobněji rozebírají způsob specifikace tolerance. V následujících odstavcích bude použit termín „Zvláštní požadavky na tolerance zkoušky“ (STTR). Použití STTR připouští, že zkoušení TWR může vyžadovat určitou úroveň znalostí při přizpůsobování zkoušek vlivu prostředí, se kterými u standardních metod nejsou zkušenosti. Například materiál vystavený vysokým úrovním strmosti křivky může vyžadovat metodiku zkoušky TWR založenou na měřeních v polních podmínkách. Taková specializovaná laboratorní zkouška může vyžadovat ověření úrovní strmosti a podrobnou specifikaci tvaru funkce hustoty pravděpodobnosti, aby se zajistilo, že další momenty rozdělení pravděpodobnosti jsou přijatelné. U této metody není možné stanovit přijatelné meze tolerance pro tuto situaci. Takové meze tolerance se budou tudíž vytvářet pod názvem STTR a budou vyžadovat vyškolené analytiky pro specifikaci a interpretaci. To umožňuje praktičtější charakter zaměření následujících odstavců článku 22.5.4.

Praktické úvahy o toleranci. Laboratorní zkoušení v jiné metodě, které se provádí pomocí metodiky TWR, by mělo být v rámci jiné metody v souladu s požadavky na toleranci laboratorních zkoušek. Například Metoda 403 poskytuje tolerance při rázu podle metodiky SRS. Pro naměřený časový průběh rázu reprodukováný podle metodiky zkoušky TWR by se měly použít pro srovnání referenčního časového průběhu SRS s řídicím časovým průběhem SRS stejné srovnávací zkušební tolerance založené na SRS. Obecně by tolerance stanovené pro metodiku zkoušek TWR měly být **konzistentní s** tolerancemi laboratorních zkoušek v jiných metodách pro zkoušení s podobnými cíli **a neměly by být širší**. Ve vztahu k metodice zkoušky TWR na měřených časových průbězích rozmanité formy, měřené **časové průběhy** mechanické odezvy a **části takových časových průběhů** mohou mít kteroukoli ze tří charakteristických forem.

- a) První formou je forma Gaussovy nebo negaussovské stacionární náhodné vibrace.
- b) Druhou formou je forma krátkodobého přechodu na vysoké úrovni nebo ráz, kde doba trvání přechodového stavu je mnohem kratší než periody nejnižších přirozených kmitočtů požadovaných pro materiál.
- c) Třetí formou je forma nestacionární přechodové vibrace s dobou trvání, která podstatně překračuje periodu nejnižšího přirozeného kmitočtu materiálu.

Čtvrtá forma, příliš odborná na posouzení zde, by mohla být klasifikována jako periodické opakování situace, pro kterou je stanovena zkušební tolerance podle souboru statistik časových průběhů. Pro vytvoření tolerance TWR by takové tolerance **neměly překročit** tolerance stanovené pro stacionární náhodné vibrace a mechanické rázy pro první a druhou formu. Předpokládá se, že správně navržená zkouška TWR snadno splní úroveň tolerance stanovené v obou těchto formách

(Metody 401 a 403). Tolerance pro třetí formu nestacionárního časového průběhu jsou do jisté míry závislé na povaze nestacionárnosti. K dispozici jsou metodiky pro hodnocení nestacionárnosti, ve kterých je amplituda časového průběhu funkcí jak času, tak kmitočtu (viz článek 22.7.1, odkazy a, b). Některé nestacionární časové průběhy, které mají časově neměnné kmitočtové charakteristiky, mohou být zastoupeny „produktovým modelem“ (PM) a mohou být zpracovány pro účely tolerance jako stacionární náhodná vibrace s časově proměnnou obálkou. Podrobnosti o specifikaci tolerance TWR pro nestacionární časové průběhy by měly být prostudovány v přílohách 22A a 22B. Pokud není jasné, jak segmentovat časový průběh TWR, pak lze poskytnout (1) časově průměrné zkušební tolerance na rozdíl mezi řídicími a referenčními časovými průběhy, nebo (2) může být provedeno digitální pásmové filtrování na řídicím i referenčním časovém průběhu pro společné srovnání šířky pásma. Pro takové vytvoření tolerance by měly být prostudovány přílohy.

Doporučení k toleranci. Obecně musí být všechny tolerance stanoveny určitým porovnáním v časové oblasti a kmitočtové oblasti digitalizovaných referenčních a řídicích časových průběhů. Základní srovnání, které by mohlo být provedeno pro nominální zkušební tolerance, je obvykle prováděno softwarem TWR od komerčního dodavatele. Dodavatel bude obvykle označovat základní srovnání jako „chybu rms“. Pokud jde o pokyny k chybám, musí pracovníci zkušební laboratoře prostudovat příručky dodaného komerčního systému TWR a musí velmi dobře pochopit správnou interpretaci a význam takové chyby; zejména velikost segmentu a průměrování prováděné za účelem stanovení „chyby rms“. Důrazně se doporučuje, aby zkušební tolerance TWR byly vytvářeny nezávisle na komerčním softwaru dodavatele a ověření splnění zkušebních tolerancí TWR bylo prováděno nezávisle na komerčním softwaru dodavatele. Kromě toho by se v žádném případě nemělo spoléhat na software dodavatele, pokud jde o specifikaci zkušebních tolerancí TWR. Je však velmi důležité, aby specifikované zkušební tolerance TWR byly korelovány nějakým obecným způsobem s „chybou rms“ dodavatele, aby bylo možné provést přerušení zkoušky, pokud velká „chyba rms“ znamená překročení specifikované tolerance zkoušky nad předepsanou mez. Pokud se zkoušky provádí v reálném čase na úrovních, které překračují maximální zkušební toleranci meze „chyby rms“ o 10 procent, je třeba zkoušku přerušit. Obecně je nezbytné, aby pro přesné srovnání (1) byly referenční a řídicí časové průběhy pásmově omezeny na přesné požadované kmitočtové pásmo SESA a (2) referenční a řídicí časové průběhy byly maximálně korelovány pomocí digitálního předběžného zpracování (viz příloha 22A). Po takovém předběžném zpracování se doporučuje segmentovat referenční časový průběh na části, které lze považovat za stacionární, krátké přechodové (nebo rázové) a dlouhé přechodové. Obecně by se na každý ze segmentů mělo použít o 10 procent zúžené kosinusové okno tak, aby charakteristická část časového průběhu byla modelována jedničkou a koncové body byly nulové. Předpokládá se, že pro stanovení základních odhadů pro rozhodování o splnění tolerance se používají správné postupy zpracování signálu (viz příloha 22B). Zejména to může znamenat vyvážení statistické náhodné chyby a chyby zkreslení v odhadech. Odhady ASD a odhady obálky kvadratického průměru jsou citlivé na chyby statistického zpracování, které mohou zkreslit výsledné odhady.

- a) **Stacionární Gaussovy nebo negaussové (mohou zahrnovat samostatné složky).**

- (1) **Kmitočtová oblast.** Pro kosinusový okénkový segment představovaný Gaussovým nebo negaussovským stacionárním náhodným časovým průběhem jsou tolerance stanoveny podle odhadů ASD. Odhad ASD pro řídicí časový průběh musí být v souladu s tolerancemi uvedenými v Metodě 401.
- (2) **Srovnání amplitudové oblasti (STTR).** Pokud je okénkový segment referenčního časového průběhu negaussovský (zahrnuje šikmost, strmost, nebo šikmost i strmost) doporučuje se, aby bylo nejprve provedeno vykreslení referenčního i řídicího časového průběhu podél ortogonálních os, pro vizuální kontrolu. Po této vizuální kontrole by pak mělo následovat empirické kvantilové znázornění amplitud referenčních časových průběhů vzhledem k amplitudám řídicích časových průběhů (graf qq). Bodový graf „qq“ by se měl přiblížit k přímce pod úhlem čtyřiceti pěti stupňů ke každé ose. Interval spolehlivosti na této přímce podle velikosti vzorku lze použít pro specifikaci tolerance STTR. Histogramové grafy referenčních a řídicích časových průběhů pro vylepšenou strukturu konce mohou poskytnout užitečnou vizuální kontrolu a mohou být použity pro specifikaci tolerance pro STTR. Nakonec lze odhady parametrů negaussovského rozdělení pravděpodobnosti porovnat mezi referenčními a řídicími časovými průběhy, přičemž je třeba postupovat opatrně, protože odhady hodnot parametrů podléhají poměrně omezujícím úvahám o statistických chybách. Pro nulovou střední hodnotu referenčního časového průběhu je třeba se ujistit, že jednotlivé odhady celkového rozptylu časového průběhu vzorku jsou v rozmezí ± 10 procent referenčního časového průběhu. Měla by se porovnat hustota pravděpodobnosti referenčních a řídicích signálů, aby se dodržely charakteristiky šikmosti a strmosti.

b) **Ráz.**

- (1) **Kmitočtová oblast.** U příslušného okénkového segmentu, který je představován rázem, je třeba zajistit, aby tolerance pro odhad SRS řídicího časového průběhu s 5procentním kritickým tlumením byla v rozmezí -6 dB a $+3$ dB od odhadu SRS referenčního časového průběhu pro alespoň jednu dvanáctinu oktávy rozlišení šířky pásma.
- (2) **Amplitudová oblast.** Pro segment je třeba zajistit, aby hlavní (maximální absolutní magnituda) kladné a záporné vrcholy (nepřesahující 10 procent počtu všech vrcholů referenčních časových průběhů) v řídicím časovém průběhu byly v rozmezí ± 20 procent magnitudy odpovídajících vrcholů v referenčním časovém průběhu (shoda vrcholů je založena na skutečnosti, že řídicí a referenční časové průběhy mají mezi sebou nulový fázový posun).

c) **Nestacionární (produktový model).**

- (1) **Amplitudová oblast.** U příslušného okénkového segmentu, který může být představován „produktovým modelem“, je nezbytné navrhnout, aby krátkodobý průměrný odhad obálky řídicího časového průběhu (časový průměr úrovně střední kvadratické hodnoty) byl v rozmezí ± 1 dB krátkodobého průměrného odhadu obálky referenčního časového průběhu, kde krátkodobý průměrovací čas (a časový posun v odhadech průměrných časů) nesmí překročit 1 procento z celkové doby trvání referenčního časového průběhu.

- (2) **Srovnání kmitočtové oblasti.** Je potřeba zajistit, aby normalizovaný odhad ASD pro řídicí časový průběh byl v rozmezí $\pm 3,0$ dB (poměr přibližně 2) normalizovaného odhadu ASD pro referenční časový průběh po významné části šířky pásma.

POZNÁMKA

Může se to zdát jako široká tolerance, ale normalizované odhady ASD mají obecně omezený počet statistických stupňů volnosti.

Příloha 22A ukazuje proces zpracování pro splnění tolerance zkoušky. Příloha 22B poskytuje tabulku analytických vzorců a některé specifikace předběžných tolerancí ke zkouškám, které mohou být použity k formální specifikaci přizpůsobení zkušební tolerance (zejména pro STTR). V případech, kdy nelze stanovené tolerance splnit, by měly být dosažitelné tolerance stanoveny a schváleny příslušným technickým úřadem a zákazníkem před zahájením zkoušky.

Přerušeni zkoušky může být způsobeno více situacemi. Následující odstavce popisují běžné příčiny přerušeni zkoušky a doporučené cesty v pokračování pro každou z nich. Doporučuje se, aby zkušební záznamové zařízení zůstalo aktivní během jakéhokoli přerušeni zkoušky, pokud je budicí zařízení ve stavu pod napětím.

22.5.5 Řízení

22.5.5.1 Kalibrace

Je nezbytné zajistit, aby systém budiče, všechny snímače, zařízení pro kondicionování signálu, nezávislé měřicí systémy a hardware řídicího systému budiče, byly kalibrovány pro splnění stanovených požadavků na zkoušky. Pro nezávislé potvrzení adekvátnosti reprodukce časového průběhu pro úspěšnou zkoušku TWR, bude vyžadován pohotovostní přístup k souborům s časovými průběhy referenčních, řídicích signálů a signálů pohonu v digitální podobě.

22.5.5.2 Přístrojové vybavení

Obecně bude zrychlení veličinou, která je měřená tak, aby splňovala specifikaci pro zvolený postup, avšak podobné zájmy týkající se přístrojového vybavení platí i pro ostatní senzory. Je třeba zajistit, aby laboratorní měření řídicího zrychlení odpovídalo měření referenčního zrychlení v polních podmínkách. To se obvykle splní namontováním akcelerometru zkoušeného předmětu pro řízení ve stejném místě SESA jako při měření v polních podmínkách na materiálu, ze kterého byl získán referenční časový průběh.

- a) **Akcelerometr.** Při výběru jakéhokoli snímače by měl být každý obeznámen se všemi parametry uvedenými v příloženém specifikačním listu. Přístroj může být piezoelektrického nebo piezorezistivního typu. Následují důležité výkonové parametry akcelerometru.

- (1) Frekvenční odezva: Vyžaduje se plochá frekvenční odezva v rozmezí ± 5 procent celého požadovaného frekvenčního rozsahu.
- (2) Příčná citlivost by měla být menší nebo rovna 5 procentům.
- (3) Téměř všechny snímače jsou ovlivněny vysokými a nízkými teplotami. Je nezbytné rozpoznat a kompenzovat odchylku teplotní citlivosti podle potřeby. Odchylky teplotní citlivosti od požadované zkušební teploty by neměly být vyšší než ± 5 % vzhledem k teplotě, při které byla stanovena citlivost snímače.

- (4) Při výběru jakéhokoli akcelerometru by měla být hodnocena citlivost na základní zátěž. Stanovení mezí citlivosti na základní zátěž je často konkrétním případem založeným na poměru základní zátěže k předpokládanému translačnímu zrychlení.
- (5) Linearita amplitudy: Je žádoucí mít linearitu amplitudy v rozmezí 1 procenta od 5 procent do 100 procent amplitudy špičkového zrychlení požadovaného pro zkoušky.
- b) **Ostatní měřicí zařízení.** U jakýchkoli jiných měřicích zařízení používaných ke sběru dat musí být prokázáno, že jsou v souladu s požadavky zkoušky.
- c) **Kondicionování signálu.** Je nezbytné používat pouze kondicionování signálu, které je slučitelné s požadavky na přístrojové vybavení pro zkoušku a je slučitelné s požadavky a pokyny uvedenými v čl. 22.7.1, odkaz b.

22.5.6 Přerušení zkoušky

Přerušení zkoušky může být způsobeno řadou situací, které jsou popsány v následujících odstavcích.

22.5.6.1 Přerušení z důvodu poruchy laboratorního zařízení

Specifické pro tuto metodu. Pokud je přerušení způsobeno poruchou laboratorního zařízení, analyzovat poruchu a zjistit příčinu. Měly by být vyhodnoceny časové průběhy pohonu, řízení a odezvy materiálu, aby se zjistilo, že během poruchy zkušebního zařízení nebyly na zkoušený materiál přeneseny žádné nežádoucí přechodové jevy. Pokud zkoušený předmět nebyl v důsledku poruchy zařízení podroben nadlimitnímu zkoušení, opravit zkušební zařízení nebo se přesunout na náhradní zkušební zařízení a pokračovat ve zkoušce od okamžiku přerušení. Pokud zkoušený předmět byl v důsledku poruchy zařízení vystaven nadlimitnímu zkoušení, okamžitě informovat zkušební technika nebo programového technika odpovědného za zkoušený materiál. Provést posouzení rizik na základě faktorů, jako je úroveň a doba trvání jevu se zjevným nadlimitním zkoušením, spektrální obsah jevu, náklady a dostupnost zkušebních zdrojů a analýzu specifických otázek zkoušky, aby se stanovil způsob dalšího postupu. Ve všech případech archivovat a analyzovat všechny dostupné informace o časových průbězích, včetně řídicích, referenčních a monitorovacích časových průběhů a časových průběhů pohonu, a důkladně zdokumentovat výsledky. Popis běžných typů zkoušek a obecný rozbor o cílech zkoušek jsou uvedeny v příloze 22A.

22.5.6.2 Přerušení z důvodu poruchy provozu zkoušeného materiálu

Nezpůsobilost zkoušeného materiálu fungovat při provozních kontrolách podle požadavků představuje situaci s několika možnými alternativami. Porucha subsystémů má často při hodnocení integrity zkušebního materiálu různý stupeň důležitosti. Pro zkoušku bude specifická volba jedné nebo více alternativ z „a“ až „c“ uvedených níže.

- a) Upřednostňovanou alternativou je nahradit zkoušený předmět „novým“ a celou zkoušku zahájit znova.
- b) Další alternativou je nahradit/opravit vadnou nebo nefunkční součást nebo sestavu součástí nebo sestavou, která funguje podle plánu a zahájit celou zkoušku znova. Před pokračováním provést analýzu rizik, protože tato alternativa způsobí u celého zkoušeného předmětu nadlimitní zkoušení, s výjimkou vyměněné součásti. Pokud je nefunkční součást nebo subsystém

jednotkou vyměnitelnou na místě (LRU), jejíž životnost je kratší než životnost zkoušeného systému, může být povoleno nahrazení LRU a pokračování zkoušky od bodu přerušení.

- c) U mnoha zkoušek na úrovni systému, které zahrnují buď velmi drahý, nebo jedinečný materiál, nemusí být možné získat další přístrojové vybavení (hardware) pro opakovanou zkoušku na základě poruchy jednoho subsystému. V takových případech provést posouzení rizik organizací odpovědnou za zkoušený systém, aby určila, zda je výměna poškozeného subsystému a obnovení zkoušky přijatelnou možností. Je-li takové schválení uděleno, měla by být vadná součást znova přezkoušena na úrovni dílčích součástí.

POZNÁMKA

Při vyhodnocování přerušení zkoušky v důsledku poruchy je třeba zvážit předchozí zkoušky na stejném zkoušeném předmětu a její důsledky.

22.5.6.3 Přerušení z důvodu plánované události

Často se vyskytují situace, kdy dojde k plánovaným přerušením zkoušky. Například ve scénáři taktické přepravy může být náklad znovu zajišťován k přepravnímu vozidlu pravidelně (tj. vázací pásy mohou být znovu zajišťovány na začátku každého dne). Zkoušení odolnosti často představuje vystavení materiálu vlivům prostředí po celou dobu životnosti; proto není realistické předpokládat, že náklad projde celým zkušebním postupem, aniž by došlo k jeho znovu zajištění vázacími pásy, jako je tomu při taktickém nasazení. Během životního cyklu materiálu je často vyžadováno mnoho dalších takových přerušení, včetně plánovaných událostí údržby. Vzhledem ke kumulativní povaze únavy způsobené dynamickými zkouškami, je přijatelné mít přerušení zkoušky, která korelují s realistickými událostmi životního cyklu. Všechna plánovaná přerušení je nezbytné zdokumentovat v Programu zkoušek a Protokolu o zkoušce.

22.5.6.4 Přerušení z důvodu překročení tolerancí zkoušky

Překročení zkušebních tolerancí definovaných v čl. 22.5.4 nebo znatelná změna dynamické odezvy může mít za následek ruční přerušení iniciované obsluhou nebo automatické přerušení, pokud jsou tolerance začleněny do strategie řízení. V takových případech zkontrolovat zkoušený předmět, upevnění a přístrojové vybavení, aby se izolovala příčina. Obecně platí, že pro zahájení přerušení zkoušky se pro posouzení přiměřenosti zkoušky v reálném čase spoléhá na prostředky dodavatele, jak je popsáno v článku 22.5.4 (na základě její obecné korelace se stanovenými tolerancemi pro zkoušku). Podrobnější posouzení tolerance zkoušky je dokončeno po provedení zkoušky. Pro zahájení přerušení zkoušky bude postačovat průměrná chyba střední kvadratické hodnoty mezi referenčním a řídicím časovým průběhem, která je 10 procent nad mezí tolerance zkoušky.

- a) Pokud přerušení bylo způsobeno problémem s upevněním nebo přístrojovým vybavením, opravit závadu a pokračovat ve zkoušce.
- b) Pokud k přerušení došlo v důsledku konstrukčního nebo mechanického znehodnocení zkoušeného předmětu, problém obecně povede k poruše a požadavku na opakovanou zkoušku, pokud není dovoleno, aby byl problém během zkoušky opraven. Pokud zkoušený předmět nefunguje uspokojivě, vyhledat analýzu poruch viz čl. 22.5.6.2.

22.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

22.6.1 Vyhodnocení výsledků zkoušky

Následující informace jsou uvedeny jako pomoc při hodnocení výsledků zkoušky. Podrobně analyzovat jakoukoli poruchu zkoušeného předmětu, pokud nesplňuje požadavky specifikace, a zvážit související informace, jako například:

- a) Informace z uspořádání řídicího akcelerometru včetně digitálního záznamu řídicího časového průběhu.
- b) Informace o zkušební toleranci softwaru TWR dodavatele.
- c) Použití jedné nebo více technik ukázaných v příloze 22A pro podrobné porovnání referenčního časového průběhu s řídicím časovým průběhem.

22.6.2 Analýza dat

V ideálním případě by informace z řídicího časového průběhu v časové a kmitočtové oblasti měly být téměř shodné s informacemi obsaženými v referenčním časovém průběhu. Posouzení chyby zkoušky dodané dodavatelem poskytuje předběžnou indikaci účinnosti reprodukce. Pokud hodnocení chyby zkoušky dodané dodavatelem trvale zobrazuje méně než např. 5 procent časové průměrné chyby „rms“ v blocích referenčních/řídicích údajů, může být další analýza zbytečná. Pro výrobní zkoušky je velmi žádoucí spoléhat se na konzistenci chyby „rms“ dodané dodavatelem. U zkoušek jediného předmětu, které jsou jedinečné a u nichž chyba „rms“ dodavatele poskytuje hodnoty větší než přijatelné, musí být podrobně posouzeny rozdíly mezi referenčními a řídicími časovými průběhy. K dispozici jsou následující pokyny.

- a) Základní analýza pro zajištění splnění tolerancí zkoušky se obvykle provádí pomocí softwaru TWR dodavatele. Pracovníci laboratoře by měli konzultovat s dodavatelem dodanou dokumentaci systému TWR a jasně pochopit stanovení těchto tolerancí. Ve většině případů to bude vyžadovat přímý kontakt s dodavatelem systému TWR.
- b) Mohou být provedeny rozsáhlejší analýzy údajů, pro zajištění splnění zkušebních tolerancí, na základě souborů referenčních a řídicích časových průběhů pomocí off-line specializovaného softwaru podle postupů ukázaných v příloze 22A, a analyzovaných v příloze 22B.
- c) Může být provedena podrobná analýza údajů pro účely stanovení parametrů pro náhodný proces nebo pro jiné účely, ale musí být v souladu s informacemi uvedenými v přílohách a osvědčenými postupy zpracování údajů, jak jsou definovány v článku 22.7.1, odkazy a, b. Taková podrobná analýza může přesahovat rámec definovaných tolerancí a používá se pouze pro informační účely zprávy.
- d) Zpracování informací o monitorovacím časovém průběhu pro modelování, hodnocení poruch nebo pro jiné účely se musí řídit stejnými pokyny jako pro řídicí časový průběh.

22.6.3 Protokol o zkoušce

V protokolu o zkoušce by se měly objevit následující informace.

- a) **Všeobecné.** Informace uvedené v AECTP-400, Metoda 400, kapitola 3.
- b) **Specifické pro tuto metodu.**
 - (1) Zachycení řídicího časového průběhu v digitální podobě pro srovnání s referenčním časovým průběhem.

- (2) Zachycení monitorovacích časových průběhů v digitální podobě.
- (3) Zaznamenání počtu jednotlivých zkušebních jevů a pořadí pro aplikaci.
- (4) Protokol o pomocných podmínkách prostředí, jako je teplota.
- (5) Protokol o funkční poruše materiálu.
- (6) Počet vystavení zkoušeného předmětu časovému průběhu / časovým průběhům a pořadí, pokud se při zkoušce použije několik odlišných časových průběhů.
- (7) Jakékoli anomálie měření dat, např. vysoká úroveň šumu přístrojů, ztráta odezvy snímačů.
- (8) Stav zkoušeného předmětu / upínacích přípravků. Zejména jakákoli konstrukční nebo funkční porucha zkoušeného předmětu / upínacích přípravků.
- (9) Jakékoli odchylky od původního Programu zkoušek.

22.6.4 Fyzika poruchy

Analýzy poruch souvisejících s vibracemi musí vztahovat mechanismus poruchy k dynamice vadného předmětu a dynamickému prostředí. Nestáčí určit, že se něco zlomilo kvůli vysokocyklové únavě nebo opotřebením. Je nezbytné zahrnout do analýzy poruch rovněž stanovení rezonančních vlastních tvarů, kmitočtů, hodnot tlumení a rozložení dynamických deformací, kromě obvyklých vlastností materiálu, míst iniciace trhlin atd.

22.6.5 Kvalifikační zkoušky

Pokud má zkouška prokázat formální soulad s požadavky smlouvy, doporučují se následující definice.

- a) **Definice poruchy.** Materiál je považován za neúspěšný, pokud utrpěl trvalou deformaci nebo zlom; uvolní-li se nějaká pevná část nebo sestava; pokud se jakákoli pohyblivá se nebo pohyblivá část sestavy v provozu uvolní nebo zpomalí; pokud se jakákoli pohyblivá část nebo řídicí prvky posunou v nastavení, poloze nebo seřízení, a pokud výkon zkoušeného předmětu nesplňuje požadavky specifikace při vystavení provozním a následným odolnostním zkušebním úrovním. Je třeba zajistit, aby toto prohlášení bylo doprovázeno odkazy na příslušné specifikace, výkresy a kontrolní metody.
- b) **Dokončení zkoušky.** Kvalifikační zkouška TWR je dokončena, když všechny prvky zkoušeného předmětu úspěšně prošly kompletní zkouškou. Pokud dojde k poruše, zkoušku zastavit, analyzovat poruchu a opravit zkoušený předmět. Pokračovat ve zkoušce, dokud se všechny opravy nepodrobí úplné zkoušce. Kvalifikované prvky, které selhaly během rozšířených zkoušek (zkoušky rozšířené nad rámec požadavků LCEP), se nepovažují za poruchy a lze je opravit, aby bylo možné zkoušku dokončit.

22.6.6 Ostatní zkoušky

Pro zkoušky jiné než kvalifikační zkoušky, je nezbytné připravit kritéria úspěšnosti a/nebo poruch a kritéria dokončení zkoušky, která odpovídají účelu zkoušek.

22.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

22.7.1 Odkazy

- a) Bendat Julius S., Allan G. Piersol, Analýza náhodných dat a postupy měření (Random Data Analysis and Measurement Procedures), 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2010.
- b) IEST-RD-DTE 012.2, Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat (Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis), Institute of Environmental Sciences and Technology, Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516.
- c) Merritt Ronald G., Aplikace modelů se smíšenými efekty na kolekci produktových modelů s časovými průběhy ("Application of Mixed Effects Models to a Collection of Time Trace Product Models"), Proceedings of the 77th Shock and Vibration Symposium, listopad 2006; Shock & Vibration Exchange (SAVE), 1104 Arvon Road, Arvon, VA 23004.
- d) Stuart Alan, J. Keith Ord, Kendalova pokročilá teorie statistik (Kendall's Advanced Theory of Statistics), 5th Edition Volume 1 Distribution Theory, Oxford University Press, New York, NY, 1987.

22.7.2 Související dokumenty

- a) Bickle Larry W., Ned R. Keltner, Odhad chyb měření přechodových jevů (Estimation of Transient Measurement Errors), SAND78-0497, srpen 1978.
- b) Příručka o rázech a vibracích (Shock and Vibration Handbook), 5th Edition, Edited by Cyril M. Harris and Allan G. Piersol, McGraw-Hill, New York NY, 2002.
- c) Egbert Herbert W., Historie a zdůvodnění MIL-STD-810 ("The History and Rationale of MIL-STD-810 (Edition 2)"), leden 2010, Institute of Environmental Sciences and Technology, Arlington Place One, 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100, Arlington Heights, IL 60005-4516.

(VOLNÁ STRANA)

PŘÍLOHY

Příloha 22A
(normativní)

UKÁZKA ANALÝZY PO ZKOUŠCE SESA PRO ODHAD TOLERANCE ZKOUŠKY

22.A.1 ÚČEL

Účelem této přílohy je poskytnout obecné pokyny pro analýzu po zkoušce pro zkoušení TWR metodikou SESA. Zobrazuje některé potenciálně užitečné nástroje pro porovnání „referenčních“ a „řídících“ časových průběhů a zpracování rozdílu mezi těmito časovými průběhy. Analýza po zkoušce poskytuje náhled do vývoje mezních hodnot tolerance zkoušky pro jedinou osu TWR. Příloha poskytuje odůvodnění pro minimalizaci stupně analýzy po zkoušce, která se může vyžadovat.

22.A.2 OBECNÁ FILOZOFIE PRO ZKOUŠENÍ TWR

Širokopásmová TWR, tj. od 5 Hz do 2 000 Hz, je relativně nová v dynamickém laboratorním zkoušení s elektrodynamickými silovými budiči. Stejná poznámka platí pro elektrohydraulické silové budiče pouze v omezené šířce pásma. Filozofie pro zkoušení TWR se stále vyvíjí včetně vývoje tolerance zkoušky. Princip logické analýzy po zkoušce vyložený níže bude bezpochyby rozšiřován / upřesňován / vylepšován i vyřazením některých částí, avšak základní principy analýzy zůstanou zachovány.

Obecný termín „chyba reprodukce“ bude použit s ohledem na srovnání rozdílu mezi řídicími a referenčními časovými průběhy. Analýza po zkoušce SESA kvantitativně porovnává deterministický vstup referenčního časového průběhu zkoušky

$r(t)$ (nebo vzorkované posloupnosti $r[n]$ pro $n = 1, 2, \dots, N$), symbolicky „ r “

se stochastickým výstupem řídicího časového průběhu zkoušky

$c(t)$ (nebo vzorkované posloupnosti $c[n]$ pro $n = 1, 2, \dots, N$), symbolicky „ c “.

Pro srovnání je vhodné mít k dispozici stochastický rozdílový časový průběh definovaný jako

$s(t) = c(t) - r(t)$ (nebo vzorkovanou posloupnost $s[n] = c[n] - r[n]$, $n = 1, 2, 3, \dots, N$), symbolicky „ s “.

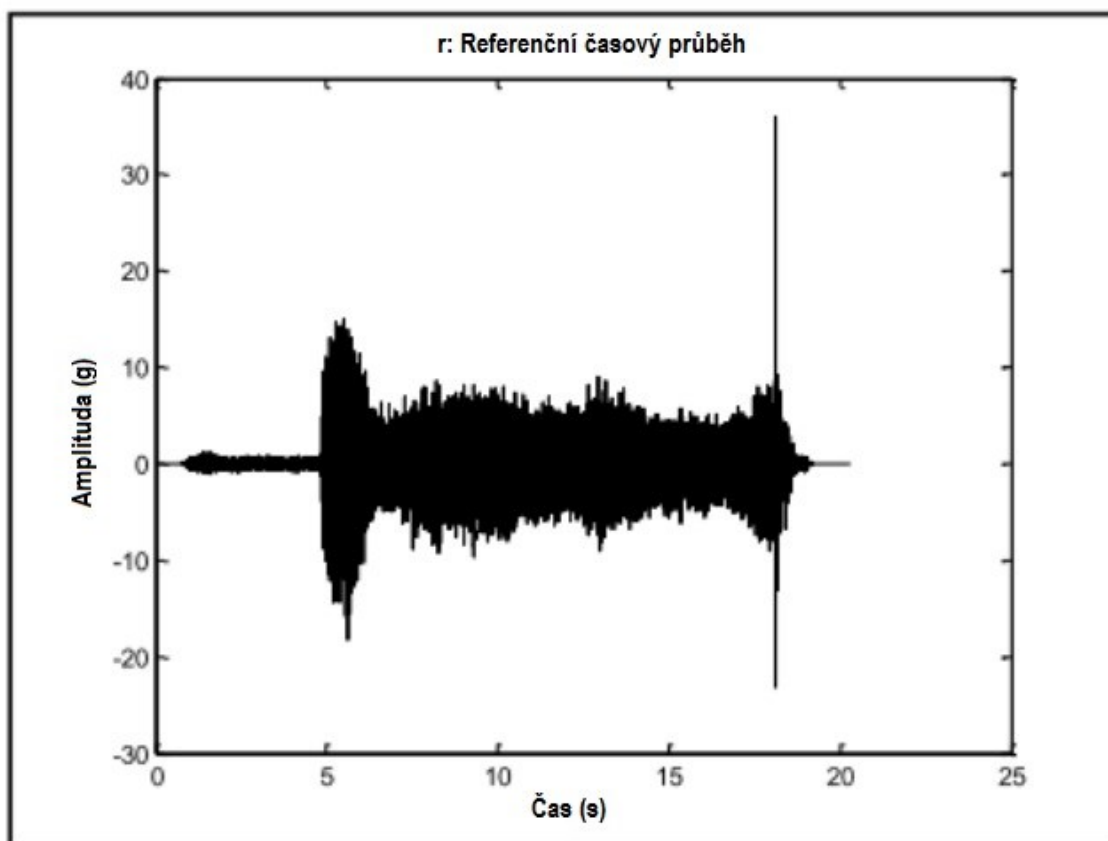
Rozdílový časový průběh představuje „chybu reprodukce“. Předpokládá se, že referenční a řídicí časové průběhy jsou dokonale korelovány v čase, takže rozdílový časový průběh je platný, a software dodavatele je obecně velmi spolehlivý při poskytování referenčních a řídicích digitálních časových průběhů, které jsou dokonale korelovány. Může být provedeno vyhodnocení, čas/amplituda bod po bodě (TPP), časových průběhů a může být stanoven odhad chyby reprodukce. Příloha 22B se podrobněji zabývá statistickými důsledky TPP. Obecně dodavatelé zpřístupňují časový průběh napájecího napětí pohonu pro případné použití při pochopení zkušebních omezení, tj. kompenzace rezonance upínacích přípravků, nesoulad impedance atd. Tento časový průběh musí být zpracován předem, stejným způsobem jako „ r “, „ c “ a „ s “. Časový průběh pohonu se netýká následujícího obrázku. V této příloze i v příloze 22B se objevuje pojednání týkající se hodnocení, čas/amplituda průměr po průměru (STA), pro analýzu meze tolerance – jako alternativy k TPP. Použití těchto postupů pro posouzení chyby tolerance bude uvedeno v této příloze i v příloze 22B. Přímé srovnání časově průměrovaných

Příloha 22A
(normativní)

odhadů „r“ a „c“ je obecně mnohem méně vhodné než zkoumání statistik časově průměrované verze „s“. Interpretace rozdílů mezi časově průměrovanými odhady je obtížnější.

22.A.3 POPIS REFERENČNÍHO ČASOVÉHO PRŮBĚHU

Časový průběh vybraný pro ilustraci je časový průběh zrychlení neidentifikovaného omezeného pásma změřený v polních podmínkách, který se používá k vyhodnocení vlastností softwaru dodavatele pro uspořádání jednoosého budiče. Uspořádání zkoušeného předmětu včetně upínacích přípravků nebylo uvažováno. Jednoduchost zkoušky TWR poskytuje chybu reprodukce, která je menší než chyba, která se vyskytuje v obecných zkušebních scénářích, kde jsou důležité okrajové podmínky a nesoulad impedance. Obrázek 22.A.1 zobrazuje nezpracovaný referenční časový průběh zrychlení změřený v polních podmínkách.



OBRÁZEK 22.A.1 – Referenční časový průběh zrychlení změřený v polních podmínkách

Časový průběh je omezen pásmem mezi 1 Hz a 2 000 Hz a skládá se z počáteční a konečné nízkourovňové stacionární náhodné vibrace (rozšířené o některé analyticky generované nuly), spolu s formou poměrně vysoké přechodové vibrace, stacionární náhodné vibrace a rázu postupně v řadě za sebou. Toto vizuální hodnocení referenčního časového průběhu je klíčem k posouzení přiměřenosti provedení zkoušky. Se standardním programovým vybavením (software) pro systém

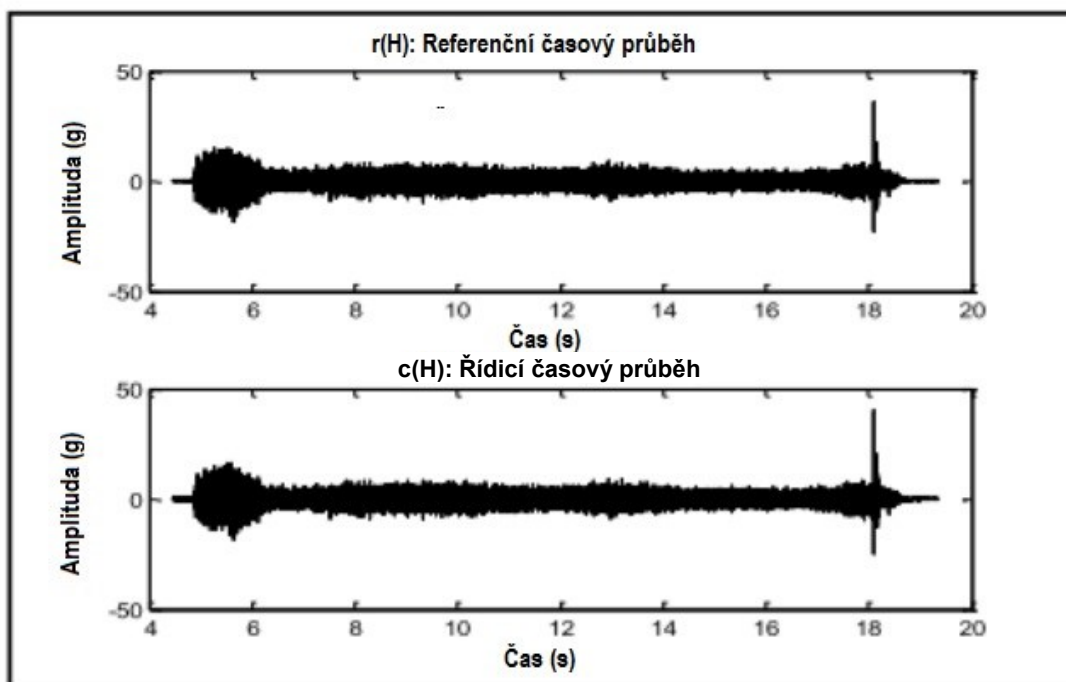
Příloha 22A
(normativní)

vibrací a rázů od dodavatele, by nebylo možné zkoušet materiál na tuto formu časového průběhu. Časový průběh byl podroben zkoušení TWR za okolních podmínek prostředí na elektrodynamickém budiči pomocí softwarového balíčku TWR dodaného dodavatelem. „Řídicí akcelerometr“ byl namontován jak na hlavě budiče, tak na konvenčním kluzném stole. Přestože „řízení“ TWR je mezi 10 Hz a 2 000 Hz, vzorkovací kmitočet souboru s referenčním časovým průběhem je 25 600 vzorků za sekundu. Konkrétní software TWR dodavatele před zkoušením znovu vzorkoval tvary vln na 24 576 vzorků za sekundu. Nyquistův kmitočet je „ $24\,576/2 = 12\,288$ Hz“. Většina grafů v kmitočtové oblasti bude omezena na 4 000 Hz a základní řízení TWR je mimo 2 000 Hz. Časový průběh změřený v polních podmínkách by měl zobrazovat šířku pásma, která přesahuje řídicí šířku pásma TWR až o oktávu nad a pod horní a dolní mezi řídicí šířky pásma. Pro demonstraci vlivu různých okrajových podmínek, budou výsledky zkoušení zobrazeny pro řídicí časový průběh z hlavy budiče (označeno (H)) a z kluzného stolu budiče (označeno (S)).

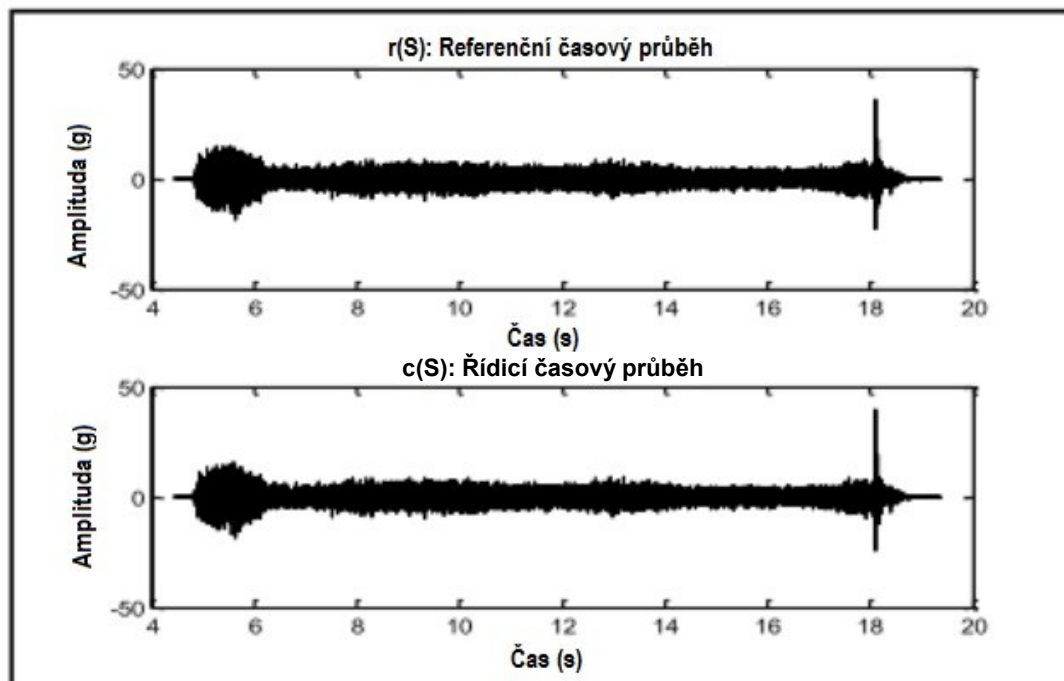
22.A.4 PŘEDBĚŽNÉ ZPRACOVÁNÍ ČASOVÉHO PRŮBĚHU

22.A.4.1 Úvod

Pro kvantifikaci chyby reprodukce nebylo formálně stanoveno a schváleno mnoho postupů analýzy po zkoušce (nezávisle na zkušební analýze dodané komerčně). Pro zkoušení typu „jediné svého druhu“ s jedinečným referenčním časovým průběhem je třeba se spolehnout na vlastní software v analýze po zkoušce pro ověření splnění vyhovující zkušební tolerance. Obrázek 22.A.2 zobrazuje řídicí časové průběhy TWR pro uspořádání (H) a (S), (spolu se stejným referenčním časovým průběhem) před začátkem předběžného zpracování, kde byly časové průběhy pro usnadnění zkráceny.



OBRÁZEK 22.A.2a – Hlava budiče (H), (referenční/řídící časové průběhy před předběžným zpracováním po zkoušce)



OBRÁZEK 22.A.2b – Kluzný stůl budiče (S), (referenční/řídící časové průběhy před předběžným zpracováním po zkoušce)

Před zpracováním referenčních a řídicích časových průběhů a vygenerováním rozdílového časového průběhu je nezbytné určité předběžné zpracování. Předběžné zpracování musí být provedeno v časové i kmitočtové oblasti. Následně budou probrány následující postupy předběžného zpracování.

- a) Omezení kmitočtového pásma.
- b) Korelace časových průběhů.
- c) Určení segmentu časového průběhu.

22.A.4.2 Omezení kmitočtového pásma

Cílem omezení kmitočtového pásma je zajistit pro srovnání časových průběhů, že referenční a řídicí časové průběhy existují ve stejném přesném kmitočtovém pásmu (obecně je šířka pásma shodná s řídicí šířkou pásma TWR). Důležitost tohoto úkonu nelze víc než zdůraznit. Pokud má řídicí časový průběh významné vysokofrekvenční informace, které nejsou obsaženy v referenčním časovém průběhu (v důsledku okrajových podmínek nebo nesouladu impedance), projeví se to v jakémkoli porovnání amplitud TPP. Filtř pásmoveho průchodu pro zajištění společné šířky pásma pro časové průběhy je vybrán tak, aby bylo stanoveno minimum referenční i řídicí šířky pásma. Tato společná šířka pásma může být specifikována, např. 10 Hz až 2 000 Hz, nebo může být stanovena zkoumáním velikosti odhadu periodogramu pro oba časové průběhy. Úkon omezování kmitočtového pásma se provádí

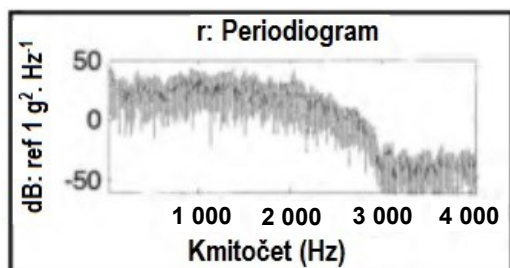
Příloha 22A

(normativní)

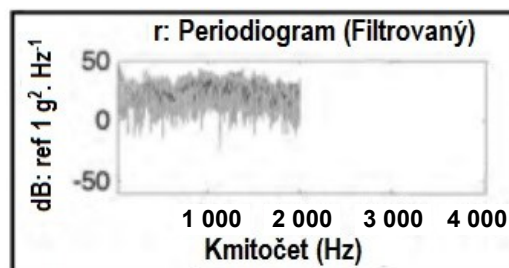
na referenčních i řídicích časových průbězích a vždy se provádí před zvažováním korelace časových průběhů. Pokud nejsou časové průběhy příliš dlouhé, je pro určení společné šířky pásma vyhovující velikost FFT (periodogram) jednoho bloku obdélníkového okna vykreslená v dB pro referenční i řídicí časové průběhy. Pro příliš dlouhé časové průběhy lze pro určení společné šířky pásma použít Welchovu metodu výpočtu spektra. Pro získání společné šířky pásma může být použit standardní pásmový filtr, který zajistí zachování linearitu filtrační fáze při získávání referenčních a řídicích časových průběhů. Obrázek 22.A.3 poskytuje jednoblokové periodogramy pro referenční a řídicí časové průběhy před a po filtraci pásma.

POZNÁMKA

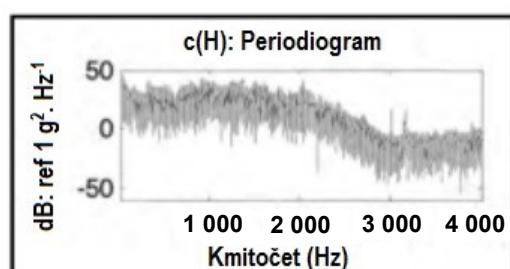
S ohledem na omezení kmitočtového pásma je velmi důležité, aby pro jakýkoli program měření časových průběhů v polních podmínkách, který je navržen tak, aby poskytoval vstup do laboratorního zkoušení TWR, šířka pásma měření v polních podmínkách přesahovala podle definice, šířku požadovaného pásma pro laboratorní zkoušení (řídicí šířka pásma zkoušky TWR). Například, pokud specifikace zkoušení vyžadují laboratorní zkušební šířku pásma 10 Hz až 2 000 Hz, musí měření časových průběhů v polních podmínkách přesáhnout 2 000 Hz, např. 4 000 Hz, aby bylo možné poskytnout referenční časový průběh s dostatečnou šířkou pásma pro porovnání s nezpracovaným řídicím časovým průběhem vyplývajícím z laboratorního zkoušení TWR. Méně kritická měření v polních podmínkách by měla kmitočtový obsah pod 10 Hz, např. 5 Hz. Odůvodnění je následující. Laboratorní zkouška bude téměř jistě vykazovat energii mimo specifikaci požadovaného kmitočtového pásma nebo řídicí zkušební šířku pásma budiče, v důsledku nesouladu materiálu / zkušebních upínacích přípravků / impedance budiče / okrajových podmínek. Pro přímé porovnání referenčního časového průběhu z polních podmínek (před omezením šířky pásma jako vstupu TWR) s nezpracovaným laboratorním řídicím časovým průběhem (i když referenční časový průběh mohl být pro laboratorní zkoušku pásmem omezen), musí mít v polních podmínkách měřený referenční časový průběh šířku pásma v souladu s nezpracovaným laboratorním řídicím časovým průběhem, tj. šířka pásma, která zahrnuje šířku pásma nezpracovaného laboratorního řídicího časového průběhu. Omezení pásma pro porovnání referenčních a řídicích časových průběhů tedy musí být v souladu s nejvýznamnější energií v nezpracovaném laboratorním řídicím časovém průběhu (který pravděpodobně překračuje šířku pásma podle specifikace zkoušky). Porovnání pro účely modelování vrcholů časových průběhů pro referenční a řídicí časový průběh je zvláště citlivé na úvahy o omezení kmitočtového pásma. Aby bylo možné porovnat informace o referenčních a řídicích časových průbězích, pokud jde o celou šířku pásma, se kterou se materiál setkal v laboratorní zkoušce, musí řídicí šířka pásma laboratorní zkoušky stanovit šířku pásma pro srovnání. Ve zde uvedeném příkladu byl referenční časový průběh změřený v polních podmínkách omezen na 2 000 Hz (provedením měřicího systému bez zohlednění TWR), takže nutně ve srovnání, naměřený referenční časový průběh poněkud „nesprávně“ řídí šířku pásma pro srovnání. Jak bylo uvedeno, zkoušení TWR má důležité důsledky pro návrh systému měření v polních podmínkách.



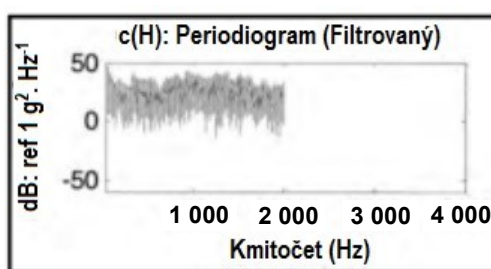
(a) Referenční časový průběh



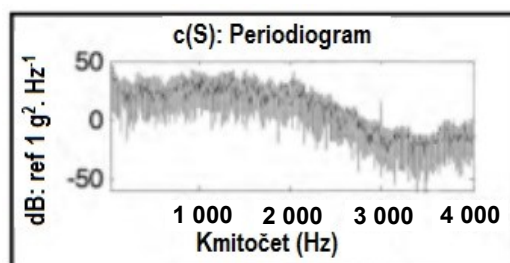
(b) Referenční časový průběh s omezeným kmitočtovým pásmem (10 Hz - 2 000 Hz)



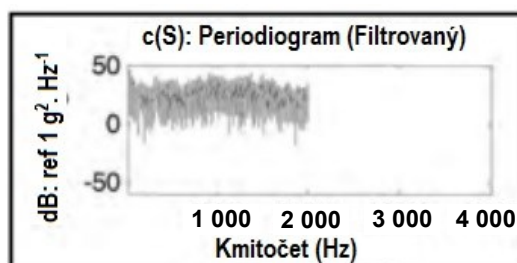
(c) Řídicí časový průběh z hlavy budiče (H)



(d) Řídicí časový průběh s omezeným kmitočtovým pásmem z hlavy budiče (H) (10 Hz - 2 000 Hz)



(e) Řídicí časový průběh kluzný stůl (S)



(f) Řídicí časový průběh s omezeným kmitočtovým pásmem kluzný stůl (S) (10 Hz - 2 000 Hz)

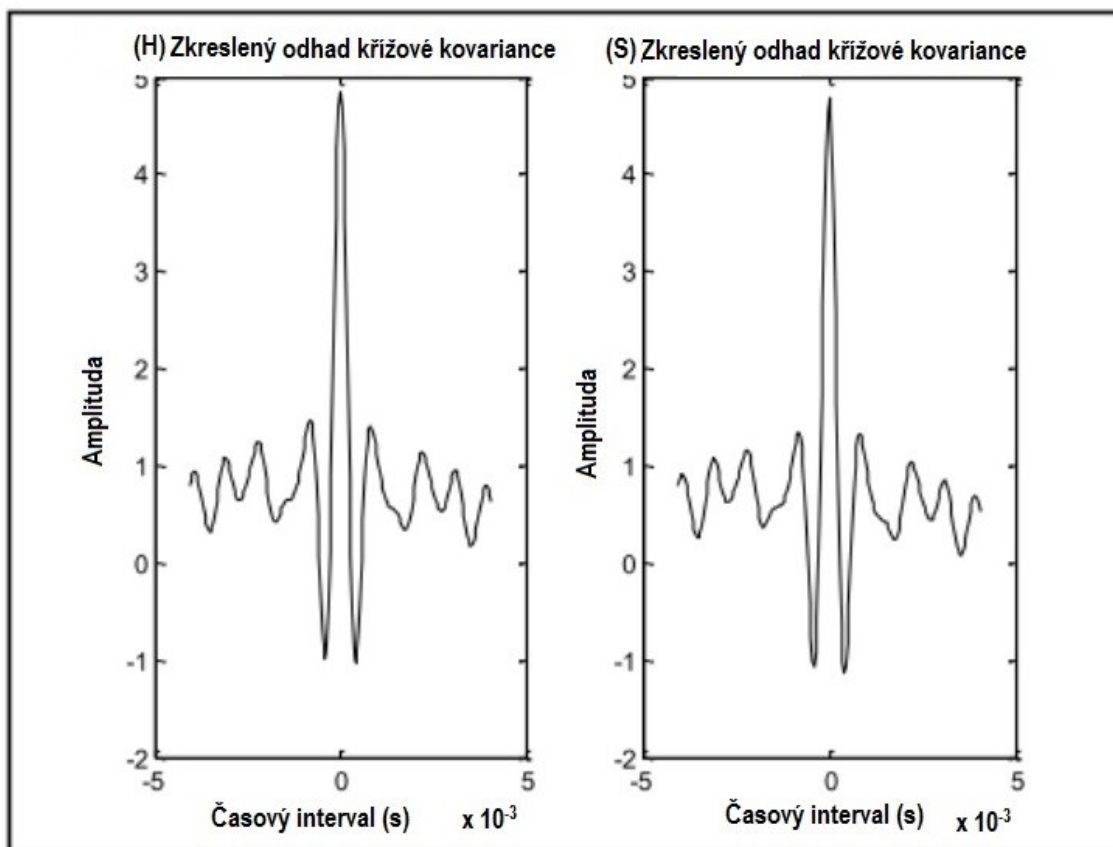
OBRÁZEK 22.A.3 – Periodogramy referenčních/řídicích časových průběhů pro omezení kmitočtového pásma pomocí filtrovacího okna FFT

Na základě posouzení periodogramů pro oba časové průběhy na obrázku 22.A.2 se odfiltrují informace o velmi nízké frekvenci (pod 10 Hz) a informace o velmi vysoké frekvenci (nad 2 000 Hz). Šířka pásma frekvenční analýzy pro tuto operaci je 0,067 Hz.

Příloha 22A
(normativní)

22.A.4.3 Korelace časových průběhů

Po stanovení společné frekvenční šířky pásma je nezbytné, aby referenční a řídicí časové průběhy byly pro hodnocení TPP „dokonale“ nebo „maximálně“ korelovány v čase (tj. jeden časový průběh není posunut v čase vzhledem k druhému časovému průběhu). Pokud software dodavatele nezaručuje tuto dokonalou korelaci v čase, musí být zkontrolován stupeň korelace. Pro provedení této kontroly a přijmutí nápravných opatření je stanoven odhad funkce křížové kovariance a časové průběhy se posunou vůči sobě navzájem tak, že vrchol v odhadu funkce křížové kovariance se objeví při nulové křížové kovarianci. Tento výpočet by měl být proveden, pokud je to možné, na přiměřeně stacionárním segmentu časového průběhu. Není nutné provádět korelační výpočty v celém časovém průběhu, ale pouze je nutné získat dostatečně dlouhý segment tak, aby stupeň posunu byl s jistotou určen (v závislosti na přesnosti odhadu kovarianční funkce). Obrázek 22.A.4 poskytuje zkrácený odhad funkce křížové kovariance mezi pásmově omezenými referenčními a řídicími časovými průběhy.



a) Referenční a řídicí časový průběh s omezeným kmitočtovým pásmem (H)

b) Referenční a řídicí časový průběh s omezeným kmitočtovým pásmem (S)

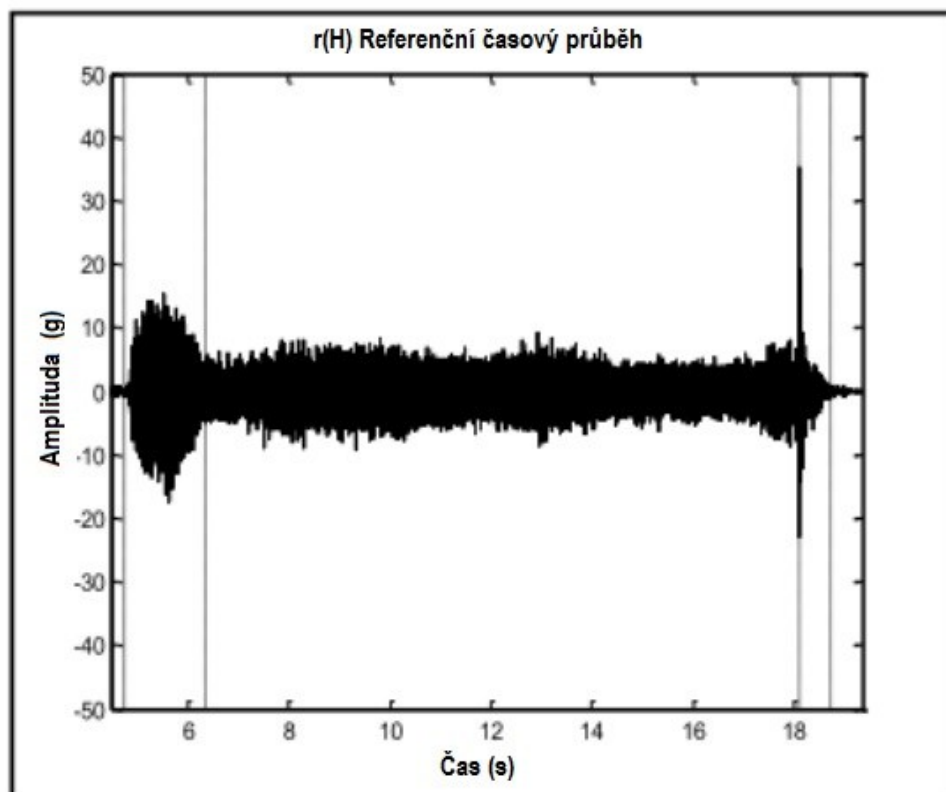
OBRÁZEK 22.A.4 – Odhady funkce křížové kovariance mezi referenčními a řídicími časovými průběhy

Příloha 22A
(normativní)

Prozkoumáním oblasti odhadu křížové korelace poblíž nulového posunu je zřejmé, že referenční a řídicí časové průběhy jsou ve fázi a není nutný žádný posun jednoho časového průběhu vůči druhému.

22.A.4.4 Určení segmentu časového průběhu

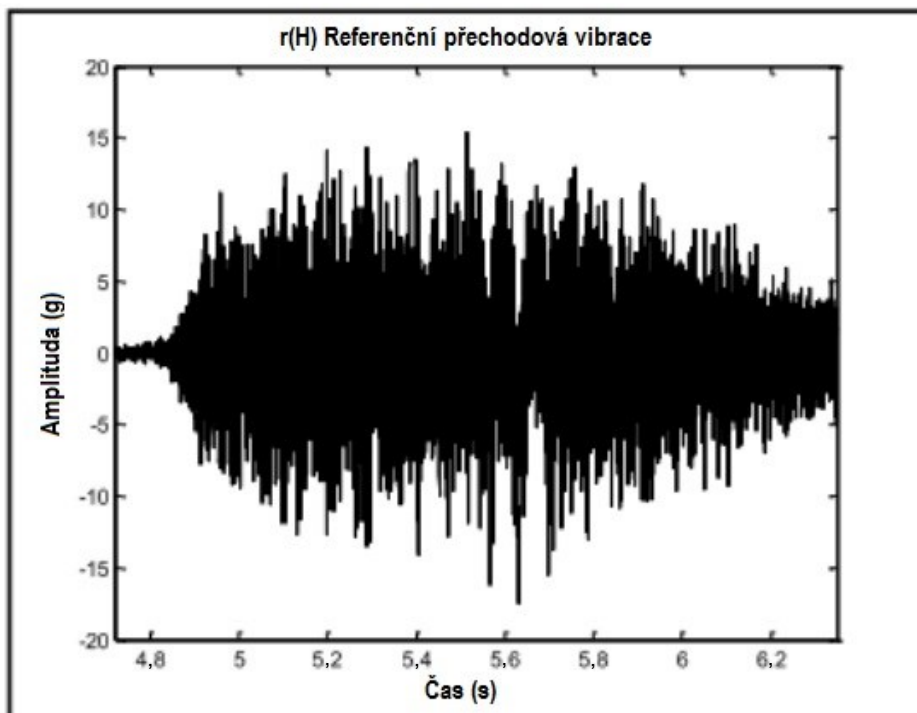
Předpokládá se, že referenční a řídicí časové průběhy jsou zachovány takovým způsobem, že (1) jsou pásmově omezeny na přesné kmitočtové pásmo a (2) jsou současně vzorkovány vzorkovacím kmitočtem SESA a v přesném časovém intervalu, bez fázového posunu mezi průběhy. Podmínky v bodech (1) a (2) byly splněny v člancích 22.A.4.2 a 22.A.4.3 (v této příloze). Účelem určení segmentu časového průběhu je rozdělit časový průběh na části, které mohou být nezávisle vyhodnoceny z hlediska chyby reprodukce zkoušky. Neexistuje žádný známý postup pro jedinou analýzu, který dokáže **důsledně** vyhodnotit chybu reprodukce pro všech šest forem složek časového průběhu uvedených v čl. 22.1.2.3, v úvodní části této metody. Obrázek 22.A.5 zobrazuje pět segmentů, na které lze rozdělit časové průběhy „r“, „c“ a „s“.



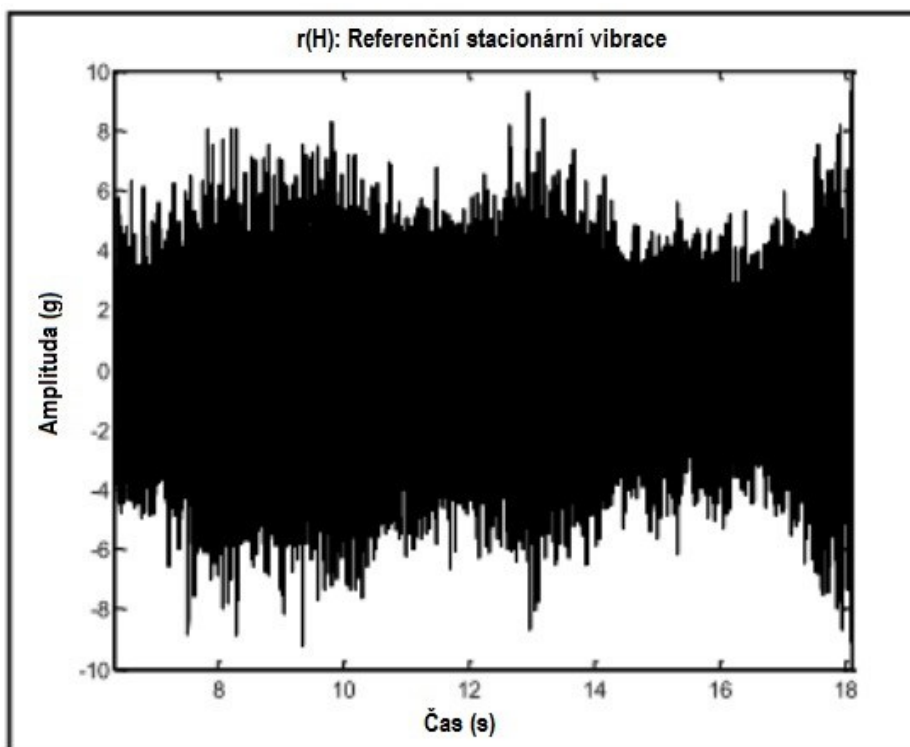
OBRÁZEK 22.A.5 – Učení segmentu časového průběhu z dříve zkrácených referenčních časových průběhů

První a pátý segment představují zrychlení nízké úrovně před a po zkoušce, které nemají význam pro posouzení tolerance zkoušky. Druhý segment představuje přechodové vibrace, třetí segment stacionární náhodné vibrace a čtvrtý segment ráz. Pro další zpracování jsou tři požadované segmenty extrahovány pomocí obdélníkového okna po dobu trvání segmentu. Tyto tři segmenty jsou zobrazeny na obrázcích 22.A.6 až 22.A.8.

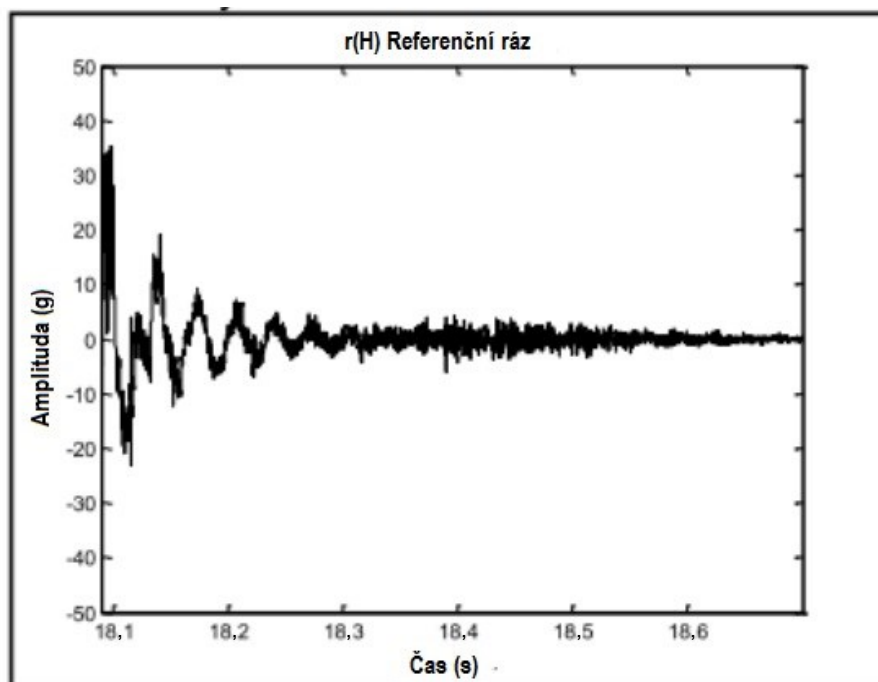
Příloha 22A
(normativní)



OBRÁZEK 22.A.6 – Segment referenčního časového průběhu přechodové vibrace



OBRÁZEK 22.A.7 – Segment referenčního časového průběhu stacionární náhodné vibrace



OBRÁZEK 22.A.8 – Segment referenčního časového průběhu rázu

U materiálu zvláště citlivého na pásmo nebo pásma kmitočtů mohou být oba časové průběhy filtrovány (zachována fázová linearita) do několika pásem a následné zpracování se provádí na pásmu nebo pásmech jednotlivě. Je docela přijatelné rozhodnout a dohodnout se (před laboratorním zkoušením) na strategii pásmového filtru, která bude přijatelná pro hodnocení chyby reprodukce. Tato forma hodnocení chyby reprodukce zde nebude dále uváděna.

22.A.5 ZPRACOVÁNÍ PO ZKOUŠCE PRO TPP

Z předběžného zpracování existují tři jednotlivé segmenty různých forem spolu s celkovým časovým průběhem. Pro referenční účely je na obr. 22.A.9a a 22.A.9b zobrazen celkový časový průběh rozdílu spolu se střední kvadratickou hodnotou TPP. Kromě toho je na obrázku 22.A.9c uveden rozdíl rozdílů.

V tomto konkrétním případě se rozdíl TPP $s(H)$ a $s(S)$ může přiblížit 5g, přičemž referenční časový průběh byl ohraničen 40g v kladném a záporném směru. To by naznačovalo, že v určitých částech časového průběhu by se normalizovaná náhodná chyba mohla přiblížit 0,125, tj. 12,5 procenta. Základní celkové maximální a minimální statistiky pro časové průběhy jsou následující:

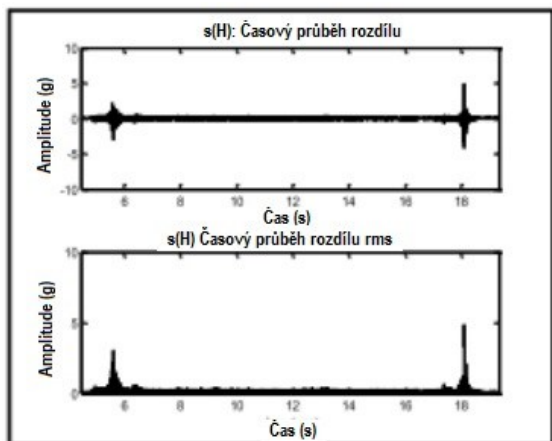
$$r(H) \text{ min/max } -22,84/35,24; c(H) \text{ min/max } -24,28/39,76; s(H) \text{ min/max } -4,11/4,78;$$
$$c(S) \text{ min/max } -23,85/39,03; s(S) \text{ min/max } -3,95/6,08.$$

Rozdíly mezi odezvou na hlavě (H) a kluzném stole (S) budiče jsou přiměřeně nominální, takže níže budou uvedeny pouze výsledky pro hlavu budiče. Při přezkumu několika zkušebních měření je obvykle žádoucí poskytnout u jedné sady měření komplexní analýzu po zkoušce a odvodit podobnou analýzu u ostatních měření.

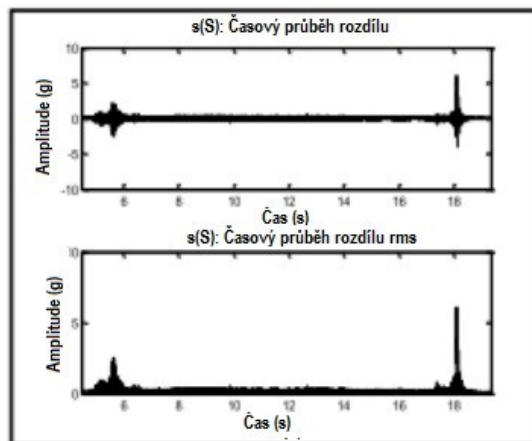
Příloha 22A

(normativní)

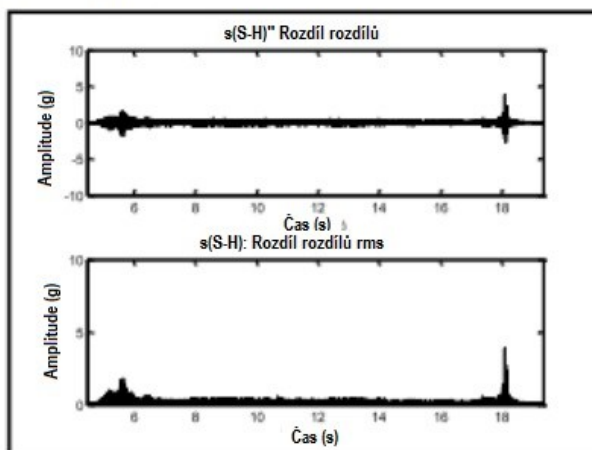
Segmenty budou nyní zpracovány postupně podle smysluplných a snadno interpretovatelných odhadů.



Obrázek A-9a Rozdíl budiče (H)



Obrázek A-9b Rozdíl budiče (S)



Obrázek A-9c Časový průběh rozdílu rozdílů ((S) - (H))

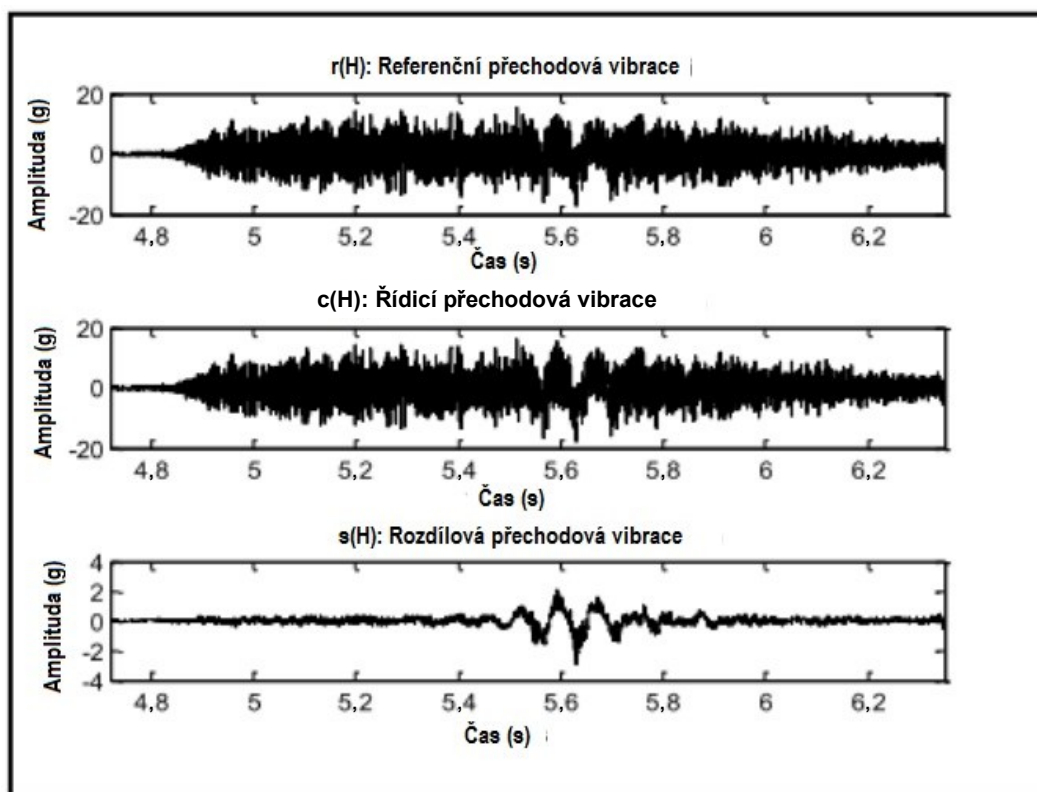
OBRÁZEK 22.A.9 – Grafy celkového časového průběhu rozdílu se střední kvadratickou hodnotou

22.A.6 PŘECHODOVÉ VIBRACE TPP

Na obr. 22.A.10 jsou znázorněny informace o časovém průběhu přechodových vibrací, z nichž je zachována obecná forma přechodových vibrací a rozdíl je přiměřeně nominální. V časových průbězích je zjevně nízkofrekvenční složka mezi 5,58 a 5,70 sekundami. Taková dominantní nízkofrekvenční složka by mohla vyloučit přísné předpoklady produktového modelu pro následné zpracování. Obecně je však produktový model přiměřeně robustní s ohledem na změnu kmitočtu, to znamená, že okamžitá změna v charakteru kmitočtu je průměrována v celé délce záznamu.

Základní celkové maximální a minimální statistiky pro časový průběh přechodových vibrací jsou následující:

$r(H)$ min/max $-17,50/15,41$; $c(H)$ min/max $-18,12/16,11$; $s(H)$ min/max $-2,99/2,12$.



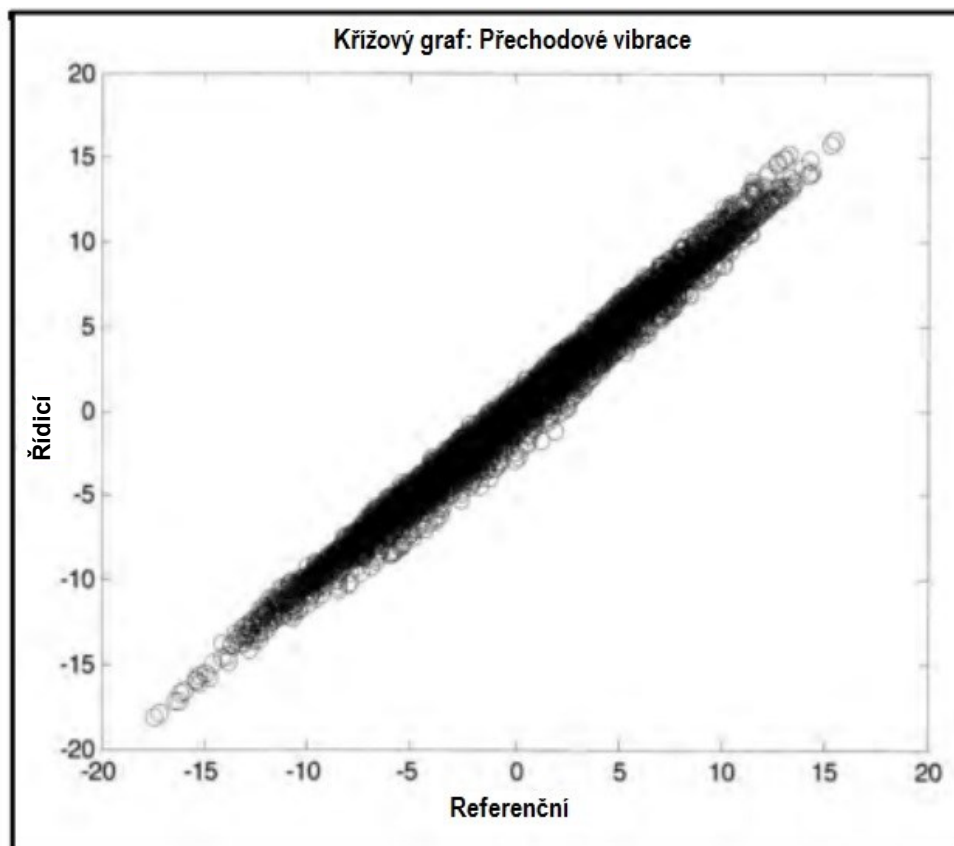
OBRÁZEK 22.A.10 – Časové průběhy přechodových vibrací – „r“, „c“, „s“

Chyba reprodukce je hodnocena za předpokladu produktového modelu následovně.

- Pro měření síly korelace TPP je generován graf pro „r“ vzhledem „c“ (křížový graf), (zejména pro vrcholy a sedla v extrémních bodech křížového grafu).
- Generuje se graf qq pro „s“, aby se zkontrolovala normálnost rozdílového časového průběhu.
- Obálky střední kvadratické hodnoty se generují při průměrování 0,1 sekundy pro „r“ a „c“ za předpokladu produktového modelu.
- Normalizované odhady ASD jsou stanoveny pro „r“ a „c“ za předpokladu produktového modelu.

Obrázek 22.A.11 zobrazuje graf amplitudy „r“ vzhledem k amplitudě „c“. Každý jednotlivý bod v grafu představuje časový bod s amplitudou „r“ podél horizontální osy a amplitudou „c“ podél vertikální osy. Rozptyl podél vedlejší osy této elipsoidální formy znamená rozdíl „r“ a „c“ v několika časových přírůstcích. V tomto konkrétním případě je záporný vrchol rozptylu blízko $-18g$ nominální, zatímco kladný vrchol rozptylu blízko $14g$ vykazuje až $2g$ rozdílu v daných časových přírůstcích. Rozptyl v blízkosti $r \approx c \approx 0$ je málo znepokojivý, protože poměr signál-šum je malý a statisticky nezávislé Gaussovy vzorky šumu jsou vykresleny křížově.

Příloha 22A
(normativní)

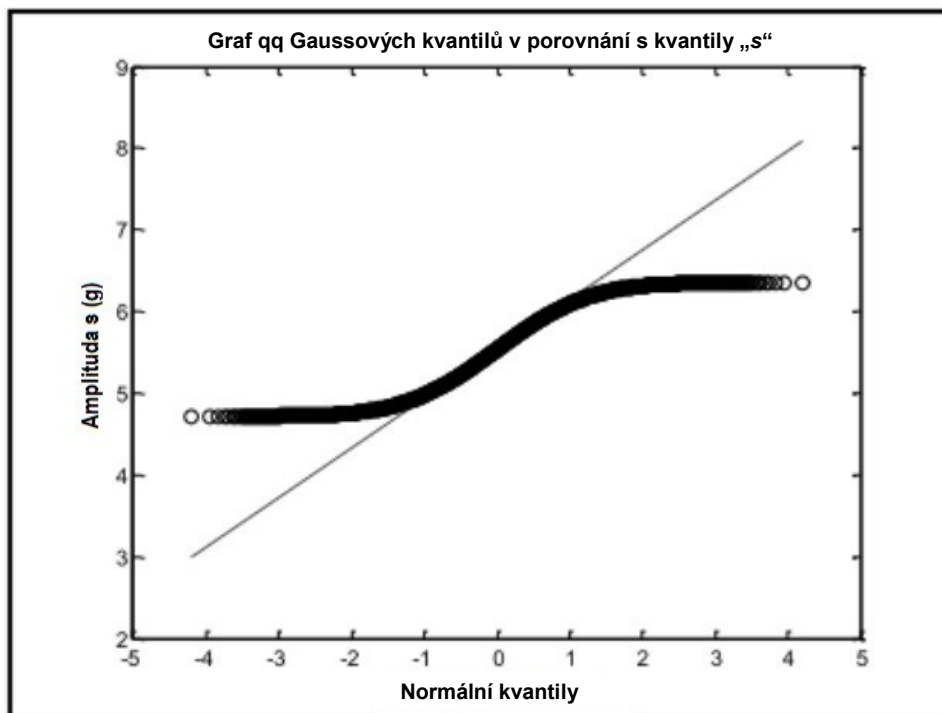


OBRAZEK 22.A.11 – Křížový graf „r“ vzhledem „c“

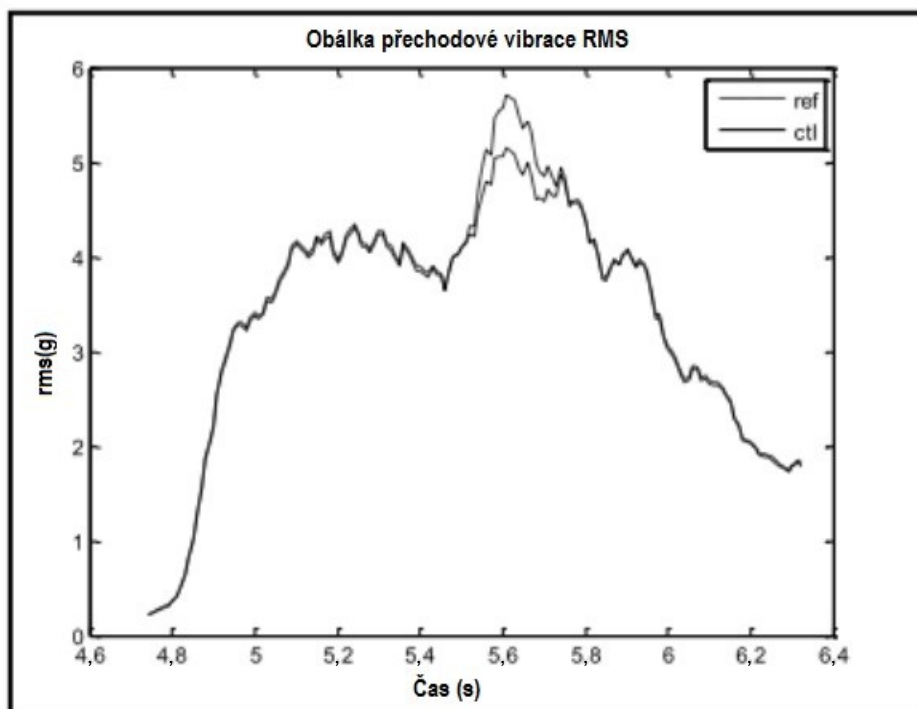
Obrázek 22.A.12 zobrazuje kvantily „s“ v porovnání s Gaussovým rozdělením. Tento obrázek jasně ukazuje, že rozdíl mezi „r“ a „c“ je negaussovský, což komplikuje hodnocení chyby reprodukce. Zejména má „s“ konce, které jsou delší než ty, které by se daly očekávat pro Gaussovo rozdělení, se střední hodnotou a standardní odchylkou odhadovanou z „s“.

Obrázek 22.A.13 poskytuje překrytí obálek „r“ a „c“, pokud jde o střední kvadratickou hodnotu „g“, pro přírůstek krátkodobého průměrování 0,1 sekundy (hodnocení STA). Pokud lze předpokládat produktový model, rozdíly v úrovních obálek střední kvadratické hodnoty jsou maximálně 2 procenta.

Obrázek 22.A.14 poskytuje složené normalizované odhady ASD pro „r“ a „c“. Odhady byly určeny průměrováním jedné šestiny oktávy pásma kmitočtů. Normalizované odhady ASD se liší o méně než 2 dB.

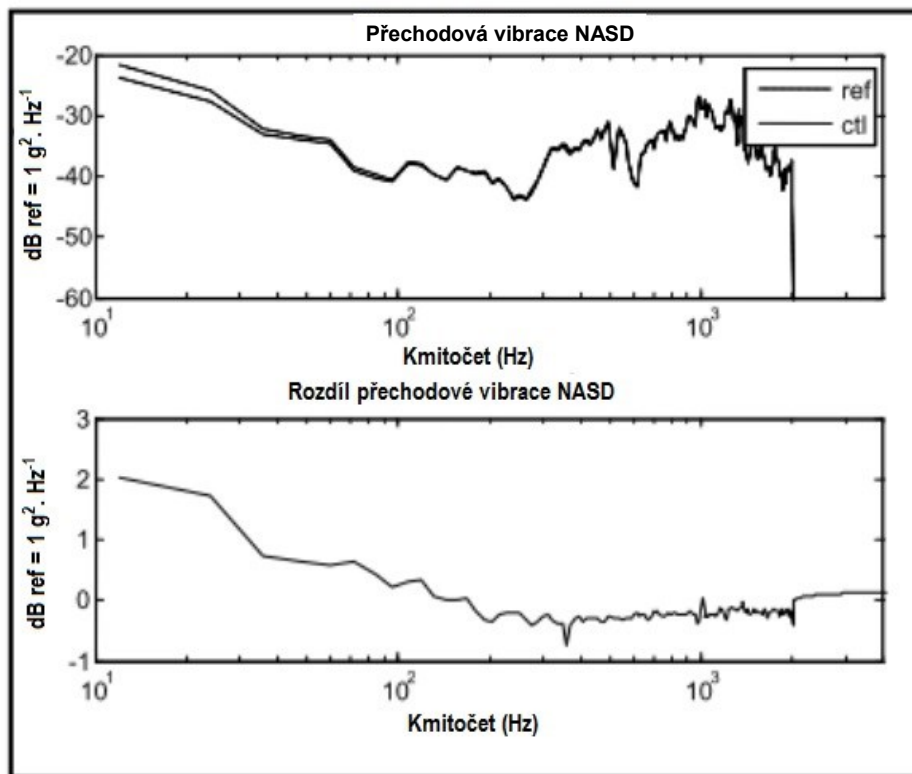


OBRÁZEK 22.A.12 – Graf q-q přechodové vibrace pro „s“ v porovnání s Gaussovým rozdělením



OBRÁZEK 22.A.13 – Složené odhady obálek střední kvadratické hodnoty pro „r“ a „c“

Příloha 22A
(normativní)

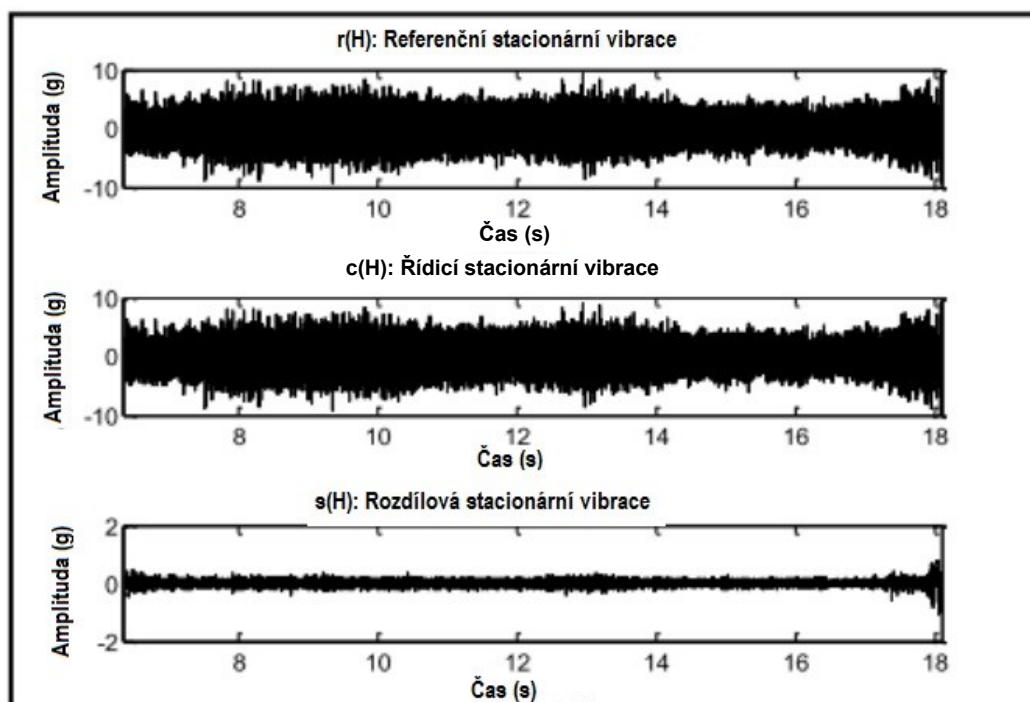


OBRÁZEK 22.A.14 – Složené normalizované odhady ASD pro „r“ a „c“

Z výše uvedených statistik lze vyvodit závěr, že za předpokladu produktového modelu nelze činit platné rozlišení „r“ a „c“, i když je obtížné interpretovat negaussovské rozdělení chyb „s“. Ukázalo by se, že tolerance pro tento konkrétní segment by mohla být stanovena jako amplituda menší než 0,2 *grms* pro 90 procent obálky časového průběhu a 2 dB pro normalizované odhady ASD, na základě informací na obrázcích 22.A.13 a 22.A.14. Tím se uzavírá zpracování chyby reprodukce a specifikace tolerance pro dílčí jev přechodové vibrace.

22.A.7 STACIONÁRNÍ VIBRACE TPP

Obrázek 22.A.15 zobrazuje časové průběhy stacionárních vibrací, které mají být zpracovány pro vyhodnocení chyby reprodukce. Je třeba si uvědomit, že časový průběh „s“ je nominální a že „r“ a „c“ by mohly následovat formulaci produktového modelu, jak je uvedeno výše, z důvodu poměrně malých změn obálky v čase.



OBRÁZEK 22.A.15 – Časové průběhy stacionárních vibrací – „r“, „c“, „s“

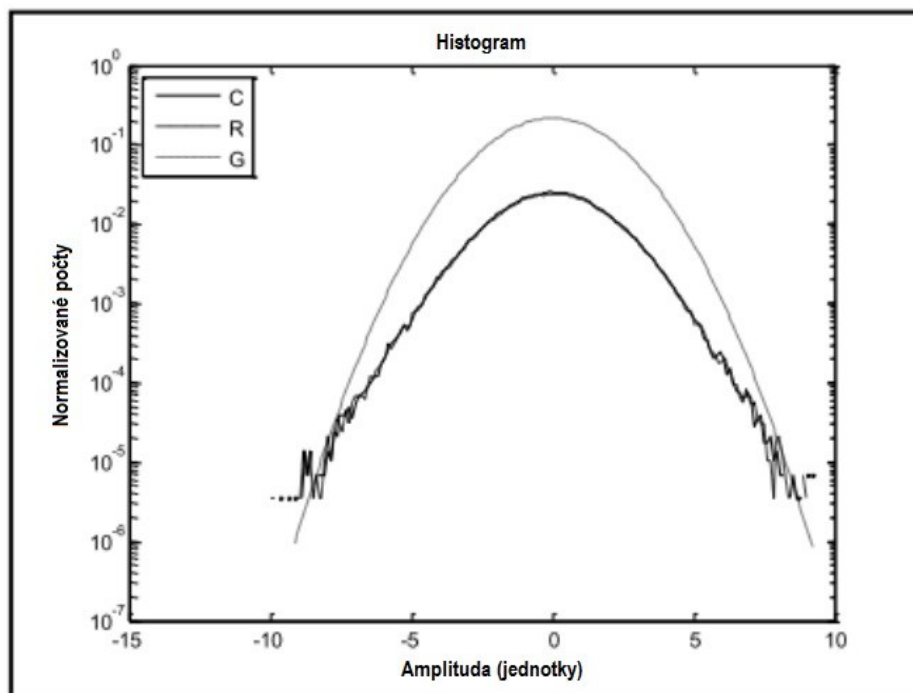
Chyba reprodukce je hodnocena za předpokladu stacionární náhodné vibrace následovně.

- Pro „r“, „c“ jsou generovány odhady hustoty pravděpodobnosti.
- Generuje se graf qq pro „s“, aby se zkontrolovala normálnost rozdílového časového průběhu.
- Rozdělení časového zlomku (FOT) pro „s“.
- Odhady ASD jsou stanoveny pro „r“, „c“, „s“.

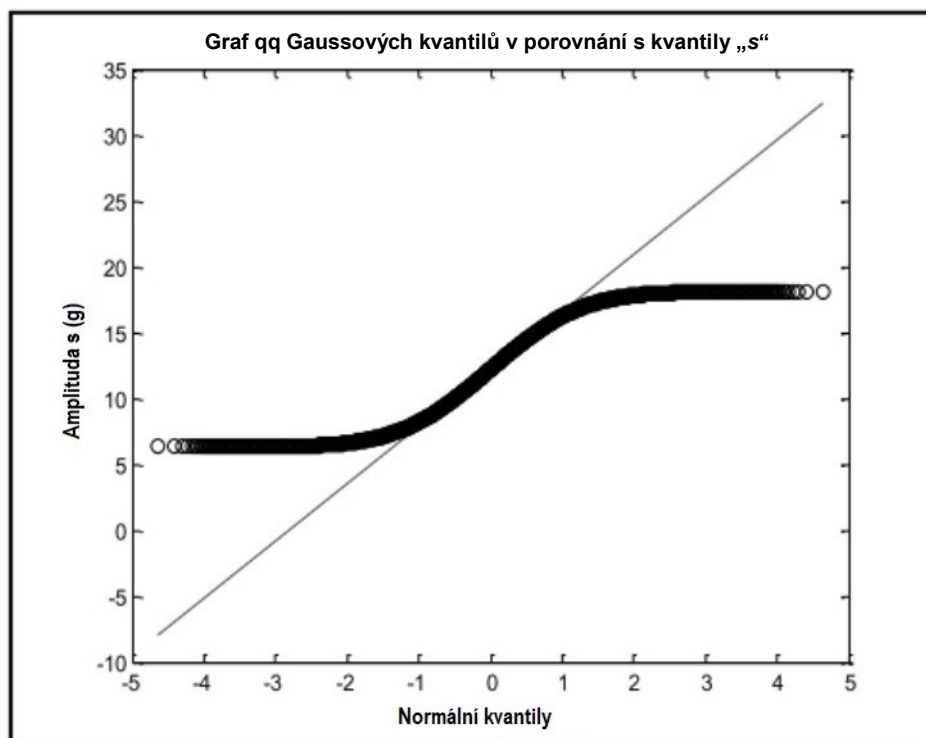
Pro zkoumání Gaussovy formy časového průběhu stacionárních vibrací je na obrázku 22.A.16 vynesena složený histogram (odhad funkce hustoty pravděpodobnosti) pro „r“ a „c“, s vylepšenými vlastnostmi „konců“. Informace o časovém průběhu je s dlouhým koncem kvůli přítomnosti časově proměnné střední kvadratické hodnoty amplitudy. „G“ představuje Gaussův histogram v legendě grafu.

Obrázek 22.A.17 poskytuje graf qq pro „s“ pro Gaussovy kvantily. Chování konců „s“ by mohlo naznačovat, že hodnoty vrcholů a sedel křivky jsou poněkud větší případně menší, než Gaussovy. Přestože Gaussova část (dobré přizpůsobení přímce) je větší než v případě přechodových vibrací.

Příloha 22A
(normativní)



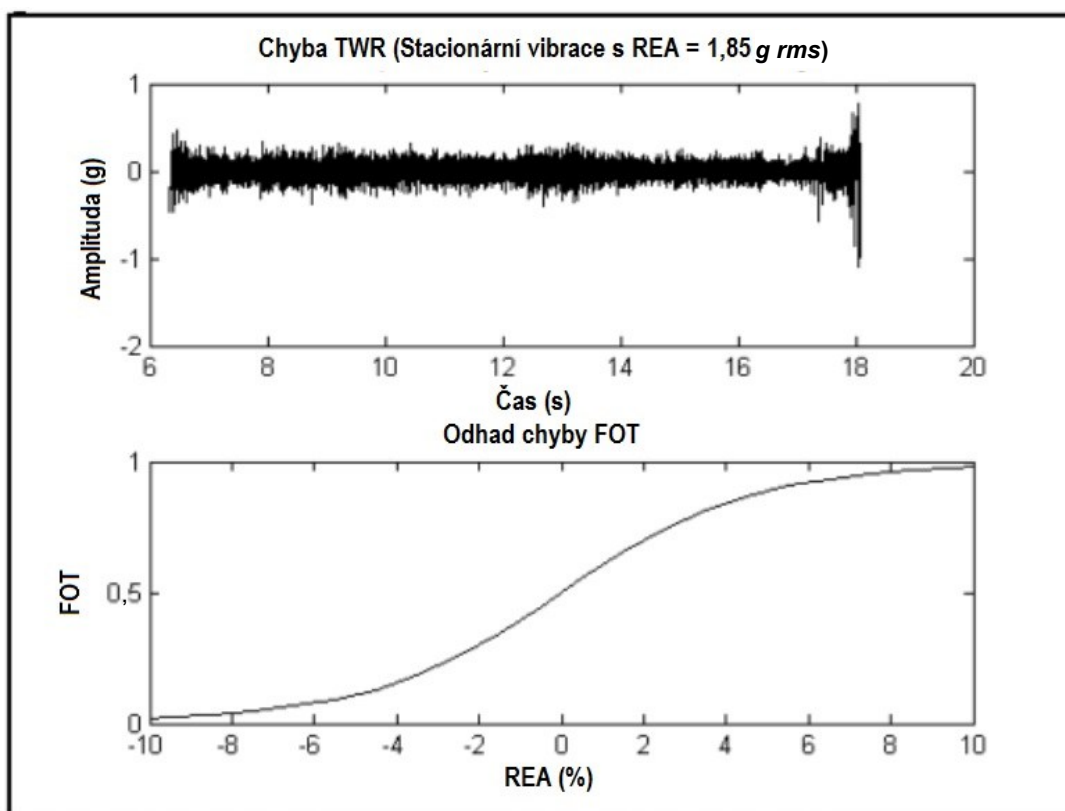
OBRÁZEK 22.A.16 – Odhady funkce hustoty pravděpodobnosti stacionární vibrace



OBRÁZEK 22.A.17 – Graf q-q stacionární vibrace pro „s“ v porovnání s Gaussovým rozdělením

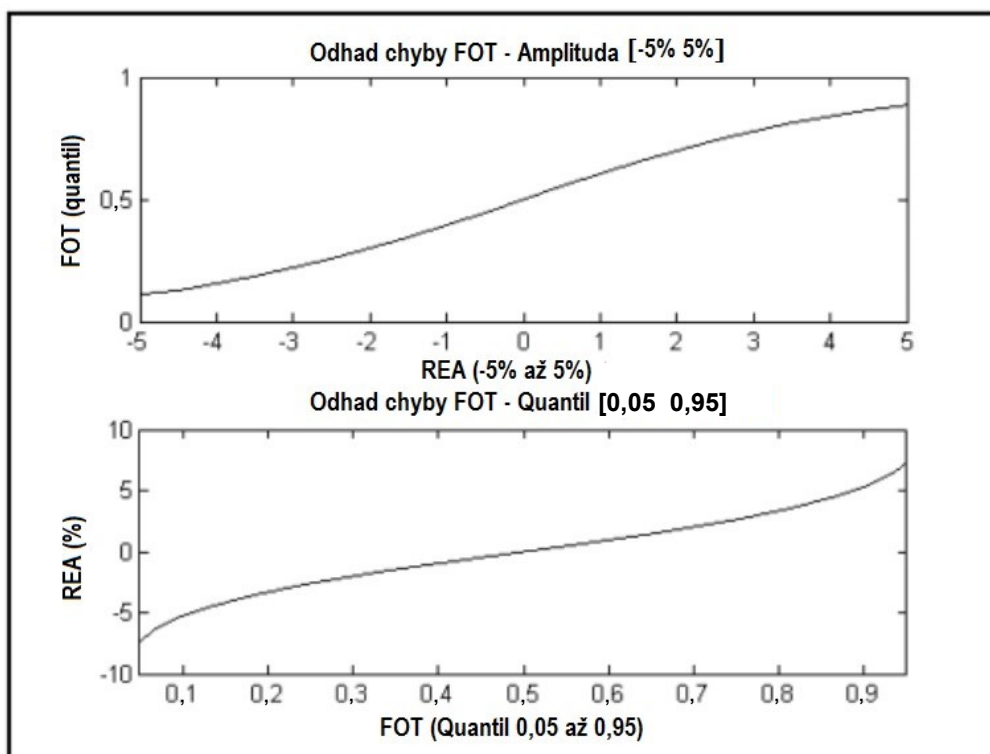
Příloha 22A
(normativní)

Příloha 22B definuje rozdělení časových zlomků (FOT) pro hodnocení rozdílového časového průběhu. Toto hodnocení empiricky definuje zlomek času, kdy chyba leží mimo (nebo uvnitř) daných mezí amplitudy chyby. Toto hodnocení je matematicky ekvivalentní s hodnocením hustoty (nebo rozdělení) pravděpodobnosti, ale je transparentnější a snáze interpretovatelné pro přípustnou specifikaci tolerance chyb. Protože TWR je založena na čase, je možné snadno zobrazit přípustnou chybu x-procent času, kdy může amplituda chyby překročit y-procent úrovně střední kvadratické amplitudy energie (REA) deterministického referenčního časového průběhu. Obrázky 22.A.18a, b, c zobrazují časově proměnnou chybu v „g“ pro stacionární segment spolu s procentuální chybou REA vynesenu v porovnání s kvantily FOT. Pro uvažovaný příklad je REA pro porovnání 1,85 g-rms. Uvažují se oboustranné i jednostranné analýzy. FOT je v rozmezí od 0,0 do 1,0 v přibližně plus a minus 10 % REA. Obrázek 22.A.18a zobrazuje FOT kvantily pro -10 % až 10 % procentní chyby REA. Obrázek 22.A.18b zobrazuje náhodnou chybu REA -5 % až 5 % pro FOT kvantily od přibližně 0,1 do 0,9 a obrázek 22.A.18c uvažuje jednostrannou chybu pro 10 % procentní chyby REA a 0,90 FOT kvantilu. Specifikace oboustranné tolerance může například vyžadovat ne více než 10 % (0,10 FOT kvantilu) zkušebního času, aby ležela mimo hranice procenta amplitudy REA -5 % a 5 %. Tolerance je vyjádřena v procentech času, kdy je přípustné, aby chyba byla větší než určité procento REA, jako referenční amplitudy.

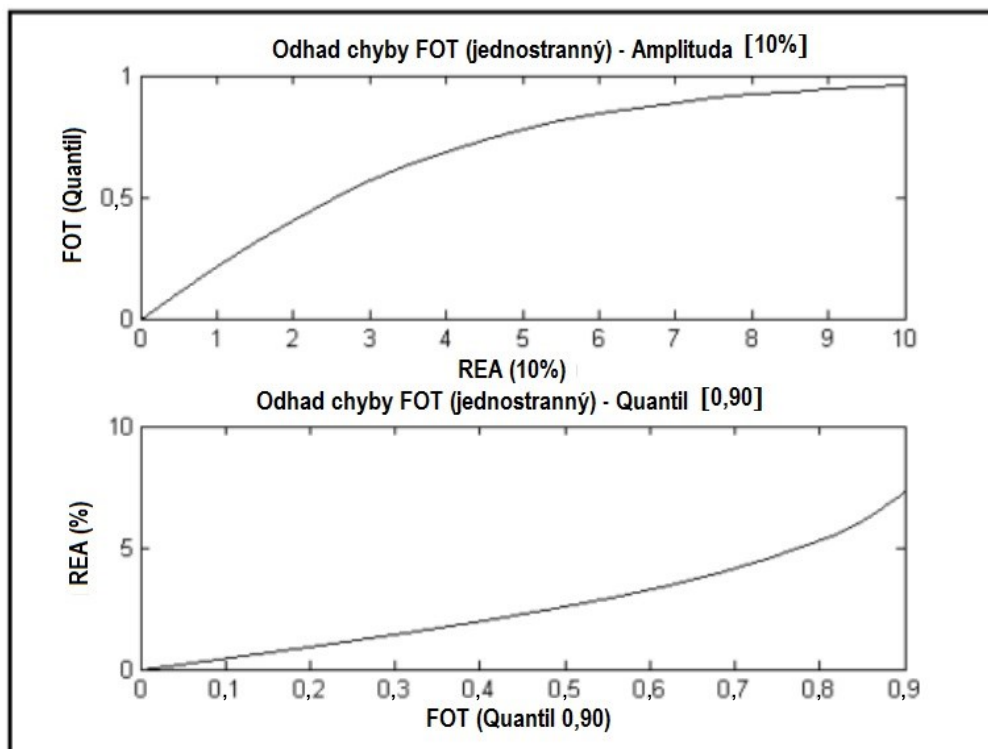


OBRÁZEK 22.A.18a – Hodnocení chyby FOT – 10 % REA pro chybu z časového zlomku (FOT)

Příloha 22A
(normativní)



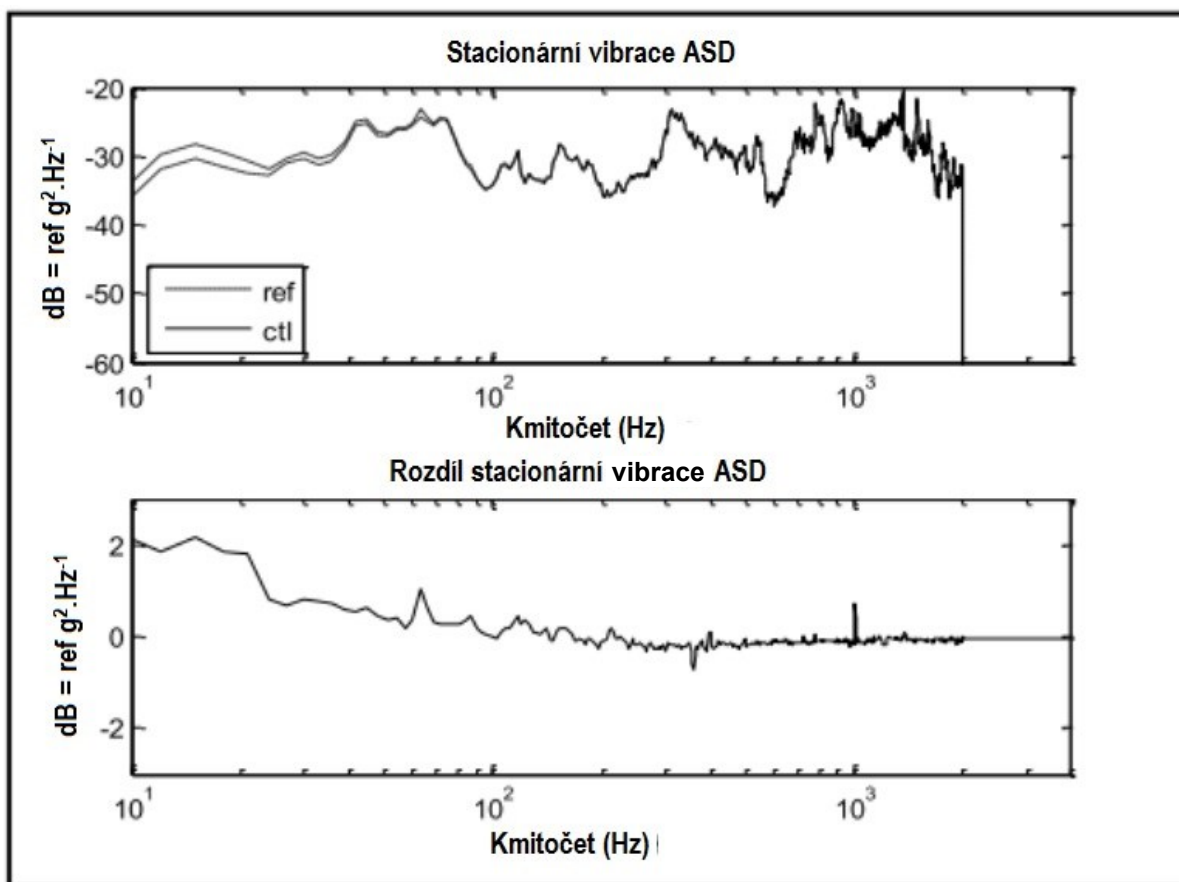
OBRÁZEK 22.A.18b – Hodnocení chyby FOT – 5 % REA pro meze chyby FOT



OBRÁZEK 22.A.18c – Hodnocení chyby FOT – jednostranné 10 % REA pro meze chyby FOT

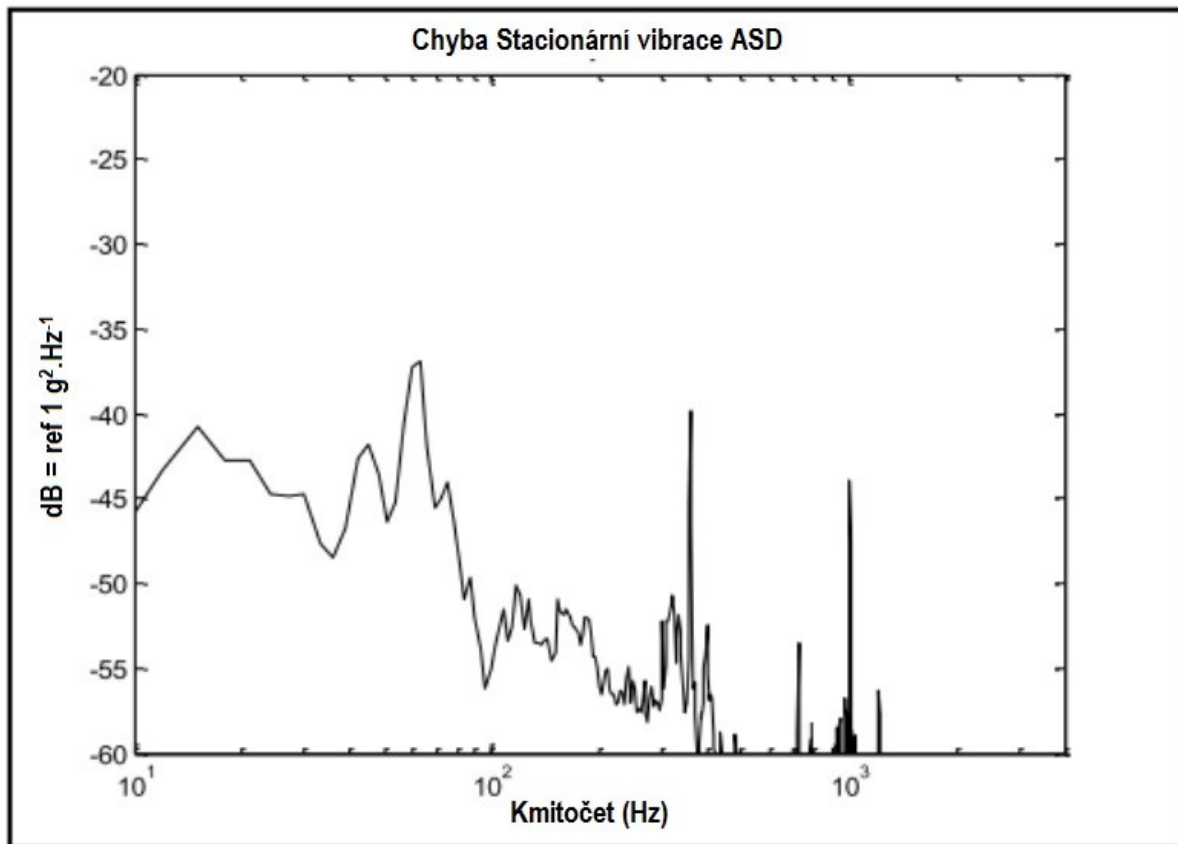
Příloha 22A
(normativní)

Na obr. 22.A.19 jsou uvedeny složené odhady ASD pro „r“ a „c“. Odhady ASD mezi „r“ a „c“ jsou v podstatě ekvivalentní. Pro časový průběh „s“ je tam nerovnoměrné spektrum, které by normálně nebylo přítomno, pokud by chyba reprodukce měla silný Gaussův charakter, tj. „s“ byl pásmově omezený bílý šum. Parametry zpracování jsou šířka pásma analýzy 5 Hz při použití Hammingova okna s 50 % překrytím.



OBRÁZEK 22.A.19a – Složené odhady ASD pro „r“ a „c“

Příloha 22A
(normativní)

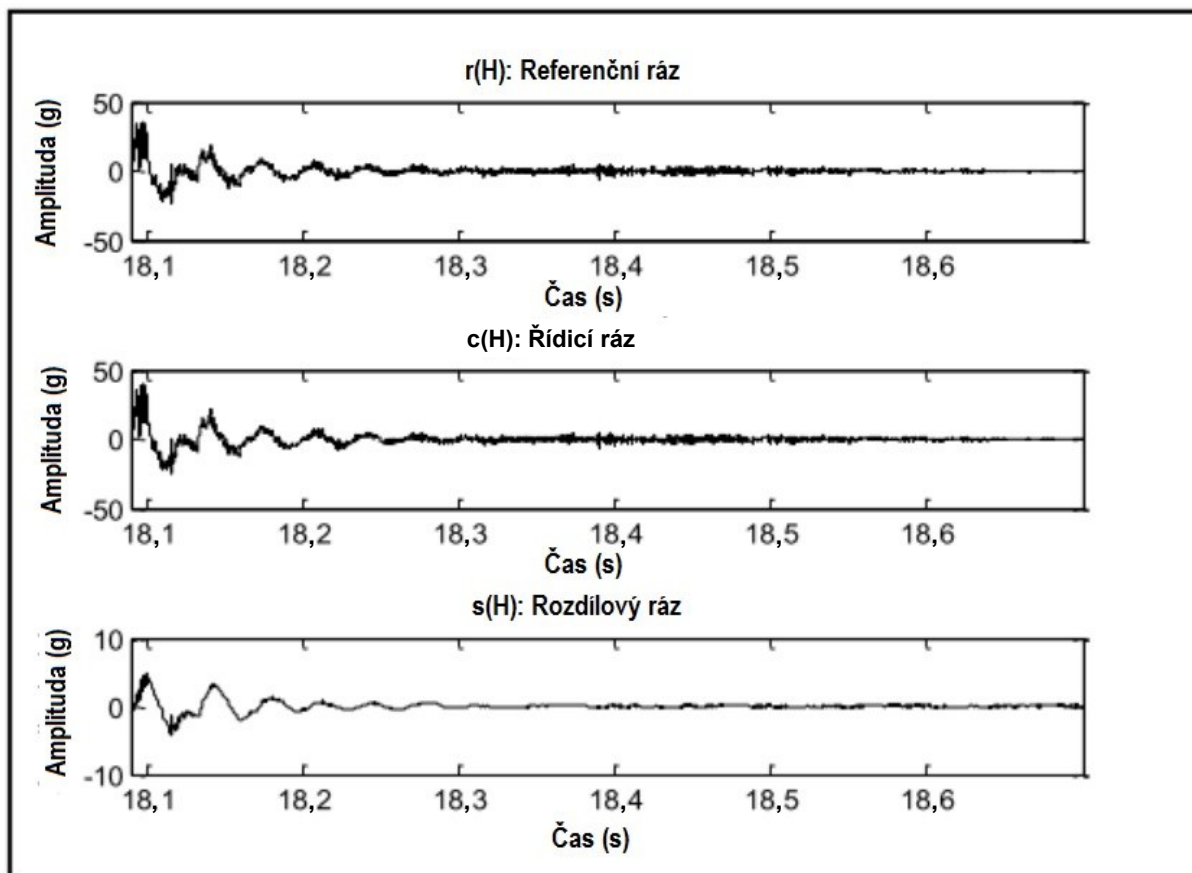


OBRÁZEK 22.A.19b – Odhad ASD pro „s“

Z výše uvedených statistik lze vyvodit závěr, že za předpokladu stacionárního modelu nelze činit žádné platné rozlišení mezi „r“ a „c“, i když je obtížné interpretovat negaussovské rozdělení chyb „s“. Na základě informací z obrázku 22.A.19 se zdá, že tolerance pro odhady ASD pro tento konkrétní segment by mohly být stanoveny jako maximální 2 dB. Tím je ukončeno zpracování chyby reprodukce a vypracování tolerance pro dílčí jev stacionární vibrace.

22.A.8 RÁZ TPP

Obrázek 22.A.20 zobrazuje časové průběhy rázů, které budou zpracovány pro hodnocení chyby reprodukce. Je třeba si uvědomit, že časový průběh „s“ není v oblasti maximálního rázu nominální. Maximální/minimální hodnoty pro každý průběh jsou dány $r(H)$: -22,84/35,24; $c(H)$: -24,28/39,76; $s(H)$: -4,11/4,78.



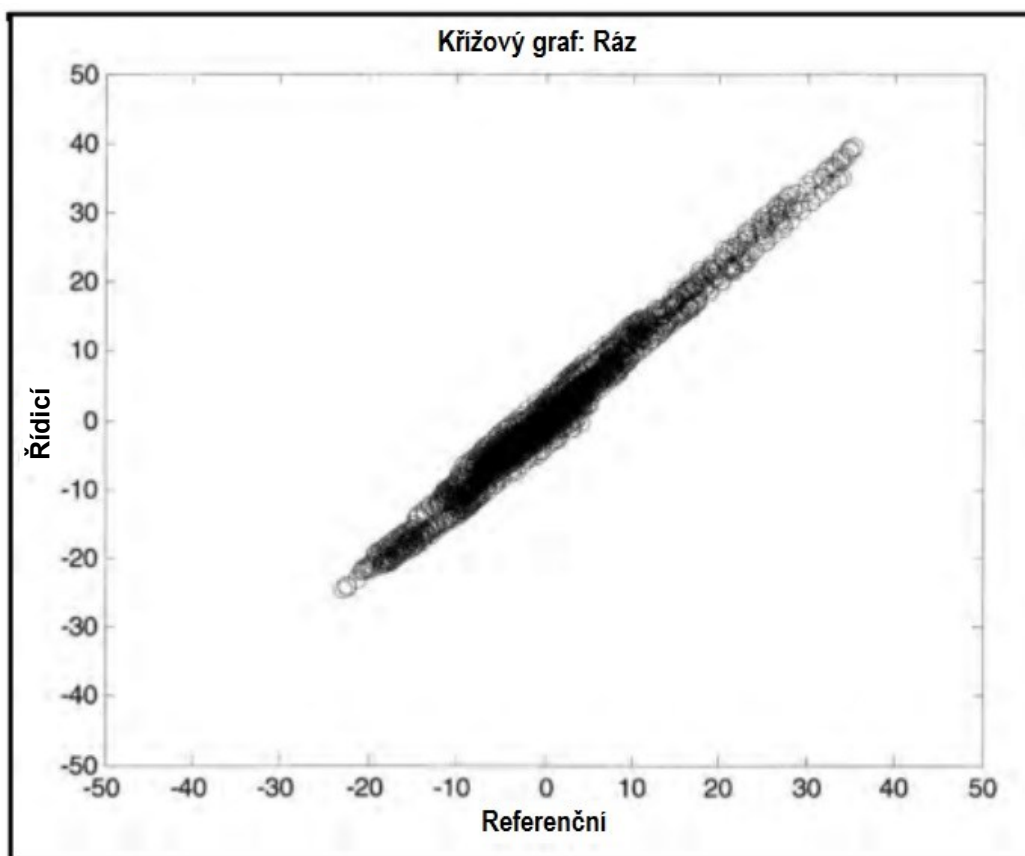
OBRÁZEK 22.A.20 – Časové průběhy rázů – „r“, „c“, „s“

Chyba reprodukce za předpokladu rázu je hodnocena následovně.

- a) Vytvoří se křížový graf „r“ vzhledem „c“.
- b) Vytvoří se graf qq pro „s“, aby se zkontrolovala normálnost rozdílového časového průběhu.
 - (1) Odhad pseudorychlosti SRS pro „r“ a „c“.
 - (2) Odhady ESD jsou určeny pro „r“, „c“, „s“ za předpokladu časového průběhu rázu.

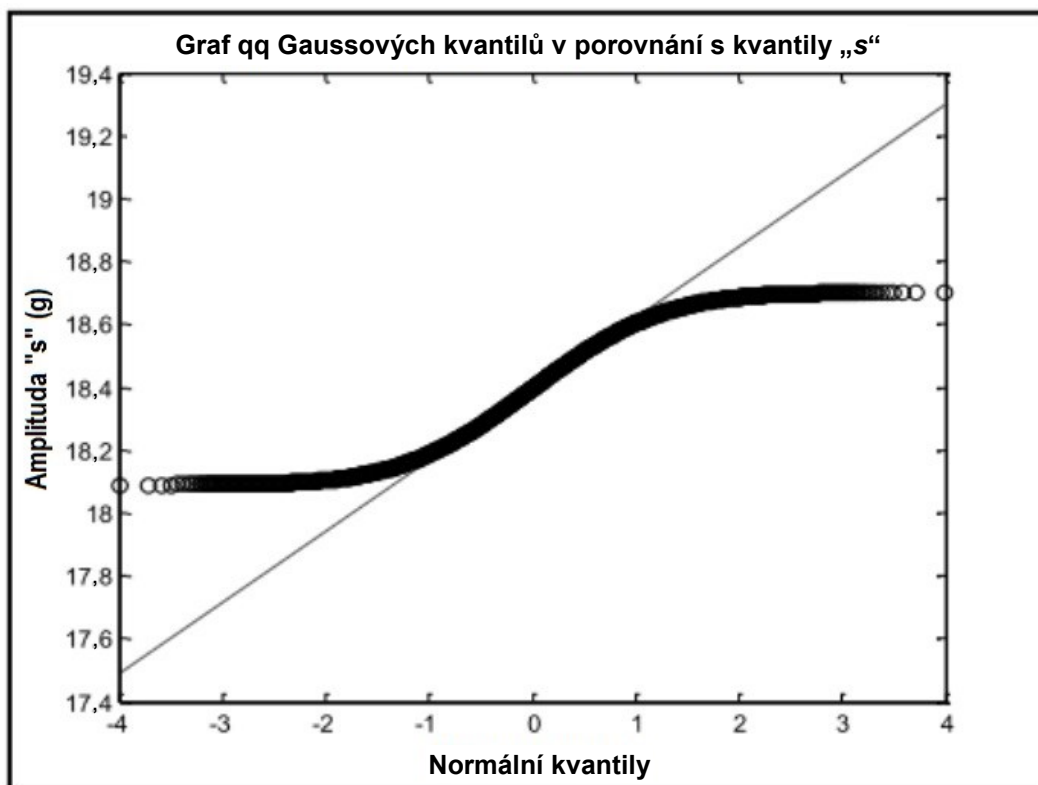
Pro segment rázů poskytuje křížový graf „r“ vzhledem „c“ užitečné informace s ohledem na kladné a záporné vrcholy. Z formy časových průběhů „r“ a „c“ je však zřejmé, že histogramy a empirické grafy q-q v porovnání s Gaussovým rozdělením přinesou málo užitečných informací. Obrázek 22.A.21 poskytuje křížový graf „r“ vzhledem „c“.

Příloha 22A
(normativní)



OBRÁZEK 22.A.21 – Křížový graf „r“ vzhledem „c“

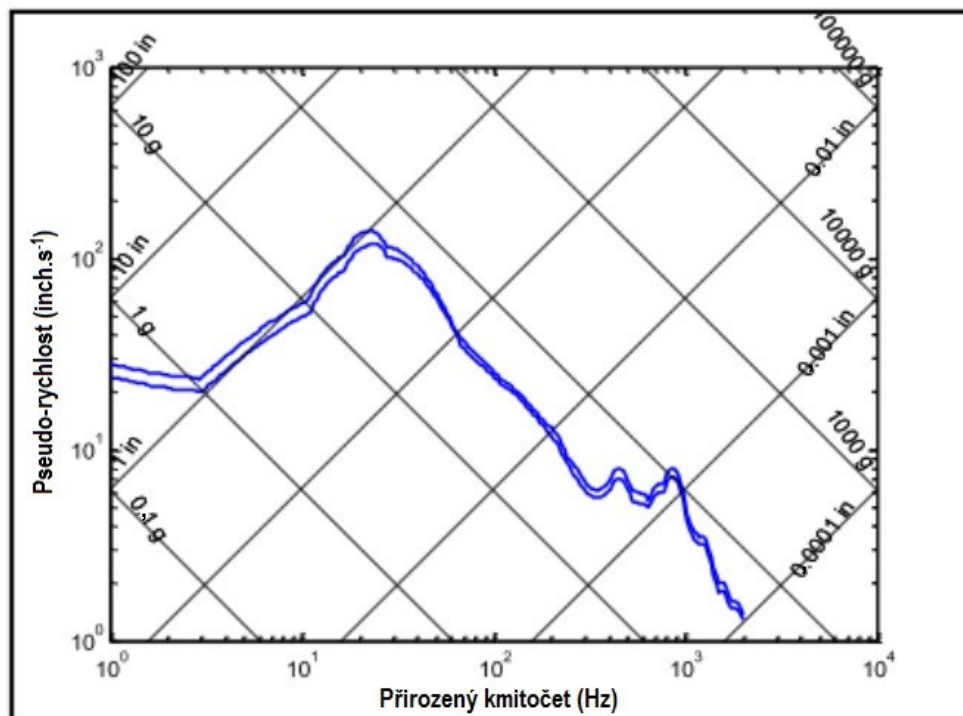
Přestože „s“ nebude projevovat Gaussův charakter, může být užitečná určitá indikace jeho negaussovského charakteru. Obrázek 22.A.22 poskytuje graf q-q „s“ v porovnání s Gaussovým rozdělením. Je zřejmé, že vzorky kvantilů z „s“ na koncích daleko přesahují jakýkoli Gaussův model, který lze přizpůsobit „s“.



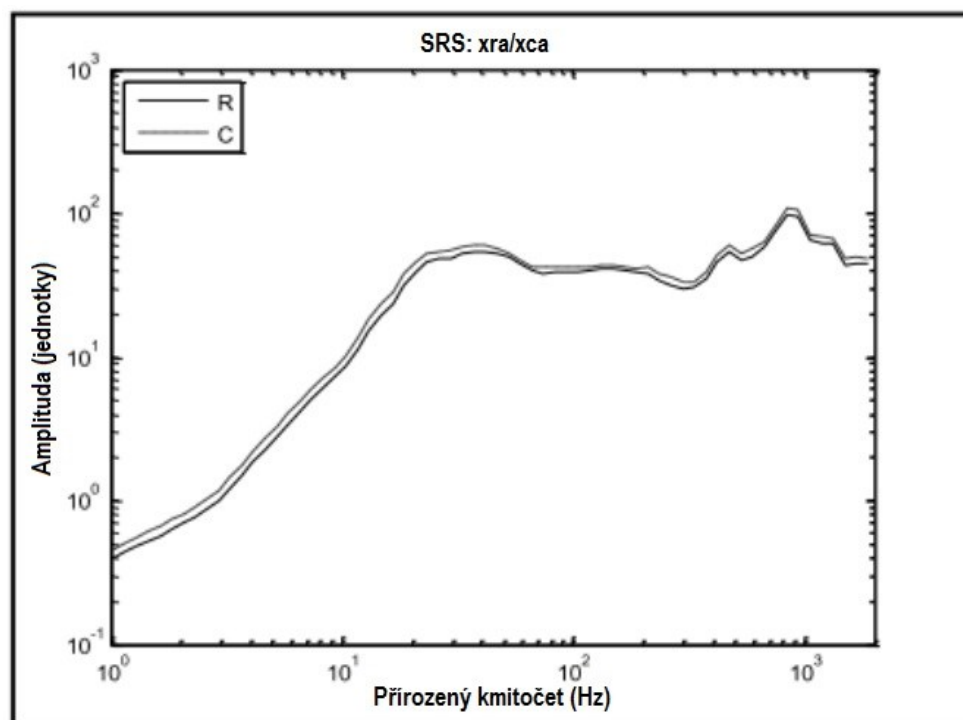
OBRÁZEK 22.A.22 – Graf q-q rázu pro „s“ v porovnání s Gaussovým rozdělením

Běžný způsob porovnávání informací o rázech je prostřednictvím SRS, zejména doporučený odhad pseudorychlostí SRS (Metoda 403). Pro časové průběhy „r“ a „c“ je užitečné složené překrytí odhadů pseudorychlosti SRS pro oba rázy. Obrázek 22.A.23 kromě tohoto srovnání poskytuje srovnání maximax zrychlení SRS. Protože SRS je proces integrace/vyhlazování, předpokládá se, že referenční a řídicí informace budou při pohledu ve formátu SRS vysoce korelované. Pro nízkokmitočtovou korekci se u těchto obrázků nezkoušela korekce vlnkou, protože taková korekce aplikovaná jednotlivě může vést k méně transparentnímu srovnání.

Příloha 22A
(normativní)



OBRÁZEK 22.A.23a – Složené maximax pseudorychlosti SRS pro „r“ a „c“

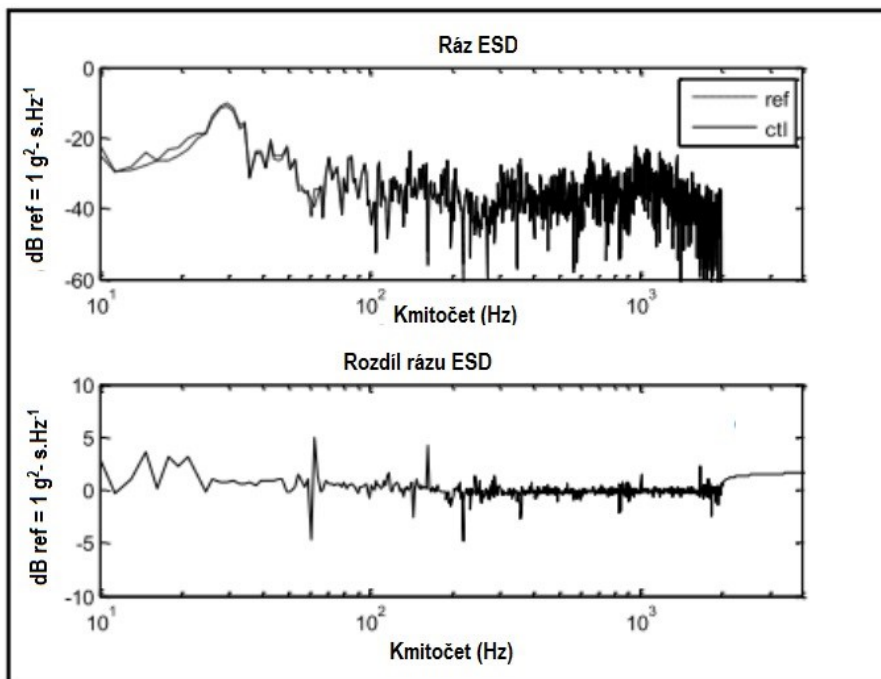


OBRÁZEK 22.A.23b – Složené maximax zrychlení SRS pro „r“ a „c“

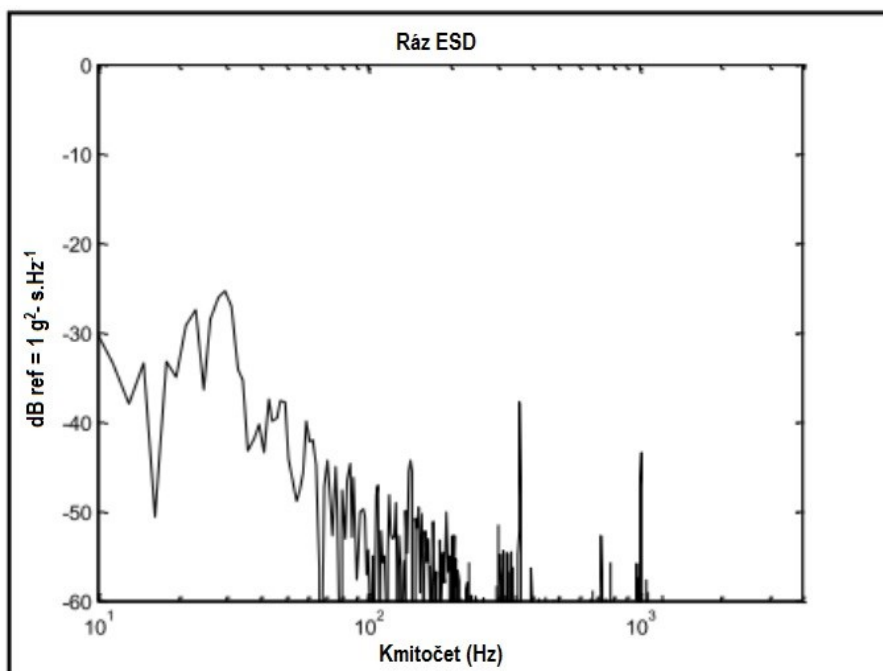
Jelikož odhady ESD poskytují způsob porovnávání jevů typu rázů, obrázek 22.A.24 poskytuje kombinaci odhadů ESD pro „r“ a „c“, zatímco obrázek 22.A.25 poskytuje

Příloha 22A
(normativní)

odhad ESD pro „s“. Z obou těchto grafů je zřejmé, že nejzávažnější chyba se vyskytuje v oblasti nízkých kmitočtů. To není překvapivé, protože přenosová funkce použitá pro kompenzaci celého časového průběhu pravděpodobně nebyla pro ráz optimální.



OBRÁZEK 22.A.24 – Odhady ESD pro „r“ a „c“

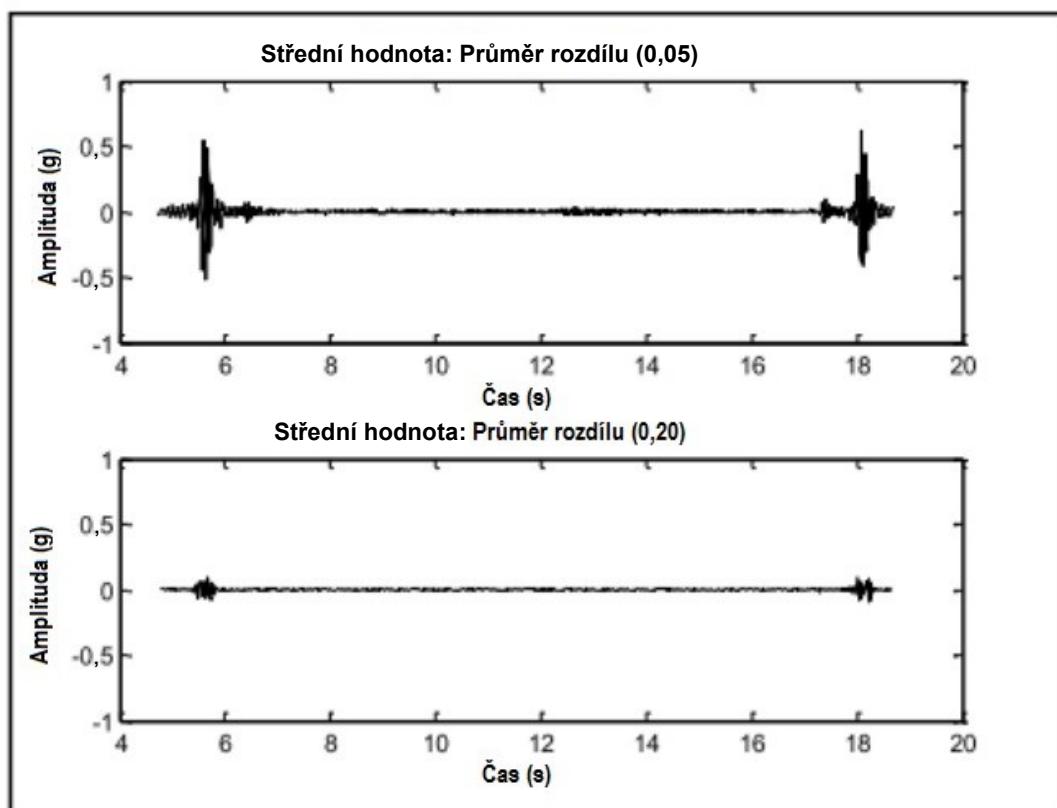


OBRÁZEK 22.A.25 – Odhad ESD pro „s“

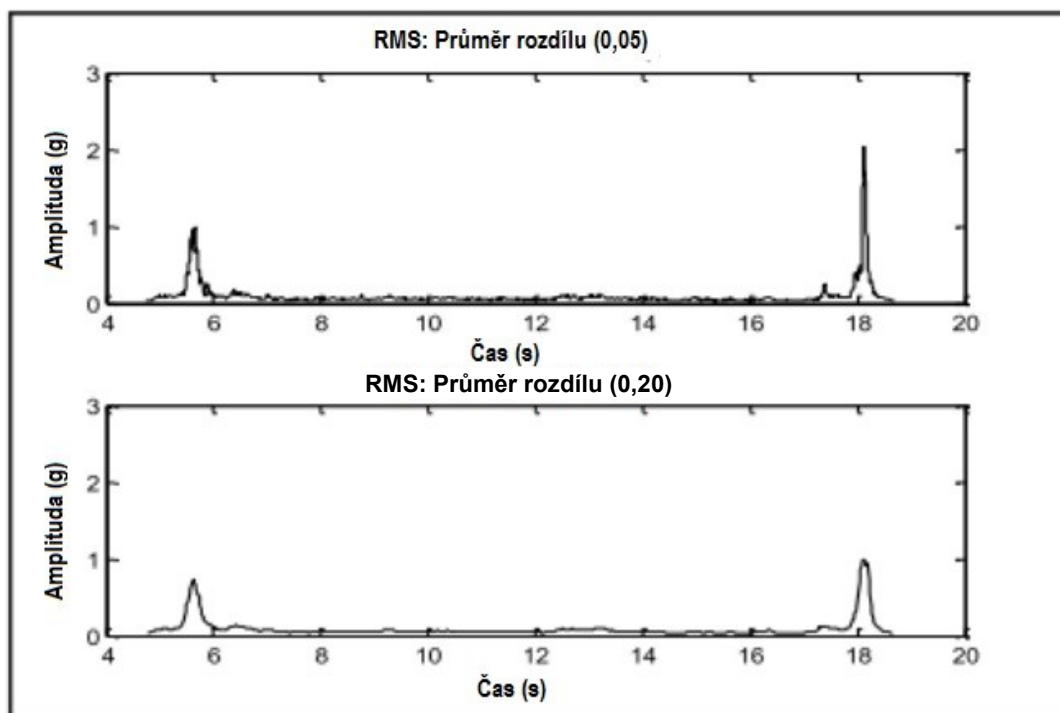
Příloha 22A
(normativní)

22.A.9 ZPRACOVÁNÍ PO ZKOUŠCE PRO STA

Hodnocení chyby reprodukce TPP je nejpřísnější pro určení kritérií tolerance tím, že kritéria tolerance musí být splněna pro korelované časové body, bod po bodu. Průměry chyb reprodukce pro krátkodobé průměrování (STA) se nejsnadněji definují pro aplikaci na „s“, na rozdíl od jednotlivých aplikací na „r“ a „c“, a poté pokusu porovnat odhady STA „r“ s odhady STA „c“. Příloha 22B pojednává o některých komplikacích s individuálními aplikacemi STA. U zpracování po zkoušce podle přílohy 22A se použití STA přímo soustředí na statistické charakteristiky „s“ při krátkodobém průměrování. Obrázky 22.A.26 a 22.A.27 zobrazují krátkodobé průměrování pro střední hodnotu a střední kvadratickou hodnotu časového průběhu „s“ v celém časovém průběhu zobrazeném na obrázku 22.A.3 (d) až (f) pro průměrovací časy 0,05 a 0,20 sekundy. Průměrovací čas 0,05 sekundy pro šířku pásma 2 000 Hz poskytuje 5 procent normalizované náhodné chyby v odhadu střední kvadratické hodnoty a průměrovací čas 0,20 sekundy pro šířku pásma SESA poskytuje 5 procent normalizované náhodné chyby v odhadu kvadratického průměru. U měřicích přístrojů s připojeným střídavým proudem je krátkodobý průměr střední hodnoty blízky nule – není nijak zvlášť významný, ale je vypočítáván pro úplnost. Z těchto obrázků je zřejmé, že rychlost změny časového průběhu je na koncích časového průběhu s přechodovými vibracemi a rázem příliš vysoká na poskytnutí smysluplných odhadů průměrováním času. Informace o toleranci na těchto dvou koncích tedy vyžadují jiný základ, např. TPP.



OBRÁZEK 22.A.26 – Krátkodobé průměrování pro rozdíl střední hodnoty



OBRÁZEK 22.A.27 – Krátkodobé průměrování pro rozdíl střední kvadratické hodnoty

Zdůvodnění použití odhadů krátkodobého průměrování pro hodnocení chyby je to, že pro stacionární náhodné zpracování je hlavní porovnání s odhadem ASD v kmitočtové oblasti průměrem a pro zpracování rázu je hlavní porovnání s odhadem SRS v jednom stupni volnosti oblasti přirozeného kmitočtu integrovaným (nebo průměrovaným) odhadem nelineárního typu. Příloha 22B definuje časově průměrované odhady v nepřetržité formě a v digitální podobě pro základní popis vlastního nestacionárního náhodného procesu. Průměrovací čas je libovolný, ale obecně bude takový, že normalizovaná chyba zkreslení je minimální a normalizovaná statistická chyba v odhadu střední kvadratické hodnoty podle Gaussových předpokladů není větší než 0,05. Výrazy pro normalizovanou chybu střední kvadratické hodnoty a normalizovanou chybu kvadratického průměru jsou uvedeny v příloze 22B.

Tím se uzavírá příloha 22A a zpracování vybraných informací dodaných pro SESA TWR. Jelikož se technologie vyvíjí, budou se vyvíjet i informace v této příloze. Je třeba, aby došlo k významnému vývoji v chápání rozsahu kompenzace signálu, způsobu jejího provádění, jaká jsou její omezení, a prostě k obecnému pochopení celkové strategie řízení TWR. Tento vývoj se přímo promítne do vývoje realistických tolerančních limitů založených na hodnocení chyby reprodukce.

Příloha 22B
(normativní)

SOUHRN POSTUPŮ ZPRACOVÁNÍ ANALÝZY PO ZKOUŠCE A SPECIFIKACE TOLERANCE ZKOUŠKY

22.B.1 ÚVOD

Účelem této přílohy je poskytnout základ pro stanovení odhadu tolerance pro laboratorní zkoušky reprodukce časového průběhu tvaru vlny (TWR) s jedním budičem / v jedné ose (SESA) nezávislé na softwaru dodavatele. V článku 22.B.4 této přílohy je uvedeno zdůvodnění tolerance zkoušky. V budoucnu mohou dodavatelé začlenit tyto možnosti odhadu tolerance pro usnadnění činnosti zkušební laboratoře při stanovení, zda jsou splněny specifikace zkoušky. Prozatím bude odhad tolerance ve vztahu ke specifikaci nad rámec softwaru dodavatele vyžadovat vyškoleného analytika a off-line zpracování digitálních sekvencí pomocí uživatelského softwaru, např. MATLAB, LABVIEW atd. Článek 22.B.2 poskytuje standardní terminologii pro TWR metodikou SESA. Vzorce v článku 22.B.3 mohou napomoci při návrhu softwaru pro uživatele. V této příloze není souhrnné hodnocení dodavatele týkající se chyby reprodukce. Dodavatel obecně poskytuje odhad srovnání mezi referenčními a řídicími časovými průběhy na základě průměrování času v určitém segmentu časového průběhu. Toto průměrování času obecně nebere v úvahu formu časového průběhu, je prováděno za účelem posouzení chyby, jak zkouška postupuje v čase (pravděpodobně kvůli problémům s řízením), a poskytuje zdůvodnění pro přerušování zkoušky, pokud chyba překročí určité předepsané meze. Vzhledem k tomu, že software dodavatele je pro řízení zkoušky zásadní, je třeba, aby se zaznamenala tato velikost bloku a zvažila maximální velikost bloku, která se má použít při zpracování odhadu chyby po zkoušce krátkodobým průměrováním (STA).

Tato příloha předpokládá, že „referenční“ časový průběh je pásmově omezen a má deterministický charakter, i když se může jednat o vzorkovací časový průběh ze zpracování náhodně změřených údajů v polních podmínkách. Tato příloha předpokládá, že „řídicí“ časový průběh má stochastický charakter. Toto definuje model SESA, kde je deterministický časový průběh vstupem do „náhodného systému“, který poskytuje stochastický výstup. Náhodnost systému vychází ze všech nekvantifikovaných detailů reprodukce deterministického vstupního časového průběhu, včetně okrajových podmínek, kompenzace, systémového šumu atd. Rozdíl mezi „deterministickým“ a „stochastickým“ referenčním časovým průběhem je jemný. Nejjednodušší způsob, jak si tento rozdíl představit, je uvažování o regresním modelu, pro který je předem zvolena nezávislá proměnná a závislá proměnná, která odráží závislost na hodnotě nezávislé proměnné. Při analýze údajů, kdy jsou obě proměnné sdruženy, je vztah mezi nimi „strukturální“, na rozdíl od vztahu „regresního“, protože obě proměnné ve „strukturálním“ vztahu podléhají odhadu a náhodné chybě. Druhým jemným rysem zpracování je to, že se předpokládá „statistický základ“ na rozdíl od „pravděpodobnostního základu“. Statistický základ umožňuje „časové průměry“, na rozdíl od požadavku „průměrů souboru“ pro pravděpodobnostní základ. To se zdá přirozené, protože jen zřídka je užitečné uvažovat o referenčních a řídicích časových průbězích TWR metodikou SESA z hlediska souborů.

V popisu následného hodnocení se v této příloze předpokládá, že šířka pásma pro srovnání, tj. chyba mezi referenčním časovým průběhem $r(t)$ a řídicím časovým

Příloha 22B
(normativní)

průběhem $c(t)$, je srovnatelná. Je důležité, aby zkušební personál jasně rozlišil šířku pásma všech časových průběhů z měření v polních podmínkách, nezpracovaný řídicí časový průběh a časové průběhy chyb $s(t)$, definované níže. Podrobnější pojednání o zvažování mezí pásma časového průběhu, viz Příloha 22A, čl. 22.A.4.2.

22.B.2 TERMINOLOGIE

V této příloze se **odhad chyby reprodukce** nebo rovnocenný **odhad tolerance zkoušky** týká zkoumání vlastností rozdílu (jako funkce času) mezi „vstupem“ TWR a „výstupem“ TWR. „**Specifikace zkoušky**“ TWR se týká použití výsledků odhadu chyby k určení, zda laboratorní zkouška TWR reprodukovala „vstup“ uspokojivě, tj. pokud „**tolerance zkoušky**“ společné pro jiné metody jsou splněny pro TWR. U Metody 423 existuje potenciálně pět kategorií souvisejících se specifikací zkoušky.

V tomto článku spojitě analogové časové průběhy představuje malé písmeno jako funkce času „ t “. Velká písmena spojená s uvedeným případem představují náhodné proměnné získané vzorkováním správně upravených signálů analogových časových průběhů. Referenční časový průběh TWR $r(t)$ je svým charakterem považován za pásmově omezený a deterministický. Je specifikován v digitálním souboru s požadovaným převzorkováním pro reprodukci. Řídicí časový průběh TWR $c(t)$ je stochastický jako funkce uspořádání zkoušky včetně strategie kompenzace a šumu systému. Rozdíl mezi řídicími a referenčními časovými průběhy $s(t)$ má stochastický charakter a je hlavním časovým průběhem, který se má použít při stanovení chyby TWR a specifikaci tolerance.

Pro R deterministickou a S a C stochastické proměnné a fyzickou korelaci mezi $r(t)$ a $c(t)$, tj. výstup $c(t)$ vyplývající z TWR, jsou definovány

- R přidružené k $r(t)$ jako $R = \{r[n], n = 1, 2, \dots, N\}$.
- C přidružené k $c(t)$ jako $C = \{c[n], n = 1, 2, \dots, N\}$.
- S přidružené k $s(t) = c(t) - r(t)$; $S = \{s[n] = c[n] - r[n], n = 1, 2, 3, \dots, N\}$.

Pokud jsou dva souvislé časové průběhy $r(t)$ a $c(t)$ identické podle pořadí „časový bod za časovým bodem“ (TPP), pak byl v laboratoři přesně reprodukován časový průběh představovaný referenčním časovým průběhem. Referenční a řídicí časové průběhy nejsou obecně TPP identické, a pro kvantifikaci $s(t)$ musí být zavedena „statistika“. Stochastická S nemá žádnou předem předpokládanou teoretickou distribuční funkci pravděpodobnosti (ve skutečnosti $s(t)$ nebo S poskytuje „optimální“ odhad pro hodnocení chyb v tom smyslu, že statistiky hrubých průměrů jsou při hodnocení chyb méně důležité). Jak bylo ukázáno v příloze 22A, S nemá obecně ani Gaussovo ani stacionární rozdělení. Jakmile byla určena S a jsou známy parametry R , budou R a C hrát menší úlohu při odhadech tolerance s výjimkou specifikace kategorie III a kategorie IV v článku 22.B.4.

22.B.3 VÝRAZY PRO ODHAD CHYBY REPRODUKCE (TOLERANCE ZKOUŠKY)

Pro odhad chyby reprodukce může být účelné zvážit **nerovnoměrnost** času nebo „okno“ $s(t)$ v časovém intervalu před provedením odhadů, ale zdůvodnění takového zvážení je mimo rozsah tohoto pojednání. Pro odhad chyby reprodukce jsou k dispozici dvě možnosti.

- Prozkoumání statistických vlastností posloupnosti S přímo v celkovém nebo „globálním“ smyslu.

Příloha 22B
(normativní)

- b) Prozkoumání posloupnosti S v rámci „krátkodobého průměrování“ (STA), které poskytuje stochastickou proměnnou S_A pro statistické hodnocení, kde S_A představuje „lokální“ průměr a celkový soubor „lokálních“ průměrů shrnuje S .

Stochastické odhady S_A mají chybu zkreslení a náhodnou chybu, ale předpokládá se, že uvážlivý výběr „okna“ má typickou náhodnou chybu a minimální chybu zkreslení.

Postup průměrování času lze použít na **funkce** $s(t)$, jako je okamžitá úroveň kvadratického průměru $s(t)$, tj. $s^2(t)$. Při použití STA pro odhad chyby reprodukce je třeba jasně definovat souhrnnou statistiku a do procesu průměrování musí být zavedena jakákoli poznámka o závislosti, např. sériová korelace posunovaných průměrných hodnot.

Protože se předpokládá, že $E\{ \}$ je operátor pro očekávané stochastické proměnné a

$$S = C - R, \text{ pak } E\{S\} = E\{C - R\} = E\{C\} - R.$$

$$E\{S_A\} = E\{\bar{S}\} = E\{(\overline{C - R})\} \approx E\{\bar{C} - \bar{R}\} = E\{\bar{C}\} - \bar{R} = E\{\bar{C}\} - R_A = C_A - R_A.$$

Odhad chyby reprodukce předchází specifikaci tolerance TWR, nicméně odhad chyby reprodukce se musí přímo vztahovat ke specifikaci tolerance. Například specifikace tolerance pro TWR není funkčně schopná odhadu chyby „jednoho bodu“, tj. maxima S , ale maximum S může být smysluplným parametrem. Kromě toho je deterministická referenční hodnota R obecně převzorkována faktorem deset nebo větším na základě požadavků TWR. Lze bezpečně předpokládat, že „nominálním oknem“ pro odhad chyby by mohl být jednotný časový interval s počtem bodů rovným faktoru převzorkování. To znamená že „vyhlazené“ odhady chyb aplikované na posloupnosti S jsou zásadní při posuzování chyb reprodukce a následné specifikaci tolerance. Jak je uvedeno výše, vyhlazovací okno by obecně nemělo překročit velikost řídicího bloku dodavatele. Faktor převzorkování a velikost tohoto bloku poskytují meze pro volbu průměrování času STA.

V následujících výrazech bude zpracování probíhat v jednotném časovém intervalu $T = [T_{i+1} - T_i]$. Poskytnuté vzorce budou vyjádřeny ve spojitě formě následované diskrétní digitální formou. Obecně budou statistiky chyb pro odhady poskytovány pro ideální případ, ve kterém $s(t)$ je šířka pásma omezena bílým šumem šířky pásma B . Úloha, kterou hrají statistiky chyb pro odhady, je zajištění, že chyby umělého odhadu v odhadu chyby reprodukce jsou minimální ve srovnání s chybami reprodukce, které mají být použity ve specifikaci tolerance. Jak je uvedeno výše, málokdy je charakter $s(t)$ tak jednoduchý, takže statistiky chyb zpracování jsou přibližné pro jiný než bílý šum s omezenou šířkou pásma. U většiny odhadů jsou uvedeny normalizované náhodné chyby. K chybě zkreslení dochází vždy, když dojde k průměrování, avšak pro průměrování oken na základě faktoru převzorkování by chyba zkreslení měla být minimální. Kdykoli je to účelné, je třeba minimalizovat chyby zkreslení v odhadech pro hodnocení chyb. Pokud existují otázky týkající se velikosti normalizovaného zkreslení a náhodných chyb, bude možná nutné použít mnohem podrobnější zpracování nad rámec této přílohy (čl. 22.7.1, odkaz a).

V popisu výrazů pro stanovení chyb se uvádí označení „lokální“ nebo „globální“. Termín „lokální“ označuje statistiku, která je užitečná pro zpracování krátkých segmentů časově proměnných průběhů, zatímco termín „globální“ označuje

Příloha 22B
(normativní)

statistiku, která je vhodnější pro shrnutí celkových časových průběhů. Například soubor STA pro střední kvadratickou hodnotu S poskytuje „lokální“ odhady související se specifikací potenciální tolerance. Kumulativní odhad funkce hustoty pravděpodobnosti pro S popisuje chybu jako možná Gaussovou nebo negaussovskou. Jedná se o „globální“ odhad, z něhož by specifikace tolerance mohla vycházet z distribuční formy odhadu. Obecné proměnné

$$x(t) (x[n], n = 1, 2, \dots, N), y(t) (y[n], n = 1, 2, \dots, N), z(t) (z[n], n = 1, 2, \dots, N)$$

se používají ve vzorcích, přičemž $r(t)$, $c(t)$ a $s(t)$ mohou být libovolně nahrazovány v závislosti na interpretaci. Ve vzorcích, které budou následovat, bude M „index“ vztahující se k intervalu časového vzorku pro odhad průměrného času (je to parametr časového posunu pro průměrování) a N_a bude počet průměrovaných časových bodů. Výraz $[N_a/2]$ je největší celočíselné označení pro $N_a/2$. Předpokládá se, že $M = [N_a/2] + [N_a/2] - 1$, kde M je obecně liché číslo, aby se zabránilo jakémukoli fázovému posunu zavedenému do postupu zpracování.

Existují tři případy, ve kterých může být užitečné společné posouzení deterministického R a stochastického C . V prvním případě bodový graf zkonstruovaný vykreslením bodů $(r(n), c(n))$ v rovině odhalí cenné informace vzhledem k jedinému grafu chyby $s(n)$. Ve druhém případě, jelikož výpočet odhadu ASD/ESD během deterministického časového průběhu má určitý význam, může srovnání odhadů ASD/ESD pro $r(n)$ a $c(n)$ poskytnout smysluplné informace vzhledem k ASD/ESD pro $s(n)$. Zejména je deterministický odhad rozdělen na stochastický odhad, aby se prozkoumal poměr v kmitočtové oblasti. Nakonec může být užitečné porovnání odhadů SRS pro $r(n)$ versus $c(n)$, spolu s odhadem SRS pro $s(n)$, tj. „šum“. Pro snadnější orientaci je uvedena následující tabulka.

TABULKA 22.B.1 – Přehled výrazů pro stanovení chyb

E1	Střední hodnota (lokální a globální) S
E2	Střední kvadratická hodnota a kvadratický průměr (lokální a globální) S
E3	Součinitel vzájemné korelace (kovariance), korelace a rozptylový graf (globální) R a C
E4	Hustota pravděpodobnosti, výsledná pravděpodobnost a kvantil (globální) S
E5	Časový zlomek (globální) S
E6	Periodogram ASD/ESD (globální) R a C
E7	Spektrum rázové odezvy (globální) R a C

Výrazy E1 až E7 jsou potenciálně užitečné pro specifikaci tolerance TWR. Budoucí vydání této metody a MIL-STD-810 pravděpodobně vylepší a doplní tyto výrazy, protože zkoušení TWR metodikou SESA se stává běžnějším a zkušenosti jak se stanovením chyb reprodukce, tak s následnou specifikací zkoušky budou častější. Obecně se E1, E2, E5, E6 a E7 přímo vztahují ke specifikaci tolerance. E3 a E4 poskytují dobré kvalitativní informace, ale nebudou se přímo týkat specifikace tolerance.

Příloha 22B
(normativní)

E1: Střední hodnota (lokální a globální)

Soubor STA pro $s(n)$ poskytuje příznaky jakéhokoli potenciálního „posunu“ ve velmi nízkofrekvenčních informacích obsažených v $r(t)$ podle TWR. Požaduje se nulová chyba střední hodnoty, jinak může být přítomno zkreslení. Odhad střední hodnoty pro $x(t)$ je definován následovně:

$$\hat{\mu}_x(t_i) = \int_{T_{i-1}}^{T_i} x(t) dt \leftrightarrow \hat{m}_{x_i} = \frac{1}{N_a} \sum_{i=M-\lfloor N_a/2 \rfloor + 1}^{M+\lfloor N_a/2 \rfloor} x(t_i) \quad (22.B.1)$$

Normalizovaná náhodná chyba v odhadu střední hodnoty v jednotkách střední kvadratické hodnoty je definována jako

$$\varepsilon[\hat{\mu}_x] \approx \frac{1}{\sqrt{2BT}} \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x} \right) \quad (22.B.2)$$

pro $\mu_x \neq 0$, B celkovou šířku pásma $x(t)$ a T průměrovací čas.

Je třeba si uvědomit, že to souvisí s intervalem spolehlivosti s koeficientem spolehlivosti $1 - \alpha$ na střední hodnotu souboru (ne nutně časového průběhu) získané vzorkem o velikosti N , tj.

$$CI_{\mu_x; 1-\alpha} = \left[\bar{x} - \frac{\sigma_x Z_{\alpha/2}}{\sqrt{N}} \leq \mu_x \leq \bar{x} + \frac{\sigma_x Z_{\alpha/2}}{\sqrt{N}} \right].$$

E2: Střední kvadratická hodnota a kvadratický průměr (lokální a globální)

Soubor úrovní střední kvadratické hodnoty STA v čase je zásadní pro odhad chyby reprodukce a pravděpodobně úzce souvisí s odhadem chyby TWR dodavatele programu. V podstatě jde o chybu „rms“. Odhad chyby kvadratického průměru je zahrnut pro úplnost, ale obecně není nijak zvlášť užitečný.

Střední kvadratická hodnota $x(t)$ s nulovou střední hodnotou v krátkém časovém intervalu se vypočítá následovně:

$$\hat{\psi}_x(t_i) = \sqrt{\int_{T_{i-1}}^{T_i} [x(t) - \mu_{x_i}]^2 dt} \leftrightarrow x_x(t_i) = \sqrt{\frac{1}{N_a - 1} \sum_{i=M-\lfloor N_a/2 \rfloor + 1}^{M+\lfloor N_a/2 \rfloor} [x(t_i) - m_{x_i}]^2} \quad (22.B.3)$$

a normalizovaná náhodná chyba pro odhad střední kvadratické hodnoty je dána vztahem

$$\varepsilon[\hat{\psi}_x] \approx \frac{1}{2\sqrt{BT}}$$

pro B celkovou šířku pásma $x(t)$ a T průměrovací čas.

Tento odhad je v podstatě odhadem standardní odchylky časového průběhu v krátkém časovém intervalu.

Příloha 22B
(normativní)

Kvadratický průměr $x(t)$ s nulovou střední hodnotou v krátkém časovém intervalu se vypočítá následovně:

$$\hat{\psi}_x^2(t_i) = \int_{T_{i-1}}^{T_i} x^2(t) dt \leftrightarrow std_x^2(t_i) = \frac{1}{N_a} \sum_{i=M-\lfloor N_a/2 \rfloor + 1}^{M+\lfloor N_a/2 \rfloor} x^2(t_i) \quad (22.B.4)$$

Pro celkovou šířku pásma B v Hz a průměrovací dobu T v sekundách je normalizovaná náhodná chyba pro odhad kvadratického průměru dána vztahem

$$\varepsilon[\hat{\psi}_x^2] \approx \frac{1}{\sqrt{BT}}. \quad (22.B.5)$$

Tento odhad je v podstatě odhadem rozptylu časového průběhu v krátkém časovém intervalu.

To je interval spolehlivosti s koeficientem spolehlivosti $1 - \alpha$ na standardní odchylku souboru (ne nutně časový průběh) získané vzorkem velikosti N , tj.

$$CI_{\sigma, 1-\alpha} = \left[\frac{ns^2}{\chi_{n, \alpha/2}^2} \leq \sigma_x^2 \leq \frac{ns^2}{\chi_{n, 1-\alpha/2}^2} \right] \text{ pro } n = N - 1.$$

Při použití $B = 2\,000$ Hz a $T = 0,01$ nebo $0,1$ sekundy je normalizovaná náhodná chyba pro střední hodnotu srovnatelná se standardní odchylkou, střední kvadratickou hodnotou a kvadratický průměr 0,16; 0,11; 0,22 pro průměrovací dobu 0,01 sekundy a 0,05; 0,04; 0,07 pro průměrovací dobu 0,1 sekundy. Získat smyslupnou charakterizaci $x(t)$ je důležité, aby byla normalizovaná náhodná chyba minimalizována tak dlouhou průměrovací dobou, jaká je v souladu s nominální chybou zkreslení.

E3: Součinitel vzájemné korelace (kovariance), korelace a rozptylový graf (globální a lokální)

Obecně lze součinitel vzájemné korelace a korelaci považovat za smysluplné v případě regrese mezi deterministickým a náhodným časovým průběhem, tj. $r(t)$ a $c(t)$. Jelikož $s(t) = c(t) - r(t)$ nejsou výpočtem korelace nebo součinitele vzájemné korelace mezi $r(t)$ a $s(t)$ přidány žádné nové informace. Součinitel vzájemné korelace a korelaci je třeba chápat jako „regresně vhodné“ mezi $r(n)$ a $c(n)$. Tento konkrétní odhad chyby reprodukce je poněkud kvalitativní, a proto není zvláště užitečný pro specifikaci tolerance; např. zadání korelačního koeficientu pro toleranci by bylo příliš hrubým parametrem, a nebylo by účelné. Součinitel vzájemné korelace mezi dvěma časovými průběhy v krátkém časovém intervalu (lokální kovariance), nebo v celém časovém průběhu (globální kovariance) se v časové oblasti vypočítá následovně:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (22.B.6)$$

Tato veličina se může normalizovat, aby poskytla lokální nebo globální korelační koeficient, který lze vyjádřit následovně:

Příloha 22B
(normativní)

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (22.B.7)$$

Základ časového průběhu pro tyto výrazy z tradiční analýzy dat je následující. Pro dva libovolné náhodné procesy $\{x_k(t)\}$ a $\{y_k(t)\}$, jejichž vzorkové funkce jsou označeny indexem „ k “ a pro které jsou definovány střední hodnoty souborů

$$\mu_x(t) = E[x_k(t)] \text{ a } \mu_y(t) = E[y_k(t)]$$

kde očekávaná hodnota je nad indexem „ k “, pak křížová kovarianční funkce při libovolných pevných hodnotách $t_1 = t$ a $t_2 = t + \tau$ je dána vztahem

$$C_{xy}(t, t + \tau) = E[(x_k(t) - \mu_x(t))(y_k(t + \tau) - \mu_y(t + \tau))]. \quad (22.B.8)$$

Pokud $\tau = 0$, pak $C_{xy}(t, t) = E[(x_k(t) - \mu_x(t))(y_k(t) - \mu_y(t))] = C_{xy}(t)$ a to má formu výše uvedeného výrazu součinitele vzájemné korelace pouze pokud očekávaná hodnota není nad souborem označeným indexem „ k “, ale v konečném časovém intervalu délky $N\Delta t$. Výraz pro r_{xy} je pouze „normalizovanou“ verzí výrazu pro $\text{cov}(x, y)$, definovaného výše. Když funkce k -tého vzorku $x_k(i\Delta t)$ a $y_k(i\Delta t)$ pro $i = 1, 2, \dots, N$ jsou vyneseny do grafu na osy x a y , výsledný graf se nazývá „rozptylový graf“. „Rozptylový graf“ zobrazuje míru kovariance nebo korelace mezi dvěma časovými průběhy. Pro $r_{x,y}$ v blízkosti nuly není tendence ke korelaci mezi časovými průběhy a „rozptylový graf“ se jeví jako elipsa s přibližně stejnou hlavní i vedlejší osou. Pro rozdělení $r_{x,y}$ blízké -1 nebo $+1$, existuje podstatná korelace mezi časovými průběhy a „rozptylový graf“ poskytuje elipsu s velmi malou vedlejší osou. Obecně jsou informace „rozptylového grafu“ v extrémních amplitudách nejzajímavější, protože to definuje korelaci mezi vrcholy a sedly časových průběhů.

E4: Hustota pravděpodobnosti, výsledná pravděpodobnost a kvantil (globální)

Odhad funkce hustoty pravděpodobnosti se obecně označuje jako histogram. Užitečným ukazatelem formy časových průběhů amplitud je histogram a jeho protějšek, výsledný histogram. Obecně je toto zobrazení analýzy účelné pouze pro stacionární časové průběhy podstatného trvání, např. 5 sekund nebo více. Časové průběhy s dokonce malými časově proměnnými úrovněmi střední kvadratické hodnoty tento postup téměř vždy zneplatňují, pokud nelze určit nějakou konečnou kombinaci rozdělení. Histogram je obvykle užitečný, když je porovnáván s funkcí teoretické hustoty pravděpodobnosti předpokládané formy, např. funkce normální hustoty pravděpodobnosti. U datových sektorů časového průběhu amplitudy podél vodorovné osy a „počtu sektorů“ podél svislé osy lze logaritmus počtu sektorů použít k prozkoumání (1) tvaru histogramu pro rozsahy středních sektorů a (2) rozdílu na koncích pro sektory s malou a velkou amplitudou. Protože pravděpodobnostní struktura rozdílu může být tak důležitá při posuzování povahy chyby TWR, je zde poskytnuto poměrně úplné pojednání o jejich statistikách. Hustota pravděpodobnosti a odhad pravděpodobnosti $x(t)$ jsou definovány následovně.

Příloha 22B
(normativní)

Z čl. 22.7.1, odkaz a, je pravděpodobnost, že hodnoty $x(t)$ budou mezi $(a - W/2)$ a $(a + W/2)$ časového intervalu T (kde „a“ je úroveň amplitudy a „W“ je označení šířky pro amplitudu časového průběhu) je odhadována jako

$$\hat{P}_x[a, W] = \text{Pravdě-} \left[\left(a - \frac{W}{2} \right) \leq x(t) \leq \left(a + \frac{W}{2} \right) \right] = \frac{1}{T} \sum_i \Delta t_i = \frac{T_a}{T} \quad (22.B.9)$$

s

$$P_x[a, W] = \lim_{T \rightarrow \infty} \hat{P}_x[a, W] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_a}{T}$$

Hustota pravděpodobnosti $p_x(a)$ je definována jako

$$p_x(a) = \lim_{W \rightarrow 0} \frac{P_x[a, W]}{W} = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ W \rightarrow 0}} \frac{\hat{P}_x[a, W]}{W} = \lim_{W \rightarrow 0} \hat{p}(a) \quad \text{kde} \quad \hat{p}(a) = \frac{\hat{P}_x[a, W]}{W} = \frac{T_a}{TW} \quad (22.B.10)$$

Z tohoto postupu vyplývá, že vztah mezi celkovou hustotou pravděpodobnosti a hustotou pravděpodobnosti je následující:

$$\hat{P}_x[a] = \int_{-\infty}^a \hat{p}_x(\xi) d\xi \leftrightarrow \hat{P}_x[a] = \sum_{i=1}^N \hat{p}_x[a_i] \Delta a \quad (22.B.11)$$

Normalizovaná náhodná chyba kvadratického průměru pro odhad hustoty pravděpodobnosti je uvedena v čl. 22.7.1, odkaz a následovně:

$$\frac{c^2}{2BTWp_x(a)}$$

kde pro spojitou šířku pásma se šumem $c \approx 0,3$. Protože odhady hustoty pravděpodobnosti jsou obzvláště citlivé na chybu zkreslení, udává se chyba zkreslení kvadratického průměru jako

$$\frac{W^4 \left[\frac{p_x''(a)}{p_x(a)} \right]^2}{576} \quad (22.B.12)$$

kde $p_x''(a)$ je druhá derivace hodnocených p_x v „a“.

Může být účelné porovnat pravděpodobnostní strukturu $x(t)$ přímo se známou pravděpodobnostní strukturou, jako je normální hustota/rozdělení pravděpodobnosti. To může být provedeno v této formulaci pouze vykreslením odhadované pravděpodobnostní struktury $x(t)$ spolu s vybranou teoretickou pravděpodobnostní strukturou. Existují jak parametrické, tak i neparametrické statistické zkoušky, které umožňují porovnání pravděpodobnostních struktur na vybraných úrovních významnosti. Zejména neparametrická zkouška Kolmogorov-Smirnov, poskytuje základ pro srovnání dvou odhadů rozdělení pravděpodobnosti vzorku nebo jednoho odhadu rozdělení pravděpodobnosti vzorku s teoretickým odhadem rozdělení pravděpodobnosti. Je možné použít statistické zkoušení hypotéz pro účely specifikace tolerance za předpokladu, že vlastnosti takových statistických zkoušek jsou dobře známy a taková specifikace tolerance má smysl.

Příloha 22B
(normativní)

Dobrou vizuální zkouškou ekvivalence referenčních a řídicích rozdělání je graf kvantilů funkcí pravděpodobnosti celkového rozdělání dvou časových průběhů a nazývá se graf kvantil-kvantil (q-q). Kvantil je definován jako funkce rozdělání pravděpodobnosti následovně.

Pro funkci rozdělání pravděpodobnosti F s funkcí hustoty pravděpodobnosti f je q -tý kvantil F , x_q definován následovně:

$$q_F = \int_{-\infty}^{x_q} f(x) dx \quad \text{kde} \quad 0 \leq q_F \leq 1 \quad \left(\leftrightarrow q_F \approx \sum_{i=1}^{\hat{x}_q} \hat{f}(x_i) \Delta x_i \quad \text{kde} \quad 0 \leq q_F \leq 1 \right) \quad (22.B.13)$$

a podobně pro rozdělání pravděpodobnosti G s funkcí hustoty pravděpodobnosti g je q -tý kvantil G , y_q definován jako

$$q_G = \int_{-\infty}^{y_q} g(y) dy \quad \text{kde} \quad 0 \leq q_G \leq 1 \quad \left(\leftrightarrow q_G \approx \sum_{i=1}^{\hat{y}_q} \hat{g}(y_i) \Delta y_i \quad \text{kde} \quad 0 \leq q_G \leq 1 \right) \quad (22.B.14)$$

Pro daný kvantil q se graf \hat{x}_q vzhledem k \hat{y}_q s pravoúhlými osami nazývá „graf q-q“. F a G mohou být jak analytické, tak empirické (odhadnuté z údajů), nebo kombinací analytických a empirických.

Zkoumání „konců“ nebo extrémních hodnot (vrcholy a sedla) spolu s přizpůsobením se k teoretické Gaussově distribuční funkci poskytuje nejužitečnější informace. Použití tohoto postupu je nejběžnější pro vykreslování kvantilů rozdělání $s(t)$ vzhledem ke kvantilům z Gaussovy distribuční funkce. Je to rovněž užitečné pro empirické odhady $r(t)$ a $c(t)$ vzájemně vzhledem k sobě nebo $r(t)$ a $c(t)$ odděleně vzhledem ke kvantilům Gaussovy distribuční funkce. Je důležité si uvědomit, že ve všech takových grafech, zejména mezi $r(t)$ a $c(t)$, jsou informace o časové korelaci ztraceny. Je známo, že jakmile je stanovena funkce „pravděpodobnosti“ $s(t)$, mohou být stanoveny momenty vyššího řádu související se šikmostí nebo strmostí.

E5: Časový zlomek (globální)

S odhadem pravděpodobnosti/kvantilu amplitudy v E4 úzce souvisí odhad časového zlomku (FOT). Odhad FOT chyby je nad určitou magnitudou a je posuzován intuitivněji a přímo. Je také důležité si uvědomit, že pro hodnocení FOT obvykle není k odhadu FOT připojena žádná teoretická distribuční forma, např. o FOT se nikdy nehovoří jako o Gaussově rozdělání atd. Pro statistickou analýzu časových řad nahrazuje odhad FOT tradičnější analýza pravděpodobnosti, nicméně, rozdělání FOT je platná funkce rozdělání pravděpodobnosti. Pro statistické zpracování je časový zlomek (FOT) definován následovně:

$$F_T(t, \xi; x) = \frac{\text{měření} \{u \in [t, t+T] : x(u) \leq \xi\}}{\text{měření} \{u \in [t, t+T]\}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} U(\xi - x(u)) du \quad (22.B.15)$$

kde

$$U(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau \geq 0 \\ 0 & \text{jinde} \end{cases}$$

Pro chybu časového průběhu $s(t)$, FOT umožňuje odhad procent času, kdy je chyba nad určitou úrovní a správné zobrazení by ukazovalo časy podél referenčního

Příloha 22B
(normativní)

průběhu $r(t)$, pro které k tomu dojde. Obecně je to shrnuto v jediném grafu, který je podobný pravděpodobnosti založené na odhadu kumulativní distribuční funkce.

Pokud tedy $F_T(t; \xi_1; s) \leq 0,05$ a $F_T(t; \xi_2; s) \geq 0,05$, pak $s(t)$ leží mezi ξ_1 a ξ_2 po devadesát procent doby zkoušky TWR, kde se předpokládá ξ_1 a ξ_2 , a může souviset s určitou úrovní reference, např. rozsahem reference, pro účely vypracování specifikace chyby reprodukce zkoušky.

E6: Periodogram ASD/ESD (globální)

Pro deterministický časový průběh, jako je $r(t)$, je odhad v kmitočtové oblasti smysluplný a podobný přizpůsobení Fourierovy řady analyticky definované funkci. Lze provést vizuální srovnání mezi odhady ve frekvenční oblasti pro $r(t)$ a $c(t)$ a poměr odhadů na každé kmitočtové linii poskytnutím poměru vypočtených veličin (toto se nesmí nikdy chápat jako „odhad přenosové funkce“ mezi referenčními a řídicími časovými průběhy). Je možné poznamenat, že pro TWR je „odhad přenosové funkce“ poskytován v softwaru dodavatele ve formě Fourierovy funkce „kompenzace řídicího signálu“ v kmitočtové oblasti. Odhady v kmitočtové oblasti poskytují specifikaci tolerance, která přímo souvisí se specifikacemi tolerance v Metodě 401. Základní definice okénkového oboustranného periodogramu pro N bodovou digitální posloupnost $\{x_t, t = 1, 2, \dots, N\}$ ve spojitě kmitočtové formě je následující:

$$\hat{P}^{(p)}(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{t=1}^N w_t x_t e^{-i2\pi f t \Delta t} \right|^2 \quad \text{pro } -0,5 \leq f \leq 0,5 \quad (22.B.16)$$

Obecně se oboustranný periodogram vytváří jednostranně vynásobením faktorem 2 s $0 \leq f \leq 0,5$ a periodogram se vzorkuje při diskrétních kmitočtech f_i pro $i = 0, 1, 2, \dots, N/2$ s rovnoměrným rozestupem $\Delta f = 1/N\Delta t$. ASD a ESD lze definovat pomocí vzorkovaného periodogramu. Odhad ASD je obvykle odhad časově průměrovaného vzorkovaného periodogramu v omezeném časovém intervalu, s aplikovaným oknem pro snížení úniku spektra. Pro stacionární časové průběhy představuje ASD výkonný prostředek srovnání mezi $r(t)$ a $c(t)$ a zobrazení kmitočtového obsahu v $s(t)$. Čl. 22.7.1, odkaz a poskytuje informace o zpracování ASD stacionárních časových průběhů, včetně odhadů normalizovaných náhodných chyb a chyb zkreslení. Pro analýzu šířky pásma filtru B_e v Hz a průměrovací čas T v sekundách je normalizovaná náhodná chyba pro odhad ASD dána vztahem

$$\varepsilon_r [\hat{G}_{xx}(f)] \approx \frac{1}{\sqrt{B_e T}} \quad (22.B.17)$$

zatímco normalizovaná chyba zkreslení je dána vztahem

$$\varepsilon_b [\hat{G}_{xx}(f_r)] = \frac{B_r}{B_e} \tan^{-1} \left(\frac{B_e}{B_r} \right) - 1 \quad (22.B.18)$$

kde

$B_r \approx 2\zeta f_r$ je odhad šířky pásma polovičního výkonu rezonančního vrcholu.

Příloha 22B
(normativní)

Odhad ESD je obvykle modelovaný periodogram, modelovaný vynásobením periodogramu dobou trvání časového průběhu $N\Delta t$ ve velmi krátkém přechodovém časovém průběhu, který nelze charakterizovat odhadem ASD. Rovnoměrné nebo rovnoměrně zúžené časové okno je obecně umístěno nad významnou část časového průběhu. Pro přechodové časové průběhy TWR jsou odhady ESD užitečné pro porovnání $r(t)$ a $c(t)$ k posouzení charakteru $s(t)$.

E7: SRS – spektrum rázové odezvy (globální)

Stejně jako v případě odhadů v kmitočtové oblasti v E6 lze provést srovnání mezi odhady SRS pro deterministický $r(t)$ a stochastický $c(t)$. Odhad SRS pro chybový časový průběh $s(t)$ souvisí s odhadem SRS pro stav před rázem a po rázu, jehož charakter se považuje za náhodný (viz Metoda 403). SRS může být vyjádřeno jako konvoluce funkce impulzní odezvy v časové oblasti, která má charakter odezvy na základní vstup hmoty mechanického systému s jedním stupněm volnosti, s určitým procentem kritického tlumení. Odhad SRS je funkcí výstupu posunu, rychlosti a zrychlení hmoty. Pokud je zvoleno maximální absolutní zrychlení (kladné nebo záporné) v časovém intervalu buzení a je vyneseno do grafu vzhledem k netlumené přirozené frekvenci systému s jedním stupněm volnosti, je výsledný graf na vybraném souboru kmitočtů označován jako spektrum maximax rázové odezvy. Je stále více zřejmé, že pro většinu případů mechanického rázu je odhad SRS pseudorychlosti průkaznějším měřítkem možného mechanického poškození (protože mechanické poškození souvisí s mechanickým namáháním, které je zase úměrné relativní rychlosti systému tlumiče s hmotnou pružinou). Podrobnosti o výpočtu SRS poskytují různé odkazy. Pro srovnání TWR přechodového časového průběhu je SRS $r(t)$ a $c(t)$ užitečné a demonstruje přesnost reprodukce rázů podle TWR. Výpočet SRS pro $s(t)$ je méně užitečný a obtížně interpretovatelný, protože náhodná proměnná S by měla představovat zdroj šumu, ale nikoli s normálním rozdělením. Matematika pro výpočet SRS přes přechodové $x(t)$ pro $0 \leq t \leq T_r$ je dána následovně:

$$SRS(f_n, \zeta) = \mathfrak{S}[y(t, f_n, \zeta)] = \mathfrak{S}\left[\int_0^{T_r} h_{f_n, \zeta}(t - \tau) x(\tau) d\tau\right] \text{ pro } 0 \leq T_r \leq T$$

kde

$SRS(f_n)$ – velikost SRS při přirozeném kmitočtu f_n ;

\mathfrak{S} – nelineární funkcionál operující na výsledné konvoluci $y(t, f_n, \zeta)$;

$h_{f_n, \zeta}(t - \tau)$ – odezva impulzní funkce pro tlumený systém s jedním stupněm volnosti se základním vstupem a netlumeným přirozeným kmitočtem f_n s poměrem tlumení ζ ;

$x(\tau)$ – konečný vstupní záznam $0 \leq t \leq T_r$;

T – doba odhadu odezvy, kde obecně $T_r < T$.

Přirozený kmitočet f_n může přesahovat vzorkovací kmitočet $x(t)$. Odhad SRS se počítá filtrováním přechodového časového záznamu a nemá jasné kritérium náhodné chyby nebo chyby zkreslení. Číselně, vzorkovací kmitočet časových průběhů by měl být desetinásobkem šířky pásma časového průběhu, aby byla zajištěna přijatelná chyba v odhadech (chyba přibližně 5 %).

22.B.4 SPECIFIKACE TOLERANCE CHYBY REPRODUKCE

Podle názoru analytika je velmi žádoucí pokusit se použít každý z výrazů v článku 22.B.3 ke stanovení chyby reprodukce. Pokud však jde o specifikaci tolerance zkoušky TWR, lze po aplikaci snadno interpretovat pouze některé z těchto výrazů. Například požadavek, aby $s(t)$ byl Gaussův s nulovou střední hodnotou se specifikovanou standardní odchylkou jako zlomek špičkových hodnot v $r(t)$, a aby byla zkouška v toleranci, je nereálný. Vyžadování korelace mezi $r(t)$ a $s(t)$, aby byla nastavenou hodnotou, např. 0,975, není rovněž praktické ani smysluplné. Níže uvedené specifikace tolerance zkoušky TWR by měly být snadno interpretovány a měly by odpovídat popisné snadnosti výrazů v článku 22.B.3. Obecně pro zpracování po analýze za účelem stanovení souladu s tolerancí zkoušky je velmi žádoucí, aby specifikace tolerance chyby reprodukce byly přizpůsobeny formě časového průběhu, která je reprodukována a formálně odsouhlasena před prováděním zkoušek. Různorodá forma $r(t)$, tj. stacionární, nestacionární, rázová, Gaussova, negaussovská nebo jakákoli kombinace těchto forem vyžaduje, aby specifikace tolerance chyby reprodukce byla přizpůsobena na základě formy $r(t)$. Taková specifikace tolerance je komplikována skutečností, že téměř jistě bude třeba použít některou formu okénka a průměrování, u kterých není snadné stanovit náhodné chyby a chyby zkreslení jako nominální. Obvykle není jasné, co se týká odkazu na specifikaci a zda je třeba uvést více odkazů jako funkci formy $r(t)$. V tomto případě pak může existovat více chyb reprodukce a následných specifikací tolerance.

Pro navrhované tolerance chyby reprodukce zkoušky se předpokládá, že mírou $r(t)$ je forma obecné úrovně „rms“ amplitudy odvozené výpočtem „průměrná energie“ $r(t)$, vyjádřené v jednotkách na druhou a poté se vezme druhá odmocnina této hodnoty. U momentů časových oblastí se to týká „střední kvadratické amplitudy energie“ s výjimkou doby trvání rms $r(t)$, která se stává faktorem průměrování času. Pro dobře definované přechodové formy vibrací $r(t)$ nebo formy $r(t)$, pro které je doba trvání střední kvadratické hodnoty smysluplná, se navrhuje, aby odkazem na specifikaci byla „střední kvadratická amplituda energie“. Pro níže uvedené specifikace tolerance je odkaz „střední kvadratická amplituda energie“ (REA) poskytnut následujícím výrazem

$$REA = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T r^2(t) dt} \leftrightarrow \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r^2(t_i)}$$

kde odstranění celkové střední hodnoty $r(t)$ před výpočtem REA je ponecháno na formě $r(t)$ a uvážení analytika. Toto je velmi obecná úroveň střední kvadratické hodnoty signálu $r(t)$, a pro více specifikací tolerance zkoušky jej lze použít na segmenty $r(t)$. (Dalším možným referenčním měřítkem může být například referenční rozsah, který je obecně velmi citlivý na odlehlé hodnoty).

V této části je navrženo pět obecných kategorií specifikací tolerance chyb reprodukce.

První kategorie se vztahuje přímo na $s(t)$ a je pro lepší přehlednost odkazována na celkovou úroveň „střední kvadratické hodnoty“ $r(t)$ definované jako výše uvedená REA. Z těchto dvou specifikací je nejvýznamnější chyba střední kvadratické hodnoty.

Příloha 22B

(normativní)

Kategorie I. Chyba střední hodnoty, pro kterou se STA odhaduje pro faktor převzorkování časového intervalu na $r(t)$, nesmí překročit více než 1 % amplitudy rms $r(t)$, REA, na více než 5 % (nebo 0,95 kvantilu) doby trvání $r(t)$.

Chyba střední kvadratické hodnoty, pro kterou se STA odhaduje pro faktor převzorkování časového intervalu na $r(t)$, nesmí překročit více než 10 % amplitudy rms $r(t)$, REA, na více než 5 % (nebo 0,95 kvantilu) času.

Druhá kategorie se týká (1) stacionárních náhodných částí $r(t)$, (2) odhadu periodogramu, tj. ESD nad $r(t)$ nebo (3) nějaké kombinace (1) a (2). Pro Fourierovo zpracování $r(t)$ a $c(t)$ ASD se předpokládá, že pro $r(t)$ a $c(t)$ je k dispozici periodogram nebo odhad ESD. To zahrnuje stacionární náhodné vibrace – Gaussovy nebo negaussovské a ráz specifikovaný ve smyslu odhadu ESD.

Kategorie II. U částí kmitočtové oblasti nesmí chyba reprodukce související s ASD nebo periodogramem (ESD) překročit meze tolerance navržené pro stacionární náhodné vibrace, pokud se za referenční považuje deterministický $r(t)$ (viz Metoda 401).

U třetí kategorie, kde „produktový model (PM)“ může být vhodný pro $r(t)$ ve formě přechodové vibrace, se předpokládá, že analýza definovala $r(t)$ ve smyslu PM s odhadem rms v časové oblasti a přiměřeně modelovaným normalizovaným odhadem ASD.

Kategorie III. Pro část PM ve frekvenční oblasti se použije specifikace tolerance podle kategorie II. Pro část PM v časové oblasti se použije specifikace tolerance podle kategorie I.

Čtvrtá kategorie souvisí přímo nebo $r(t)$ jako forma „rázu“, pro kterou odhady SRS poskytují nejvýznamnější informace.

Kategorie IV. Pro ráz musí být specifikace tolerance v souladu se specifikací v Metodě 403. To znamená, že specifikace tolerance nesmí překročit toleranci navrženou pro SRS v Metodě 403, kde je deterministický $r(t)$ považován za referenční vůči $c(t)$.

Pátá kategorie je velmi obecná a je založena na rozdělení pravděpodobnosti časového zlomku (FOT) aplikované na chybu $s(t)$. FOT je schopen kvantifikovat dobu, po kterou je chyba na nebo nad stanovenou úrovní kvantilu.

Kategorie V. 5. a 95. kvantil FOT vztažený k $s(t)$ (pro který nebylo vypočítáno žádné STA), nesmí překročit více než 10 % plus a minus amplitudy rms $r(t)$.

23 METODA 424 – SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVA MATERIÁLU

OBSAH

23.1	ROZSAH PLATNOSTI	692
23.1.1	Účel	692
23.1.2	Použití	692
23.1.3	Omezení	692
23.2	NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ	692
23.2.1	Použití naměřených údajů	692
23.2.2	Posloupnost	692
23.2.3	Vlivy prostředí	693
23.2.4	Volba zkušebních postupů	693
23.2.5	Klimatické kondicionování	693
23.3	NÁROČNOSTI	693
23.4	INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU	693
23.4.1	Všeobecná ustanovení	693
23.4.2	Povinné	694
23.4.3	Jsou-li požadované	694
23.5	PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ	694
23.5.1	Příprava zkoušky	694
23.5.2	Postupy	694
23.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY	696
23.7	ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	696

Přílohy

Příloha 23A	POKYNY PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠKY	698
-------------	---	-----

23.1 ROZSAH PLATNOSTI

23.1.1 Účel

Účelem této zkušební metody je popsat zatížení, kterým je vystaven materiál, včetně obalů, po dobu stanovených podmínek skladování a přepravy (upevňování, zvedání, stohování, ukládání do regálů).

23.1.2 Použití

Tato zkušební metoda je použitelná tam, kde se požaduje, aby materiál prokázal svou způsobilost odolávat specifikovaným zatížením bez nepřijatelného znehodnocení konstrukčních a/nebo funkčních charakteristik. Metoda je použitelná na konstrukční prvky materiálu, které mohou být vystaveny:

- a) Upevňování nebo zvedání břemen k přídavným zařízením na materiálu, jako jsou rukojeti, šrouby s okem pro upevnění k materiálu, třmeny, otvory pro manipulaci s vidlicemi nebo vybrání pro uchopovací drapáky, jakož i materiál, který není vybaven žádným zvláštním zvedacím zařízením.
- b) Tlaková zatížení působící na materiál na dně stohu se stejným materiálem.
- c) Boční nebo koncová tlaková zatížení, která se uplatňují během zvedání materiálu v síti. To neplatí pro materiál, který má celkovou hmotnost 120 kg nebo více nebo objem 0,28 m³ nebo více.
- d) Ohybová zatížení způsobená vlastní hmotou nebo horním zatížením jiným materiálem různé hmotnosti a rozměrů. To je obvykle pouze pro materiál, jehož délka je větší než čtyřnásobek nejmenšího průřezu.
- e) Krutové zatížení působící na materiál, když není rovnoměrně podepřený. To je obvykle omezeno na materiál s celkovou hmotností vyšší než 225 kg.

23.1.3 Omezení

Tyto zkoušky se nevztahují na simulaci rychle působících zatížení, která se mohou vyskytnout během podmínek pádu nebo vytržení, ke kterým by mohlo dojít během zvedání, manipulace a stohování materiálu. Má-li se s více předměty zacházet jako s jedním nákladem, musí být požadavky na zkoušky stanoveny ve Směrnici pro zkoušku. Tato zkouška neřeší výkonové charakteristiky materiálu při nakládání, upevňování nebo zvedání.

23.2 NÁVOD PRO ZKOUŠENÍ

23.2.1 Použití naměřených údajů

Tam, kde je to účelné, měly by se získat pro přizpůsobení zkoušky naměřené provozní údaje materiálu. Jako minimum jsou potřebná data o době trvání a frekvenci vystavení materiálu podmínkám prostředí založená na profilu prostředí životního cyklu (LCEP). Kromě toho by měly být získány informace o specifických uspořádáních zatížení, materiálech nebo vybavení, postupech, zátěžových bodech, omezovacím napětí a výškách.

23.2.2 Posloupnost

Pořadí použití této zkoušky by mělo být slučitelné s LCEP. Pokud jsou zjištěna kombinovaná prostředí a má se za to, že mohou mít vliv na materiál, měla by být do této zkoušky zahrnuta. Pokud naměřené údaje nejsou dostupné, jsou typické klimatické údaje uvedeny v AECTP-230, část 2311.

23.2.3 Vlivy prostředí

Následující seznam nepředstavuje vše zahrnující otázky, ale poskytuje příklady problémů, které by se mohly vyskytnout, když jsou materiál a jeho příslušenství vystaveny zátěží z stohování nebo přepravy.

- a) Porucha připevnění nebo konstrukčních prvků.
- b) Porucha nebo posunutí místních konstrukčních prvků nebo prvků pro rozložení zátěže.
- c) Uvolnění šroubů, nýtů, upevnění atd.
- d) Nezajištěný inventář a instalační materiál.
- e) Zhoršení ochrany klimatu.
- f) Poškození ochranných nátěrů.

Některé druhy materiálu se mohou po delší době zohýbat nebo částečně zhroutit, pokud jsou skladovány v podmínkách vysoké relativní vlhkosti, nebo jsou-li vystaveny meteorologickým vlivům.

23.2.4 Volba zkušebních postupů

Volba zkušebních postupů se řídí uspořádáním materiálu a způsobem, jakým je zatížen. Uvádí se pět následujících postupů.

- a) Postup I Zvedání materiálu.
- b) Postup II Upevňování materiálu.
- c) Postup III Stohování materiálu a boční nakládání.
- d) Postup IV Ohyb materiálu.
- e) Postup V Ukládání materiálu do regálů.

V závislosti na předpokládaných podmínkách v průběhu životnosti materiálu, lze použít několik nebo všechny postupy.

23.2.5 Klimatické kondicionování

Kdykoli je to účelné, měla by být tato zkouška prováděna, v komoře se zkoušeným předmětem stabilizovaným na požadované podmínky. Pokud tomu brání omezení velikosti nebo bezpečnostní rizika, stabilizovaný zkoušený předmět by měl být vyjmut z komory, zkouška by měla být provedena co nejrychleji a zaznamenány okolní podmínky v místě zkoušky. Následné předběžné kondicionování zkoušeného předmětu se může znovu vyžadovat, pokud klimatické podmínky zkoušeného předmětu během zkoušky překročí tolerance uvedené ve Směrnici pro zkoušku.

23.3 NÁROČNOSTI

Tato zkouška by měla být provedena v souladu s náročnostmi uvedenými v příloze 23A, která uvádí hodnoty odvozené na základě společných informací o zařízení. Když je známo, že materiály použité při konstrukci zkoušeného materiálu jsou citlivé na široké rozmezí teplot nebo vlhkosti, měly by být použity příslušné klimatické podmínky.

23.4 INFORMACE, KTERÉ MÁ POSKYTOVAT SMĚRNICE PRO ZKOUŠKU

23.4.1 Všeobecná ustanovení

Pro každý režim přepravy a uložení (podle LCEP) by Směrnice pro zkoušku měla u každého řešeného zkušebního postupu zahrnovat následující informace.

23.4.2 Povinné

- a) Identifikace, definice a celková hmotnost zkoušeného předmětu.
- b) Druh zkoušky: vývojová, kvalifikační.
- c) Požadované vizuální nebo jiné prohlídky a etapa zkoušky, ve které mají být provedeny.
- d) Orientace čelní plochy zkoušeného předmětu, na kterou má být zkouška provedena.
- e) Definice kritérií poruchy.
- f) Zátěžové a okolní podmínky, za kterých má být zkouška provedena, a související doby trvání.
- g) Tolerance zkoušky.
- h) Všechny odchylky (s odůvodněním) od této zkušební metody.

23.4.3 Jsou-li požadované

- a) Zkušební plocha, pokud je jiná než pevná vodorovná plocha nebo podpěry.
- b) Rozložení zatížení, pokud je třeba zkoušet nepříznivé podmínky.

23.5 PODMÍNKY A POSTUPY ZKOUŠENÍ

23.5.1 Příprava zkoušky

23.5.1.1 Zvedací zařízení

Každé zvedací zařízení použité pro tyto zkoušky by mělo mít přiměřenou bezpečnou provozní nosnost.

23.5.1.2 Klimatické kondicionování

Je-li vyžadováno klimatické kondicionování, měl by být zkoušený předmět kondicionován na požadované podmínky po dobu 16 hodin, nebo dokud se teplota zkoušeného předmětu nestabilizuje, podle toho, která doba je kratší. Viz rovněž AECTP-300, Metoda 300.

23.5.1.3 Kontroly

Kontroly výchozí, v průběhu zkoušky a konečné kontroly se provádějí tak, jak je uvedeno ve Směrnici pro zkoušku.

23.5.2 Postupy

23.5.2.1 Postup I – Zvedání materiálu

- Krok 1 Předem kondicionovaný zkoušený předmět se umístí na pevnou a rovnou zkušební plochu, pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak.
- Krok 2 Aplikuje se zkušební zatížení podle pokynů ve Směrnici pro zkoušku v souladu s podmínkami zatížení definovanými v příloze 23A, tabulka 23.A.1. Zkušební zatížení by mělo být rozloženo tak, aby se co nejvíce zachovalo normální těžiště.
- Krok 3 Zkoušený předmět a zátěž se zvedá v souladu s metodami zvedání definovanými v příloze 23A, tabulka 23.A.1 a udržuje se v bezpečné vzdálenosti od země po dobu stanovenou ve Směrnici pro zkoušku.
- Krok 4 Opakují se kroky 2 a 3 pro všechny příslušné orientace zkoušeného předmětu. Pokud se zkouší mimo klimaticky upravené prostředí, znovu se

stabilizuje zkoušený předmět na požadované klimatické podmínky mezi každou změnou zkušební orientace.

23.5.2.2 Postup II – Upevňování materiálu

- Krok 1 Pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, umístí se zkoušený předmět na pevnou a rovnou zkušební plochu a dostatečně se zajistí, aby se zabránilo pohybu.
- Krok 2 Aplikuje se zkušební zatížení ve směru/směrech a časových intervalech uvedených ve Směrnici pro zkoušku, viz zkušební zatížení v příloze 23A, tabulka 23.A.2. Statické zkušební zatížení by se mělo aplikovat kolmo na každé uchycení vždy po jednom.
- Krok 3 Opakuje se krok 2 pro všechny závěsy a příslušné orientace zkoušeného předmětu. Pokud se zkouší mimo klimaticky upravené prostředí, znovu se stabilizuje zkoušený předmět na požadované klimatické podmínky mezi každou změnou zkušební orientace.

23.5.2.3 Postup III – Stohování materiálu a boční nakládání

- Krok 1 Pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, umístí se předem kondicionovaný zkoušený předmět na pevnou a rovnou zkušební plochu. Pro simulaci skutečného rozložení zátěže a rozhraní mezi předmětem a horní/dolní úrovní by měly být použity minimálně dva zkoušené předměty.
- a) Pro simulaci paletizovaných stohů může být nezbytné tuto paletu zahrnout do zkoušky.
 - b) Pokud by při přepravě mohlo nastat nerovnoměrné zatížení při stohování na nerovných površích nebo by mohlo dojít ke střídavému stohování během provozních podmínek, měly by se tyto podmínky při zkoušce simulovat.
 - c) Pokud lze předpokládat, že materiál bude naskládán do více než jedné orientace, měly by se této zkoušce stohování podrobit všechny strany materiálu relevantní pro tyto orientace.
- Krok 2 Proveďte se odpovídající tlakové zatížení na povrch zkoušeného předmětu pomocí zátěže a doby trvání stanovené ve Směrnici pro zkoušku v souladu s přílohou 23A, tabulka 23.A.3.
- Krok 3 Opakuje se krok 2 pro všechny příslušné orientace zkoušeného předmětu. Pokud se zkouška provádí mimo klimaticky kondicionované prostředí, znovu se stabilizuje zkoušený předmět na požadované klimatické podmínky mezi každou změnou orientace zkoušky.

23.5.2.4 Postup IV – Ohyb materiálu

- Krok 1 Pokud není ve Směrnici pro zkoušku uvedeno jinak, podepře se předem kondicionovaný zkoušený předmět na obou koncích na ploše rovnající se polovině plochy průřezu zkoušeného předmětu. Pokud se materiál běžně opírá o podpěry a/nebo je během přepravy umístěn v určité orientaci, měly by se tyto podmínky při zkoušce simulovat.
- Krok 2 Zkušební zatížení se aplikuje na středovou oblast rozpětí zkoušeného předmětu, na horní ploše zkoušeného předmětu pomocí zátěže a doby trvání specifikované ve Směrnici pro zkoušku v souladu s přílohou 23A, tabulka 23.A.4. Středová oblast rozpětí se musí rozepínat celou příčnou

šířkou zkoušeného předmětu a plocha se musí rovnat ploše průřezu zkoušeného předmětu.

Krok 3 Opakuje se krok 2 pro všechny příslušné orientace zkoušeného předmětu. Pokud se zkouška provádí mimo klimaticky kondicionované prostředí, znovu se stabilizuje zkoušený předmět na požadované klimatické podmínky mezi každou změnou zkušební orientace.

23.5.2.5 Postup V – Ukládání materiálu do regálů

Krok 1 Pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, umístí se předem kondicionovaný zkoušený předmět na pevnou a rovnou zkušební plochu. Pokud je materiál běžně opřený o podpěry a/nebo je v průběhu přepravy umístěn v určité orientaci, měly by se tyto podmínky při zkoušce simulovat.

Krok 2 Aplikuje se zkušební zatížení uvedené ve Směrnici pro zkoušku v souladu s podmínkami zatížení definovanými v příloze 23A, tabulka 23.A.5.

Krok 3 Opakuje se krok 2 pro všechny příslušné orientace zkoušeného předmětu. Pokud se zkouška provádí mimo klimaticky kondicionované prostředí, znovu se stabilizuje zkoušený předmět na požadované klimatické podmínky mezi každou změnou zkušební orientace.

23.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY

Po použití zkušebního zatížení a podmínek prostředí by charakteristiky zkoušeného předmětu měly splňovat všechny příslušné požadavky Směrnice pro zkoušku. Přepokládá se, že pokud není ve Směrnici pro zkoušku stanoveno jinak, materiál, jeho zvedací příslušenství a vázací nebo zvedací zařízení projdou zkouškou bez poškození a materiál by měl zůstat po dokončení zkoušky bezpečný a vhodný pro daný účel.

23.7 ODKAZY A SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

MIL-STD-209, Standard rozhraní pro podmínky zvedání a upevňování (Interface Standard for Lifting and Tiedown Provisions), Department of Defense, USA.

PŘÍLOHY

Příloha 23A
(normativní)

POKYNY PRO VÝCHOZÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠKY

Tato příloha se použije pouze v případě, že naměřená data nebudou k dispozici v počátečních fázích programu a informace jsou pro návrh materiálu zásadní. Pokud existuje možnost získat údaje o měření na platformě materiálu, měly by se náročnosti vytvořené pomocí informací v této příloze považovat za předběžné.

Data obsažena v této příloze pro vypracování předpovědí zkušebních úrovní jsou založena na obálce měřených údajů a mohou být více či méně náročnější než simulované prostředí. Další popis skutečných měřených prostředí konkrétních platforem a provozních podmínek je obsažen v AECTP-200. Výchozí náročnosti zkoušky, uvedené v následujících tabulkách, by mohly být při použití zmírněny technickým posouzením.

TABULKA 23.A.1 – Postup I – Zvedání materiálu

Materiál	Koeficient zatížení	Metoda zvedání	Poznámky
Materiál opatřený rukojeťmi	3	Postupně se zvedá zkoušený předmět za každou jednotlivou rukojeť po stanovenou dobu. Mezi jednotlivými zdvihy se předmět vrací. Pokud se zkouška provádí mimo klimatické kondicionované prostředí, znovu se zkoušený předmět stabilizuje v požadovaných klimatických podmínkách mezi jednotlivými zdvihy.	1, 2
Materiál vybavený příslušenstvím pro zvedání	2	Přípevní se závěsy ke všem zvedacím bodům s příslušnými opatřeními a předmět se zvedá po stanovenou dobu.	1, 2, 3
Materiál vybavený otvory pro vidlicovou manipulaci	1,25	Použije se vysokozdvíhový vozík s vidlicemi vloženými alespoň do dvou třetin spodní strany základny zkušební vzorku, za níž vidlice realizují zvedání.	1, 2
Materiál určený pro použití chapadel	2	V určených úchytových bodech se použijí chapadla.	1, 2
Materiál bez zdvihacích zařízení	3	Pod zkoušeným předmětem se umístí dva závěsy přibližně v jedné šestině délky kontejneru z každého konce.	1, 2, 3

POZNÁMKY

1 Zkušební zatížení je celková hmotnost materiálu (hmotnost materiálu plus hmotnost obsahu v případě zkoušky v kontejneru) vynásobená koeficientem zatížení.

2 Minimální doba zkoušky pro každý zdvih = 5 minut.

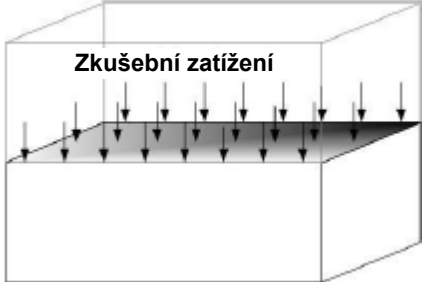

3 Pokud se používají závěsy, neměly by být úhly mezi prameny dvoupramenného závěsu a diagonálně protilehlými prameny čtyřpramenného závěsu větší než 90 stupňů a menší než 60 stupňů. Zkušební zatížení nesmí narušovat příslušenství pro zvedání a působit v ose závěsu.

Příloha 23A
(normativní)

TABULKA 23.A.2 – Postup II – Upevňování materiálu

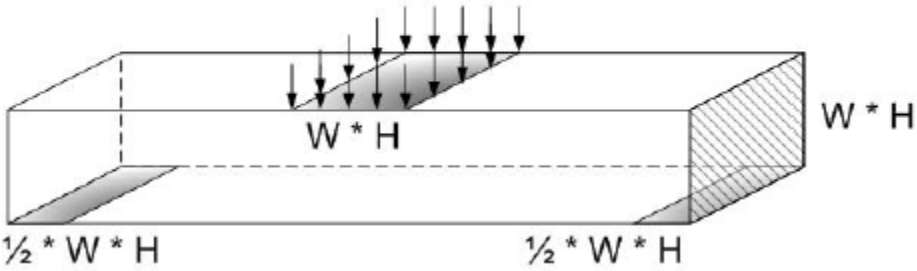
Orientace	Zkušební zatížení	Minimální doba trvání zkoušky (min)	Klimatické podmínky
Dopředu/dozadu (podélná osa zařízení)	$\frac{4 MSW}{N}$	5	Běžné místní podmínky
Dolů	$\frac{2 MSW}{N}$	5	
Příčně (v každém směru)	$\frac{1,5 MSW}{N}$	5	
<p>Dolů: Zkušební zatížení je $2 MSW / N$</p> <p>Dopředu/dozadu: Zkušební zatížení je $4 MSW / N$</p> <p>Příčně: Zkušební zatížení je $1,5 MSW / N$</p>			
<p>POZNÁMKY</p> <p>1 MSW = maximální hmotnost předmětu (včetně nákladu v případě zkoušky kontejneru). 2 N = počet upevňovacích prvků, které účinně odolávají pohybu v dané ose. 3 Zatížení se aplikuje kolmo, každý upevňovací prvek najednou. 4 Tabulka je vypracována z MIL-STD-209.</p>			

TABULKA 23.A.3 – Postup III – Stohování materiálu a boční nakládání

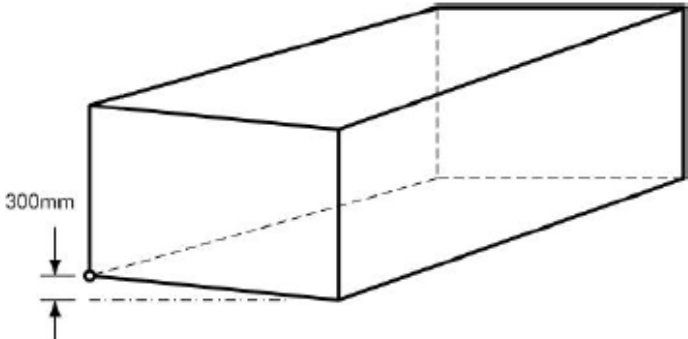
Simulace	Postup zkoušky	Zkušební zatížení	Minimální doba trvání zkoušky
Stohování materiálu	<p>Při svislém stohování se vystaví vrchní povrch zkoušeného předmětu tlakovému zatížení, jak bylo uvedeno.</p> 	<p>Tlakové zatížení se rovná množství předmětů naskládaných do celkové výšky nepřesahující 2 m pro obaly s celkovou hmotností do 15 kg, nebo 6 m pro materiál s celkovou hmotností nad 15 kg.</p>	
Zatížení z boční strany	<p>Pro simulaci zatížení při uložení v síti se podrobí boční nebo čelní plochy zkoušeného předmětu polovině stanoveného zkušebního zatížení. Pokud je zkoušený předmět citlivý na orientaci zařízení nebo účinky zemské přitažlivosti, mělo by se použít vhodné horizontální nakládací zařízení.</p> 		8 dnů

Příloha 23A
(normativní)

TABULKA 23.A.4 – Postup IV – Ohyb materiálu

Nastavení zkoušky	Zkušební zatížení	Minimální doba trvání zkoušky
Zkušební zatížení se aplikuje na středovou oblast rozpětí zkoušeného předmětu. U předmětu v dlouhé obdélníkové krabici s obdélníkovým průřezem a rozměry délka × šířka × výška ($L \times W \times H$) je středová oblast rozpětí $W \times H$. Koncová podepíraná oblast musí být vždy jedna polovina oblasti $W \times H$.	Ohybové zatížení je trojnásobkem (3) maximální hmotnosti předmětu (včetně nákladu v případě zkoušky kontejneru).	5 minut
<p style="text-align: center;">Zkušební zatížení</p> 		

TABULKA 23.A.5 – Postup V – Ukládání materiálu do regálů

Postup zkoušky	Zkušební zatížení	Minimální doba trvání zkoušky
<p>Se zkušebním předmětem stojícím čelem na pevné a rovné ploše se musí základní roh zvednout a podepřít na zadanou výšku po požadovanou dobu. Zkoušený předmět se poté spustí dolů a zkouška se opakuje v diagonálně protilehlém rohu. Se zbývajícimi dvěma rohy se pak musí zacházet podobně.</p>	<p>Výška = 300 mm</p>	<p>5 minut na každý roh</p>
		

Účinnost českého obranného standardu od: 28.12.2022

Změny:

Změna číslo	Účinnost od	Změnu zpracoval	Datum zpracování	Poznámka

Upozornění: Oznámení o českých obranných standardech jsou uveřejňována měsíčně ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v oddíle „Ostatní oznámení“ a Věstníku MO.

V případě zjištění nesrovnalostí v textu tohoto ČOS zasílejte připomínky na adresu distributora.

Rok vydání: 2022, obsahuje 352 listů

Distribuce: Odbor obranné standardizace Úř OSK SOJ, nám. Svobody 471/4, 160 01 Praha 6

Vydal: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti
oos.army.cz

NEPRODEJNÉ
