



## ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

<b>999936</b> <b>1. vydání</b> <b>Změna 2</b>	<b>VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU. MECHANICKÉ PODMÍNKY</b>
---	---

ZAVÁDÍ	STANAG 4370, Ed. 7 ENVIRONMENTAL TESTING Zkoušky vlivu prostředí AECTP-240, Ed. 1 MECHANICAL CONDITIONS Mechanické podmínky
NAHRAZUJE	ČOS 999936, 1. vydání, Změna 1 VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU. MECHANICKÉ PODMÍNKY

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2

(VOLNÁ STRANA)

## ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

### VLIV OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ NA VOJENSKOU TECHNIKU MECHANICKÉ PODMÍNKY

**Základem pro tvorbu tohoto standardu byl originál dokumentu:**

STANAG 4370, Ed. 7	ENVIRONMENTAL TESTING Zkoušky vlivu prostředí
AECTP-240 Ed. 1	MECHANICAL CONDITIONS Mechanické podmínky

© Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti

Praha 2022

## OBSAH

	STRANA
1 PŘEDMĚT STANDARDU .....	5
2 NAHRAZENÍ PŘEDCHOZÍCH STANDARDŮ (NOREM) .....	5
3 SOUVISEJÍCÍ CITOVANÉ DOKUMENTY.....	5
4 ZPRACOVATEL ČOS .....	6
5 SEZNAM ZKRATEK.....	6
6 SEZNAM KAPITOL .....	7

## 1 PŘEDMĚT STANDARDU

ČOS 999936, 1. vydání, Změna 2, zavádí AECTP-240, Ed. 1, která je jednou z přejímaných spojeneckých publikací STANAG 4370, do prostředí ČR. Ke STANAG 4370 se ČR rozhodla přistoupit a zavést s výhradou. Výhrada se týká zákazu používání, vývoje, výroby, skladování a převodu kazetové munice a o jejím zničení v souladu se zákonem č. 213/2011 Sb. Standard poskytuje charakteristiky, příklady údajů a zdrojů pro mechanické podmínky, obzvláště vibrace a rázy, které ovlivňují konstrukci vojenského materiálu. Informace jsou rozvedeny a rozšířeny určením možných škodlivých účinků těchto podmínek na vojenský materiál a také poskytnutím informací o výběru vhodných zkušebních metod. Jsou také poskytnuty informace o určení a zhodnocení náročnosti zkoušek v prostředí ze skutečných naměřených údajů.

## 2 NAHRAZENÍ PŘEDCHOZÍCH STANDARDŮ (NOREM)

Tento standard nahrazuje ČOS 999936, 1. vydání, Změna 1.

## 3 SOUVISEJÍCÍ CITOVANÉ DOKUMENTY

V tomto ČOS jsou normativní odkazy na následující citované dokumenty (celé nebo jejich části), které jsou nezbytné pro jeho použití. U odkazů na datované citované dokumenty platí tento odkaz bez ohledu na to, zda existují novější vydání/edice tohoto dokumentu. U odkazů na nedatované dokumenty se používá pouze nejnovější vydání tohoto dokumentu (včetně všech změn). Ostatní zmíněné dokumenty v kapitolách ODKAZY jsou informativního charakteru a slouží jako pomocné dokumenty pro potřebu uživatele. Nevztahuje se na ně úvodní odstavec v kapitole 3 tohoto dokumentu.

ČOS 051627	- ZKOUŠKY VOJENSKÉ TECHNIKY V ELEKTRICKÉM A ELEKTROMAGNETICKÉM PROSTŘEDÍ
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
AECTP-100	- ENVIRONMENTAL GUIDELINES FOR DEFENCE MATERIEL Směrnice ke vlivu prostředí na vojenský materiál
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 TEST AND VERIFICATION Zkoušky 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 Hodnocení způsobilosti materiálu vyhovět požadavkům na prodlouženou dobu životnosti a změnám funkce a nasazení Zavedeno: ČOS 399007 „Metoda hodnocení způsobilosti vojenského materiálu splnit požadavky na prodloužení životnosti“
MIL-STD-810	- ENVIROMENTAL METHODS AND ENGINEERING GUIDELINES

#### 4 ZPRACOVATEL ČOS

Vojenský technický ústav, s.p., odštěpný závod VTUPV, Ing. Josef Zikmund.

#### 5 SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Název v originálu	Český název
AECTP	Allied Environmental Conditions and Test Publication	Spojenecká publikace o podmínkách vnějšího prostředí a jejich zkoušení
APC	Armoured Personnel Carrier	obrněný transportér
APD	Amplitude Probability Density	pravděpodobnostní hustota amplitud
ASD	Acceleration Spectral Density	spektrální hustota zrychlení
BBR	Broad Band Random	širokopásmové náhodné vibrace
ERU	Ejection Release Unit	vystřelovací nábojnice
FDS	Fatigue Damage Spectra	spektrum únavového poškození
ft	Foot	stopa: 1 ft = 0,3048 m
g		tíhové zrychlení
g rms		efektivní hodnota tíhového zrychlení
h		hodina
kft	Cubic foot	kubická stopa: 1 kft = 0,028 m <sup>3</sup>
kn, kns	Knot, knots	mezinárodní uzel, uzly
kph	kilometres per hour	km/h
LCEP	Life Cycle Environmental Profile	profil prostředí v průběhu životnosti

MACE	Multinational Airlift Coordination Element	mnohonárodní složka pro koordinaci vzdušné přepravy
MIL-STD	Military Standard	vojenský standard USA
NATO	North Atlantic Treaty Organization	Organizace severoatlantické smlouvy
pk	Peak	špičková hodnota
PSD	Power Spectral Density	spektrální výkonová hustota
psf	pound per square foot	libra na čtvereční stopu (tlak) 1 psf = 47,880259 pascalů
rms		efektivní hodnota
S&L	Straight and level flight	přímý a vodorovný let
S/N		sklon únavové křivky
STANAG	Standardization Agreement	Standardizační dohoda NATO
VERTREP	Vertical Replenishment	vertikální doplňování

## 6 SEZNAM KAPITOL

KAPITOLA 241/1	VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ
KAPITOLA 242/1	SILNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU
KAPITOLA 242/2	ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU
KAPITOLA 242/3	VZUŠNÁ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU
KAPITOLA 242/4	NÁMOŘNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU
KAPITOLA 242/5	PŘEPRAVA ZA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU
KAPITOLA 243/1	MANIPULACE
KAPITOLA 243/2	SKLADOVÁNÍ
KAPITOLA 244/1	NESENÉ A PŘENOSNÉ MATERIÁLY
KAPITOLA 245/1	INSTALACE NA A V PÁSOVÝCH VOZIDLECH
KAPITOLA 245/2	INSTALACE NA A V KOLOVÝCH VOZIDLECH
KAPITOLA 246/1	INSTALACE NA A V PROUDOVÝCH LETOUNECH
KAPITOLA 246/2	EXTERNÍ PŘEPRAVA NA PROUDOVÝCH LETOUNECH
KAPITOLA 246/3	INSTALACE NA A VE VRTULOVÝCH LETOUNECH
KAPITOLA 247/1	INSTALACE NA A VE VRTULNÍCÍCH
KAPITOLA 248/1	INSTALACE NA A V HLADINOVÝCH LODÍCH
KAPITOLA 249/1	LETECKÉ A POZEMNÍ ZBRANĚ
KAPITOLA 2410/1	VÝVOJ PROGRAMŮ LABORATORNÍCH VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK
KAPITOLA 2411/1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ / PŘÍPRAVKY / UPÍNAČE A ŘÍZENÍ ZKOUŠKY

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2

(VOLNÁ STRANA)



**KAPITOLA 241**  
**ČÁST 241/1**  
**VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	10
2 POUŽITÍ.....	10

## ČÁST 241/1 – VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Účelem řady částí tohoto standardu je poskytnout charakteristiky, příklady údajů a zdrojů pro mechanické podmínky, obzvláště vibrace a rázy, které ovlivňují konstrukci vojenského materiálu. Informace jsou rozvedeny a rozšířeny určením možných škodlivých účinků těchto podmínek na vojenský materiál a také poskytnutím informací o výběru vhodných zkušebních metod. Jsou také poskytnuty informace o určení a zhodnocení náročnosti zkoušek v prostředí ze skutečných naměřených údajů.

Tato řada částí poskytuje dostatek údajů o mechanických podmínkách pro položky vojenského materiálu, které při použití spolu s AECTP-100, 300, 400 a 500 mohou usnadnit zpracování úplné a nákladově efektivní sestavy zkoušek v prostředí, reagujících na požadavky projektovaného prostředí.

### 2 POUŽITÍ

Charakteristiky a údaje obsažené v tomto ČOS 999936 se předpokládají pro použití v následujících aplikacích:

- a. Umožnit zákazníkům, nebo potenciálním zákazníkům pokládat cílené otázky pro potvrzení toho, že klíčové vlastnosti a problémy prostředí byly, nebo budou adresovány dodavatelům, nebo potenciálním dodavatelům.
- b. Napomoci projektovým inženýrům upřesnit specifikace kritérií pro návrh prostředí pomocí identifikace všech hlavních prostředí a pomocí ilustrace a kvantifikace klíčových vlastností prostředí a parametrů, které ovlivňují jejich velikost.
- c. Napomoci konstruktérům při určení možných způsobů selhání, které mohou vyvolat určité vlastnosti prostředí a tím poskytnout ukazatele pro monitorování během projektování a zkoušení.
- d. Napomoci zkušebním technikům při přípravě metodik zkoušek uvedením preferovaných zkušebních metod pro vyhodnocení účinků charakteristik mechanického prostředí. Tam, kde je to vhodné, jsou doporučeny zkušební metody uvedené v AECTP-400 (ČOS 999902).
- e. Napomoci zkušebním technikům při upřesnění programů pro získání kvalitních naměřených údajů ze skutečného provozu. Tento aspekt je v tomto materiálu široce pojednán. Takové údaje jsou používány primárně pro vytvoření náročnosti zkoušek pro kvalifikační zkoušky.
- f. V přílohách připojených k této části materiálu poskytnout sestavovatelům předpisů zdroje dalších informací o prostředí. Tyto informace se mohou použít pro nastavení úrovní projektů a zkoušek v časných fázích zpracování projektu v případě, že nejsou k dispozici specificky naměřené údaje odpovídající danému projektu.
- g. Tento standard brát v úvahu při určování prodloužení životnosti, změnách úlohy a rozmístění; pro informaci viz AECTP-600.

**KAPITOLA 242**  
**ČÁST 242/1**  
**SILNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	12
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	12
2.1 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ JAKO UPEVNĚNÝ MATERIÁL .....	12
2.2 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ JAKO VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD .....	13
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY .....	14
3.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	14
3.2 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ JAKO UPEVNĚNÝ NÁKLAD .....	14
3.3 MATERIÁL PŘEPRAVOVANÝ JAKO VOLNĚ LOŽENÝ .....	14
3.4 PARAMETRY BALENÍ .....	15
4 VOLBA ZKUŠEBNÍCH METOD .....	15
4.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	15
4.2 MATERIÁL PŘEVÁŽENÝ JAKO UPEVNĚNÝ NÁKLAD.....	16
4.3 MATERIÁL PŘEVÁŽENÝ JAKO VOLNĚ LOŽENÝ NÁKLAD .....	16
4.4 ZRYCHLENÍ VOZIDLA.....	16
 <b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÉ PROSTŘEDÍ, JE-LI MATERIÁL PŘEVÁŽEN JAKO UPEVNĚNÝ NÁKLAD.....	23
PŘÍLOHA B ODKAZY.....	25

## ČÁST 242/1

### SILNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU

#### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál během silniční přepravy mezi místem výroby a předsunutými skladovacími základnami. Zahrnuje zejména přechodné vibrace a rázy spojené se silniční přepravou a nárazy vyvolané dynamickou interakcí nákladní plošiny a nárazy v důsledku kolizí s ostatním nákladem. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a tam, kde je to vhodné, je poskytnuta informace o možných škodlivých účincích. Dodatečné informace o důležitých parametrech ovlivňujících mechanické prostředí jsou obsaženy v příloze A. Kde je to vhodné, jsou uvedeny informace o výběru odpovídajících zkušebních metod dle AECTP-400. Odkazy jsou uvedeny v příloze B.

Pro účely této části může být materiál vystaven prostředí silniční přepravy nechráněný, nebo převážený v nějaké formě ochrany, balení, nebo kontejneru. Užitečné zatížení se může skládat z jedné, nebo více položek materiálu. Pokud není určeno jinak, popis prostředí se vztahuje ke styčné ploše mezi přepravním vozidlem a nákladem. Všechny osy odpovídají osám vozidla.

Přepravy za předsunutou základnu, kdy může působit prostředí odpovídající terénním a bojovým podmínkám, jsou předmětem části 242/5.

Podmínky manipulace odpovídající nakládání materiálu na silniční vozidla a jeho vykládce ze silničních vozidel, tj. zdvihání, použití vysokozdvížných vozíků, atd. jsou uvedeny v části 243/1.

#### 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

##### 2.1 Materiál přepravovaný jako upevněný materiál

2.1.1 Všechny nejrůznější zdroje buzení vyvolané silnicí, působí na náklad sadou trvalých (vibrace) a přechodných pohybů (rázy). Pro účely zkoušení se výsledné dynamické pohyby nákladu obvykle považují za vibrační odezvy a rázové reakce. S výhodou se tyto skupiny také používají k vysvětlení charakteristik prostředí. Ve skutečnosti však oddělení vibrační a rázové složky může být docela problém. Obrázky 1, 2, 3 a 6 obsahují typické popisy dynamického prostředí silniční přepravy. Obrázky ukazují pro nákladní automobil 4 x 4 úrovně střední kvadratické hodnoty zrychlení vibrací, spektrální hustotu energie zrychlení a extrémní spektra, amplitudovou pravděpodobnostní hustotu a rozložení a typickou nestabilitu pro tři hlavní osy. Reakce byly měřeny na nákladové ploše vozidla nad zadní osou. Obrázky jsou pro totéž vozidlo jedoucí po různých typech vozovky (dálnice, hlavní silnice a vedlejší silnice) při různých rychlostech. Vliv rychlosti na střední kvadratickou hodnotu zrychlení a špičkové zrychlení vibračních hladin jsou zobrazeny na obrázcích 4 a 5. Vozidlo bylo naloženo na přibližně 50 % nosnosti (podle hmotnosti), náklad byl pevně upevněn a nedocházelo k žádnému výraznému narážení.

- 2.1.2 Převládající charakteristiky vibračních složek dynamických pohybů nákladu jsou v podstatě nahodilé a pokrývají poměrně široké frekvenční pásmo. Amplitudy zrychlení mají tendenci být výraznější při nízkých frekvencích a zejména v režimech pérování vozidla. Protože se režimy pérování vozidla vyskytují v relativně nízkých frekvencích (typicky 4 – 10 Hz), může dojít k výrazným posunům nákladů. Obecně se nejsilnější vibrace projeví ve vertikální ose vozidla, kdy předozadní a boční vibrace mají jen sekundární význam. Úhlové pohyby se nemohou vždy zanedbat, zejména klonění a v menší míře i vlnivý pohyb. Amplituda vibrací bude závislá na typu vozidla, ale bude také významně záviset na rychlosti vozidla. V menším rozsahu může mít také vliv povrch silnice. Některé periodické pohyby mohou překrývat pohyby nákladu vyplývající z motorového a převodového systému. Je zřejmé, že frekvence těchto složek se bude měnit s otáčkami motoru. Obvykle však mají pouze malý význam.
- 2.1.3 Přejíždění jevy (nebo rázy) budou vznikat při přejíždění vozidla přes výtluky, obrubníky a obecně přes nerovnosti povrchu vozovky. Amplituda a profil bude tedy záviset na „tvaru“ nerovnosti. Vlivem vozidla a jeho systému pérování bude jeho počáteční rázový impuls následován rychlým exponenciálním útlumem. I u velmi silných nárazů se amplituda ztlumí do bezvýznamnosti během dvou až tří cyklů. Ve většině případů je dominantní frekvenční složka přechodného jevu svislá, tj. ve směru pérování. Špičkové amplitudy přechodných jevů obvykle sledují přibližně Gaussovo rozložení. Rychlost výskytu a standardní odchylka bude pro určité vozidlo ovlivňována rychlostí a stavem povrchu vozovky. Typické přechodné jevy vyvolané povrchem vozovky jsou zobrazeny na obrázku 7 a odpovídající rázová reakční spektra na obrázku 8; měření a podmínky vozidla jsou stejné jako na obrázcích 1 – 6.

## **2.2 Materiál přepravovaný jako volně ložený náklad**

- 2.2.1 Pohyby vznikající z nadsakování nákladu na ložné ploše a z narážení na sousední náklad jsou obvykle, pro zkušební účely, zvažovány odděleně od rázů, nebo přechodných jevů pocházejících z povrchu vozovky. Důvodem pro to je skutečnost, že úroveň a parametry těchto rázů, jimž je vystaven náklad, budou výrazně odlišné od přechodných jevů způsobených povrchem vozovky.
- 2.2.2 Přeměna dostupné kinetické energie na rázové impulzy bude záviset na strukturální tuhosti dvou kontaktních ploch (ložné plochy a obalu). Čím tužší jsou dvě kontaktní plochy, tím kratší je trvání pulzu a tím větší je jeho amplituda. Typický dřevěný obal dopadající na dřevěnou nákladovou plochu může způsobit během přepravy po nerovných komunikacích zrychlení přibližně 40 g. Některé důkazy ukazují, že náklad upevněný s použitím běžných upevňovacích systémů je stále schopný pohybů dostačujících k tomu, aby nastalo nadsakování nákladu. Amplitudy jsou však mnohem omezenější než v případě neupevněného nákladu.
- 2.2.3 Protože velké vertikální pohyby ložné plochy souvisí obvykle s velkými kývavými pohyby, náklad bude pravděpodobně vystaven jak úhlovým, tak translačním pohybům. To má za následek různou orientaci a úroveň rázů. Dokonce i v případě, že neexistuje žádné kývání vozidla, asymetrie těžiště nákladu způsobí pravděpodobně spíše než náraz úhlové pohyby nákladu.

2.2.4 Rázy vznikající z odražení a narážení se projeví obvykle jako přechodné jevy krátkého trvání obvykle s relativním významem. Trvání přechodných jevů bude pravděpodobně výrazně kratší, než jevů způsobených přímo povrchem silnice, které mají trvání odpovídající hlavně frekvenci pérování. Míra projevu bude záviset na povrchu silnice a pohybech vozidla. Obecně je míra projevu komplikovaná. Teoreticky by se pohyby mohly stát "chaotickými", avšak pro mnohá balení je frekvence pohybu vozidla pravděpodobně příliš nízká, než by mohla způsobit skutečné chaotické pohyby.

### **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

#### **3.1 Všeobecná ustanovení**

Mechanické prostředí vznikající v důsledku silniční přepravy může působit na materiál řadou potenciálně škodlivých účinků. Nejvýznamnější jsou ty účinky, které souvisí s posunem, nebo zrychlením. Posuny uvnitř nákladu mohou vyvolávat relativní pohyby, které naopak mohou vyústit v kolize mezi zařízeními, přetržení tahem napětí a uvolnění konektorů. Závady způsobené zrychlením mohou vzniknout v důsledku setrvačnosti. Ty mohou působit jednou a mohou vyvolat závadu způsobenou překročením limitu, nebo mohou působit opakovaně a vytvořit únavovou závadu. Závady vznikající působením rychlosti jsou nezvyklé. Působení rychlosti může však u některých elektrických zařízení a určitých typů senzorů vyvolat bludné proudy, které naopak mohou způsobit funkční poruchy.

#### **3.2 Materiál přepravovaný jako upevněný náklad**

3.2.1 Vibrace: Pro mnohé náklady může být vibrační prostředí vznikající v důsledku silniční přepravy mnohem náročnější, než jakému budou pravděpodobně vystaveny. Materiál je však obvykle během přepravy zabalen a existuje pravděpodobně rozumná úroveň ochrany. Tato ochrana je často navržena tak, aby chránila materiál spíše před rázy než před vibracemi. V důsledku toho se v některých typech balení může vyskytnout výrazné zesílení buzení v různých druzích vibrace. Protože tyto druhy vibrace mají obvykle relativně nízkou frekvenci (10 – 50 Hz), mohou vzniknout výrazné rychlosti a amplitudy (s možností sekundárních účinků na materiál uvnitř jeho balení). Takovéto pohyby mohou být zesíleny spojením s vibracemi vznikajícími v důsledku způsobu odpružení vozidla.

3.2.2 Rázy: I když amplitudy rázu vznikajících v důsledku špatných povrchů silnic nemohou být obzvláště významné, většina energie může být pod frekvenčním rozsahem, v němž jsou protirázová opatření nákladu účinná (protože hlavní frekvence přechodných jevů bude na frekvenci odpružení vozidla). V důsledku toho může být materiál vystaven přechodným jevům bez jakékoliv účinné ochrany.

#### **3.3 Materiál přepravovaný jako volně ložený**

Pro volně ložený, nebo jen lehce upevněný materiál může dobře navržený ochranný systém (nebo obal) výrazně utlumit většinu účinků rázu vznikajících z nárazu a srážek. Navíc, obecně bude amplituda přechodných jevů méně závažná než ta, která se projeví jako výsledek špatné manipulace, např. shoení. Protože však

náklad bude vystaven značnému počtu takovýchto jevů (v rozsahu 100 – 10000), mohou vzniknout podmínky únavové závady v rámci středního cyklu.

### **3.4 Parametry balení**

Většina materiálu, která je určena pro vystavení přepravnímu prostředí, bude obsahovat určitou formu ochrany, nebo obal. Mezi materiálem a jeho obalem může dojít k některým strukturálním interakcím. Tyto interakce mohou u zařízení vyvolat takové úrovně namáhání, které budou závažnější, než jsou ty úrovně, uvedené v této části dokumentu (vztahující se k styčným plochám mezi balením a nosným vozidlem). Při zvažování možných škodlivých efektů různých způsobů dopravy však bylo určeno, že interakce nevyvolává dodatečné poruchy materiálu. Tento předpoklad není nerozumný pro dobře navrženou ochranu, nebo balení. Pro balení jsou čtyři užitečné základní zásady:

- a. Obal se nemá při očekávaných podmínkách rázu, nebo zatížení otevřít a vysypat obsah, nebo se zhroutit na obsah.
- b. Předměty obsažené v obalu mají být uvnitř upevněny tak, aby zabránily pohybu a výslednému poškození v důsledku nárazu do vnitřních stěn obalu.
- c. Prostředky pro upevnění obsahu uvnitř obalu musí přenášet síly na nejpevnější část zabaleného předmětu.
- d. Vnitřek obalu musí být navržen tak, aby odpružoval a rozděloval rázové síly na maximální plochu povrchu nákladu a vykazoval vlastnosti nezvyšující zpomalení v případě, že se obsah uvolní ze svého upevnění.

## **4 VOLBA ZKUŠEBNÍCH METOD**

### **4.1 Všeobecná ustanovení**

- 4.1.1 Možnosti: K dispozici jsou obecně tři možnosti simulování prostředí silniční přepravy, tj.: použití vibrační stolice ve zkušební laboratoři, použití vhodných zkušebních drah při provozních zkouškách nebo skutečné silniční povrchy vytvářející reálné přepravní podmínky. Simulace prostředí v laboratoři má výhodu v tom, že simulace může být prováděna v definovaných a řízených podmínkách, včetně teploty. Navíc, laboratorní zkoušení umožňuje snížit doby zkoušek, snížit náklady, protože provoz vozidla je eliminován a zvýšit bezpečnostní standardy (obzvláště při zkoušení munice). Simulace s použitím zkušebních drah, nebo skutečných silničních podmínek může být výhodnější pro velké a špatně manipulovatelné náklady a může být nezbytná v případě, že náklad výrazně vstupuje do interakce s dynamikou nosného vozidla.
- 4.1.2 Laboratorní zkoušení: Simulace prostředí v laboratoři je obvykle použitelná pro všechny náklady s výjimkou nadrozměrných a těžkých.
- 4.1.3 Zkušební dráhy: V důsledku problémů s vytvořením nejhorších možných silničních podmínek se často používají standardní zkušební dráhy. K dispozici je široká škála zkušebních drah. Ne všechny jsou určeny pro simulaci silniční přepravy; některé jsou určeny pro zkoumání problémů spolehlivosti a manipulace s vozidlem. Je tedy nutno věnovat velkou péči volbě vhodných povrchů, aby byly zabezpečeny charakteristické reakce nákladu. Mohou

vzniknout vysoké amplitudy nárazů a srážek v počtu výskytů převyšujícím o mnoho řádů tyto jevy, vyskytnuvší se ve skutečném provozu. V důsledku toho se u některých nákladů a materiálů mohou vyvolat poruchy, které se v praxi pravděpodobně nevyskytnou.

- 4.1.4 Silniční zkoušky: Zkoušky prováděné na veřejných silnicích mají výhodu, že reprezentují skutečné podmínky. Problém v použití skutečných silničních podmínek spočívá v tom, že rychlost vozidla a jeho manévrování je ovlivněno skutečnými dopravními podmínkami.

## **4.2 Materiál převážený jako upevněný náklad**

- 4.2.1 Laboratorní vibrační zkoušky: Je-li požadován vibrační test specificky pro simulaci vibrací silniční přepravy, doporučuje se zkouška s širokopásmovou náhodnou vibrací. Má se použít zkušební postup z AECTP-400, Metoda 401 - Vibrace (ČOS 999902).
- 4.2.2 Laboratorní rázové zkoušky: Pro vytvoření strukturálně přenášených přechodných jevů vznikajících ve vozidle je používáno rázové, nebo přechodné zkoušení. Obecně je tato zkouška méně náročná než zkouška volně loženého nákladu a bude nezbytná pouze v případě, kdy nebyla provedena zkouška volně loženého nákladu. Toto zkoušení se často používá pro velké, nebo těžké náklady, kdy náklad je dostatečně upevněn, aby se zabránilo nárazům a srážkám. S ohledem na volbu zkušebního postupu je použitelná Metoda 403-Základní ráz z AECTP-400 (ČOS 999902). Tato zkušební metoda vyhovuje pro většinu aplikací, je-li však požadována dokonalejší simulace, doporučuje se rázové spektrum uvedené v Metodě 403 - Ráz SRS v AECTP – 400 (ČOS 999902).

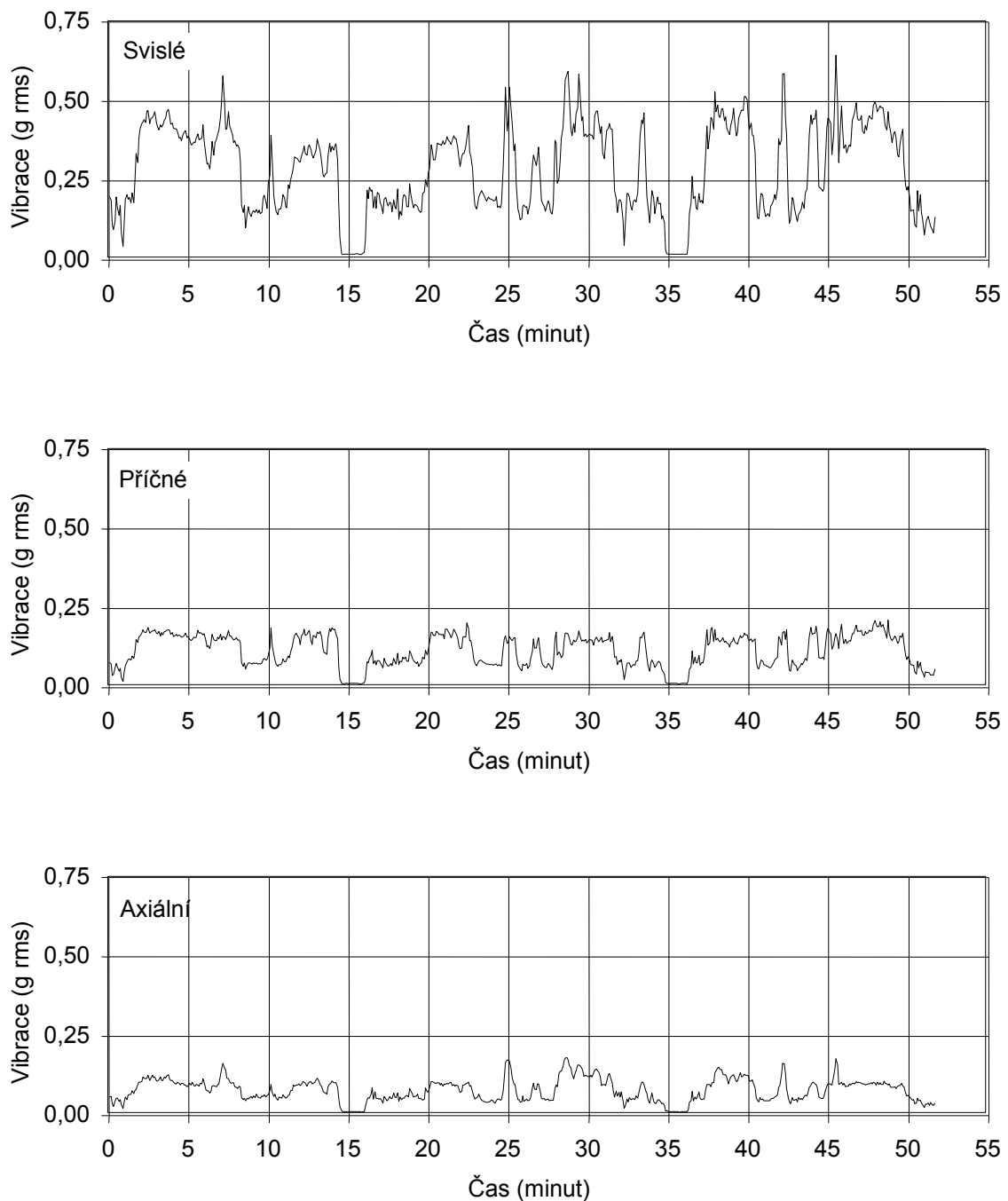
## **4.3 Materiál převážený jako volně ložený náklad**

- 4.3.1 Laboratorní zkoušení: Pohyby, jimž je náklad vystaven, jsou simulovány pomocí testů volný náklad (AECTP-400, Metoda 406 ČOS 999902). Tato zkouška nabízí velmi malý prostor pro "přizpůsobení" skutečným podmínkám prostředí. Je to způsobeno přednostně omezeními danými obvykle používaným zkušebním zařízením. Náročnost zkoušek volně loženého nákladu je určována hlavně nastavením trvání expozice.
- 4.3.2 Pokud je zabezpečeno, že určené pohyby lze vytvořit ve zkušební laboratoři, například pomocí vhodně upravené vibrační stoličky, není závazné pro zkoušku volně loženého nákladu používat speciální zkušební stroj.
- 4.3.3 Pro některé náklady je třeba dbát opatrnosti při použití zkoušky volně loženého nákladu v laboratoři, neboť četnost výskytu rázů je mnohem vyšší než ve skutečnosti. V některých případech může tento zvýšený počet vyústit v nereálnou degradaci protirázových úchytů, pěnových výplní, atd.

## **4.4 Zrychlení vozidla**

Kvazistatická setrvačná zatížení mají obvykle tak nízkou amplitudu, že jsou nevýznamná. Navíc jsou obvykle zahrnuta ve zkoušení, nebo výpočtech pro setrvačné zatížení z jiných fází použití.

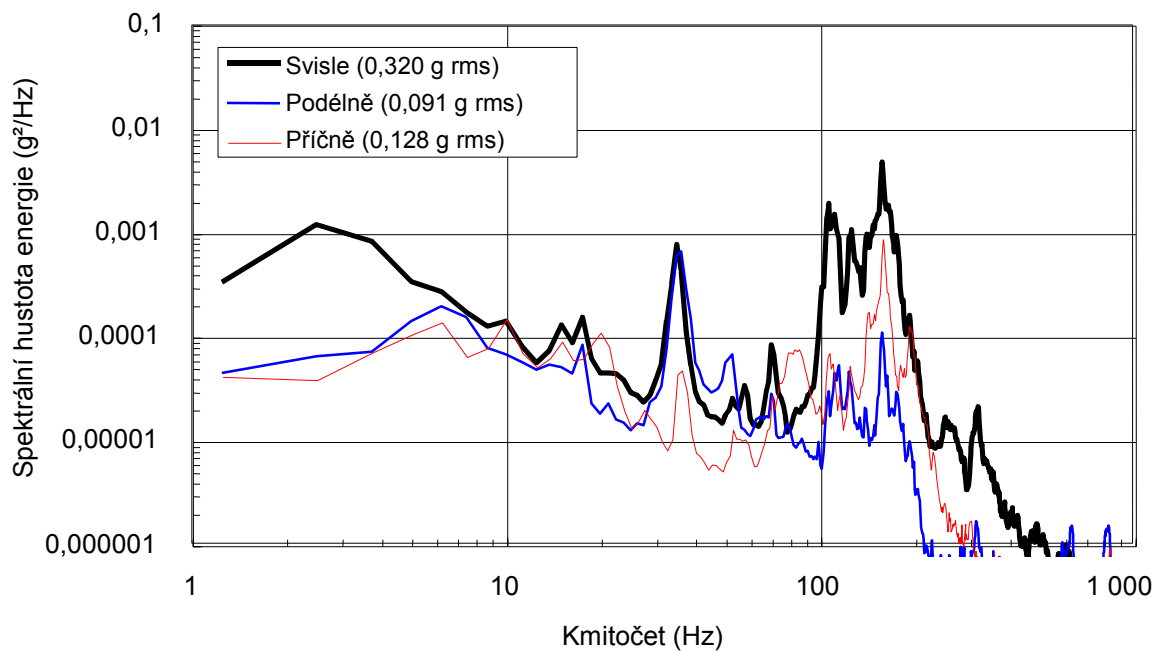




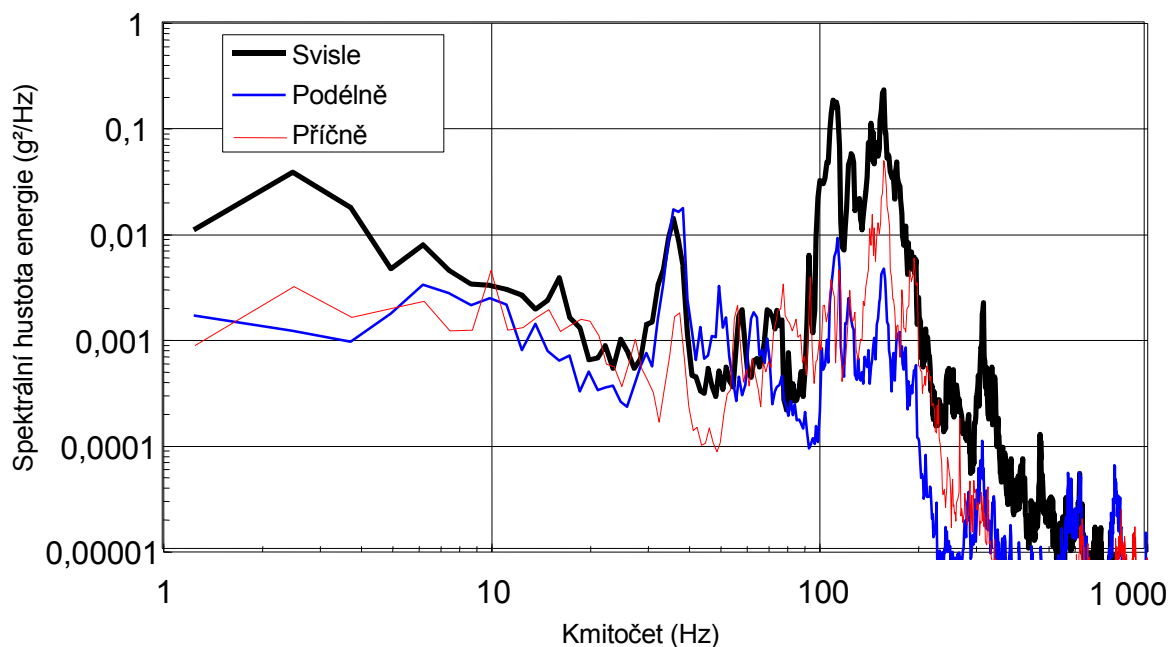
**OBRÁZEK 1 – Vibrace (g-rms) vozidla Bedford 4x4 na kvalitní silnici**

**POZNÁMKY**

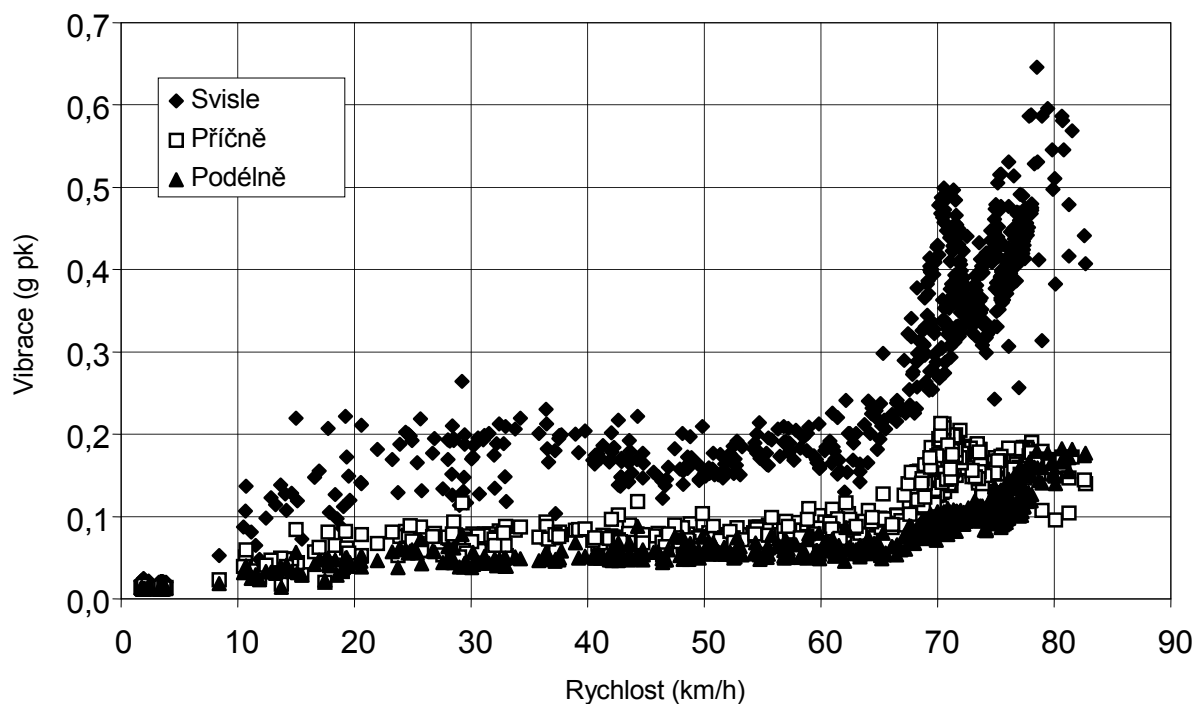
- 1 Vibrace měřeny na ložné ploše vozidla nad zadní nápravou.
- 2 Vozidlo naloženo na přibližně 50 % nosnosti (hmotnostně).
- 3 Náklad upevněn.



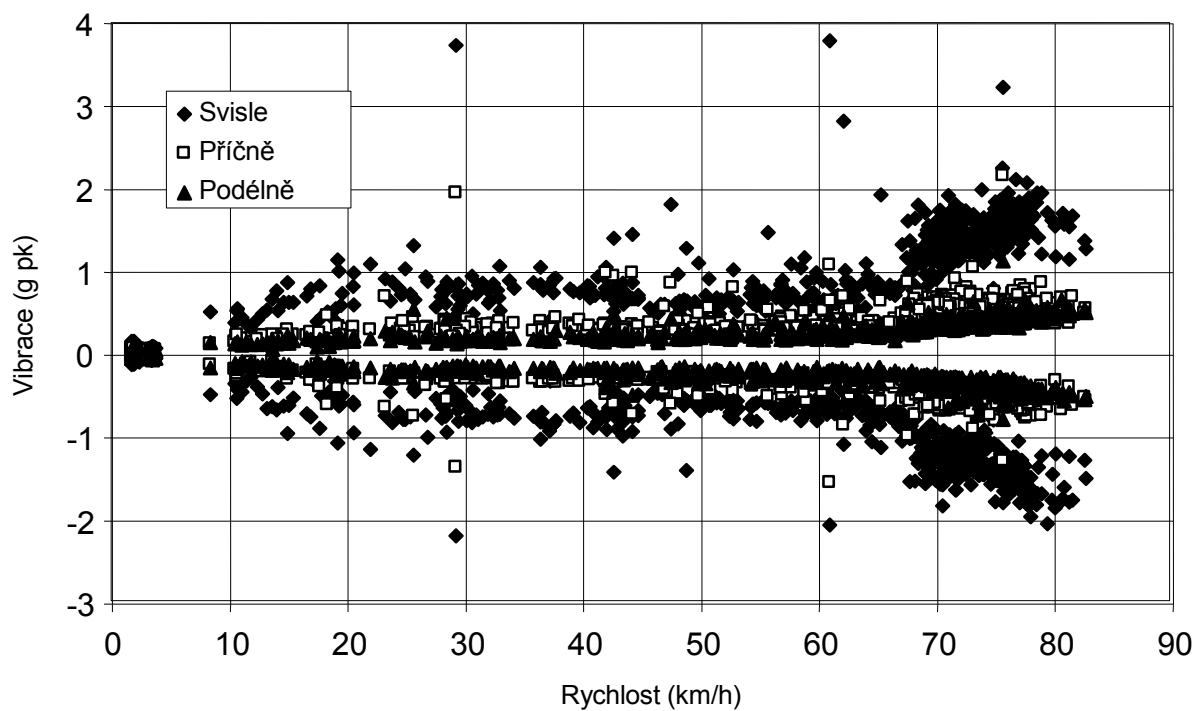
**OBRÁZEK 2 – Hlavní spektrum vozidla Bedford 4x4 na kvalitní silnici**



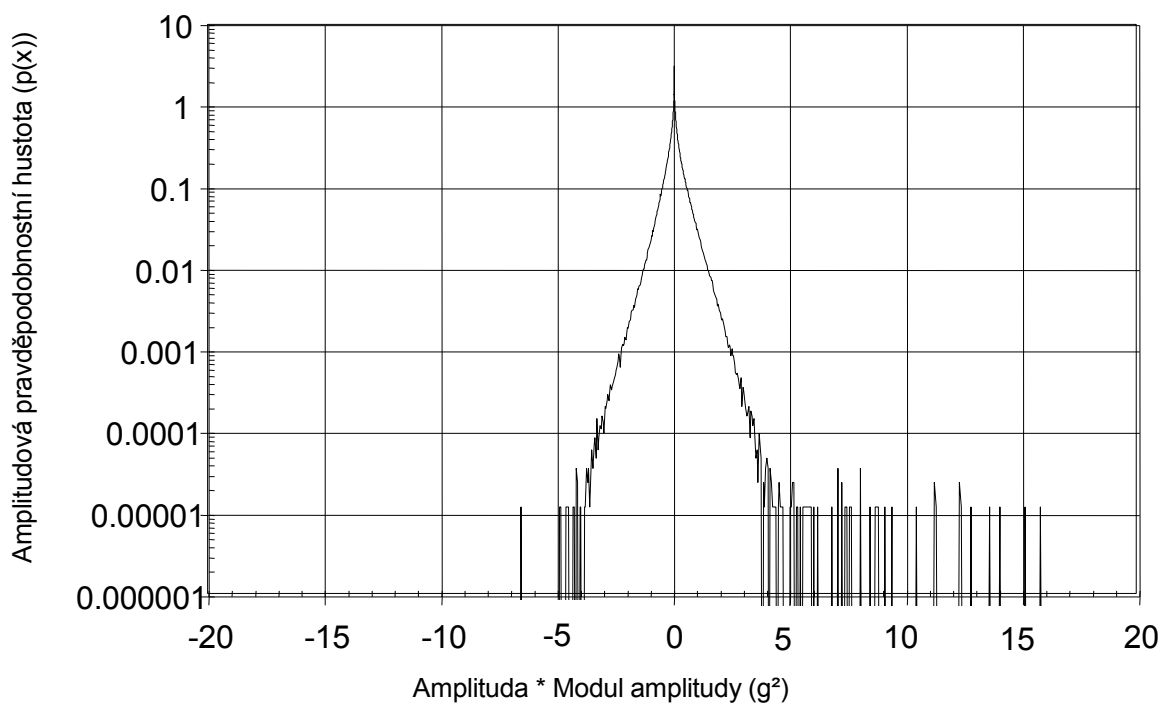
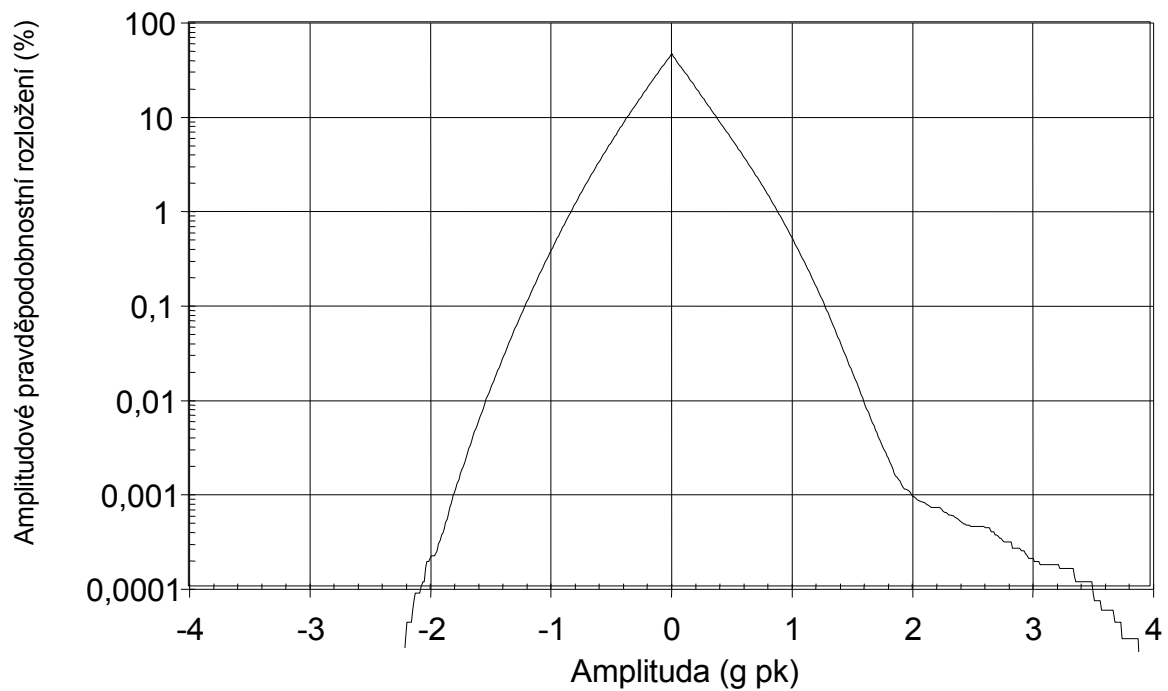
**OBRÁZEK 3 – Extremální spektrum vozidla Bedford 4x4 na kvalitní silnici**



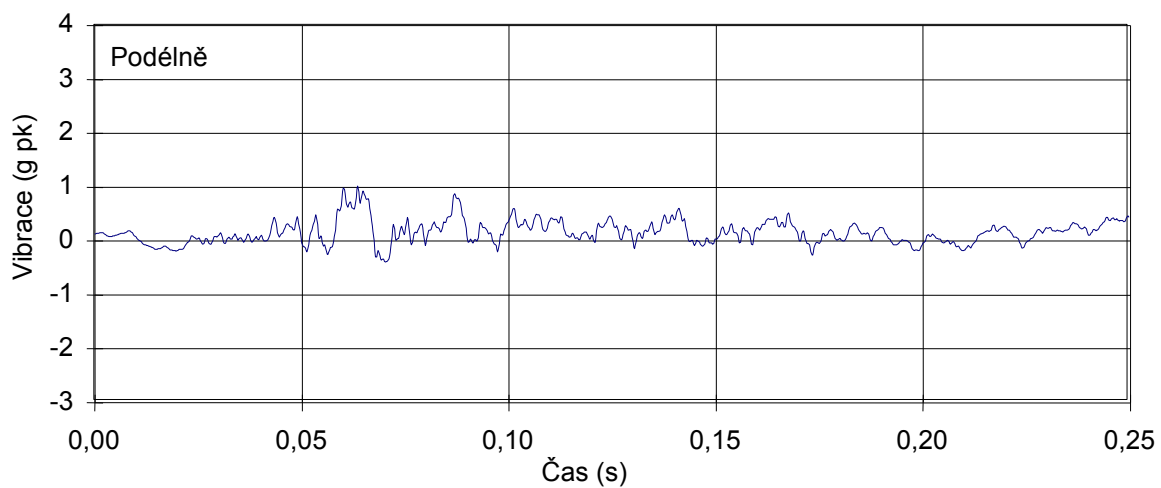
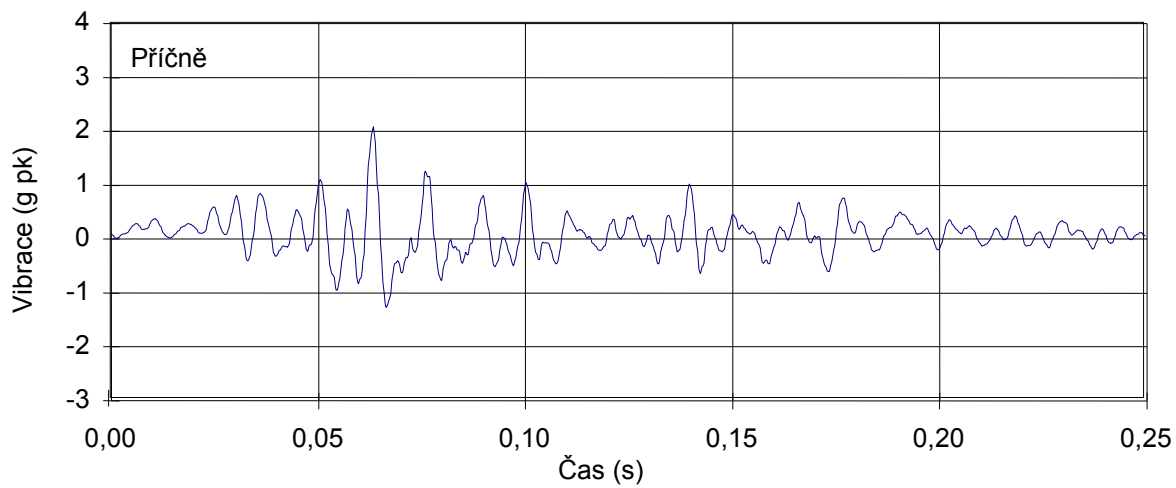
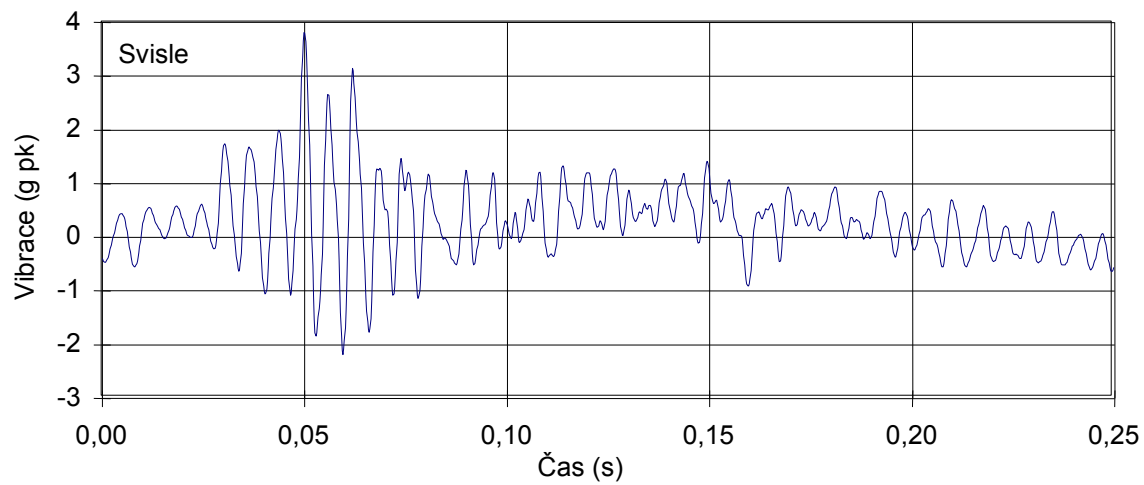
**OBRÁZEK 4 – Účinek rychlosti jízdy na hodnoty rms u vozidla Bedford 4x4 na kvalitní silnici**



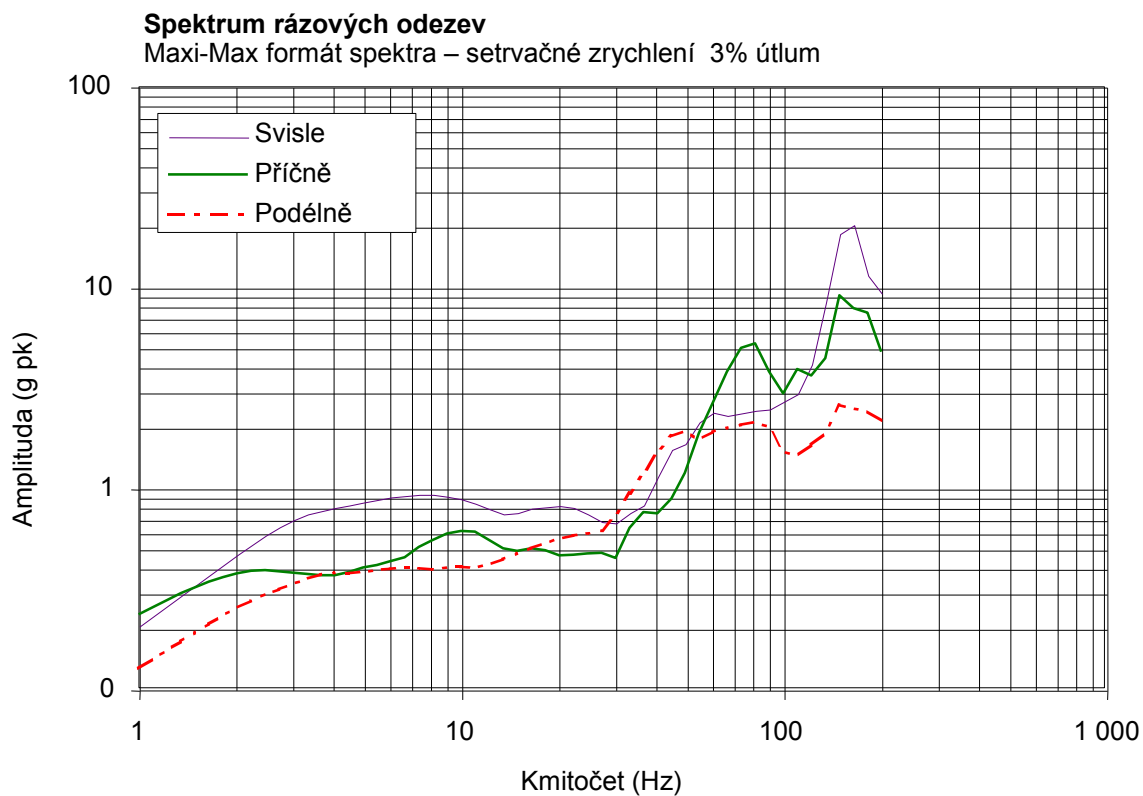
**OBRÁZEK 5 – Účinek rychlosti jízdy na špičkové hodnoty u vozidla Bedford 4x4 na kvalitní silnici**



**OBRÁZEK 6 – Pravděpodobnostní funkce pro vozidlo Bedford 4x4 truck na kvalitní silnici**



**OBRÁZEK 7 – Odezvy přechodových jevů-vozidlo Bedford 4x4 na kvalitní silnici**



**OBRÁZEK 8 – Spektrum rázových odezev přechodových jevů-vozidlo Bedford 4x4 na kvalitní silnici**

## **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÉ PROSTŘEDÍ, JE-LI MATERIÁL PŘEVÁŽEN JAKO UPEVNĚNÝ NÁKLAD**

### **A.1 PARAMETRY VYVOLANÉ POUZÍVÁNÍM VOZOVKY**

#### **A.1.1 Obecně**

Dynamické reakce nákladu jsou vyvolané interakcí kol vozidla s povrchem vozovky. Mechanismus vytvářející tyto pohyby závisí na nepravidelnostech silničního povrchu, rychlosti vozidla a také na charakteristikách kol a zavěšení. Navíc, reakce nákladu na tuto formu buzení vozidla bude ovlivňována dynamickými charakteristikami vozidla, umístěním nákladu na vozidle a také geometrií kol vozidla. Tato geometrie je zejména důležitá, protože nejen že se tento způsob buzení vyskytuje na všech kolech, ale existuje také vysoká korelace mezi pohyby vznikajícími na každém kole zvlášť.

#### **A.1.2 Kvalita povrchu vozovky**

Měření provedená v minulých letech prokázala, že druh vozovky má určitý vliv na amplitudu vibrací. Tato variabilita není však tak důležitá, jako účinky změn rychlostí vozidla způsobených používáním různých druhů vozovek. Zdá se, že druh vozovky má vliv na distribuci amplitud přechodných pohybů vyvolaných vozovkami nižších tříd vytvářejících obecně větší rozčlenění amplitud. Dlouhé časy měření (několik hodin) na veřejných silnicích ukazují, že trvalé buzení (obvykle nazývané vibrace) je rozčleněno podle Gaussovy křivky, i když nikoliv nutně se stálými odchylkami. Navíc, přes toto rozdělení jsou aplikovány účinky přechodných buzení (nárazy, díry ve vozovce)

#### **A.1.3 Účinky rychlosti**

Zdá se, že rychlost vozidla je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících úroveň dynamických reakcí nákladů vznikajících v důsledku povrchu vozovky. V některých případech byl zaznamenán přibližný vztah mezi kvadratickou střední odchylkou reakce nákladu a rychlostí vozidla. Změny kvadratické střední hodnoty zrychlení během typické jízdy jsou zobrazeny na obrázku 1 této části. Vyneseny proti rychlosti vozidla jsou ukázány na obrázku 5 v této části.

#### **A.1.4 Dynamika vozidla**

Jak trvalá, tak přechodná buzení vyvolaná účinky povrchu vozovky jsou modifikována dynamikou vozidla. Hlavním činitelem jsou dynamické charakteristiky systému zavěšení kol vozidla. Účinky systému zavěšení obvykle zeslabují buzení ve vyšších frekvencích (>20 Hz) a zesilují nižší frekvence (nelineárním způsobem), obzvláště u způsobu zavěšení kol vozidla (typicky 4 – 10 Hz). V některých případech způsob zavěšení určuje reakci nákladu v takovém rozsahu, že povrchní kontrola reakce naznačuje téměř periodickou reakci (i když podrobná kontrola obvykle udává Raleighovo rozdělení) amplitudy.

**Příloha A**  
(informativní)

**A.1.5 Rozložení zatížení vozidla**

Hmotnost celkového nákladu převáženého vozidlem bude ovlivňovat reakci nákladu. Obecně, čím nižší je celková hmotnost zatížení vozidla, tím větší je amplituda reakcí. Tento účinek převyšuje očekávaný účinek normální hmotnosti zatížení, v důsledku nelineární povahy většiny systémů zavěšení kol. Zatímco na nezatíženém vozidle se obvykle projeví nejhorší možné vibrace a rázy, MIL-STD-810D to přesně uvádí jako "na prázdném vozidle není nic naloženo".

**A.1.6 Umístění na vozidle**

Dynamická reakce, jíž je vystaven náklad, je ovlivňována jeho umístěním na vozidle. Existuje několik použitelných přibližných metod, avšak ne pro každé vozidlo a pro každé podmínky naložení. Pro vozidla s pevným podvozkem vznikají nejhorší vertikální pohyby obvykle nad zadními osami. Pro návěsová vozidla mohou mít obzvláštní význam vertikální pohyby jak nad zadní osou tažného vozidla, tak nad sedlem tahače.

**A.1.7 Geometrie kol**

Dynamická reakce vozidla je ovlivňována geometrií jeho kol a jejich zavěšení, tj.: buzení od povrchu vozovky není na každém kole nezávislé a může být vysoce navzájem závislé (s různou závislostí na každém kole, tato závislost je vyšší u tuhých náprav). Účinek této závislosti na reakci nákladu bude záviset na umístění a počtu kol. Je nepravděpodobné, že tento účinek bude významný pro náklady s malou ložnou plochou. Avšak pro náklady s velkou ložnou plochou, která je srovnatelná s velikostí vozidla, je třeba při určování náročnosti zkoušek zvážit stupeň vzájemného působení.

**A.2 PARAMETRY VYVOLANÉ MOTOREM A PŘEVODOVKOU**

Buzení vznikající činností motoru a převodovky jsou, jak se dá očekávat, převážně periodické vibrace. Objevují se na frekvencích souvisejících s otáčkami motoru a mohou být nejméně o řád větší než ty, které vznikají z převládajících režimů vozidla a zavěšení kol. Pokud není náklad umístěn blízko motorového, nebo převodového systému, vibrace vznikající z těchto zdrojů nejsou příliš významné.

**A.3 PARAMETRY VYVOLANÉ AERODYNAMICKÝM PŮSOBENÍM**

Pokud vzniknou vibrace v důsledku aerodynamického působení, je nepravděpodobné, že by vytvářely výraznou reakci nákladu, pokud tento náklad není výjimečně "mikrofonický". Buzení z těchto zdrojů jsou obvykle povahově náhodné a obvykle zaznamenané ve vyšších frekvencích. V některých případech může nastat rezonanční frekvence dutiny, která se projeví jako periodická reakce. Na rozdíl od buzení od motoru a převodovky se však tyto frekvence výrazně nemění s rychlostí vozidla, nebo otáčkami motoru.



## ODKAZY

### **B.1 VOZIDLO RENAULT TRM 10000**

B.1.1 **Název:** Charakteristika mechanického prostředí TRM 10000  
**Autor:** LEBEAU Roger  
**Zdroj:** DGA/DME/LRBA  
**Odkaz č.:** E.T. No:159/92/ECM  
**Datum:** červen 1992  
**Stránky:** 233

#### B.1.2 Úkol/Vozidlo

Silniční přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

#### B.1.3 Souhrn technických údajů

Popis prostředí v různých situacích (silnice, terén, belgická dlažba, díry ve vozovce, dálnice) a pro různé rychlosti.

### **B.2 VOZIDLO RENAULT TRAFFIC**

B.2.1 **Název:** Charakteristika mechanického prostředí vozidla RENAULT TRAFFIC  
**Autor:** LEBEAU Roger  
**Zdroj:** DGA/DME/LRBA  
**Odkaz č.:** E.T. No:159/92/ECM  
**Datum:** June 1992  
**Stránky:** 233

#### B.2.2 Úkol/vozidlo

Silniční přeprava materiálu

#### B.2.3 Souhrn technických údajů

Popis prostředí v různých situacích (silnice, belgický blok, díry ve vozovce, dálnice) a pro různé rychlosti.

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 242/1

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 242**  
**ČÁST 242/2**  
**ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	28
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ .....	28
2.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	28
2.2 POHYB PO KOLEJÍCH .....	29
2.3 POSUNOVÁNÍ A SEŘAZOVÁNÍ VLAKU .....	30
2.4 ODRÁŽENÍ A NARÁŽENÍ .....	30
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY .....	31
3.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	31
3.2 POHYB PO KOLEJÍCH .....	31
3.3 POSUNOVÁNÍ A SEŘAZOVÁNÍ .....	31
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY .....	31
4.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	31
4.2 LABORATORNÍ ZKOUŠKY .....	31
4.3 PROVOZNÍ ZKOUŠKY .....	32
5 ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ .....	32
 <b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A DYNAMICKÉ PODMÍNKY VYTVÁŘENÉ ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVOU .....	33
PŘÍLOHA B ODKAZY .....	35

## **ČÁST 242/2**

### **ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál během železniční přepravy mezi místem výroby a předsunutými skladovacími základnami. Jsou zde uvedeny zdroje buzení a charakteristiky mechanického prostředí a doplněny odkazy. Jsou poskytnuty informace o potenciálně škodlivých účincích a tam, kde je to vhodné, o výběru odpovídající zkušební metody podle AECTP-400.

I když se informace uvedené v této části vztahují hlavně na náklady převážené v rámci železniční sítě Velké Británie, jízdní charakteristiky kontinentálních evropských a severoamerických vlaků jsou značně podobné těm ve Velké Británii. Dynamické podmínky vytvářené vlakovými systémy Velké Británie jsou uvedeny v příloze A.

Pro účely této části může být materiál vystavený přepravnímu železničnímu prostředí přepravován nechráněný, nebo v nějakém obalu, kontejneru, nebo s určitou formou ochrany. Náklad se může skládat z jednoho, nebo několika kusů materiálu. Pokud není uvedeno jinak, popis prostředí se vztahuje na styčnou plochu mezi vagónem a nákladem. Veškeré osy odpovídají osám vagónu.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Všeobecná ustanovení**

- 2.1.1 S výjimkou nárazu v podélné ose při posunu, dynamické reakce vznikající v důsledku železniční přepravy jsou obecně méně závažné než ty, které vznikají při silniční přepravě.
- 2.1.2 Obvyklý čtyřkolový jednoduchý volně spojený vagón má ve Velké Británii dvě osy, jednoduché zavěšení a rozvor cca 3 m (ve srovnání s přibližně 6 m v kontinentální Evropě a Severní Americe). Tato třída vozidel má rychlost omezenou na přibližně 72 km/h (45 mph). Je nepravděpodobné, že tyto volně spojené vagóny by byly v současnosti používány pro přepravu materiálu, protože současná praxe je používat pouze plně brzděné, pevně spojené vlaky. V důsledku toho lze data uvedená pro volně spojené vagóny považovat za nejhorší možný případ pro železniční systémy.
- 2.1.3 V minulých letech byla zkonstruována lepší zavěšení pro delší rozvory čtyřkolových vozů, aby bylo umožněno vyšších rychlostí. Vozy s podvozkovým uspořádáním nabízí obecně vyšší jízdní výkon spolu se schopností převážet delší a těžší náklady. Aby byly splněny požadavky na nižší úroveň vibrace při vyšších rychlostech, jsou k dispozici možnosti použít vozy s vyšší kvalitou jízdy.
- 2.1.4 Dynamické prostředí, jemuž je vystaven náklad přepravovaný po kolejích, se skládá z trvalých buzení, které vznikají v důsledku pohybu po kolejích

a přechodných buzení, která vznikají přednostně během sestavování vlaku (posunování), nebo při přepojování vozů.

## 2.2 Pohyb po kolejích

2.2.1 Hlavní faktory ovlivňující závažnost a charakteristiky vibračního prostředí, jemuž je vystaven náklad převážený na železničním vozu, je stav kolejí, rychlost jízdy, podmínky naložení vozu a typ vozu (pojezdové ústrojí, zavěšení, rozvor, atd.). Reakce vozu na nedokonalosti kolejí má náhodnou povahu. Nejvyšší vibrační úrovně vytváří vozidla v opotřebeném stavu. Amplitudy reakce pro vertikální a boční osy kolejových vozidel v opotřebeném stavu jsou uvedeny v následujících tabulkách. Vibrace v podélné ose nejsou obvykle důležité, hodnoty jsou menší než  $\pm 0,15$  g při 10 Hz.

**TABULKA 1 – Vibrace v jednotlivých osách**

(a) Vibrace ve vertikální ose.

Železniční vůz		Vibrace		
Druh	Rychlost km/h (mph)	Střední hodnota (g)	Maximum (g)	Frekvence (Hz)
Kontejnerový	120 (75)	0,25	0,8	3 – 4
2nápravový obyčejný	72 (45)	0,45	1,6	2 – 6
2nápravový zdokonalený	120 (75)	0,15	0,75	2 – 4

(b) Vibrace v příčném směru

Železniční vůz		Vibrace		
Druh	Rychlost km/h (mph)	Střední hodnota (g)	Maximum (g)	Frekvence (Hz)
Kontejnerový	120 (75)	0,2	0,45	3 – 5
2nápravový obyčejný	72 (45)	0,25	1,0	1 – 2
2nápravový zdokonalený	120 (75)	0,1	0,5	0,5 – 2

2.2.2 Během přepravy se mohou objevit menší rázy jako následek tažných sil, brzdění, stoupání a klesání. V takových případech je velikost rázu obecně určena okolnostmi spřažení a brzdění vlaku. Spřažení vozů může být buď « napevno » (nárazníky jsou v dotyku a omezují podélný pohyb), nebo « na volno » (je ponechána mezera, která umožňuje podélný pohyb). Málo naložené vozy mohou být vystaveny přibližně dvakrát větším zrychlením než plně naložené vozy. Typická maximální podélná zrychlení jsou:

Napevno spřažený, brzděný vlak	0,2 g
Na volno spřažený, brzděný vlak	0,5 g
Na volno spřažený, nebrzděný, nebo částečně brzděný vlak	2,0 g

2.2.3 Ustálené zatížení vznikající v důsledku setrvačnosti například při zrychlování, nebo brzdění vlaku se považuje za nevýznamné při porovnání s těmi zatíženími, která vznikají v důsledku jiných jevů při přepravě a manipulaci.

## 2.3 Posunování a seřazování vlaku

2.3.1 Nejsilnější rázy vznikají při prudkých nárazech při posunování, nebo přepojovacích manévrech na seřaďovacích nádražích a jsou směřovány podél podélné osy. Velikost rázu je závislá na rychlosti nárazu, charakteristikách nárazníkového zařízení a celkové hmotnosti zúčastněných vagónů. Účinky nárazu jsou směřovány do oblasti náprav vagónu, přičemž nejsilnější se projeví podél podélné osy.

- a. Pružinové nárazníky: Dříve byly všechny vagóny vybaveny pružinovým nárazníkovým zařízením, které poskytovalo minimální ochranu pro vagóny a jejich obsah při nárazových rychlostech obvykle se vyskytujících na seřaďovacích nádražích. U plně naložených vagónů a nárazových rychlostí mezi 8 km/h (5 mph) a 15 km/h (9,3 mph) byly pružinové nárazníky obvykle téměř pevné a účinek byl potom stejný jako při kolizi dvou tuhých těles. Navíc se energie akumuluje v náraznicích a může vyvolat kývání vagónů, při kterém se uvolňuje energie. Podélná zpomalení při stlačení nárazníků nejsou mimořádně vysoká, přibližně 1,5 g pro značně naložené vagóny a 3 g pro lehce naložené vagóny, ale jakmile jsou nárazníky plně stlačeny, mohou u vagónů s rozvorem 6 m vzniknout rázy až 6 g a rázy až 15 g u volně spřažených vozů s rozvorem 3 m.
- b. Hydraulické nárazníky: Aby se minimalizovaly rázy, jsou nyní instalovány na všechny nové železniční vozy hydraulické nárazníky. Jsou navrženy tak, aby poskytovaly konstantní zpomalení po celou svoji dráhu při plném naložení vagónu. Typická jsou zpomalení přibližně 2 g pro rázovou rychlost 8 km/h (5 mph), ale mohou narůst až na 4 g při rychlosti 15 km/h (9,3 mph). Odpruženým vagónem vybaveným hydraulickými nárazníky je způsoben maximální ráz s hodnotou 4 g.

2.3.2 Poloha těžiště mnoha vagónů je nad výškou nárazníku a tudíž může při posunování na náklad působit i vertikální složka rázu.

## 2.4 Odrážení a narážení

Obvykle jsou účinky odrážení a narážení vznikající v železniční přepravě méně závažné než ty, které jsou způsobeny silniční přepravou. Mechanismus vybuzení vytvářející pohyby je však podobný tomu, který vzniká při silniční přepravě. Jelikož náročnosti zkoušek volného nákladu nemohou být snadno přizpůsobeny specifickým podmínkám, má jen malý význam věnovat se tomuto aspektu železniční přepravy odděleně od silniční přepravy, která je uvedena v části 242/1.

### **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

#### **3.1 Všeobecná ustanovení**

Mechanická prostředí, která vznikají během železniční přepravy, mohou vyvolávat řadu potenciálně škodlivých účinků. Nejvýznamnější jsou ty, které se vztahují k dynamickým posunům, nebo zrychlením vznikajícím při posunování, nebo rázech odvozených od kolejí. Dynamické posuny vyvolané uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které mohou vyústit do nárazů mezi materiálem, přetržení tahem a uvolnění konektorů. Závady související se zrychlením mohou vzniknout během působení dynamických setrvačných zatížení, která mohou působit pouze jednou za vzniku závady v důsledku překročení mezní hodnoty, nebo mohou být opakovaná a způsobit únavové poškození.

#### **3.2 Pohyb po kolejích**

Dynamické prostředí, jemuž je vystaven náklad během pohybu po kolejích, je relativně neškodné. V podstatě za všech podmínek budou účinky přepravy po kolejích zahrnuty do účinků jiných způsobů přepravy, zejména od doby, kdy železniční přeprava je jen zřídka jediným způsobem přepravy.

#### **3.3 Posunování a seřazování**

V dřívějších dobách bylo posunování, nebo rázy od kolejí považovány za nejvýznamnější mechanické železniční prostředí. V současné době znamená použití moderního vozového parku a provozních postupů výrazné snížení závažnosti takovýchto nárazů, nebo jejich úplnou eliminaci. Pokud však dojde k posunování, prostředí, jemuž je vystaven náklad, může vytvářet výjimečné zatížení nákladu, protože ačkoliv amplituda tohoto přechodového jevu není obzvláště vysoká (při porovnání s provozními aktivitami), dlouhá doba trvání, 0,25 – 1,00 sekundy může vyvolat výrazné posuny nákladu. Výsledkem toho může být trvalá deformace a poškození upevnění materiálu, nebo uvolnění protinárazových úchytnů.

### **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

#### **4.1 Všeobecná ustanovení**

4.1.1 Požadavky na zkoušení materiálu na vibrace a rázy při železniční dopravě jsou výjimečné, protože s výjimkou nárazu při posunování ve směru podélné osy jsou zahrnuty do jiných prostředí spojených se silniční dopravou.

4.1.2 Pokud je zvláštní železniční zkouška považována za nezbytnou, možnosti, které jsou k dispozici pro simulaci vlivů železniční přepravy, jsou laboratorní, nebo provozní zkoušky. Simulace účinků v laboratoři je užitečná, protože umožňuje, aby simulace byla prováděna v definovaných a kontrolovaných podmínkách. Použití provozních zkoušek však může být vhodnější v případě velkých a obtížně manipulovatelných nákladů. Použití provozních zkoušek je zásadní v případě, že náklad vstupuje do výrazných interakcí s dynamikou vagónu.

#### **4.2 Laboratorní zkoušky**

4.2.2 Simulace účinků prostředí v laboratoři je obvykle realizovatelná pro všechny s výjimkou největších nákladů.

- 4.2.3 V případě, že je požadováno zkoušení vibrací při železniční přepravě, má se použít postup uvedený v AECTP-400, Metoda 401 –Vibrace (ČOS 999902).
- 4.2.4 Náročnost rázových zkoušek odpovídající železniční přepravě je buď zahrnuta ve zkouškách pro silniční přepravu (viz AECTP-400, Metoda 403 – Ráz ČOS 999902), nebo ve zkouškách na nárazy a srážky (viz AECTP-400, Metoda 406 – Volně ložený náklad ČOS 999902). Je-li požadováno specifické zkoušení na rázy (nebo impulzy) vyplývající z železničního posunování, viz odstavec 4.3.2 níže.

### **4.3 Provozní zkoušky**

- 4.3.1 Zkoušky prováděné na železnici mají výhodu v tom, že představují skutečné podmínky. Problém použití skutečných železničních podmínek je v tom, že je obtížné řídit rychlost vozu. Navíc může být nesnadné určit, zda materiál byl vystaven nejhorším možným podmínkám.
- 4.3.2 Vzhledem k tomu, že použití moderního vozového parku a současných provozních postupů na železnici výrazně snížilo výskyt a závažnost rázů vznikajících při posunech, mohou být pro většinu materiálu použity odpovídající informace uvedené dále v odstavci 4.2.3. Pokud se však požaduje přeprava na železniční síti jiných zemí, je nutno zvážit provozní postupy na této železniční síti. Například, je-li požadována přeprava v rámci Spojených států, je závazné, aby byl použit zkušební postup z AECTP-400, Metoda 416 – Ráz na kolejích (ČOS 999902), který je považován za relativně náročnou zkoušku.

## **5 ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

Výběr náročnosti železničních zkoušek z naměřených údajů se řídí filozofií podobnou pro upevnění nákladů na kolových vozidlech (viz část 245/2). Obecně lze říci, že prvotní frekvence odezvy budou nižší než frekvence vznikající v důsledku použití kolových vozidel. Spektrální špička způsobená vagónem projíždějícím přes pražce (ve vzdálenosti 0,7 m) se zpravidla vyskytuje v oblasti (20–40) Hz. V situacích, kdy se může vyskytnout volný posun, budou rázové přechodové jevy vznikající z posunu téměř určitě zahrnovat ty rázové jevy, které se vyskytují během normální železniční přepravy a budou vyžadovat zpracování ve formátu rázových spekter. Tam, kde se volný posun nepředpokládá, má být použita metodologie vhodná pro určení přechodných jevů vznikajících v důsledku spojitě vibrace. Metodologie je v podstatě stejná s metodologií použitou pro kolová vozidla.



## **DYNAMICKÉ PODMÍNKY VYTVÁŘENÉ ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVOU**

### **A.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Dynamické podmínky, jimž je vystaven náklad během železniční přepravy, jsou závislé na použitém druhu přepravy. Typicky se mohou náklady přepravovat na následujících druzích přeprav.

### **A.2 NEBRZDĚNÉ NÁKLADNÍ ŽELEZNIČNÍ VOZY**

Nákladní železniční vozy jsou tradičním způsobem přepravy nákladů. V nedávné době byly nákladní železniční vozy ve značné míře vyřazovány a v současné době je nepravděpodobné, že by vojenský materiál byl přepravován tímto způsobem. Tento druh přepravy se týká zboží, které bylo přivezeno do nákladových skladů po silnici a naloženo na železniční vozy. Tyto železniční vozy jsou potom přemístěny na seřadovací nádraží, kde jsou roztrženy do vlaků vhodných délek pro přepravu do jejich místa určení, nebo na jiné seřadovací nádraží. Použité železniční vozy mohou být nejrůznějších typů včetně železničních vozů s krátkým rozvorem s jednoduchým zavěšením, tj. takové, které obecně vytváří nejhorší vibrační prostředí. V takových případech jsou rychlosti obvykle nízké, tj. menší než 72 km/h (45 mph). Na seřadovacích nádražích jsou železniční vozy roztržovány na různé vedlejší koleje bez použití připojené lokomotivy. Na některých nádražích Spojených států a Velké Británie mohou být použity retardéry pro řízení nárazů železničních vozů. Nárazy se mohou objevit mezi vozy při rychlostech do 24 km/h (15 mph), se střední hodnotou 9,5 km/h (5,9 mph). Obrázek A.1 ukazuje rozdělení rychlostí nárazu na typickém seřadovacím nádraží. Vlivy těchto nárazů na náklad vozidla mohou být částečně sníženy pomocí soustavy nárazníků.

### **A.3 ŽELEZNIČNÍ VOZY SE VZDUCHOVÝMI BRZDAMI**

Modernější nákladní železniční vozy jsou železniční vozy se vzduchovými brzdami. Železniční vozy jsou nakládány jako nákladní železniční vozy a jsou přemístovány do bodů, kde mohou být seřazeny do pravidelného vlaku. Během seřazování jsou připojeny k lokomotivě a nejsou tedy vystaveny nárazům při rychlostech vyšších než 2 – 3 km/h (1,2 – 1,9 mph).

### **A.4 UCELENÉ VLAKY**

Ucelené vlaky jedou z jednoho místa naložení do jednoho místa určení. Obvykle obsahují železniční vozy se vzduchovými brzdami a běžně nejsou na průjezdných místech seřazovány.

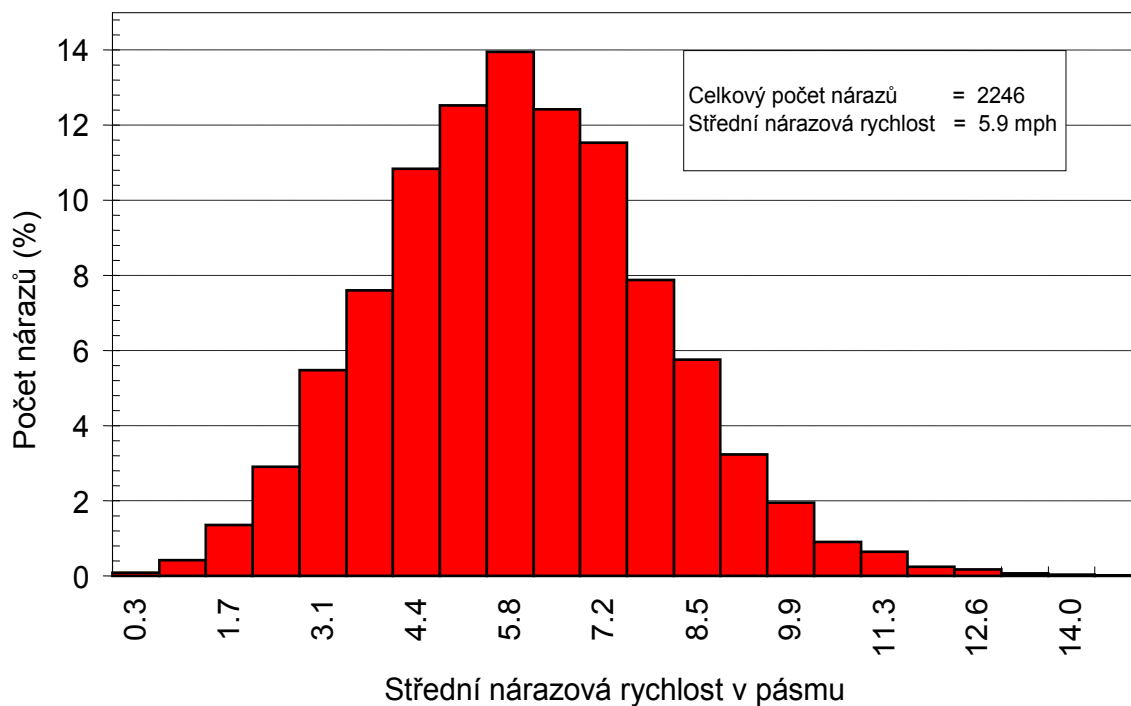
### **A.5 KONTEJNEROVÁ PŘEPRAVA**

V tomto případě jsou kontejnery z areálů zákazníků shromažďovány pomocí silniční přepravy, převáženy do kontejnerového terminálu a nakládány na speciálně konstruované železniční vozy se vzduchovými brzdami. Tyto železniční vozy mohou být na průjezdných místech seřazovány, ale nejsou vystaveny vysokým nárazovým rychlostem.

**Příloha A**  
(informativní)

**A.6 PŘEPRAVA KUSOVÝCH ZÁSILEK**

Takováto přeprava pro malé náklady, nebo jednotlivé položky používá jak podvozkové železniční vozy podobné osobním vagónům, tak čtyřkolové železniční vozy s dlouhým rozvorem. Může se vyskytnout přeřaďování, ale nikoliv volný posun.



**OBRÁZEK A.1 – Rozdělení nárazových rychlostí na seřaďovacím nádraží**

## **ODKAZY**

### **B.1 POHYB PO KOLEJÍCH**

Název: Měření a analýza podélných rázů na železnici  
Autor: T E Feltault  
Zdroj: Association of American Railroads  
Odkaz č.: Report DP 3-95  
Datum: červenec 1995

### **B.2 POSUNOVÁNÍ A SEŘAZOVÁNÍ**

Název: Nárazové a vibrační prostředí nákladní železniční dopravy  
Autor: K Poole  
Zdroj: British Rail Technical Report  
Odkaz č.: TR FT4  
Datum: srpen 1980

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 242/2

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 242**  
**ČÁST 242/3**  
**VZDUŠNÁ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	38
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	38
2.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	38
2.2 PROUDOVÉ LETOUNY.....	38
2.3 VRTULOVÉ LETOUNY .....	39
2.4 VRTULNÍKY.....	40
2.5 PODVĚŠENÉ NÁKLADY.....	41
2.6 SHAZOVANÉ NÁKLADY.....	41
2.7 ZRYCHLENÍ USTÁLENÉHO STAVU .....	41
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	42
3.1 MECHANISMY SELHÁNÍ .....	42
3.2 PROUDOVÉ LETOUNY .....	42
3.3 VRTULOVÉ LETOUNY .....	42
3.4 VRTULNÍKY.....	42
3.5 PODVĚŠENÉ NÁKLADY.....	42
3.6 SHAZOVANÉ NÁKLADY.....	42
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	43
4.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	43
4.2 PROUDOVÉ LETOUNY .....	43
4.3 VRTULOVÁ LETOUNY .....	43
4.4 VRTULNÍKY.....	43
4.5 PODVĚŠENÉ NÁKLADY.....	44
4.6 SHAZOVANÉ NÁKLADY.....	44
<b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A ODVOZENÍ NÁROČNOSTÍ Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ .....	52
PŘÍLOHA B ODKAZY .....	66

## ČÁST 242/3

# VZDUŠNÁ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU

## 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část se zabývá mechanickými prostředími, jimž může být vystaven materiál během vzdušné přepravy mezi místem výroby a předsunutými skladovacími základnami. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a doplněny odkazy. Je také poskytnuta informace o možných škodlivých účincích, možnostech nápravy a v případě, že je to vhodné, o výběru odpovídající zkušební metody podle AECTP-400. Tato část také poskytuje informace o odvození náročnosti zkoušek z naměřených údajů.

Tato část bere v úvahu vzdušnou přepravu proudovými letouny, vrtulovými letouny a vrtulníky. Obvykle se uvažuje, že se náklady přepravují uvnitř letounů. Kromě toho se zde počítá i s přepravou nákladů v podvěsu pod vrtulníky a s přepravou nákladů shazovaných z letounů. Pro přepravu se uvažují ty prostředky, které se běžně používají pro dopravní účely, tj. dopravní letouny. V podstatě jsou zahrnuty vlastnosti většiny druhů vrtulových letounů a vrtulníků.

Pro účely této části může být materiál vystavený přepravnímu prostředí nechráněný nebo převážený s určitou formou ochrany, balení nebo v kontejneru. Náklad se může skládat z jedné nebo více materiálových položek. Pokud není určeno jinak, popisy prostředí a náročnosti zkoušek se vztahují k propojení mezi přepravním prostředkem a nákladem. Všechny osy odpovídají osám letouny.

## 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

### 2.1 Všeobecná ustanovení

Prostředí, jemuž je vystaven materiál při přepravě jako náklad v letounu, závisí na druhu použitého dopravního prostředku, tj. na tom, zda se jedná o proudový letoun, vrtulový letoun nebo vrtulník.

### 2.2 Proudové letouny

2.2.1 Dynamická buzení, jemuž je vystaveno zařízení převážené jako náklad uvnitř proudových letounů, vznikají převážně z aerodynamických zdrojů, z pohonné jednotky a z účinků turbulencí.

2.2.2 Vibrační prostředí, kterým je vystaven náklad přepravovaný uvnitř proudových letounů, jsou obecně charakterizována jako Gaussovy širokopásmové náhodné pohyby s eventuálně znatelnými superponovanými periodickými složkami. Širokopásmové náhodné vibrace vznikají jak v důsledku hluku proudového motoru, tak aerodynamických zdrojů. Periodické vibrace vznikají působením rotujících součástí uvnitř turbín a jsou mechanicky přenášeny celou konstrukcí letounu.

2.2.3 Rozsah, v němž se může generovat buzení z výše uvedených zdrojů, závisí na letových podmínkách. Pro ilustraci jsou zvažovány čtyři letové situace, a to start, stoupání, let a přistání. Typické úrovně vibrací pro tyto podmínky při použití letounu VC 10 s motorem umístěným vzadu jsou ukázány

ve formátu výkonové spektrální hustoty na obrázku 1. Odpovídající střední kvadratické hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 2.

- a. Start vytváří podstatné úrovně vibrace, ale s pouze krátkým trváním. Pojíždění vytváří vibrace s nízkou úrovní, které jsou normálně zahrnuty ve vibracích vyvolaných startem.
- b. Významné vibrace mohou být patrné během stoupání, kdy jsou velké nároky kladeny na pohonnou jednotku. Tyto úrovně však obvykle nepřekročí úrovně vznikající při startu.
- c. Úrovně vibrací spojené s letem mají převážně nízkou úroveň, protože dynamické tlaky při letu jsou relativně nízké. Manévry letounu, jako jsou obraty, nevytváří podstatné vibrační reakce nákladu, avšak mohou vytvářet největší zatížení na upevňovací systémy. Sestup obvykle vytváří zanedbatelné úrovně, avšak jsou-li použity spoilery nebo brzdicí klapky, mohou vznikat vibrace s nízkou frekvencí.
- d. Přistání může vytvářet dvě odlišná buzení: dosednutí vytvářející přechodné vybuzení a zpětný tah vytvářející vibrační buzení. Úrovně přechodných amplitud mohou dosahovat 1 g pk a mohou mít charakter rozpadající se sinusoidy. V některých případech však (včetně uvedeného příkladu) přechodový jev nelze odlišit od vibrací. Vibrace během zpětného tahu motoru mohou překračovat úrovně související se startem, avšak po kratší dobu.

## 2.3 Vrtulové letouny

2.3.1 Vibrace naměřené v libovolném bodu vrtulového letounu budou výslednicí mnoha zdrojů a mechanismů. Téměř všechny tyto mechanismy vznikají jako důsledek činnosti vrtulí, které mohou vytvářet vibrace přímo nebo produkovat hluk, který generuje vibrace při dopadu na konstrukci letounu. V důsledku toho maximální úroveň vibrací uvnitř ložného prostoru působí na materiál umístěný v rovině vrtulí. Relativní úrovně vibrací podél trupu letounu jsou uvedeny na obrázku číslo 3.

2.3.2 Protože dominantním zdrojem vibrací jsou vrtule letounu, spektrální charakteristiky prostředí jsou soustředěny do špičkových hodnot odpovídajících rotační frekvenci vrtule a jejich následným harmonickým složkám. Obecně lze říci, že vibrace buzené rotační frekvencí vrtule jsou mnohem významnější než vibrace buzené rotační frekvencí hřídele. Osové frekvence hřídele jsou přesto často důležité, zejména pokud se týče nižších frekvencí. Periodické pohyby jsou superponovány na pozadí širokopásmových náhodných vibrací.

2.3.3 Rozsah, v němž může být vytvářeno buzení, závisí na letových podmínkách. Pro ilustraci jsou zvažovány čtyři letové situace, jmenovitě start, stoupání, let a přistání.

Typické úrovně vibrací pro tyto čtyři situace při použití čtyřmotorového vrtulového letounu Herkules C 130 (čtyřlísté vrtule) jsou zobrazeny na obrázku 4 ve formátu výkonové spektrální hustoty. Kvadratické střední hodnoty pro tyto a další situace jsou zobrazeny na obrázku 5.

- a. Start: Nejvyšší úrovně vibrací se projeví během startu, jak je ukázáno na obrázcích 4 a 5.
- b. Stoupání: Během stoupání vznikají podstatné úrovně vibrací, jsou však obecně překryty vibracemi vznikajícími při startu.
- c. Let: Vibrace během letu mají relativně nízkou úroveň, i když motory letounu pracují bez vzájemné synchronizace. Manévry letounu, jako jsou obraty, nezvyšují výrazně úrovně vibrací. Sestup obecně vytváří zanedbatelné úrovně.
- d. Přistání: Vibrace během zpětného chodu motorů mohou být stejné jako úrovně spojené se startem, ale mají kratší trvání. Úrovně odezvy přechodových jevů mohou dosáhnout 2 g pk a jsou charakterizovány rozpadající se sinusoidou. Rázy typické pro přistávání jsou zobrazeny na obrázku 6.

2.3.4 Mnohé popisy přepravního prostředí ve vrtulovém letounu ukazují, že zrychlení vznikající v náhodné frekvenci otáčení listů vrtule jsou nejdůležitější. To není vždycky samozřejmé. V některých případech mohou být nejzávažnější druhé nebo třetí harmonické frekvence otáčení listů vrtule.

2.3.5 Vibrační charakteristiky pro vrtulové letouny jsou podobné těm z vrtulníkové přepravy, ale obvykle mají nižší úroveň. Je však třeba poznamenat, že náhodná frekvence otáčení listů vrtule vrtulových letounů je pravděpodobně výrazně vyšší než u vrtulníků. Vibrační prostředí u vrtulových letounů jako takových není možno zahrnout do prostředí vytvářeného u materiálu převáženého ve vrtulnicích.

## 2.4 Vrtulníky

2.4.1 Hlavním zdrojem vibrací je pohyb listů hlavního rotoru vrtulníku a činnost reduktorů vrtulníku. V důsledku toho je typické vibrační spektrum vrtulníku charakterizováno špičkami náhodných frekvencí listů hlavního rotoru a jejich následných harmonických. U jednorotorových vrtulníků lze zaznamenat také složky na frekvencích buzených činností vyrovnávacího rotoru. U dvurotorových vrtulníků se důležité reakce vyskytují jako zdvojené náhodné frekvence v důsledku interakce mezi dvěma sadami listů. Ve všech případech jsou špičky ve spektru odezvy superponovány proti pozadí širokopásmových náhodných vibrací.

2.4.2 Rozsah, v němž mohou vznikat buzení z výše uvedených zdrojů, závisí na letových podmínkách. Typické úrovně vibrací pro čtyři letové situace při použití dvurotorového vrtulníku Chinook, jako příkladu jsou ukázány na obrázku 7 ve formátu výkonové spektrální hustoty. Střední kvadratické hodnoty pro tyto a jiné podmínky jsou ukázány na obrázku 8.

- a. Start: Úrovně vibrace během startu a vznášení (obrázek 7b) jsou nízké a téměř vždycky jsou součástí úrovní, jimž je náklad vystaven během letu. Vibrace během pojíždění, pokud k němu dochází, jsou také nízké.
- b. Přímý a horizontální let: Při těchto podmínkách je úroveň vibrací závislá hlavně na dopředné rychlosti, ale není na ní závislá lineárně. Typická spektrální hustota zrychlení pro přímý a vodorovný let je



ukázána na obrázku 7 d, kde jsou zřetelně zřejmé příspěvky od hřídele a prvních čtyř frekvencí otáčení listů rotoru.

- c. Přechodné podmínky: Podmínky s krátkým trváním, jako je přechod do visu, vytváří pravděpodobně vibrace s vysokou úrovní, ale pouze po dobu několika sekund. Po dobu několika minut může vytvářet vysoké vibrace také stoupání s maximálním výkonem.

2.4.3 Změny úrovní vibrací v trupu vrtulníku Chinook jsou uvedeny na obrázku 9.

## **2.5 Podvěšené náklady**

2.5.1 Materiál může být podvěšen pod vrtulníky buď přímo v sítích, nebo v kontejnerech. V obou případech je dynamické prostředí, jemuž je náklad vystaven, do značné míry nezávislé na typu vrtulníku. Vibrační odezvy mají širokopásmový charakter a velmi nízkou amplitudu. Buzení vzniká hlavně v důsledku aerodynamických sil, jako jsou například atmosférické turbulence.

2.5.2 Zvedání materiálu může vyvolat nárůst přechodových jevů povahy rozpadající se sinusoidy. Amplitudy odezvy jsou většinou obaleny amplitudami z pokládání nákladu na zem, které mohou typicky dosahovat špičkových hodnot 4 g. Naměřené údaje ukazují, že jsou možné nárazové rychlosti až 2,5 m/s. Typické rázové reakce během pokládání nákladu jsou znázorněny na obrázku 10.

2.5.3 Vysoké rychlosti pokládání nákladu, které se mohou vyskytovat na námořních lodích během plavby, budou mít za následek silné amplitudy odezvy přechodových jevů. Pro tyto podmínky nejsou k dispozici naměřené hodnoty.

2.5.4 Pro některá závěsná zařízení, obvykle pro vícelanové závěsné systémy, se může vyskytnout dynamická interakce pevných těles mezi vrtulníkem a nákladem, která může mít za následek velmi vysoké zatížení v upevňovacích lanech (a v jakémkoliv kontejneru, pokud je přímo připojen).

## **2.6 Shazované náklady**

2.6.1 Shazované náklady budou vystaveny dodatečným přechodovým jevům vznikajícím z rozvinutí padáku a během dopadu. Shazované náklady jsou obvykle uspořádány tak, aby se účinky dopadu zmírnily. Takové tlumení má často formu rázových tlumičů určených k úpravě dopadových přechodových jevů na jeden s delším trváním a nižší amplitudou.

2.6.2 Náklady určené pro shazování z nízkých výšek mohou být vystaveny závažným dopadovým podmínkám. Pro tyto podmínky nejsou k dispozici naměřené hodnoty.

2.6.3 Shazované náklady mají být schopny odolávat dopadovým rychlostem až 9 m/s (30 ft/s). U nákladů určených pro shazování z nízkých výšek se může požadovat odolnost vůči vyšším dopadovým rychlostem.

## **2.7 Zrychlení ustáleného stavu**

Během letu vzniká kvazistatické zrychlení. Toto zrychlení je však obvykle menší než zrychlení, jemuž je materiál vystaven během jiných fází nasazení.

### **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

#### **3.1 Mechanismy selhání**

Mechanická prostředí vznikající během vzdušné přepravy materiálu mohou vyvolávat řadu mechanismů potenciálního selhání materiálu. Nejzávažnější z těchto mechanismů souvisí buď s posuny vznikajícími v materiálu, nebo jsou výsledkem působení zrychlení. Posuny uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které naopak mohou mít za následek kolize mezi zařízeními, přetržení tahem a uvolnění konektorů. Závady související se zrychlením mohou vzniknout během působení setrvačného zatížení. Toto může působit pouze jednou za vzniku závady v důsledku překročení prahové hodnoty nebo opakovaně za vzniku únavové závady.

#### **3.2 Proudové letouny**

Jelikož dynamické prostředí, jemuž jsou vystaveny náklady převážené uvnitř proudových letounů, je málo závažné, žádné potenciální škodlivé účinky nevyžadují speciální posuzování.

#### **3.3 Vrtulové letouny**

Významná mohou být vibrační působení, jimž je vystaven náklad na frekvenci otáčení listů vrtule a následných harmonických frekvencích. Frekvence otáčení vrtulových listů může být často velmi blízko vnitřní instalační frekvenci zařízení uvnitř obalu.

#### **3.4 Vrtulníky**

Jelikož frekvence otáčení listu rotoru může být nižší než vnitřní frekvence zařízení v obalu, může úložné uspořádání nabízet jen malou ochranu vůči vibračnímu prostředí.

#### **3.5 Podvěšené náklady**

Potenciální poruchy spojené s přepravou podvěšených nákladů vznikají hlavně z nárazu při dopadu na zem. S výjimkou relativně závažných podmínek VERTREP (doplňování na moři), pro něž nejsou k dispozici žádné informace, zatížení jsou podobná, jako v případě obecných manipulačních podmínek. Pouze pro rozměrné položky materiálu jsou došedací rázové zátěže takové, že překračují hodnoty pro manipulaci. Nejpravděpodobnějším mechanismem poškození je případ, kdy materiál se ve svém obalu nadměrně posune a dojde k překročení tlumících schopností výplňového materiálu.

#### **3.6 Shazované náklady**

Náklady vystavené působení shazování ze vzdušných dopravních prostředků jsou obvykle instalovány tak, aby se snížily špičkové amplitudy zrychlení. Důsledkem je prodloužení doby působení, takže pro většinu zařízení se v podstatě jedná o kvazistatické zrychlení. Podstatný potenciální škodlivý účinek spočívá v tom, že náraz může způsobit velké relativní posuny. To může být problémem pro materiál s velkou hmotností zadržovaný pomocí pružných upevnění, např. pro motory vozidel.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Všeobecná ustanovení**

- 4.1.1 Možnosti: K dispozici jsou obecně dva přístupy simulace prostředí vzdušné přepravy: v laboratoři nebo pomocí provozních zkoušek. Simulace prostředí v laboratoři je užitečná, protože umožňuje, aby simulace byla prováděna v definovaných a kontrolovaných podmínkách. Pro rozměrné a těžko manipulovatelné náklady mohou však být výhodnější provozní zkoušky. Použití provozních zkoušek je zásadní v případě, že náklad vstupuje do výrazné reakce s dynamikou podlahy letounů.
- 4.1.2 Laboratorní zkoušení: Simulace prostředí v laboratoři je obvykle vyhovující pro všechny, kromě největších nákladů. Náročnosti zkoušek uvedené v této části jsou pro použití v laboratorních zkouškách.
- 4.1.3 Provozní zkoušky: Zkoušky prováděné pomocí skutečného letounu mají tu výhodu, že jsou reprezentativní pro dané reálné podmínky. Problémem použití skutečných podmínek přepravy v letadlech je to, že letové podmínky je obtížné řídit.

### **4.2 Proudové letouny**

- 4.2.1 Vibrace: Doporučuje se zkouška náhodnými vibracemi v širokém pásmu. Odpovídající postup je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).
- 4.2.2 Ráz: Protože úrovně rázů během přepravy v proudových letounech jsou ve srovnání s úrovní vibrací malé, obvykle se nepožaduje zvláštní rázové zkoušení. Za určitých vzácných okolností, kdy se rázová zkouška požaduje, lze použít zkoušku uvedenou v této části pro vrtulové letouny.

### **4.3 Vrtulové letouny**

- 4.3.1 Vibrace: Zkouška pro tento druh přepravy, které se dává přednost, se skládá ze tří úzkých pásem náhodné vibrace superponovaných na pozadí tvarovaných širokopásmových náhodných vibrací. Alternativou je použití tří sinusoid superponovaných na pozadí náhodné vibrace. Odpovídající postup je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).
- 4.3.2 Ráz: Zkušební postup pro rázová zatížení je uveden v AECTP-400, Metoda 403 – Ráz s klasickým průběhem (ČOS 999902).

### **4.4 Vrtulníky**

- 4.4.1 Vibrace: Simulace vibračního prostředí, jemuž je vystaven náklad převážený ve vrtulnicích, se dosáhne nejlépe použitím buď úzkých pásem náhodných vibrací superponovaných na pozadí tvarovaných širokopásmových náhodných vibrací, nebo podobně superponovanými sinusoidami. Odpovídající postup je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).
- 4.4.2 Ráz: Vzhledem k tomu, že úrovně rázu během přepravy ve vrtulnicích jsou ve srovnání s úrovněmi vibrací malé, nepovažuje se obvykle za nezbytné zvláštní rázové zkoušení. Za určitých zvláštních okolností, jestliže se rázová zkouška požaduje, doporučuje se zkouška uvedená v této části pro vrtulové letouny.

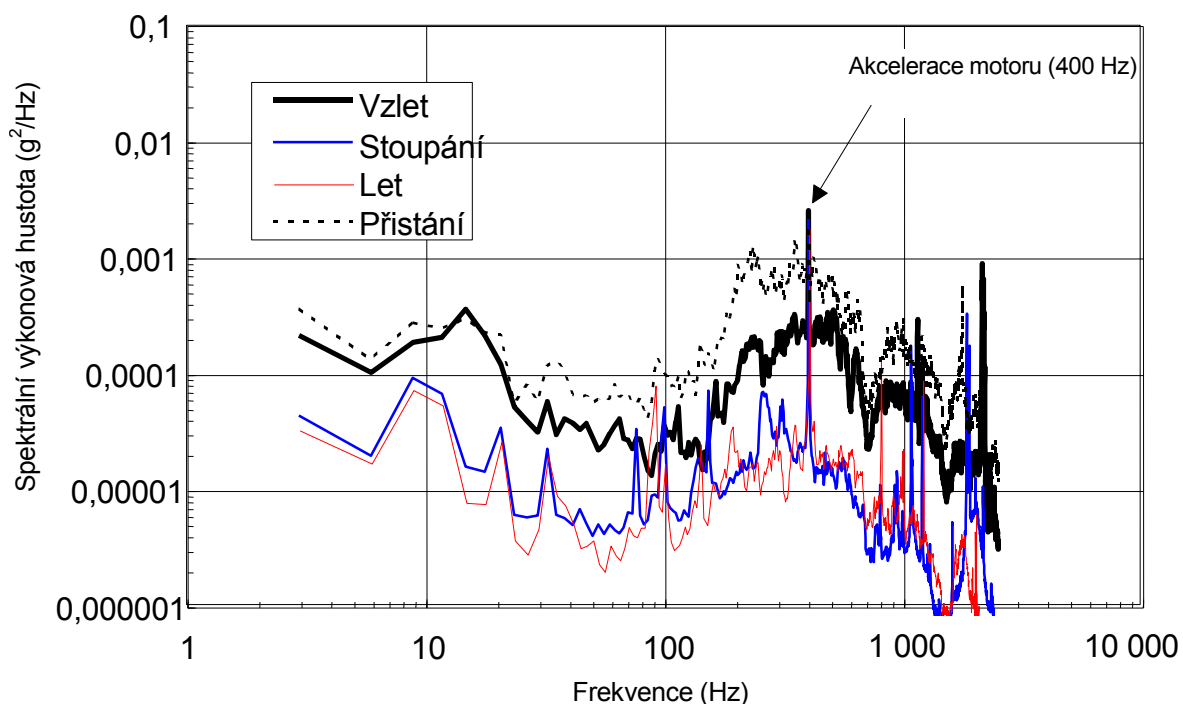
#### 4.5 Podvěšené náklady

4.5.1 Vibrace: Odpovídající postup je uveden v AECTP-400, Metoda 401-Vibrace (ČOS 999902).

4.5.2 Ráz: Odpovídající postup je uveden v AECTP-400, Metoda 403-Manipulace (ČOS 999902).

#### 4.6 Shazované náklady

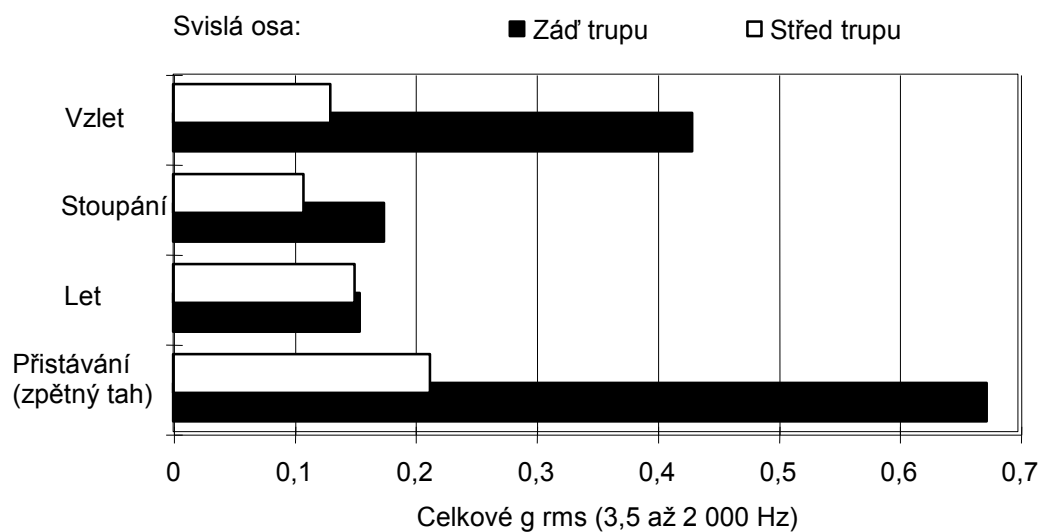
Zkoušení přechodných zatížení vznikajících při shozu materiálu z letounů se provádí skutečným zkoušením shozu z letounů nebo využitím zkoušek shozu z věže založených na měřených údajích.



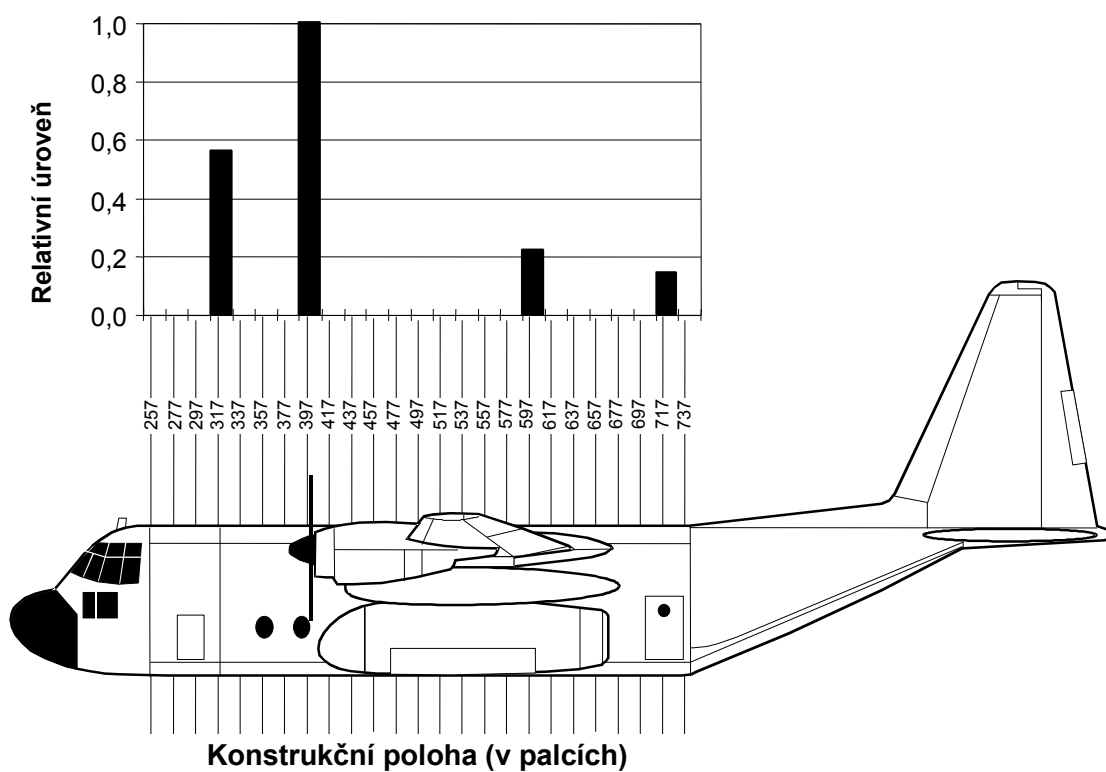
#### POZNÁMKA 1

Všechny údaje jsou ze zádi letounu a ve svislé ose.

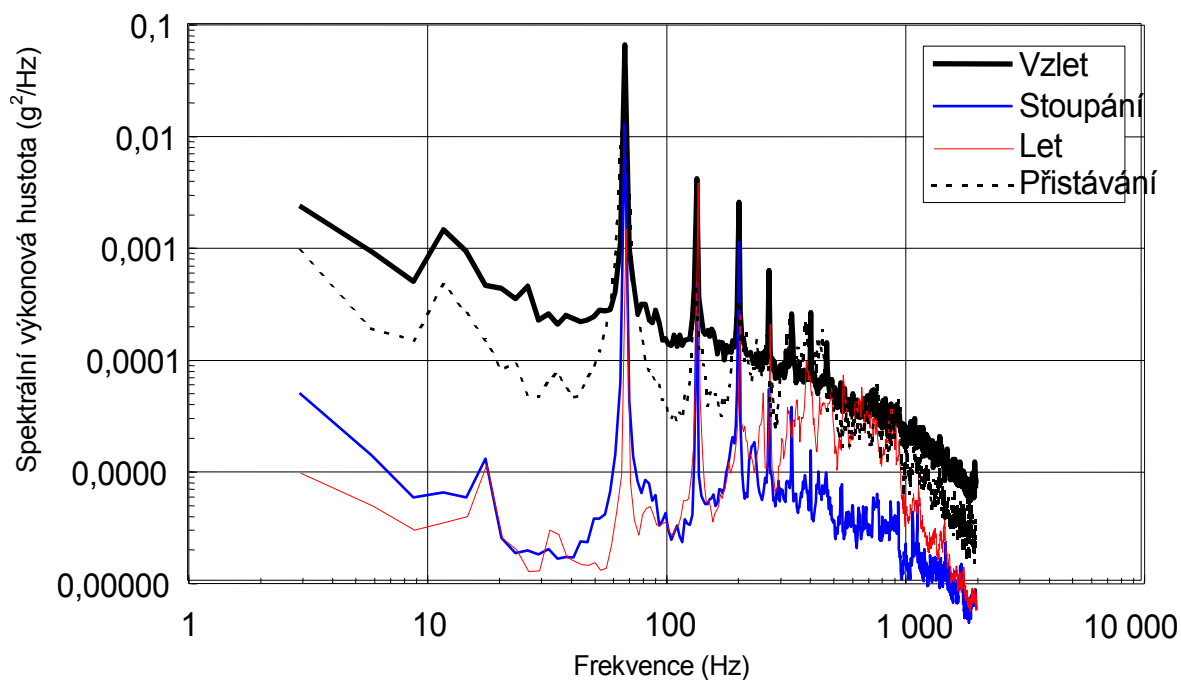
**OBRÁZEK 1 – Vibrační spektrum proudového dopravního letounu VC10**



**OBRÁZEK 2 – Změny úrovně vibrací při různých manévrech na dvou místech letounu**



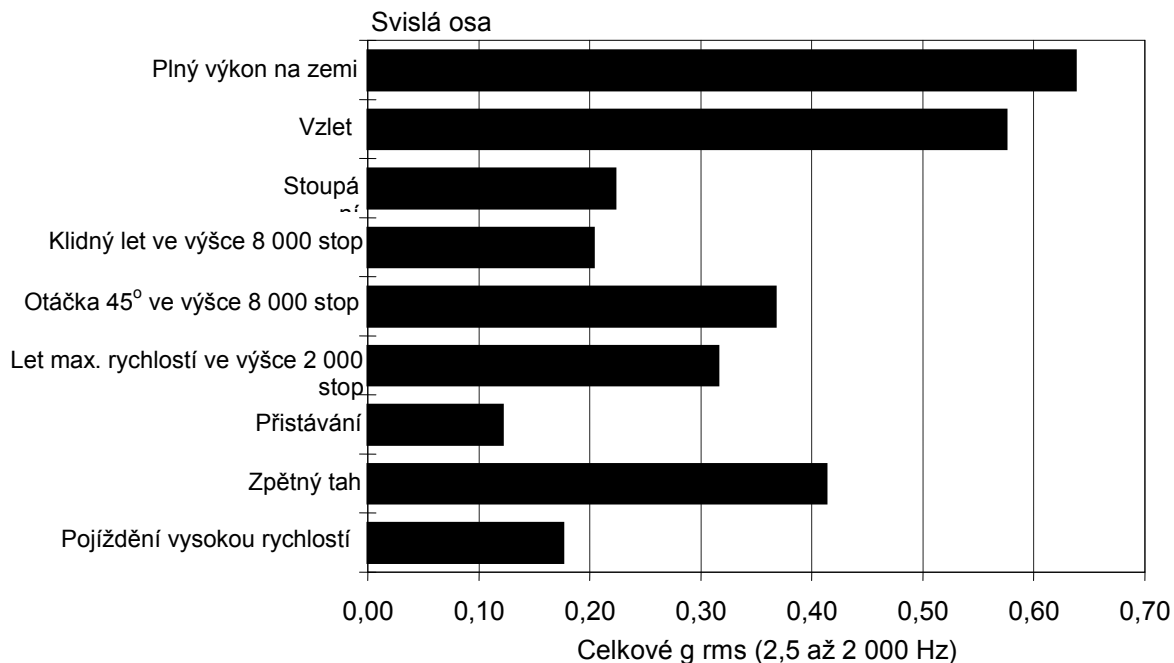
**OBRÁZEK 3 – Změny úrovně vibrací podél trupu letounu C130**



**POZNÁMKA 2**

Všechna data jsou z úrovně vrtulí a ve svislé ose.

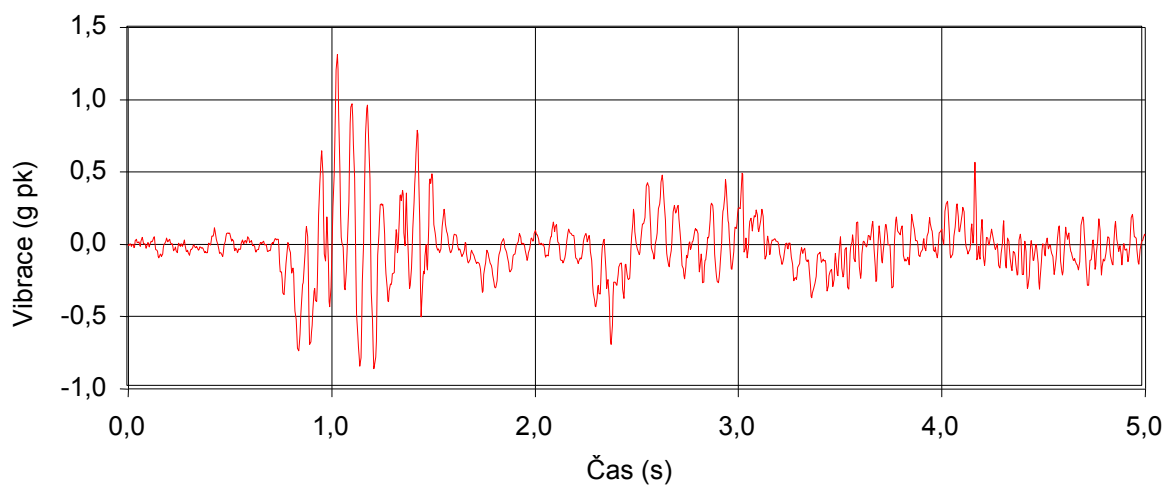
**OBRÁZEK 4 – Vibrační spektrum turbovrtulového dopravního letounu C130 Hercules**



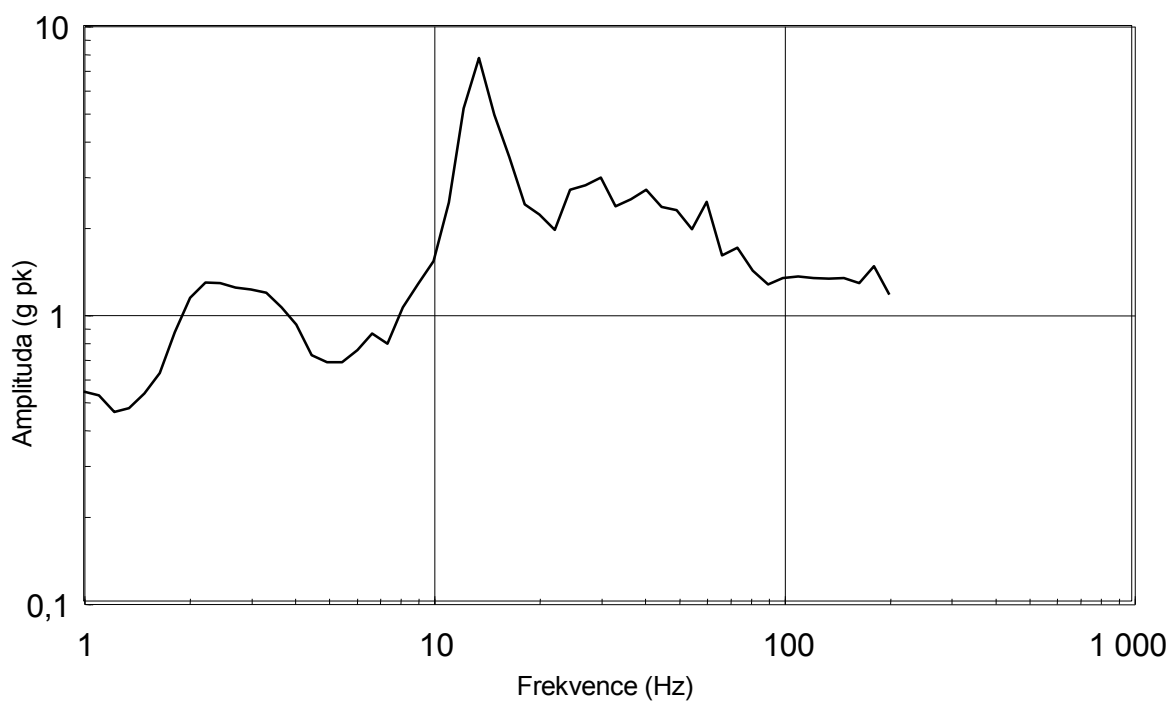
**POZNÁMKA 3**

Všechna data jsou z úrovně vrtulí.

**OBRÁZEK 5 – Změny úrovně vibrací při různých manévrech turbovrtulového letounu Hercules C130**

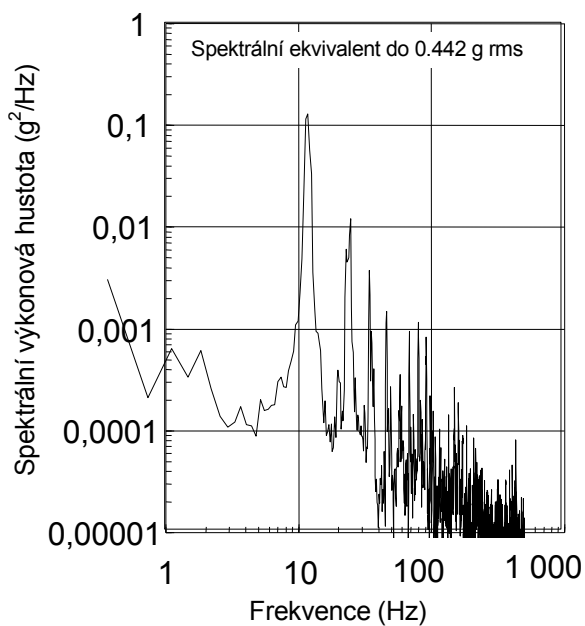


a. Průběh rázů

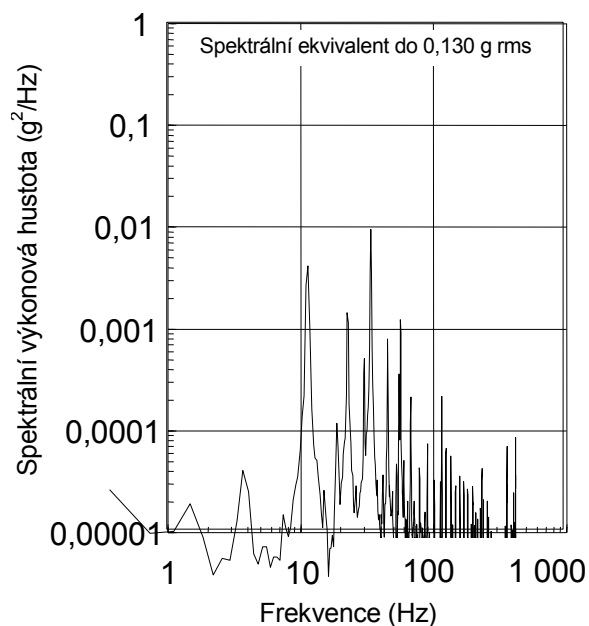


b. Spektrum rázové odezvy

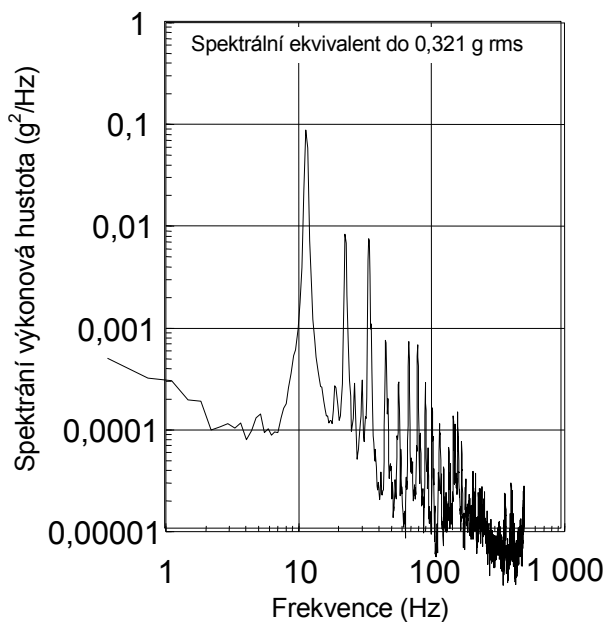
**OBRÁZEK 6 – Rázy při přistávání vrtulového dopravního letounu v taktických podmínkách**



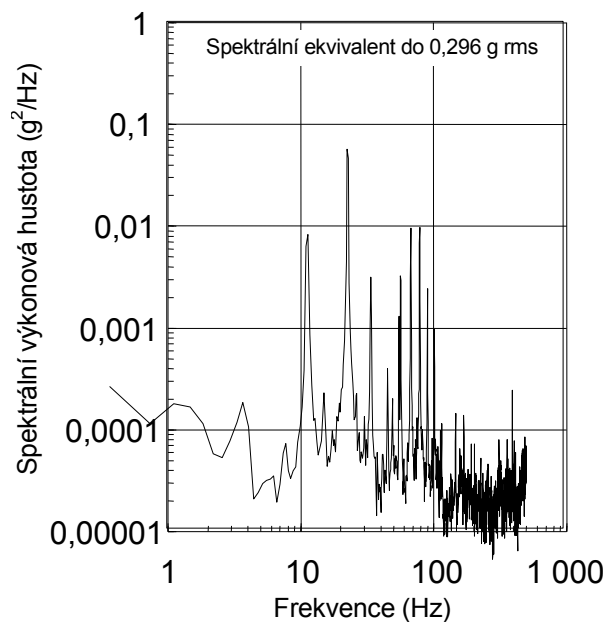
a. Přechod do visu



b. Vis



c. Vyrovnávání autorotace



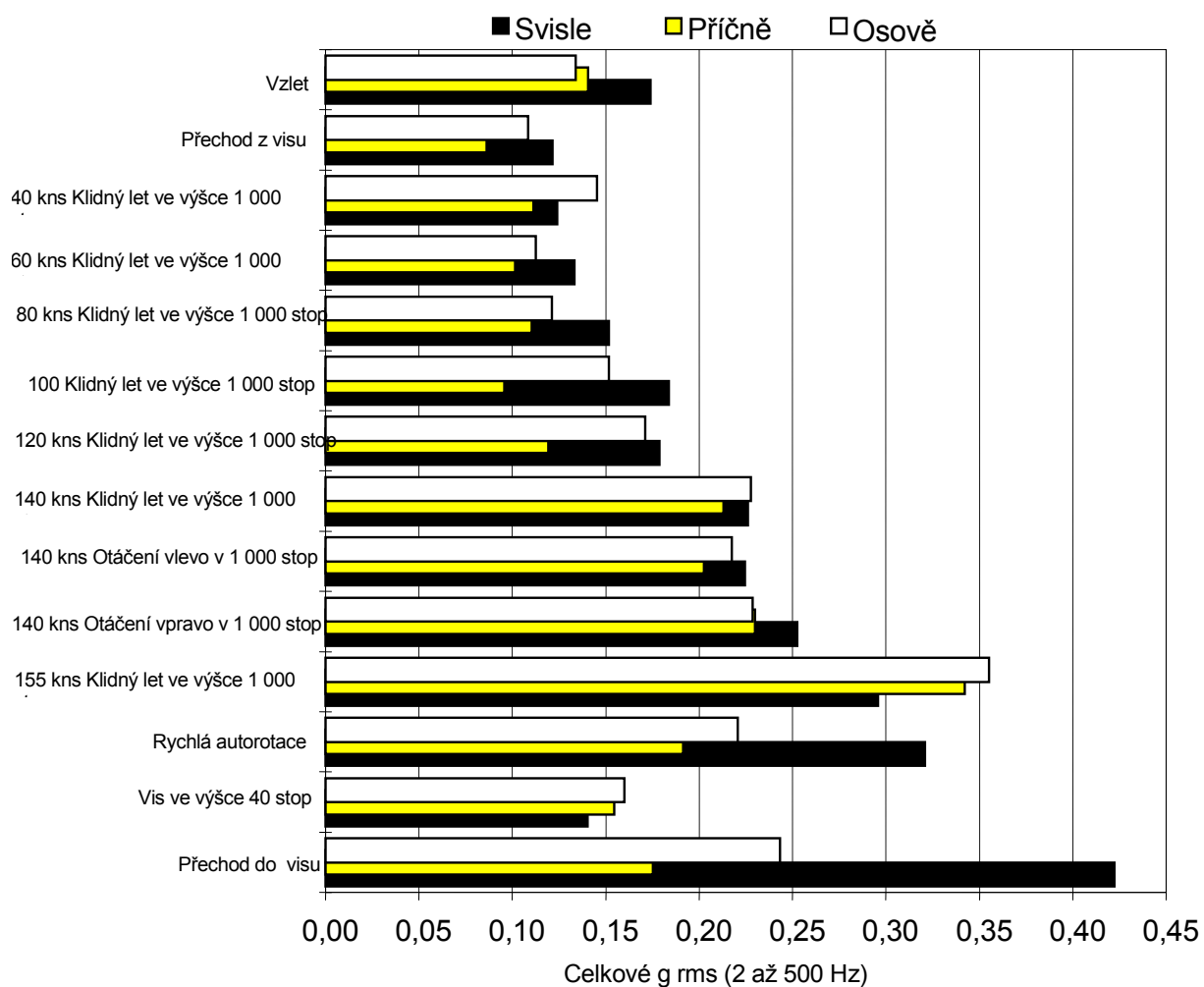
d. 155 kns Přímý a vodorovný let

**POZNÁMKA 4**

Všechna data jsou měřena ve svislé ose v poloze č. E160 (viz obr. č. 9).

**OBRÁZEK 7 – Vibrační odezvy dopravního vrtulníku Chinook HC Mk2 během různých letových situací**

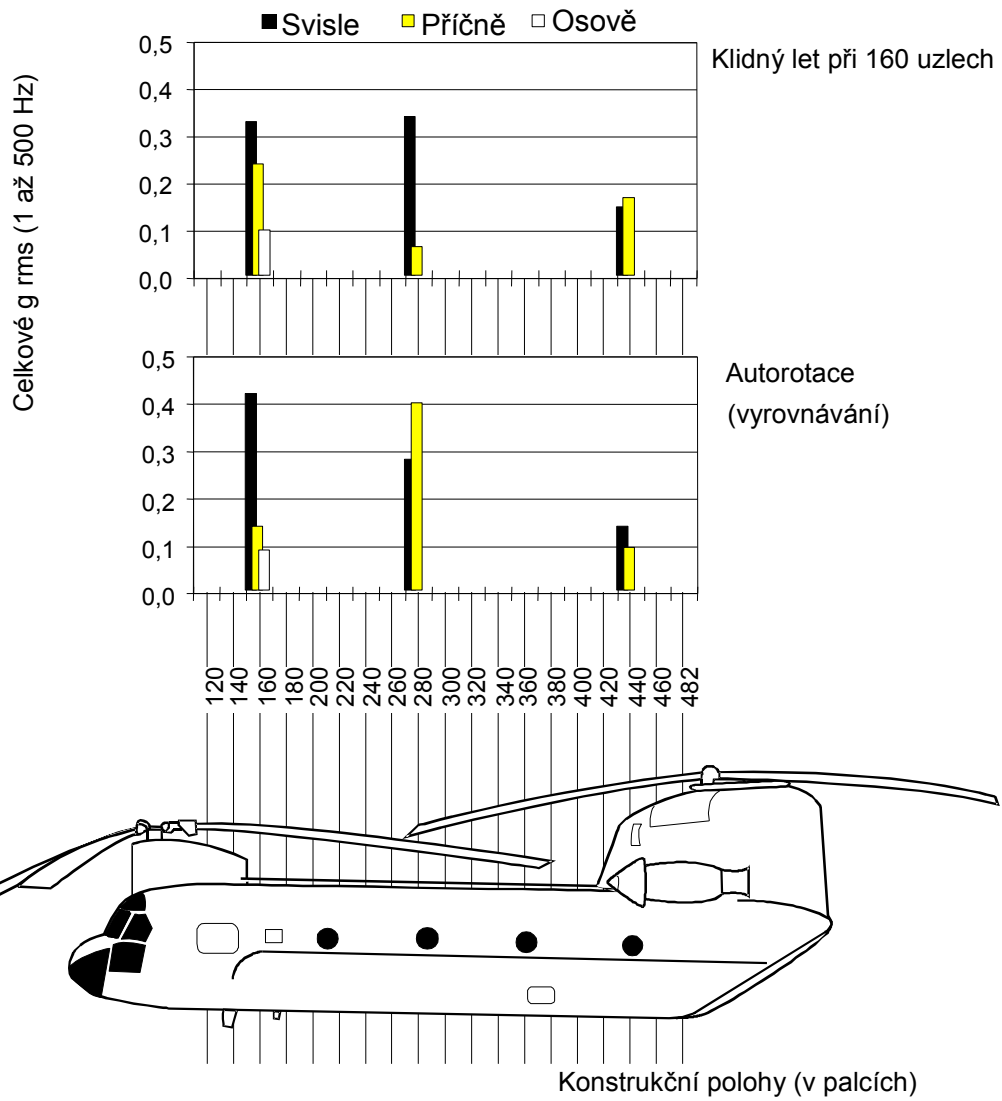




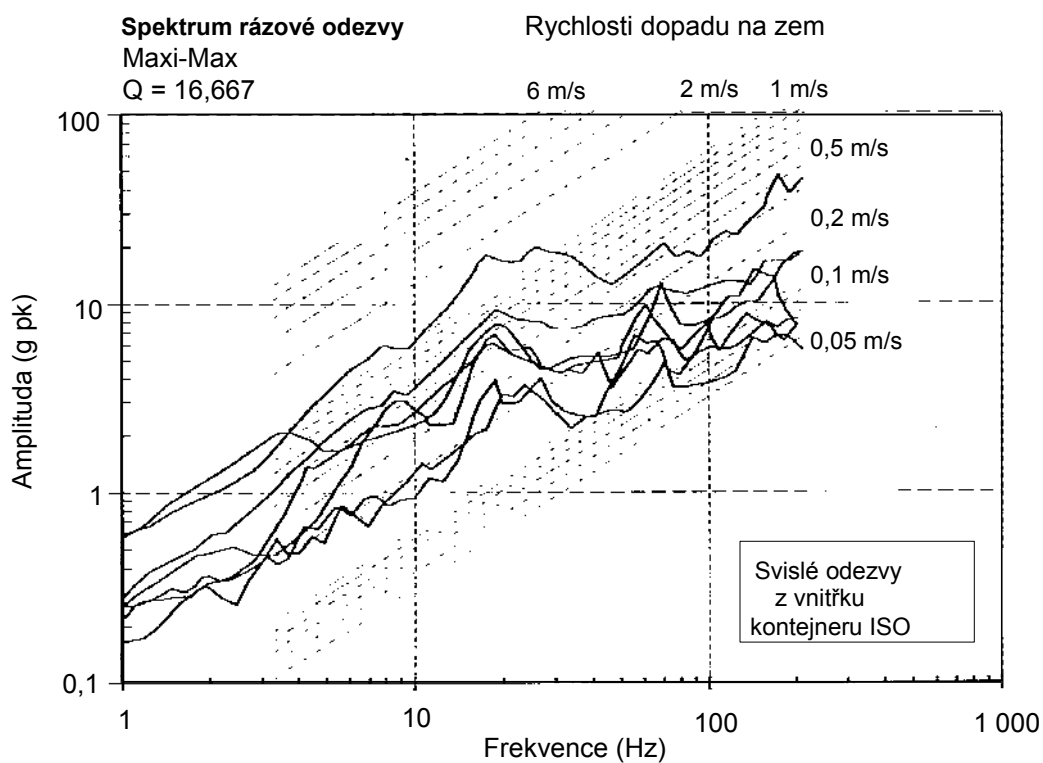
**POZNÁMKA 5**

Všechna data jsou měřena v poloze č. E160 na pravé straně v úrovni ložné plochy (viz obr. č. 9).

**OBRÁZEK 8 – Změny úrovně vibrací v různých letových situacích pro vrtulník Chinook HC Mk2**



**OBRÁZEK 9 – Změny úrovně vibrací podél trupu vrtulníku Chinook HC Mk1**



**OBRÁZEK 10 – Měřené rázové odezvy z pokládání podvěšeného nákladu u vrtulníku Chinook HC Mk1**

**Příloha A**  
(informativní)

## **ODVOZENÍ NÁROČNOSTÍ Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

### **A.1 ODVOZENÍ Z POPISU PROSTŘEDÍ**

#### **A.1.1 Požadavky**

Nejprve je třeba na základě relevantních požadavků určit druh(y) letounů, v nichž bude materiál instalován, letovou úlohu a letové úseky související se vzdušnou přepravou, provozní rychlosti letounu a umístění materiálu v letadle. Po vytvoření požadavků lze odpovídající vibrační údaje získat z datových bank, pokud taková data existují nebo z provozních měření.

#### **A.1.2 Popisy prostředí**

Popis prostředí pro materiál instalovaný v letadle by měl obecně zahrnovat pro každou příslušnou letovou sekvenci rozsah provozních rychlostí, charakteristiky frekvenčních reakcí, grafy pravděpodobností amplitud a časový průběh veškerých přechodových jevů. Tyto informace budou použity pro zkoumání trendů, např. jak je náročnost ovlivňována manévrováním, výškou a rychlostí. Blokované schéma uvedené na obrázku A.1 ukazuje kroky, které je nutno přijmout pro odvození popisu prostředí z naměřených údajů. Tento diagram umožní kvantifikovat charakteristiky frekvenční reakce a amplitudy dynamické reakce pro všechny relevantní zkušební podmínky. Postup pro použití těchto složek popisu prostředí pro vytvoření zkušebních spekter a trvání je uveden dále.

### **A.2 ODVOZENÍ NÁROČNOSTÍ VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK**

#### **A.2.1 Obecně**

Náročnosti zkoušek jsou definovány v termínech charakteristik a amplitud širokopásmových vibrací na pozadí, úzkopásmových složek souvisejících s náhodnými frekvencemi vrtulí nebo hlukem proudového motoru a trváním. Informace o vytvoření těchto parametrů jsou uvedeny dále.

#### **A.2.2 Širokopásmová složka**

- a. Charakteristika: Obecně lze očekávat, že spektrální charakteristiky širokopásmové složky, tzn. tvar grafů ASD, budou stabilní s ohledem na řadu parametrů, včetně rychlosti a výšky letu letounu.
- b. Amplituda: Pravděpodobnostní analýza amplitudy pomáhá kontrolovat stabilitu údajů. Možností je použít rozdělení pravděpodobnosti amplitud (APD).

#### **A.2.3 Úzkopásmové komponenty**

- a. Charakteristiky: Pro vrtulové letouny a vrtulníky lze frekvenci úzkopásmových složek při dané rychlosti vypočítat ze znalosti náhodných frekvencí vrtule. Lze očekávat, že tyto frekvence jsou v naměřených údajích snadno rozpoznatelné, při nejmenším za podmínek stálé rychlosti. U proudových letounů jsou i při stálé rychlosti úzkopásmové podmínky těžko rozlišitelné.

**Příloha A**  
(informativní)

- b. Amplitudy. Stanovení amplitud těchto složek může být problémem vzhledem k jejich frekvenci měnící se s rychlostí letounu. To může vést k podhodnocení závažnosti v důsledku zprůměrování vlivů zahrnutých v analýze ASD.

Řešením je získat data v daném úseku letu a pro konstantní rychlosti. Takto jsou zaručeny stabilita dat a opakovatelnost procesu získávání. Tyto údaje pak mohou být analyzovány odděleně. Jinak v případě, že rychlost během záznamu není konstantní, mohou se použít vývojová spektra (kaskádové grafy). V každém případě by náročnost vyjádřená buď v podobě ASD nebo RMS měla být spojena s šířkou pásma rozlišení, aby bylo možno vytvořit jednoznačnou definici.

#### A.2.4 Trvání zkoušky

Trvání zkoušky by mělo být založeno na požadované životnosti materiálu a profilu používání odpovídajícího letounu. Aby bylo možno zabránit neprakticky dlouhým trváním zkoušek, je obvyklým postupem použití pravidel o únavovém poškození, jako je Minerovo pravidlo. Toto pravidlo je též známo jako „zveličovací vzorec“ a je vyjádřeno následujícím způsobem:

$$t_2 = t_1(S_1/S_2)^n$$

kde

$t_1$  = skutečné trvání v požadavcích úseku letu charakterizovaného měřenou úrovní

$t_2$  = ekvivalentní trvání na zkušební úrovni

$n$  = zveličovací exponent

Pro rms úroveň

$S_1$  = rms úroveň měřeného spektra

$S_2$  = rms úroveň zkušební spektra

$n = b$  = zveličovací exponent (obecně přijatelné jsou hodnoty mezi 5 a 8)

Pro ASD úroveň

$S_1$  = ASD úroveň měřeného spektra

$S_2$  = ASD úroveň zkušební spektra

$n = b/2$  = zveličovací exponent (obecně přijatelné jsou hodnoty mezi 2,5 a 4)

( $b$  odpovídá sklonu únavové (S/N) křivky pro odpovídající materiál).

Pro úroveň rms je zveličovací exponent sklon únavové (S/N) křivky pro odpovídající materiál. Toto vyjádření je použitelné pro kovové materiály, jako jsou oceli a hliníkové slitiny, které mají v podstatě lineární vztah mechanické napětí - deformace. S menší spolehlivostí je tento vztah používán pro nelineární materiály a kompozity. I když výraz při používání pro materiál vykazuje určité přednosti, měl by být používán s mimořádnou opatrností, aby se vyloučily necharakteristické závady. V žádném případě by úroveň zkoušení neměly být zvyšovány nad maximální úroveň, o kterých lze předpokládat, že jim bude materiál vystaven během provozní životnosti. Kromě toho v případech, kdy je doloženo, že materiál není plně připevněn k letadlu, je Minerovo pravidlo zcela neplatné a nemělo by být používáno. V takových případech

### **Příloha A**

(informativní)

by se jako alternativní možnost měla zvážit zkouška pro volně ložený náklad (AECTP-400, Metoda 406 ČOS 999902).

### **A.3 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ SE ZKUŠEBNÍMI PŘEDPISY**

Při porovnávání spekter naměřených při zkouškách vozidla s údaji obsaženými ve zkušebních předpisech nebo vytvořenými závodním zkušebním zařízením je třeba dbát opatrnosti, aby se vyloučilo podhodnocení závažnosti naměřených údajů. Je to z důvodu různého rozdělení amplitud a špičkových hodnot k poměrům rms těchto druhů dat. Tyto rozdíly se mohou kompenzovat, jak je ukázáno v následujícím příkladu:

$$\text{Naměřená špičková úroveň APD} = 9,0 \text{ g (v 1 z 500 úrovní výskytu, tzn. 2,88 sigma)}$$

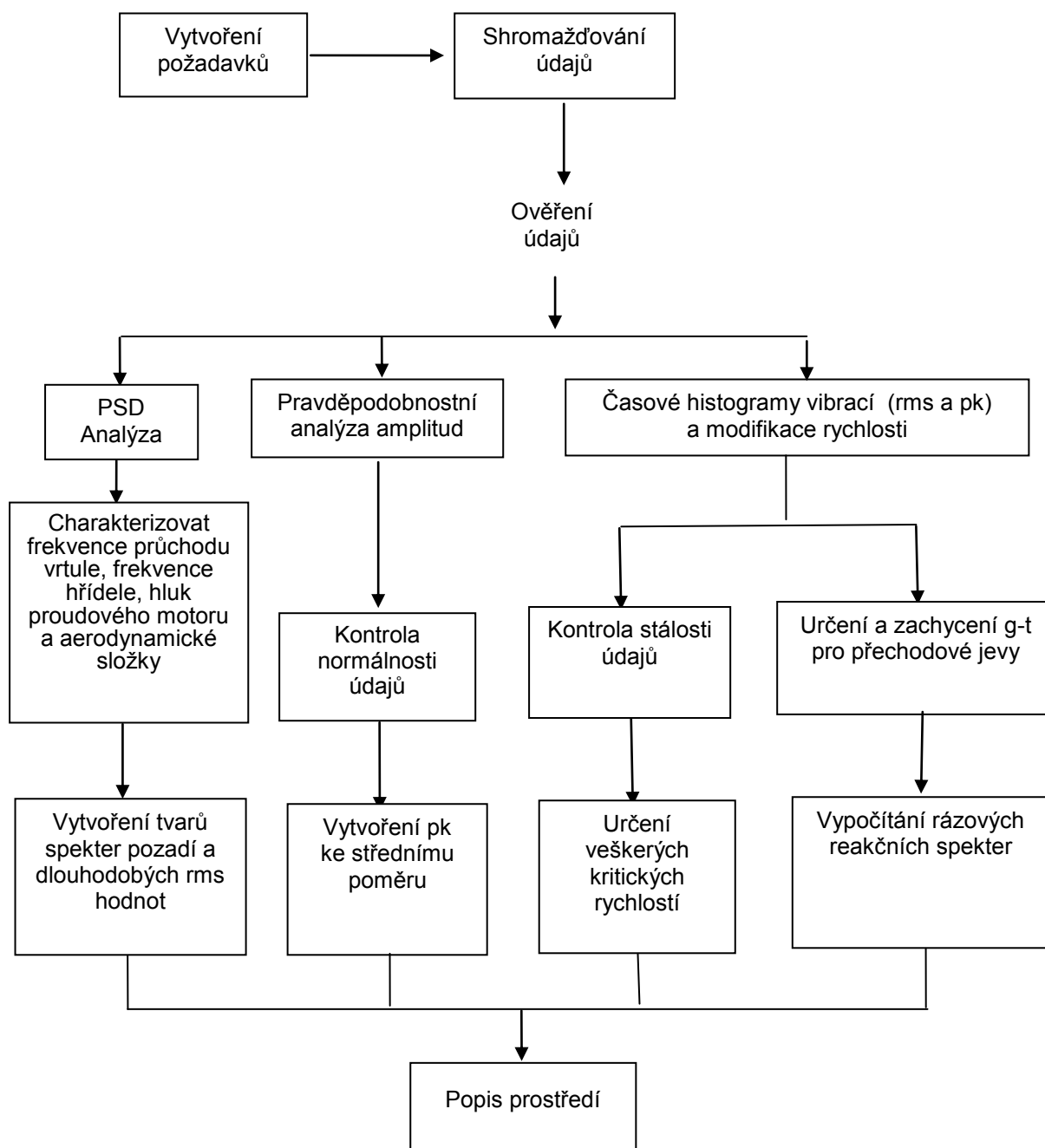
$$\text{Ekvivalentní gaussovské rms} = \frac{9,00}{2,88} = 3,1 \text{ g rms}$$

$$\text{Naměřené negaussovské rms} = 1,4 \text{ g rms}$$

$$\text{Faktor z naměřeného g rms} = \frac{3,1}{1,4} = 2,2$$

$$\text{Faktor z naměřeného ASD} = 2,2^2 = 4,8$$

Zatímco analýza ukazuje, že v tomto případě by se na naměřené úrovni ASD měl použít faktor 4,8, tyto vyšší úrovni by byly vhodné pro relativně krátké trvání.



**POZNÁMKA**

Kroky znázorněné výše by se měly provádět pro každý úsek letu a pro všechny relevantní instalace.

**OBRÁZEK A.1 – Odvození popisu prostředí z naměřených údajů**

**Příloha A**  
(informativní)

**A.4 ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK (ÚROVEŇ A TRVÁNÍ)  
Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

Tento příklad pracuje s mechanickou únavou způsobenou vibracemi, jimž může být vystaven plně zajištěný náklad během vzdušné přepravy v nákladních letounech DC8 (proudový letoun), C 130 Herkules nebo C 160 NG Transall (vrtulový letoun).

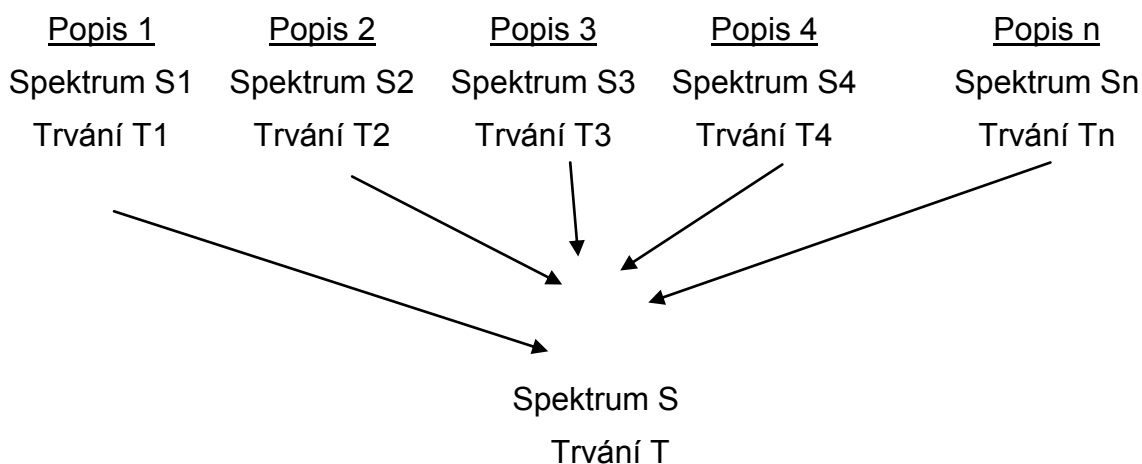
Tento příklad se zabývá pouze mechanickou únavou jako výchozím režimem. I když je nepravděpodobné, že každé vyvolané mechanické prostředí související s různými úseky letu bude kritické z hlediska vytvoření potenciální škodlivé únavy samo o sobě, všechna mohou přispívat v různém stupni k únavovému poškození materiálu.

Tudíž jak bylo zdůrazněno v A.2.3b, prvním krokem, který je třeba provést, je určení letového úkolu a úseků letu souvisejících se vzdušnou přepravou a umístěním nákladu v letounu.

Následující stránky popisují úseky letu určené pro každý z možných vzdušných prostředků. Údaje jsou shromážděny z provozních měřicích zkoušek pro každé vybrané letoun a pro každý z určených úseků letu. Stabilita měření umožňuje výpočet ASD pro popis mechanického prostředí v rozsahu 5 až 1 500 Hz (pro tento příklad).

Výsledky výpočtů jsou uvedeny pro různé úseky letu v klasickém formátu ASD pouze pro osu Z. Pro skutečný zkušební program by měla být následující metodologie použita pro každou ze tří os.

Následující kroky jsou převzaty z části 2410/1, kde jsou rozvinuty různé technické aspekty. Cílem je zkombinovat různá vyvolaná mechanická prostředí do jediné zkoušky.



Typický profil úkolu (následné úseky letu) pro vzdušnou přepravu v nákladním letounu DC8 je následující.

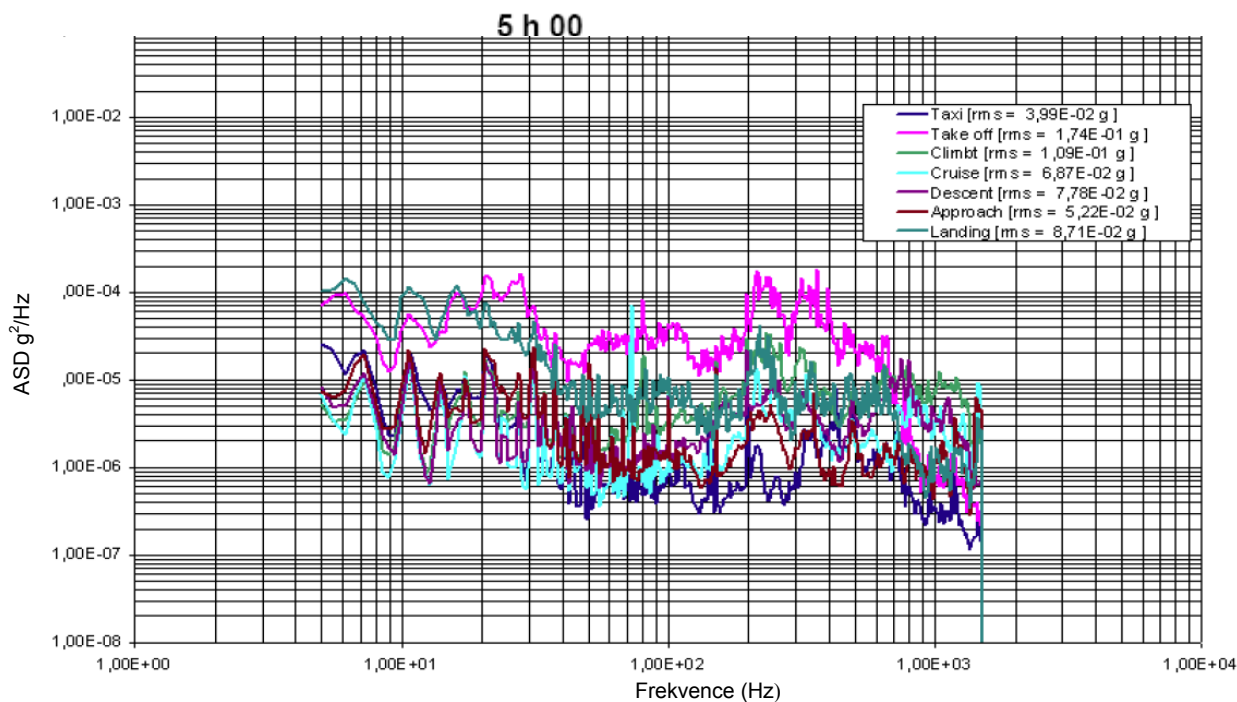


**Příloha A**  
(informativní)

Letový úsek	Intenzita	Trvání
Pojíždění	25 km/h	0 h 10
Vzlet	290 km/h	0 h 05
Stoupání	2500 ft/min	0 h 40
Let	900 km/h	3 h 30
Sestup	5500 ft/min	0 h 20
Přiblížení na přistání	250 km/h	0 h 05
Přistání	250 km/h	0 h 01
Pojíždění	25 km/h	0 h 09



DC8 Cargo  
**čtyřmotorový  
proudový letoun**




**OBRÁZEK A.2 – ASD související se vzdušnou přepravou letounem DC8 Cargo**

**Příloha A**

(informativní)

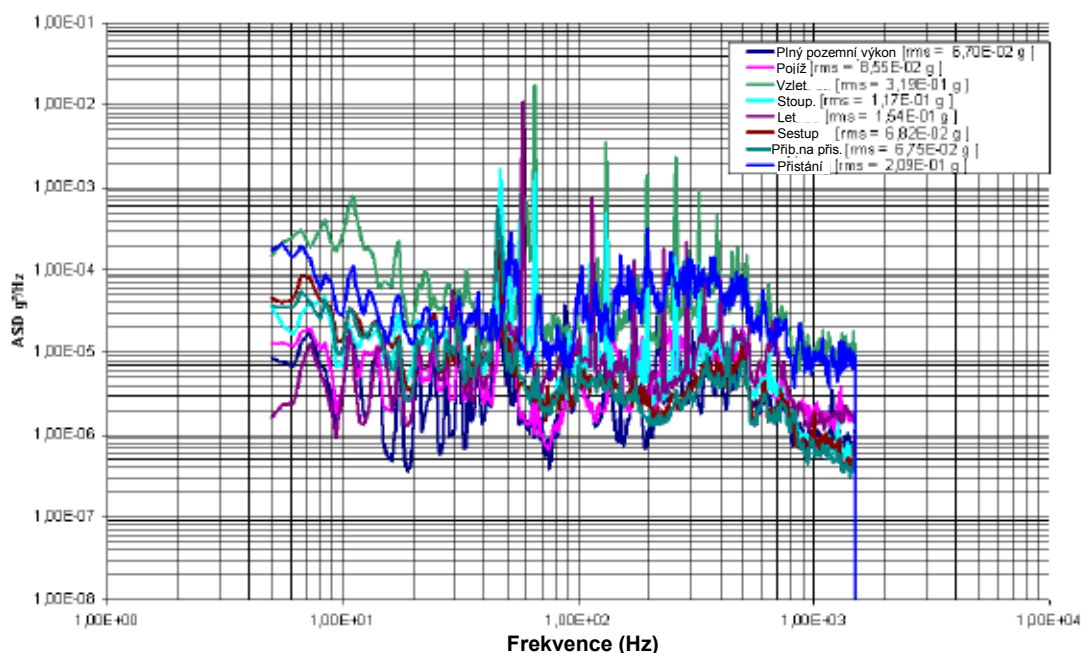
Typický profil úkolu (následné úseky letu) pro vzdušnou přepravu v letounu C160 Transall je následující. Je třeba si všimnout změny náhodné frekvence vrtele s rychlostí letu.

Letový úsek	Intenzita	Trvání (min)
<b>Plný pozemní výkon</b>		0 h 05
<b>Pojíždění</b>		0 h 14
<b>Vzlet</b>		0 h 05
<b>Stoupání</b>	500 ft/min	0 h 40
<b>Let</b>	FL 170 190 kt	6 h 30
<b>Sestup</b>	750 ft/min	0 h 20
<b>Přiblížení na přistání</b>		0 h 05
<b>Přistání</b>		0 h 01



**C160 Transall  
 dvoumotorový, čtyřlístový  
 vrtulový letoun**

**8 h 00**




**OBRÁZEK A.3 – ASD související se vzdušnou přepravou letoun C160 Transall**

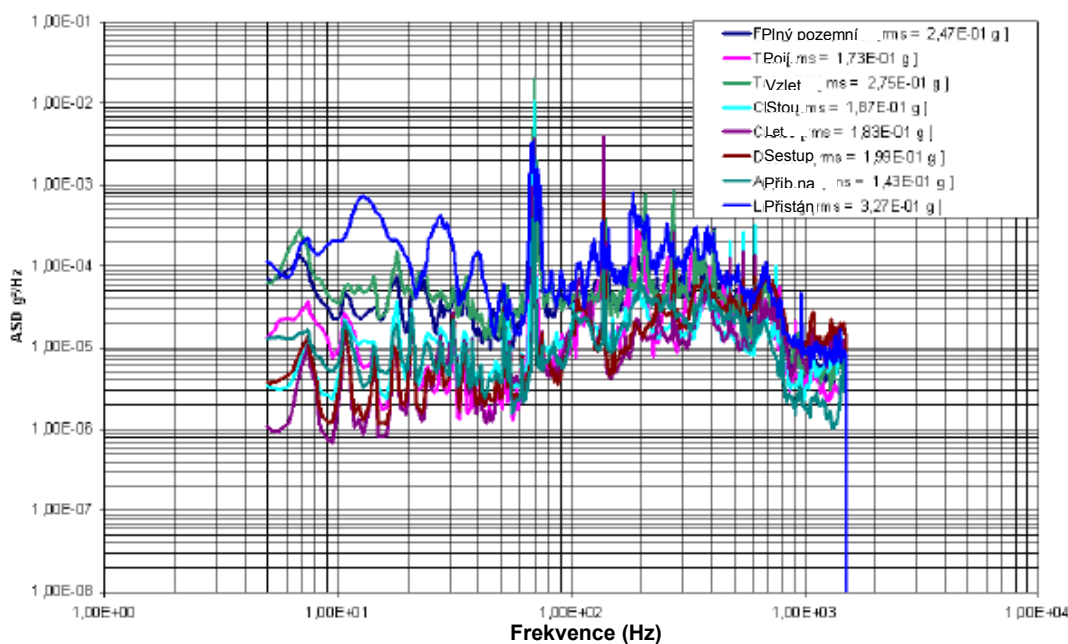
**Příloha A**  
 (informativní)

Typický profil úkolu (následné úseky letu) pro vzdušnou přepravu v letounu C130 Hercules je následující. Je třeba si všimnout změny frekvence průchodu vrtule s rychlostí letu.

Letový úsek	Intenzita	Trvání
Plný pozemní výkon	70% low speed =19000 lb/engine	0 h 05
Pojíždění		0 h 14
Vzlet		0 h 05
Stoupání	500 ft/min	0 h 40
Let	FL 250 300 kt	6 h 30
Sestup	700 ft/min	0 h 20
Přiblížení na přistání		0 h 05
Přistání		0 h 01
		<b>8 h 00</b>



C130 Hercules  
 čtyřmotorový, čtyřlistový  
 vrtulový letoun



**OBRÁZEK A.4 – ASD související s leteckou přepravou letounem C130 Hercules**

## Příloha A

(informativní)

Část 2410 navrhuje metodologii pro výpočet akumulovaného únavového poškození.

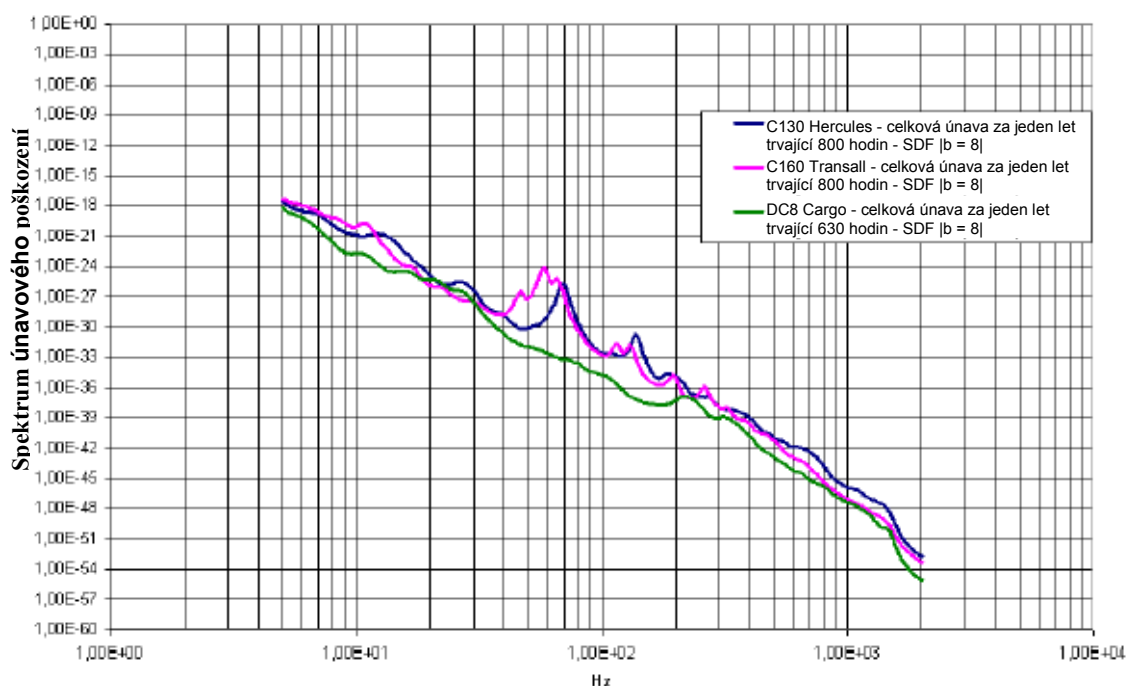
Jakmile byl zkompletován profil letového úkolu a byly zkompletovány související ASD, je možné určit celkovou mechanickou únavu, kterou materiál nastrádá během jednoho letu.

Výsledky jsou uvedeny ve formátu Spektrum únavového poškození (FDS), jak je uvedeno ve 2410. FDS je křivka, která představuje kolísání poškození jako funkci přirozené frekvence pro dané zeslabení a sklon SN křivky.

Předpoklady použité pro výpočty jsou:

- jednoduchý systém DOF, jak je namodelován pro rázové reakční spektrum, viz AECTP-400, Metoda 403, obrázek 1,
- zeslabení rovné 5 %, tzn. „Q“ rovné 10 (viz část 2410),
- výpočet používá sklon „b“ únavové (S-N) křivky rovný 8 (viz část 245/1, příloha A, kapitola A.2.4).
- Tato hodnota je adekvátní pro popis chování převážně kovové struktury materiálu. Elektronická zařízení se kvalifikují jinou zkouškou, která bere v úvahu jeho vlastní požadovanou životnost a jeho vlastní LCEP. Pro elektronická zařízení a nekovové materiály, elastomery, kompozity, plasty a výbušniny se doporučuje hodnota „b“ rovna 5.

Pro daný letoun lze sečíst poškození vyvolané každým úsekem letu, úměrně rozdělené podle trvání úseků. Provedením výpočtů pro každý možný letoun lze porovnat únavové poškození nahromaděné materiálem během celého letu odpovídající skutečnému sledu vzdušné přepravy. Následující obrázek ukazuje únavu odpovídající jednomu letu pro každý vzdušný prostředek.



OBRÁZEK A.5 – FDS pro 1 let související s každým letounem

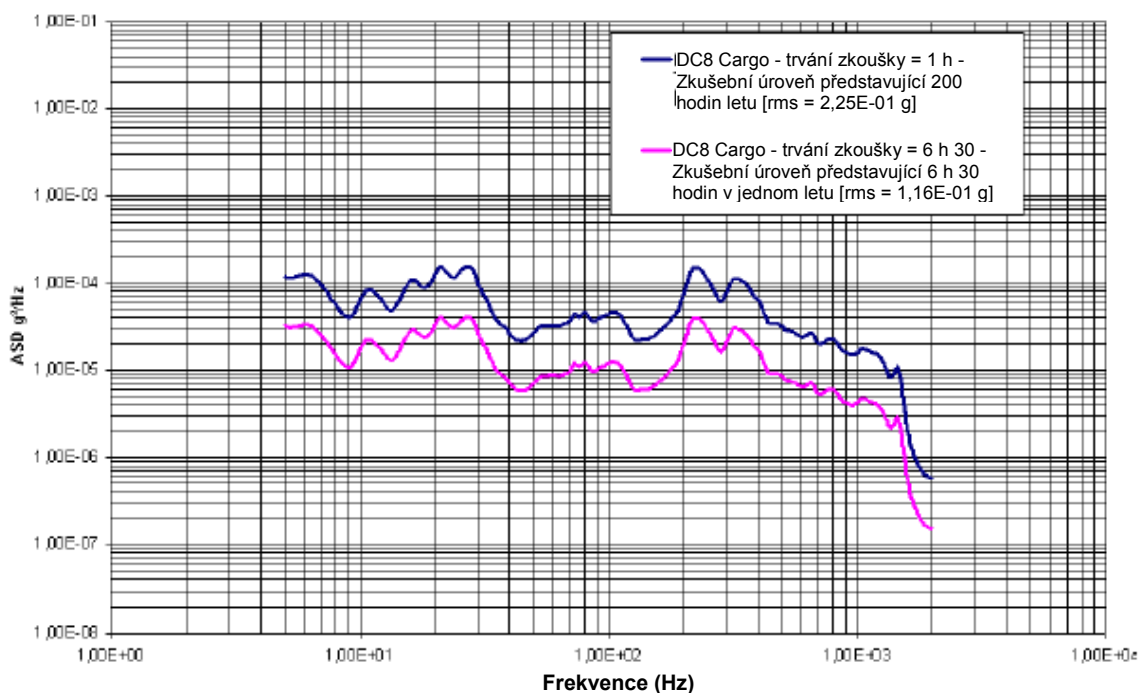
Únava nahromaděná během N letů pro každou kategorii je rovna N násobku únavy z jednoho letu. Použitá zásada je zpracováním jednoho jedinečného ASD, který vytvoří během zkoušky stejnou mechanickou únavu, jaká by se vyskytla během skutečné vzdušné přepravy se všemi různými úseky letu.

#### A.4.1 Použití pro jeden letoun

Pokud je pro vzdušnou přepravu plánován pouze jeden prostředek, pak by měla náročnost zkoušek vytvářet stejnou únavu jako počet letů v souladu s požadavky na toto určité letoun.

Například požadavek je 200 hodin letu nákladního proudového letounu DC8 po celou dobu životnosti materiálu.

Nižší amplituda ASD na následujícím obrázku představuje ASD, které při použití pro 200 hodin vytvoří ve směru osy Z stejnou mechanickou únavu jako 200 hodin letu, ať už je jeho skutečná frekvence jakákoliv.



**OBRÁZEK A.6 – ASD související se zkušební úrovní pro vzdušnou přepravu letounem DC8 Cargo**

Je zjevně nákladově výhodné snížit trvání zkoušky, abychom se vyhnuli zkoušení po dobu 200 hodin. Kritérium ekvivalence mechanické únavy vede ke zvýšení úrovně zkoušky při snížení trvání zkoušky. Tudiž obrázek A6 porovnává úroveň zkoušky, která by se měla použít po dobu 200 hodin, aby únava odpovídala 200 hodinám letu, s úrovní zkoušky trvající pouze 1 hodinu (horní ASD amplituda na obrázku A6).

Trvání přibližně 1 hodina představuje nejkratší zkoušku použitelnou bez nadměrného zvýšení zkušební ASD v měřeném prostředí vyjádřeno z hlediska robustnosti materiálu. Tudiž maximální reakční spektrum související se zkušební úrovní ASD

#### **Příloha A**

(informativní)

bude ve srovnání s maximálním namáháním, jehož by bylo dosaženo ve skutečném prostředí, setrvávat v rámci realistického namáhání. Viz doporučení v části 2410.

Všimněte si, že hodnota  $b$  má přímý vliv na snížení doby trvání zkoušek jako pro zvyšovací koeficient ve „zvyšovacím vzorci“. Jako příklad viz část 245, článek A.2.4.

#### **A.4.2 Použití pro různé letouny (kombinovaný příklad)**

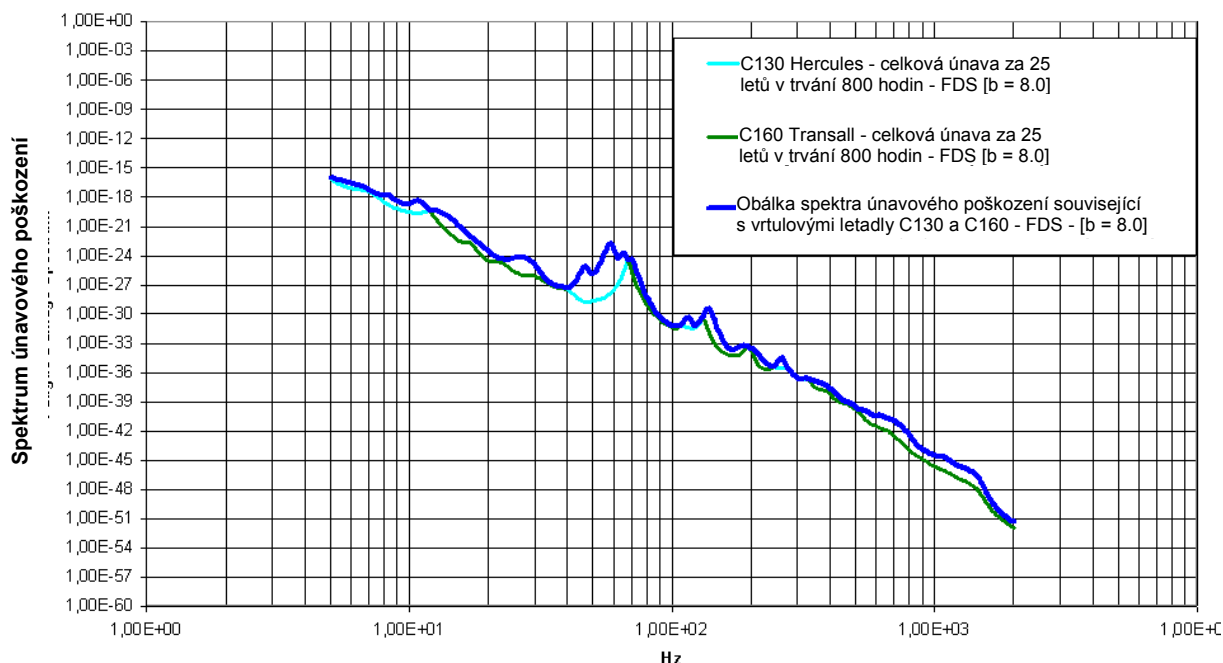
V případě, že v souladu s požadavky je třeba brát v úvahu různé vzdušné prostředky, je možno ze skutečných naměřených údajů odvodit kombinovanou zkoušku. Tato možnost existuje v případě, kdy je požadován celkový počet letů bez znalosti toho, které letoun bude použito pro každý let.

Existují alternativy:

- a. Jeden zkoušený objekt-různé letouny:  
Je možné zkoušet objekt pro každý letoun. Toto řešení vede k nadměrnému zatěžování materiálu, neboť celkový počet letových hodin bude aplikován pro každé zvažované letoun a tudíž akumulovaná únava bude větší než ve skutečnosti.
- b. Jeden zkoušený objekt – poměrně rozdělená různé letouny:  
Lze předpokládat, že každý možný letoun bude použito pro daný podíl celkového počtu letových hodin. Platnost časového rozdělení je ale často problematická.
- c. Více zkušebních objektů – různé letouny:  
Lze zkoušet jednotlivé objekty pro každý možný letoun, přičemž nutno zajistit, že materiál bude schopen přežít jakékoliv prostředí. To však zvyšuje jak náklady, tak potřebný čas.

Kombinovaná zkouška by měla umožnit zkoušení schopnosti materiálu přežít dané trvání vzdušné přepravy bez znalosti poměrného použití každého možného letounu. Odpovídající kombinovaná zkouška by také neměla zkoušet materiál nadměrně.

Aby bylo možno tyto úkoly splnit, je nutno pro každý letoun přezkoušet únavovou odolnost materiálu v souladu s jeho vlastními frekvencemi. Obálka únavového spektra poškození uvádí pro každou možnou vlastní frekvenci materiálu celkovou kumulovanou únavu.



**OBRÁZEK A.7 – Obálka FDS, tj. pokrývá 25 letů volně rozdělených mezi C130 Hercules a C160 Transall**

Pro zpracování kombinovaného příkladu ukazuje obrázek A7 FDS obalující únavu vytvořenou 200 hodinami vzdušné přepravy v letounech Herkules a Transall.

Obrázek A.7 ukazuje pro každou frekvenci relativní náročnost C160 Transall ve srovnání s C130 Hercules. Například:

- letoun Hercules je náročnější z hlediska mechanické únavy pro materiál, který má vlastní frekvenci kolem 70 Hz (tato frekvence odpovídá konstantní frekvenci průchodu vrtule pro C130),
- letoun Transall je náročnější z hlediska mechanické únavy pro materiál, který má vlastní frekvenci mezi 40 a 60 Hz (tyto frekvence odpovídají frekvenci průchodu vrtule měnící se s rychlostí pro C160).

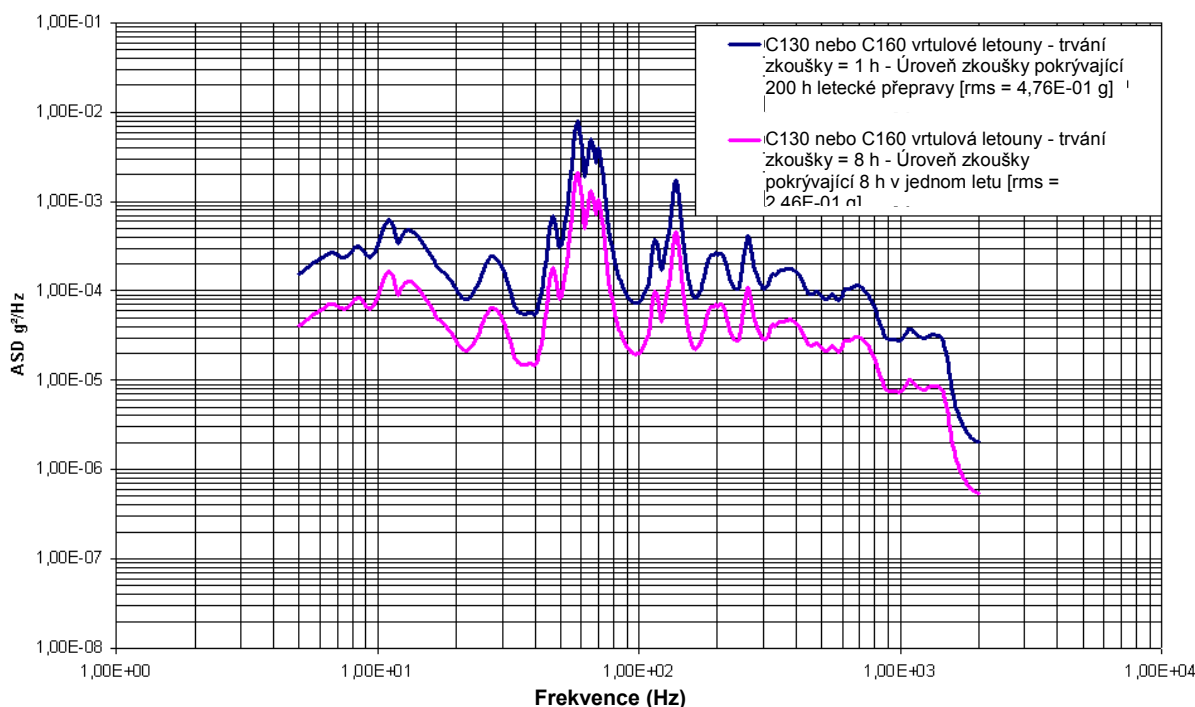
Pro zpracování náročnosti zkoušek pokrývajících 200 hodin vzdušné přepravy rozdělených mezi Herkules a Transall se vypočítává ASD vytvářející únavové poškození popsané obálkou dvou FDS.

Obrázek A.8 ukazuje výsledek takového výpočtu.

Nižší amplituda ASD následujícího obrázku představuje ASD, které při použití pro 200 hodin vytvoří podél osy Z tutěž mechanickou únavu jako 200 hodin letu, ať jsou jeho vlastní frekvence jakékoliv.

Předpokladem je, že taková únava je jediným zvažovaným způsobem poruchy. Předpokládají-li se jiné způsoby poruchy, potom viz část 2410.

**Příloha A**  
(informativní)



**OBRAZEK A.8 – Zkušební úroveň pro vzdušnou přepravu tj.: ASD pokrývající 200 hodin buď v C130 Hercules nebo v C160 Transall**

Například zvažujeme požadavek 200 hodin vzdušné přepravy plně zabezpečeného nákladu v Herkules C 130 nebo Transall C 160 v rámci celé doby životnosti materiálu.

Z hlediska nákladů je obvykle výhodné snížit dobu trvání zkoušek, abychom se vyhnuli 200 hodinám zkoušení. Kritérium ekvivalence v oblasti mechanické únavy vede ke zvýšení úrovně zkoušení při snížení doby trvání zkoušení. Obrázek A8 tudíž porovnává úroveň zkoušení, která by se použila pro 200 hodin, aby byla únava ekvivalentní 200 hodinám letu s úrovní zkoušení pro pouze 1 hodinu trvání (horní ASD amplituda na obrázku A.8).

Trvání přibližně 1 hodinu představuje nejkratší zkoušku použitelnou bez nadměrného zvýšení zkušební ASD v měřeném prostředí pokud jde o odolnost pro materiál. Tudíž maximální odezvové spektrum související se zkušební úrovní ASD zůstane v rámci realistického namáhání při porovnání s maximálním namáháním, kterého by se dosáhlo v reálném prostředí. Viz doporučení v části 2410.

Všimněte si, že hodnota  $b$  má přímý vliv na sníženou dobu trvání zkoušky, neboť je zveličovacím koeficientem ve „zveličovacím vzorci“. Viz například část 245, článek A.2.4.

Při použití na jednotlivý ASD je právě uvedená metodologie striktně ekvivalentní „zveličovacímu vzorci“ použitému se stejnou hodnotou „ $b$ “.

Tato metodologie při použití pro:

- všechna možná místa umístění materiálu,



**Příloha A**  
(informativní)

- všechny možné letouny v rámci ozbrojených sil NATO,  
vede k náročnějším podmínkám zkoušení (úroveň, trvání nebo obojí).

Úrovně zkoušek, pokrývající širokou škálu jak umístění tak letounů včetně konzervativních faktorů, jsou popsány v AECTP-400, Metoda 401.

**Příloha B**  
(informativní)

## ODKAZY

### B.1 VRTULOVÝ LETOUN - HERCULES C130

B.1.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí letounu HERKULES C130

Autor: LEBEAU Roger  
Zdroj: DGA/DME/LRBA  
Č.j. E.T. č. 636/92/ECM  
Datum: Srpen 1992  
Stran: 163

B.1.2 Úkol/nosič:  
Vzdušná přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

B.1.3 Souhrn technických údajů:  
Popis prostředí v různých situacích (volnoběh na zemi, vzlet, let 370 stop, zpětný tah, zahájení přistávacího manévru, přistání)

### B.2 VRTULOVÝ LETOUN -TRANSALL C160 NG

B.2.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí letounu TRANSALL C160 NG

Autor: LEBEAU Roger  
Zdroj: DGA/DME/LRBA  
Č.j. E.T. č. 654/92/ECM  
Datum: Srpen 1992  
Stran: 315

B.2.2 Úkol/nosič:  
Vzdušná přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

B.2.3 Souhrn technických údajů:  
Popis prostředí v různých situacích (volnoběh na zemi, vzlet, let 300 stop a 180 Kn, 14 000 stop a 200 Kn, 19 000 stop a 190 Kn, zahájení přistávacího manévru, přistání)

### B.3 VRTULNÍK - SUPERFRELON

B.3.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí vrtulníku SUPERFRELON

Autor: LEBEAU Roger  
Zdroj: DGA/DME/LRBA  
Č.j. E.T. č. 401/94/ECM  
Datum: Květen 1994  
Stran: 48

B.3.2 Úkol/nosič:  
Vzdušná přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

### B.3.2 Souhrn technických údajů:

Popis prostředí v různých situacích (pojíždění, vzlet, let 500 stop a 110 Kn, 500 stop a 130 Kn, 500 stop a 83 Kn, zahájení přistávacího manévru)

## **B.4 PROUDOVÝ LETOUN - DC 8 CARGO**

B.4.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí letounu DC8  
CARGO

Autor: DELOY Christian

Zdroj: DGA/DME/LRBA

Č.j. E.T. č. 636/92/ECM

Datum: Srpen 1992

Stran: 163

### B.4.2 Úkol/nosič:

Vzdušná přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

### B.4.2 Souhrn technických údajů:

Popis prostředí v různých situacích (pojíždění, vzlet, stoupání 2 500 stop/min, let FL 370 a M0.82, sestup, zahájení přistávacího manévru, přistání).

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 242**  
**ČÁST 242/4**  
**NÁMOŘNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	70
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	70
2.1 VIBRAČNÍ PROSTŘEDÍ.....	70
2.2 PŘECHODNÁ PROSTŘEDÍ .....	71
2.3 KVAZISTATICKÁ PROSTŘEDÍ .....	71
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	71
3.1 MECHANISMY SELHÁNÍ .....	71
3.2 VIBRAČNÍ PROSTŘEDÍ.....	72
3.3 PŘECHODNÁ PROSTŘEDÍ .....	72
3.4 KVAZISTATICKÁ PROSTŘEDÍ .....	72
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	72
4.1 VIBRAČNÍ PROSTŘEDÍ.....	72
4.2 PŘECHODNÁ PROSTŘEDÍ .....	72
5 ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK OD NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	72
 <b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A ODKAZY .....	74

## **ČÁST 242/4**

### **NÁMOŘNÍ PŘEPRAVA NA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál během námořní přepravy mezi místem výroby a skladovacími základnami. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a doplněny odkazy. Je také poskytnuta informace o možných škodlivých účincích, opravných opatřeních a v případě, že je to vhodné, o volbě odpovídající zkušební metody z AECTP-400. Tato část také poskytuje směrnice pro odvození úrovně zkoušek z naměřených údajů.

Tato část bere v úvahu námořní přepravu pomocí buď vojenských, nebo obchodních lodí. Pro podmínky prostředí, které budou působit na materiál při instalaci na válečných lodích, se mohou objevit odkazy na část 248. Některá kritická konstrukční zatížení pro válečné lodi jsou dána působením protivníka; takové podmínky obvykle neodpovídají přepravě.

Pro účel této části je materiál, který je vystaven přepravnímu prostředí, složen z nechráněného materiálu nebo materiálu převáženého v nějaké formě ochrany, balení nebo kontejneru. Náklad se může skládat z jedné nebo více položek materiálu. Pokud není specificky určeno jinak, popisy prostředí se vztahují ke styčné ploše mezi přepravním prostředkem a nákladem. Všechny osy odpovídají osám lodi.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Vibrační prostředí**

2.1.1 Dynamická buzení, jimž je vystaven náklad během přepravy lodí, jsou hlavně spojitě vibrační pohyby. Spojité pohyby jsou v podstatě vibrace vznikající od pohonného zařízení a pomocného strojního vybavení. Navíc se vyskytnou některé reakce v důsledku pohybů moře. Přesná kvantitativní identifikace různých zdrojů dynamických pohybů na palubě lodi je často nesnadná v důsledku nízkých úrovní. Jakékoliv přechodné pohyby, které se mohou vyskytnout, jsou obvykle spojeny s nepříznivými stavy moře.

2.1.2 Motor a pohonný systém: Vibrační měření provedená na nákladech převážených v nákladových prostorech a na palubě obvykle ukazují periodické pohyby související s otáčkami motoru a náhodnými frekvencemi listů lodního šroubu. Míra podílu každé z těchto složek se zdá být ve vztahu ke vzdálenosti nákladu ke strojovně nebo hnacímu systému. Odezvy vojenské námořní lodi (RMAS Arrochar) jsou ukázány na obrázku 1. Odezvy ukazují významný počet v podstatě periodických složek. Tyto periodické složky vznikají v důsledku činnosti pomocného zařízení, navíc vedle složek z motoru a hnacího systému.

2.1.3 Pomocné zařízení: Provoz pomocných zařízení přispívá k obecným náhodným vibracím pozadí. Tyto zřejmě náhodné vibrace se obvykle skládají z periodických pohybů vznikajících působením pomocných systémů. Úroveň těchto periodických pohybů souvisí s blízkostí určitého pomocného zařízení.

Klimatizační zařízení a zařízení pro výrobu elektrické energie mohou vyvolávat závažné amplitudy. Pro náklady v blízkosti takového zařízení však nejsou k dispozici naměřené údaje.

- 2.1.4 Stav moře: Vlivy stavu moře je často obtížné odlišit při nízkých stavech moře. Zdá se však, že se zvyšuje úroveň vibračních pohybů nákladu se zvyšujícím se stavem moře. Existuje jen velmi málo důkazů, které by umožnily kvantifikaci vztahu, ale trend zvyšování úrovně vibrací se stavem moře lze rozpoznat v obrázku 2. Uveřejněné informace jsou z téhož zdroje měření, jako pro obrázek 1. Úroveň bočních reakcí se zdá být ovlivněna relativním postavením lodi vůči směru vln. Relativně vyšší úrovně vzniknou tehdy, kdy směr vln je příčný vůči směru lodi.

## 2.2 Přejídná prostředí

- 2.2.1 Zatížení vlnami převalujícími se přes palubu: Zařízení převážené jako náklad na palubě může být vystaveno čelnímu zatížení od vln o velikost 70 kPa, které působí po dobu 350 ms s přejídným zatížením 140 kPa po dobu 15 ms.
- 2.2.2 Nárazy vln: Vysoké vlny mohou mít za následek přejídné pohyby vznikající od dopadu vln (nebo nárazu) na trup lodi. Běžný náklad nebude vystaven těmto nárazům přímo, ale spíše v důsledku dynamické reakce trupu lodi (přirozené frekvence jsou v oblasti 2-5 Hz) vznikajících od těchto nárazů. Úroveň a četnost výskytu takových podmínek pro různé kategorie stavu moře nelze přesně kvantifikovat.

## 2.3 Kvazistatická prostředí

- 2.3.1 Během všech druhů přepravy je náklad vystaven ustáleným stavům setrvačných zrychlení. Tato zrychlení jsou však obvykle menší než zrychlení, jimž je vystavena většina materiálu během jiných fází použití. Nejhorší možné hodnoty pro obecný náklad jsou:

- a. Nahoru 2 g
- b. Dolů 2 g (včetně přitažlivosti)
- c. Boční 0,8 g
- d. Dopředné 2 g
- e. K zádi 1 g

- 2.3.2 Náklony: Materiál může být vystaven statickému náklonu až 30°.

## 3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY

### 3.1 Mechanismy selhání

Mechanická prostředí vznikající během námořní přepravy materiálu mohou vytvářet řadu mechanismů potenciálního selhání materiálu. Nejvýznamnější z těchto mechanismů souvisí buď s pohyby materiálu, nebo v důsledku zatížení zrychlením. Vyvolané posuny uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které naopak mohou mít za následek srážky mezi zařízeními, přetržení tahem a uvolnění konektorů. Selhání související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku setrvačného zatížení. Tyto mohou působit jednou a vytvořit poruchu v důsledku

překročení prahové hodnoty nebo opakovaně a vytvořit únavovou poruchu. Poruchy, které vzniknou, jako výsledek působení rychlosti jsou značně neobvyklé. Aplikace rychlostní zátěže na některá elektrická zařízení a určité druhy senzorů může však vyvolat bludná napětí. Tato naopak mohou způsobit funkční poruchy.

### **3.2 Vibrační prostředí**

U zařízení s nízkými přirozenými frekvencemi může periodická povaha buzení vznikajících v důsledku námořní přepravy spolu s dlouhou expozicí vyústit v únavové poškození s dlouhým cyklem. Navíc nízká frekvence a tudíž velké posuny mohou vyústit ve vnitřní poškození citlivých součástí (bylo zjištěno, že obzvláště citlivé jsou některé obrazovky zobrazovacích jednotek).

### **3.3 Přejídná prostředí**

Při vyšších vlnách se podstatná část přejídných pohybů, jimž je vystaven náklad, objeví u méně pružných částí tělesa lodi. Frekvence těchto režimů (typicky menší než 5 Hz) jsou velmi těžko porovnatelné s pružností nákladu. Důsledkem toho je, že náklad je ve skutečnosti vystaven hlavně kvazistatickému zatížení, než dynamickým pohybům.

### **3.4 Kvazistatická prostředí**

Kvazistatická setrvačná zatížení mají obvykle tak malou velikost, že jsou bezvýznamná. Obecně kvazistatická zatížení způsobená manipulací překračují kvazistatická zatížení vyvolaná námořní přepravou.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Vibrační prostředí**

4.1.1 Vibrační prostředí vyvolané námořní přepravou je možné zařadit do zkoušek silniční přepravy, která je pro materiál bezpodmínečně vyžadována.

4.1.2 Tam, kde se vyžadují specifické vibrační zkoušky námořní přepravy, aby byly zahrnuty vibrace vznikající v důsledku činnosti motorů a pohonného systému nebo pomocného zařízení, má se použít zkouška se sinusovým rozkladem. Odpovídající zkušební postup je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

### **4.2 Přejídná prostředí**

Zátěž v důsledku působení vln na palubu a nárazy vln: Pro tato zatížení není určena žádná specifická zkouška. Materiál je obvykle hodnocen výpočtem.

### **4.3 Kvazistatická prostředí**

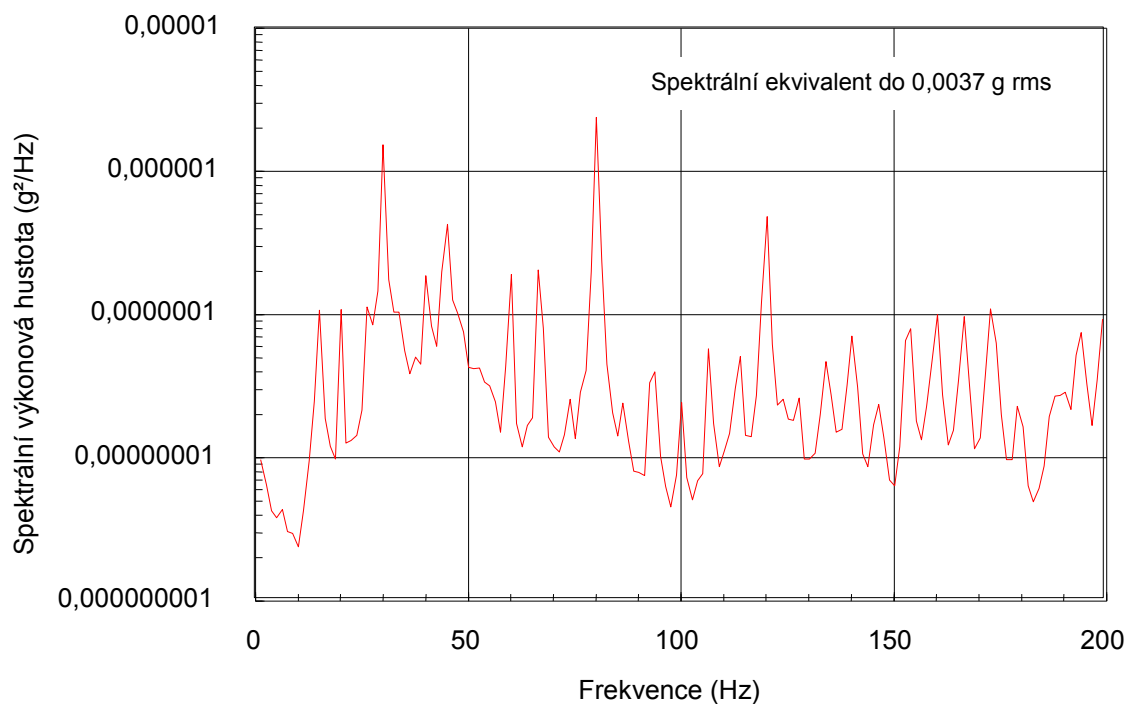
4.3.1 Kvazistatická setrvačná zrychlení: Zkoušení není nezbytně nutné, protože tato zatížení jsou zahrnuta ve zkouškách, nebo výpočtech pro jiné fáze použití.

4.3.2 Náklon: Zkoušení pro náklon se obvykle neprovádí.

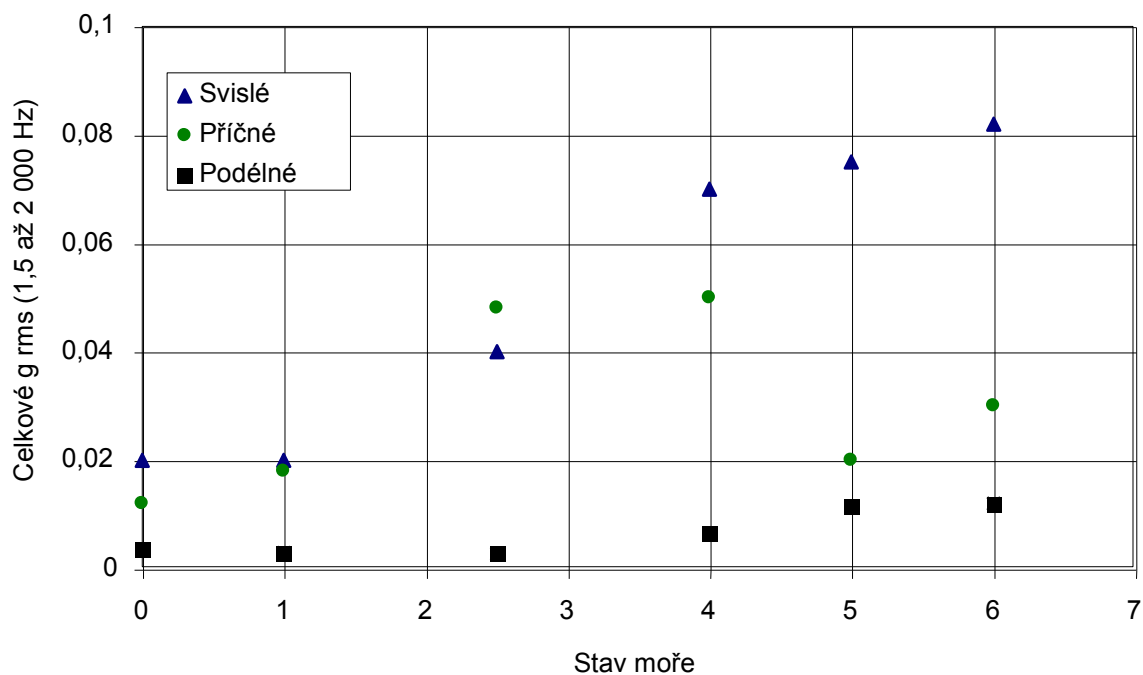
## **5 ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK OD NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

Doporučený postup pro odvození náročnosti zkoušek od naměřených údajů pro materiál převážený po moři je stejný, jako postup pro materiál instalovaný uvnitř hladinových lodí. Odkaz viz část 248/1.





**OBRÁZEK 1 – Vibrační spektrum ložného prostoru dopravní lodi (svislá osa)**



**OBRÁZEK 2 – Změny vibrační úrovně dopravní lodi se změnou stavu moře**

**Příloha A**  
(informativní)

## ODKAZY

### A.1 DOPLŇOVACÍ (ZÁSOBOVACÍ) TANKER

A.1.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí doplňovacího tankeru

Autor: LEBEDU Roger

Zdroj: DGA/DME/LRBA

Odkaz č.: E.T. No:91/92/ECM

Datum: únor 1992

A.1.2 Úkol/Lod'

Námořní přeprava materiálu (střely v kontejnerech)

A.1.3 Souhrn technických údajů

Popis prostředí pro různé rychlosti (13 kn, 14 kn, 15 kn, 15 kn, 20 kn)

### A.2 PŘEVOZNÍ LOĎ

A.2.1 Název: Charakteristika mechanického prostředí převozní lodi

Autor: LEBEAU Roger

Zdroj: DGA/DME/LRBA

Odkaz č.: E.T. No:82/94/ECM

Datum: červen 1994

Stránky: 191

A.2.2 Úkol/Lod'

Námořní přeprava materiálu

A.2.3 Souhrn technických údajů

Popis prostředí pro různé rychlosti (20 kn, při vplutí a odplutí z přístavu)

**KAPITOLA 242**  
**ČÁST 242/5**  
**PŘEPRAVA ZA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	76
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	76
2.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	76
2.2 KOLOVÁ VOZIDLA.....	77
2.3 PÁSOVÁ VOZIDLA.....	77
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	78
3.1 MECHANISMY SELHÁNÍ .....	78
3.2 KOLOVÁ VOZIDLA .....	78
3.3 PÁSOVÁ VOZIDLA.....	79
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	79
4.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	79
4.2 KOLOVÁ VOZIDLA.....	79
5 ODVOZENÍ ÚROVNÍ ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	80
5.1 KOLOVÁ VOZIDLA.....	80
5.2 PÁSOVÁ VOZIDLA.....	80

## **ČÁST 242/5**

### **PŘEPRAVA ZA PŘEDSUNUTOU ZÁKLADNU**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál během přepravy za předsunutou skladovací základnu. Zahrnuje zejména podmínky prostředí, které se mohou vyskytnout během přepravy kolovými vozidly v podmínkách nekvalitních cest a v terénu. Zahrnuje také přepravu pásovými vozidly, jako jsou například obrněné transportéry (APC). V části jsou popsány zdroje a charakteristiky mechanických prostředí a je poskytnuta informace o potenciálních škodlivých účincích, nápravných opatřeních a je-li to vhodné, o výběru odpovídající zkušební metody podle AECTP-400. Tato část také poskytuje informaci o odvození náročnosti zkoušek z naměřených údajů.

Tato část se zabývá pouze pozemní přepravou, protože mechanická prostředí, jimž je materiál vystaven při vzdušné přepravě, při námořní nebo železniční přepravě za předsunutou základnu, jsou v podstatě stejná s těmi, která byla pojednána při přepravě na předsunutou základnu. Pro specifické informace o mechanických prostředích, jimž je vystaven materiál a které se vyskytují až po předsunutou základnu, jsou uvedeny odkazy v částech 242/1, 242/2, 242/3 a 242/4 pro silniční, železniční, vzdušnou a námořní přepravu v uvedeném pořadí.

Pro pozemní přepravu za předsunutou základnu budou procedurální omezení minimální a tudíž pohyby vznikající jako výsledek přepravy volného, nebo neupevněného nákladu jsou mnohem pravděpodobnější.

Pro účel této části je materiál, který je vystaven přepravnímu prostředí, přepravován jako nechráněný materiál nebo s určitou formou ochrany, v obalu nebo v kontejneru. Náklad se může skládat z jedné, nebo více položek materiálu. Není-li stanoveno jinak, popis prostředí a náročnost zkoušení se vztahuje ke styčné ploše mezi nosným vozidlem a nákladem. Všechny osy se vztahují k osám vozidla.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Všeobecná ustanovení**

2.1.1 Přeprava za předsunutou základnu může používat kvalitní silnice, ale musí se počítat s tím, že přeprava se stejně tak může konat na velmi špatných nebo poškozených silničních površích, po nerovných cestách nebo v neupraveném terénu. Všechny tyto podmínky jsou schopny vytvářet dynamické reakce závažnější než ty, které se objeví během běžné silniční přepravy. Navíc mohou být použity určité typy vozidel, které nejsou obvykle používány pro normální přepravu, jako například pásová vozidla.

2.1.2 Náklady přepravované s omezenými upevňovacími systémy zahrnujícími pásy, provazy atd. nejsou schopné zabránit srážkám a nárazům. Pro takovéto náklady je rozumné předpokládat, že náklad je jednak dostatečně dobře připevněn k vozidlu, aby přejímal vibrace a rázy, tak nedostatečně upevněn, aby byly umožněny nárazy a srážky.

## 2.2 Kolová vozidla

- 2.2.1 Přeprava po nerovných, nebo poškozených silnicích v porovnání s přepravou po silnicích s normálním povrchem změní relativní podíly dynamických reakcí vznikajících působením různých mechanismů a zdrojů při porovnání s těmito jevy projevujícími se během přepravy na silnicích s normálním povrchem. Zejména vážně poškozené silniční povrchy způsobí mnohem větší svislé pohyby při nízkých frekvencích (pérování). Navíc kvalita poškozeného povrchu silnice bude vytvářet závažnější přechodové reakce. Obrázky 1 – 3 ukazují vliv přepravy po špatných silnicích (špatná betonová vozovka při 24 km/h-nejvyšší rychlost při použití 10 tunového vozidla 4x4). Tyto obrázky se mohou porovnat s obrázky v části 242/1 pro normální silnici (jsou naměřeny na tomtéž vozidle se stejným řidičem a stejným nákladem). Obzvláště je třeba zdůraznit nárůst úrovně náročnosti při nízkých frekvencích a kolísání hustoty pravděpodobnosti vyvolané přechodovými jevy s vysokou amplitudou a nízkým výskytem.
- 2.2.2 Přeprava mimo vozovky v nezpevněném terénu zhorší podmínky uvedené v předchozím odstavci. Úroveň nízkofrekvenčních reakcí se zvýší v důsledku nerovné povahy terénu. Z téhož důvodu se také zvýší počet a amplituda přechodových jevů. Rychlost vozidla se pravděpodobně sníží v důsledku extrémních pohybů. Podíl vyšších frekvencí (tj. způsobených dynamickými charakteristikami vozidla, motorem, převody, atd.) se také sníží v důsledku extrémních pohybů.
- 2.2.3 Použití přívěsů mimo zpevněné a nepoškozené komunikace bude vytvářet ve většině případů dynamické reakce nákladu v podstatě stejné jako ty, které se budou projevovat na samotném vozidle. Avšak v případě, kdy jsou používány přívěsy s nižší hmotností a s méně dokonalým systémem zavěšení kol, mohou být reakce výrazně silnější než reakce na samotném vozidle.

## 2.3 Pásová vozidla

- 2.3.1 Plný popis charakteristik a mechanismů buzení vyvolávajících dynamické reakce v pásových vozidlech při jízdě po běžných silnicích je uveden v části 245/1.
- 2.3.2 Během přepravy na nerovných a špatných vozovkách budou účinky článků pásu na reakci nákladu méně výrazné, nízkofrekvenční posuny a úroveň přechodných reakcí narostou. Tato zvýšení jsou větší než zvýšení u kolových vozidel v důsledku méně propracovaných systémů pérování a schopnosti pásových vozidel dosahovat na těchto površích vyšších jízdních rychlostí.
- 2.3.3 Během přepravy mimo komunikace a v terénu vlivy uspořádání pásu v podstatě zmizí. Zvýší se však nízkofrekvenční posuny a přechodné reakce. Přechodné reakce budou velmi závažné zejména v případě, kdy závěsný systém dosedne na nejnižší úroveň. Schopnost pásových vozidel pohybovat se mimo vozovky a v terénu velkou rychlostí tyto reakce zvýrazňuje.
- 2.3.4 Poznatky týkající se přepravy materiálu pásovými přívěsy jsou v podstatě stejné jako u kolových vozidel.

### **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

#### **3.1 Mechanismy selhání**

Mechanická prostředí vznikající během přepravy materiálu za předsunutou základnu mohou vyvolávat řadu mechanismů potenciálního selhání. Tyto mechanismy mají často vztah buď k posunům materiálu, nebo jsou důsledkem zátěže vznikající v důsledku zrychlení. Posuny vyvolané uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které naopak mohou vyústit v nárazy mezi jednotlivými částmi materiálu, přetržení tahem a uvolnění konektorů. Závady související se zrychlením mohou vzniknout během působení setrvačného zatížení. Toto zatížení může působit jednou a vytvoří poruchu v důsledku překročení mezních hodnot nebo opakovaně a vytvoří únavovou poruchu. Poruchy, které vznikají v důsledku rychlosti, jsou značně neobvyklé. Aplikace rychlostní zátěže na některá elektrická zařízení a určité druhy senzorů však může vyvolat rušivá napětí. Tato naopak mohou vést ke vzniku funkčních poruch.

#### **3.2 Kolová vozidla**

- 3.2.1 Vibrace: Pro mnohé náklady může být vibrační prostředí vznikající v důsledku silniční přepravy mnohem náročnější, než jakému jsou obvykle vystaveny. Pokud je však materiál během přepravy zabalen, bude pravděpodobně existovat určitý stupeň ochrany. Bohužel tato ochrana je obvykle určena, aby chránila materiál spíše před rázy než před vibracemi. V důsledku toho se v některých konstrukčních typech obalů může vyskytnout podstatné zesílení buzení určitých módů vibrací. Vzhledem k tomu, že tyto módy mají obvykle nízkou frekvenci (10-50 Hz), mohou se vyskytnout závažné posuny a rychlostní amplitudy. V důsledku toho může dojít k narážení materiálu uvnitř obalu. Takové pohyby mohou být dále zesíleny v důsledku korelace mezi vertikálním, kývavým a valivým buzením vozidla. Jestliže se vyskytne buzení materiálu uvnitř jeho balení s frekvencí nižší než 20 Hz, je nutno zvážit možnost vazby těchto vibrací s vibracemi způsobenými zavěšením kol vozidla.
- 3.2.2 Rázy: Obvykle nemá amplituda jakýchkoliv rázů vznikajících ze špatných povrchů vozovek žádný zvláštní význam. Většina přechodných dynamických energií může však být pod frekvenčním rozsahem, v němž jsou účinná protinárazová upevnění nákladu. Tato situace nastane, jestliže hlavní části buzení budou na frekvenci zavěšení kol vozidla. V důsledku toho může být zařízení vystaveno přechodovým jevům bez jakékoliv účinné ochrany.
- 3.2.3 Nárazy a srážky: Pro většinu volných, nebo lehce upevněných obalů má dobře navržený ochranný systém (nebo obal) výrazně tlumit většinu účinků nárazu vznikajících od vzájemných nárazů a srážek. Navíc, obecně, amplituda přechodových jevů bude méně závažná než ta, která se pravděpodobně vyskytne v důsledku nevhodné manipulace, například při shoení. Náklad však může být vystaven značnému počtu takových přechodových jevů, v důsledku čehož může dojít ke vzniku únavové závady se středním cyklem. Po opakovaných nárazech může dojít k trvalé deformaci, nebo poškození samotného obalu. Takové poškození může naopak vyvolat větší zatížení materiálu.

### **3.3 Pásová vozidla**

- 3.3.1 Vibrace: Jak amplituda, tak vlastnosti vibrací vznikajících v důsledku běhu pásu, jsou výrazně odlišné od vibrací vznikajících během přepravy kolovými vozidly. Frekvenční rozsah, v němž se projevují hlavní reakce, zahrnuje vibrační režimy mnoha balení. Existence možnosti buzení balení některým ze způsobů vibrace je dostatečně velká, aby vyvolala výraznou reakci materiálu.
- 3.3.2 Ráz: Potenciální škodlivé účinky rázu vznikající během přepravy pásovými vozidly jsou podobné těm, které se projeví při přepravě kolovými vozidly.
- 3.3.3 Nárazy a srážky: Potenciální škodlivé účinky nárazů a srážek během přepravy pásovými vozidly jsou podobné těm, které se projeví při přepravě kolovými vozidly.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Všeobecná ustanovení**

- 4.1.1 Možnosti: K dispozici jsou obecně tři možnosti simulace prostředí silniční přepravy, tj. ve zkušební laboratoři s využitím vibrátoru, v terénu s využitím vhodných zkušebních drah, nebo na skutečných silničních površích za skutečných podmínek. Simulace prostředí v laboratoři má výhodu v tom, že umožňuje provést simulaci v definovaných a kontrolovaných podmínkách. Navíc, zkoušení v laboratoři umožňuje snížit dobu zkoušek, snížit náklady v důsledku vyloučení činnosti vozidla a zvýšit bezpečnostní standardy (obzvláště při zkoušení munice). Simulace využívající zkušebních drah, nebo skutečných silničních podmínek může být vhodnější pro velké a obtížně manipulovatelné náklady a je nezbytná v případě, kdy náklad výrazně reaguje na dynamiku nosného vozidla.
- 4.1.2 Laboratorní zkoušky: Simulace prostředí v laboratoři je obvykle vhodná pro všechny, kromě největších nákladů.
- 4.1.3 Zkušební dráhy: Vzhledem k obtížnosti vytvoření nejhorších možných silničních podmínek, se používají často standardní zkušební dráhy. K dispozici je značné množství zkušebních drah. Ne všechny jsou určeny k simulaci silniční přepravy, některé jsou určeny ke zkoumání aspektu manipulace s vozidlem a spolehlivosti. Je tedy při výběru vhodných povrchů nutno dbát na to, aby byly zajištěny reprezentativní reakce nákladu. Nárazy a srážky s vysokou amplitudou mohou být vyvolány v množství o několik řádů větším, než lze očekávat v běžném provozu. U některých nákladů a materiálu může v důsledku toho dojít ke vzniku poruch, které se pravděpodobně v praxi neprojeví.
- 4.1.4 Silniční zkoušky: Zkoušky provedené na veřejných silnicích mají výhodu v tom, že představují skutečné podmínky. Problém použití skutečných silničních podmínek je v tom, že rychlost vozidla a manévrování jsou ovlivněny běžnými dopravními podmínkami.

### **4.2 Kolová vozidla**

- 4.2.1 Laboratorní zkoušení vibrací: Je-li vyžadována zkouška specificky simulující vibrace při přepravě kolovými vozidly, doporučuje se vibrační zkouška s použitím širokopásmových náhodných vibrací. Zkušební postup má být

takový, jaký je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902). Použitá úroveň bude záviset na tom, zda doprava je omezena na špatné a poškozené vozovky nebo zahrnuje i přepravu mimo vozovek a v terénu.

- 4.2.2 Zkoušení „Volného nákladu“: Zkouška „Volného nákladu“ má významný historický precedent, jako realistická zkouška minimální robustnosti zařízení. Jako zkouška robustnosti je použitelná pro všechny typy kolových vozidel, které budou pravděpodobně použity pro přepravu materiálu za předsunutou základnu, stejně jako pro určité typy pásových vozidel (OT atd.). Je vhodná pro špatné a poškozené vozovky, stejně jako pro podmínky přepravy mimo vozovky a v terénu. Má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 406 – Volně ložený náklad (ČOS 999902).
- 4.2.3 Laboratorní zkoušení rázu: Zkouška má být provedena navíc ke zkoušce volného nákladu. Pokud však zkouška volného nákladu není použitelná (např. pro velké náklady, obvykle dobře zajištěné), musí být pak vibrační zkoušky doplněny zkouškami na přechodové jevy. Existuje několik povolených alternativních zkoušek:
- a. Zkouška základního rázu: Tato zkouška využívá postup z AECTP-400, Metoda 403 (ČOS 999902).
  - b. Zkouška rázového reakčního spektra: Tato zkouška využívá postup z AECTP-400, Metoda 403 (ČOS 999902).
- 4.2.4 Zkouška statického zrychlení: Úrovně ustáleného zrychlení, jimž jsou vystaveny náklady během přepravy, jsou obvykle zahrnuty v úrovních vyvolaných jinými prostředími.

## **5 ODVOZENÍ ÚROVNÍ ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

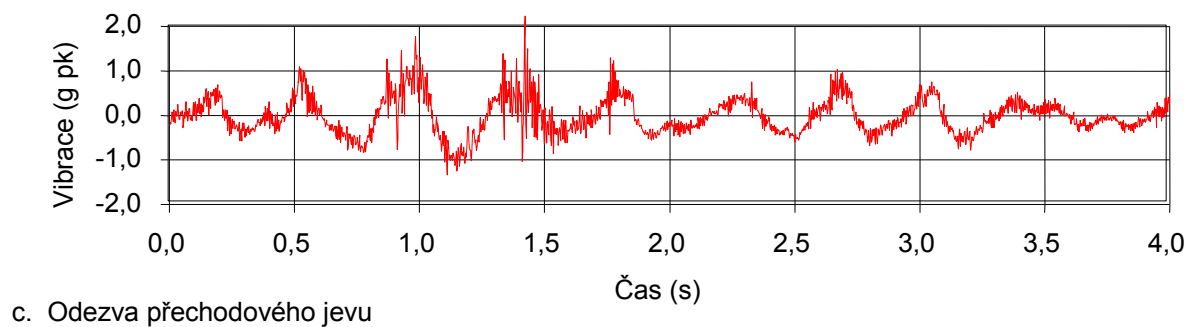
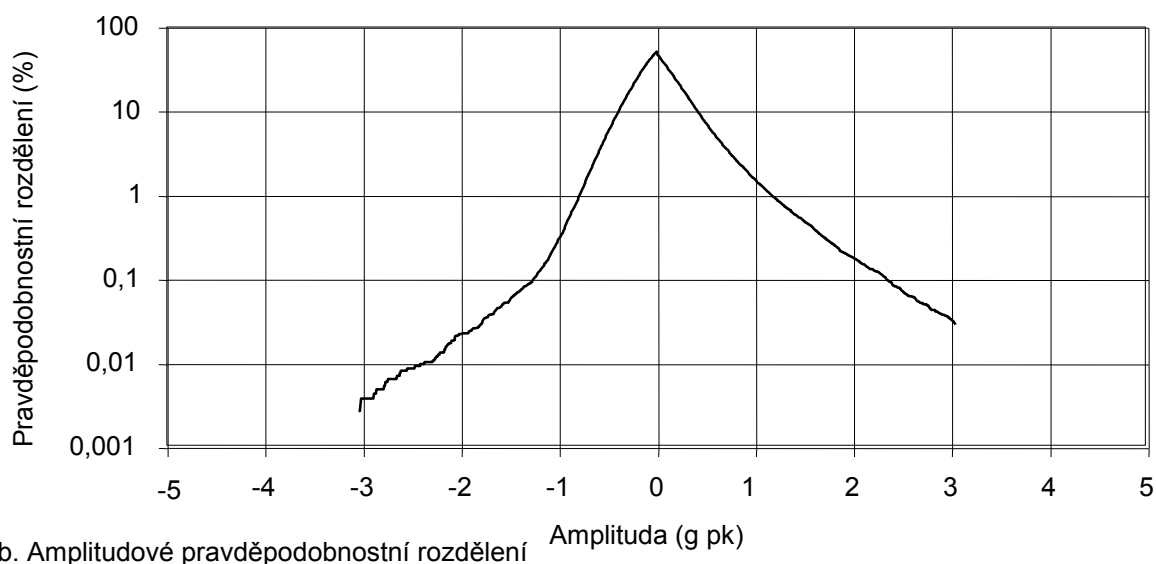
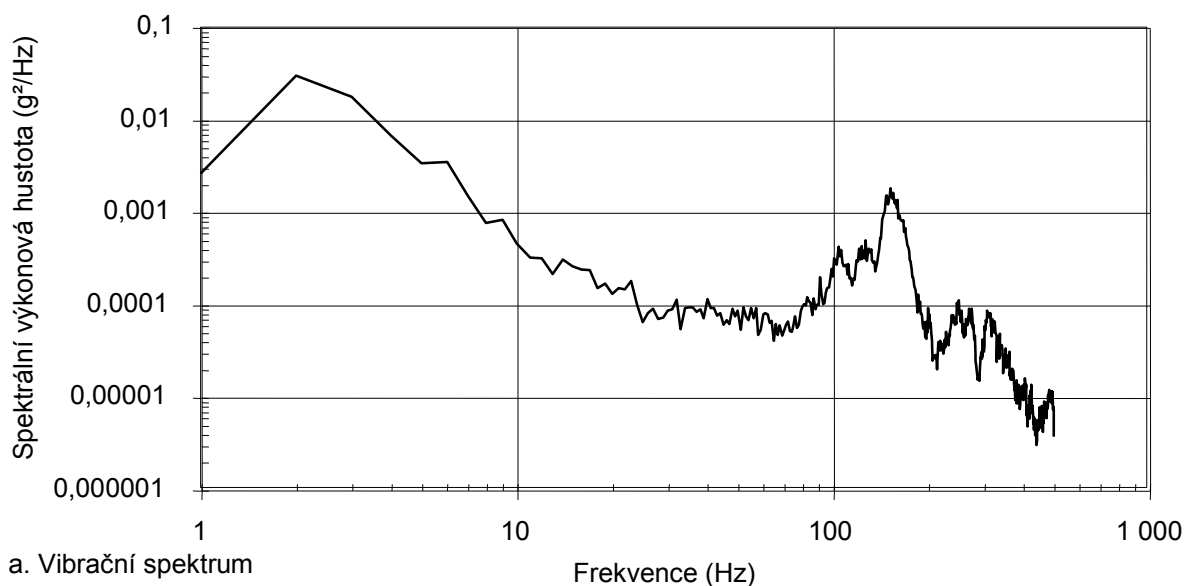
### **5.1 Kolová vozidla**

- 5.1.1 Vibrační, rázové a přechodové jevy: Existuje značná řada možností pro výběr vhodných metod pro zpracování naměřených vibračních údajů jak pro kolová, tak pásová vozidla. Společný postup pro kolová silniční vozidla je uveden v části 245/2.
- 5.1.2 Nárazy a srážky: Protože úrovně zkoušek pro zkoušku nárazů a srážek nelze přizpůsobit, je nevhodné odvozovat úroveň náročnosti zkoušky z naměřených údajů.

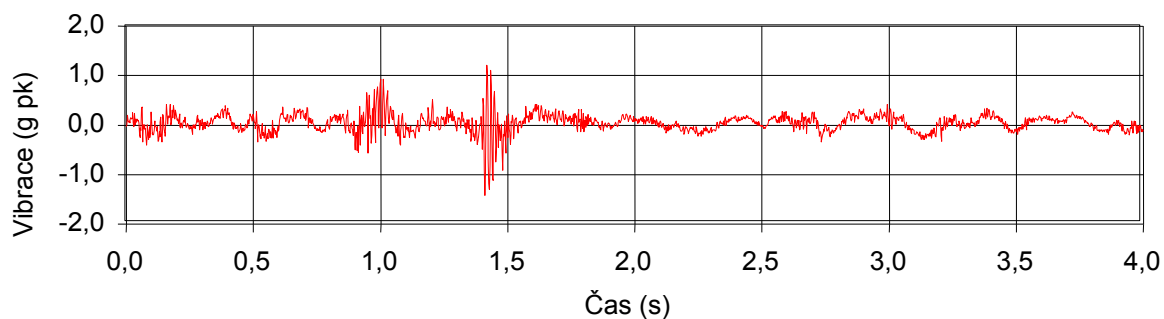
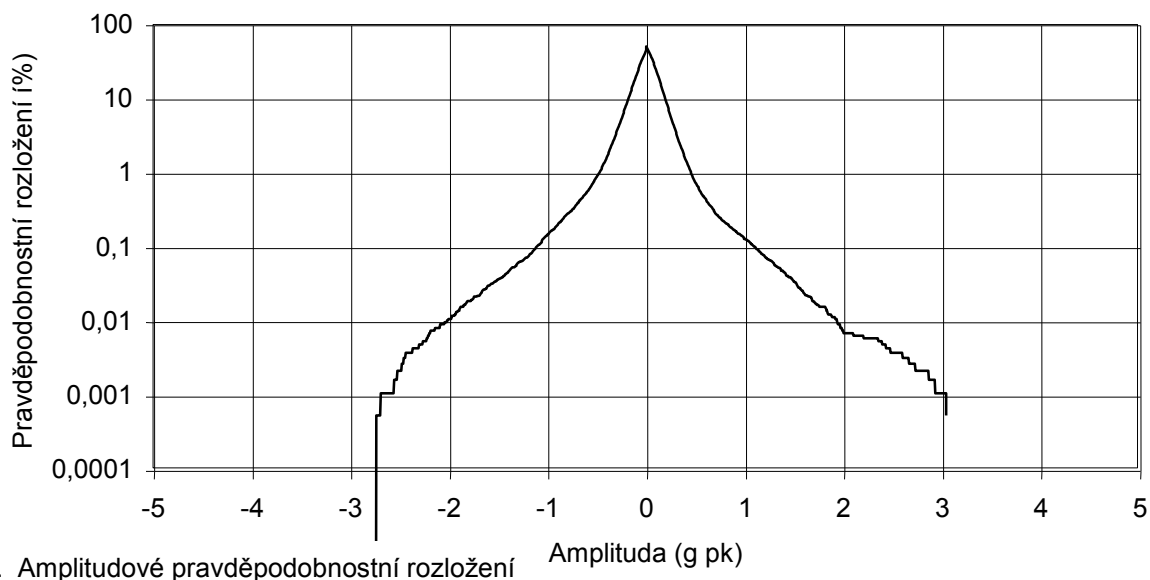
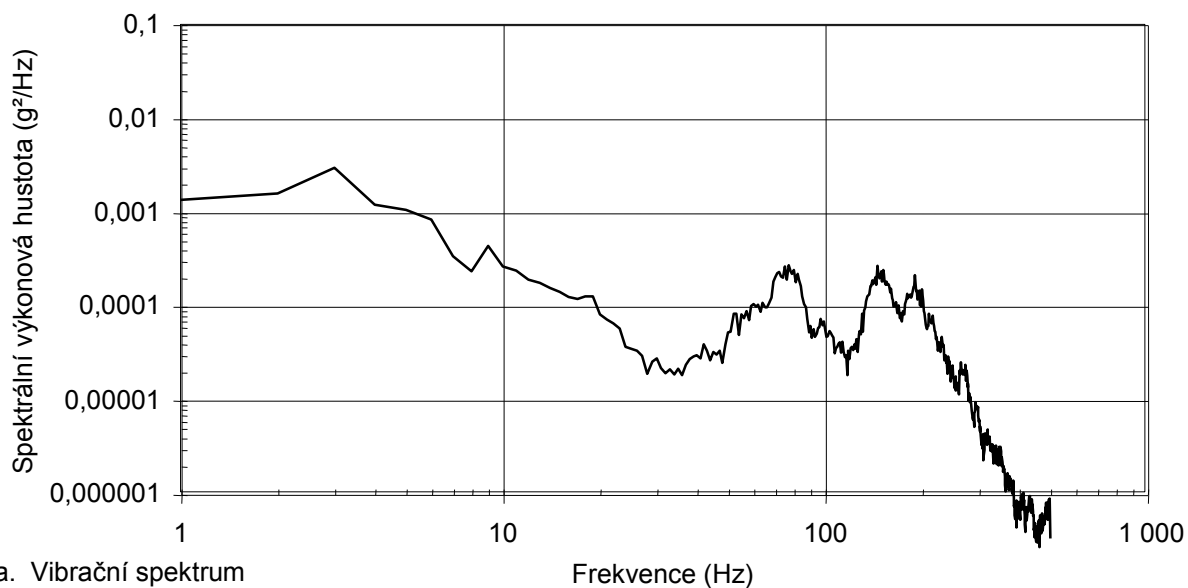
### **5.2 Pásová vozidla**

- 5.2.1 Vibrační, rázové a přechodové jevy: Informace o odvození úrovní zkoušek z naměřených údajů pro pásová vozidla jsou uvedeny v části 245/1.
- 5.2.2 Nárazy a srážky: Protože úrovně zkoušek pro nárazy a srážky nelze přizpůsobit, je nevhodné odvozovat úrovně zkoušek z naměřených údajů.

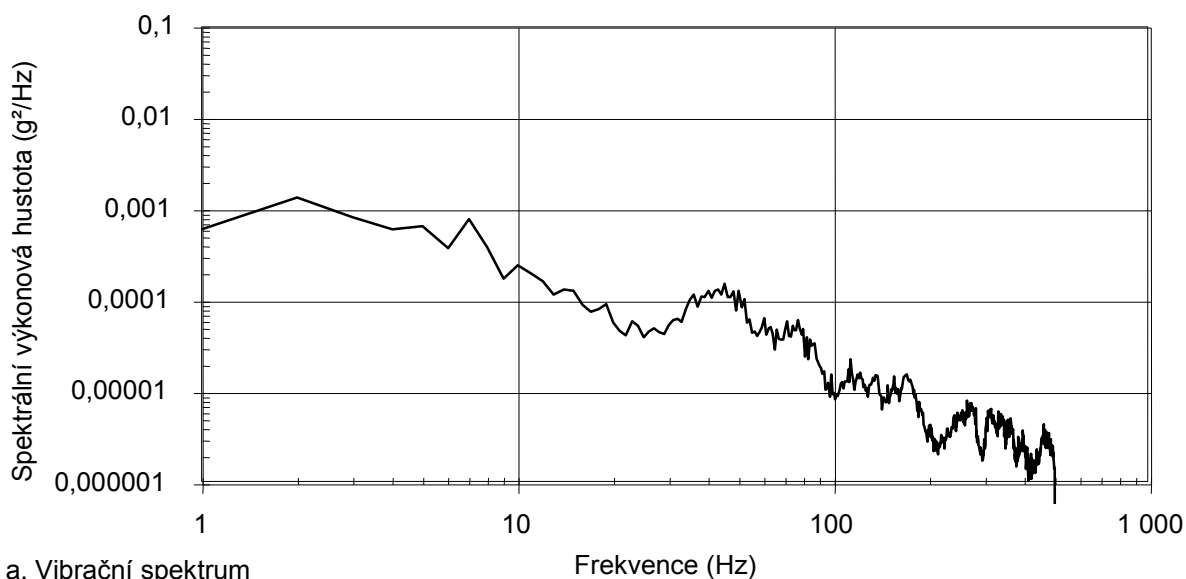




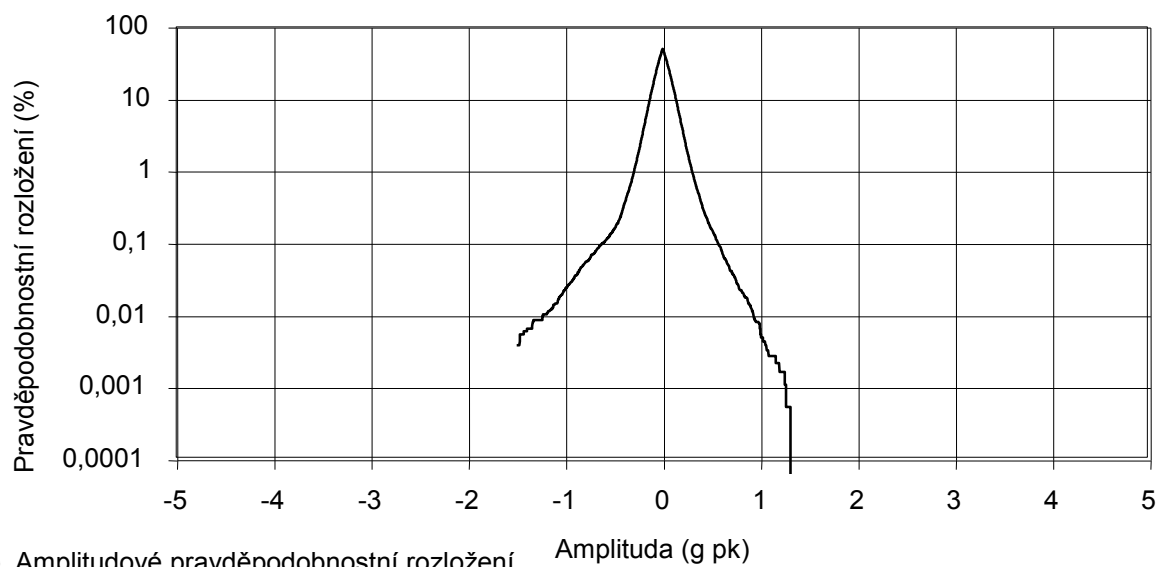
**OBRÁZEK 1 – Příklad vibrací odezvy ve svislé ose měřené během přepravy po nerovné silnici**



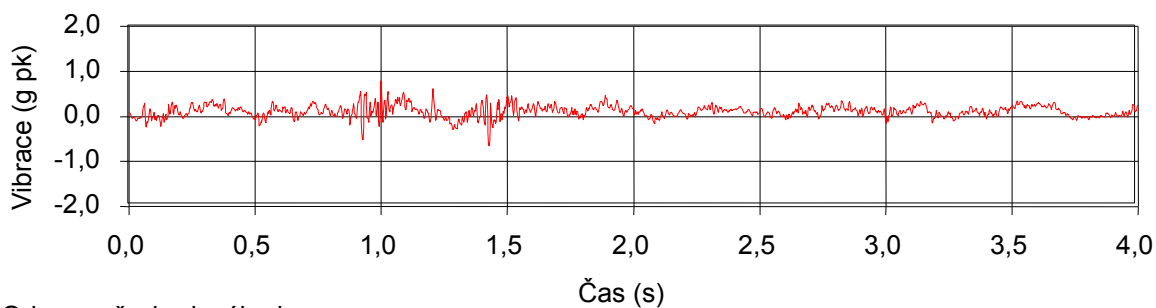
**OBRÁZEK 2 – Příklady vibračních odezví v příčné ose měřené během přepravy na nerovné silnici**



a. Vibrační spektrum



b. Amplitudové pravděpodobnostní rozložení



c. Odezva přechodového jevu

**OBRÁZEK 3 – Příklady vibračních odezev v podélné ose měřené během přepravy po nerovné silnici**

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 242/5

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 243**  
**ČÁST 243/1**  
**MANIPULACE**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	86
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	86
2.1 VYSOKOZDVIŽNÉ VOZÍKY .....	86
2.2 ZDVIHÁNÍ A ZVEDÁNÍ.....	86
2.3 VNITROZÁVODOVÁ DOPRAVA .....	87
2.4 HRUBÁ MANIPULACE .....	87
2.5 SPECIÁLNÍ MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....	87
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	88
3.1 ZPŮSOBY PORUŠENÍ MATERIÁLU .....	88
3.2 RÁZY A PŘECHODOVÉ JEVY .....	88
3.3 VIBRACE .....	88
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	88
4.1 RÁZY A PŘECHODOVÉ JEVY .....	88
4.2 VIBRACE .....	88

## ČÁST 243/1 MANIPULACE

### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, které se může vyskytnout během manipulace s materiálem. Zahrnuje podmínky manipulace související s přepravou a odpovídajícími logistickými přesuny a tedy také ty, které souvisí s instalací a provozním použitím. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí. Během přepravy je materiál obvykle zabalen, zatímco během instalace je materiál obvykle v nezabaleném stavu a jako takový je relativně zranitelný.

Pro účely této části se může materiál skládat z nechráněného zařízení, nebo zařízení převáženého v nějaké formě ochrany, balení nebo kontejneru. Jeden kontejner může obsahovat jednu, nebo několik položek materiálu.

Ačkoliv pro většinu materiálu je mechanické prostředí, jemuž je vystaven během manipulace, relativně neškodné, pro citlivý materiál, který má být používán v pevných instalacích, mohou být tato prostředí náročnější, než jakým bude kdy vystaven.

Rozsah mechanických prostředí, kterým může být vystaven citlivý materiál během manipulace, je často omezen speciálními postupy nebo použitím speciálního manipulačního zařízení, nebo ochranných zařízení.

Je nepraktické zabývat se celým rozsahem činností, které se mohou ve vztahu k materiálu použít. Následující popisné informace se tedy vztahují pouze k nejobvyklejším způsobům manipulace.

### 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

#### 2.1 Vysokozdvížené vozíky

2.1.1 Některá dynamická prostředí mohou vzniknout při manipulaci pomocí vysokozdvížných vozíků. Patří sem rázy spojené se zvedáním a pokládáním a vibrace během vertikálního pohybu vidlic vozíku. Obecně jsou tato prostředí neškodná. Mnohem větší význam mají přechodné dynamické pohyby, které mohou vzniknout, když vysokozdvížný vozík přejíždí nerovné povrchy. I když lze specifikovat maximální rychlost takových činností vozíku, v praxi je nesnadné toho dosáhnout.

2.1.2 I když se zdá, že typ a velikost zdvižného vozíku a míra naložení mají určitý vliv na přechodné reakce, jejich účinky nejsou vůbec významné. Obrázek 1 ukazuje obalové rázové reakční spektrum ve třech osách pro čtyři různé zdvižné (americké) vozíky. Protože většina zdvižných vozíků má pouze malá kola a je vybavena pouze nejjednodušším systémem pérování, není překvapivé, že dynamické pohyby, jimž je vystaven materiál během provozu zdvižného vozíku, často nemají Gaussovo rozdělení.

#### 2.2 Zdvihání a zvedání

Během zvedání mohou úrovně zrychlení a zpomalení materiálu dosáhnout přibližně 2 g. Ve většině případů mohou být tyto podmínky považovány za kvazistatické zatížení.

## 2.3 Vnitropodniková doprava

Provoz uvnitř podniku může obsahovat použití kolových vozidel nebo přívěsů. Obvykle je takováto doprava prováděna omezenými rychlostmi a na dobrých površích a tudíž jsou úrovně zatížení obvykle neškodné. Práce z nedávné doby však ukázaly, že v některých obchodních zařízeních, jako jsou například letiště, může dojít k vyšším než očekávaným úrovním zatížení. Tyto úrovně narostly zejména tehdy, jestliže rychlosti vnitropodnikové přepravy byly vyšší než očekávané, ale byly obecně nižší než ty, které se vyskytnou při silniční přepravě.

## 2.4 Hrubá manipulace

2.4.1 Příprava materiálu pro provozní použití a samotné provozní použití poskytuje značné možnosti pro hrubou manipulaci. V tomto stadiu je materiál často nechráněn a je vůči takové činnosti nejzranitelnější. Potenciální dopady hrubé manipulace mají být určeny podrobným zkoumáním odpovídajících částí technického života materiálu.

2.4.2 Jako obvyklý příklad hrubé manipulace se předpokládá, že zařízení může být shozeno z pracovního stolu nebo při přenášení člověkem (z výšky 0,7 až 1 m). Je však nepravděpodobné, že většina materiálu přežije takový shoz bez vážného (a zřejmého) poškození. Navíc je zřejmé, že takovým způsobem mohou být shozeny pouze malé položky materiálu a je obvykle obtížné podrobit velké nebo těžké položky materiálu hrubé manipulaci v tomto rozsahu.

2.4.3 Jednou z metod určení náročnosti hrubé manipulace je stanovení výšky shozu, která právě způsobí viditelné externí poškození. Důvodem je to, že viditelné externí poškození bude před tím, než bude zařízení předáno do provozního používání, vyžadovat úplnou kontrolu provozuschopnosti.

## 2.5 Speciální manipulační zařízení

2.5.1 Speciální manipulační zařízení, jako například většina forem balení, jsou v první řadě určena pro ochranu materiálu proti manipulačnímu prostředí. Tento typ manipulačního zařízení není v této části dále zvažován. Další speciální manipulační zařízení, jako jsou vozíky, jsou používány pro logistické a přepravní účely.

2.5.2 Přejížděcí reakce S-vozíku z Velké Británie, používaného pro přesun materiálu na letištích, jsou zobrazeny na obrázcích 2 a 3. Tyto obrázky ukazují reakce vznikající při přejezdu typických letištních překážek, jako jsou přistávací světla při rychlosti 5 a 10 mil/h a také účinky trhavých startů a nouzových zastavení tažného vozidla.

2.5.3 Vozíky mohou při nesprávném použití vyvolat za některých okolností výrazné vibrace a nárazy. Jedním z dobře známých příkladů je použití vozíku při nakládání torpéd pod vrtulníky (pro podmínky AČR je typickým příkladem přeprava a instalace vybavení pro letouny). Výšková omezení pro tyto vozíky umožňují používat pouze jednoduché závěsné systémy. Výšková omezení kladená...pérování. V důsledku nesprávného pohybu těchto vozíků přes nerovnosti dochází k buzení výrazných dynamických rázů.

### **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

#### **3.1 Způsoby porušení materiálu**

Mechanická prostředí vznikající během manipulace s materiálem mohou způsobit značný počet závad. Nejvýznamnější souvisí buď s posuny probíhajícími v materiálu, nebo vznikají v důsledku zatížení zrychlením. Posuny vyvolané uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které naopak mohou vyvolat kolize mezi zařízeními, přetržení tahem nebo uvolnění konektorů. Poruchy související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku působení setrvačného zatížení. To může působit jednou a vyvolat poruchu v důsledku překročení limitní hodnoty nebo opakovaně a vyvolat únavovou poruchu. Poruchy vznikající v důsledku rychlosti nejsou běžné. Avšak zatížení v důsledku působení rychlosti na některá elektrická zařízení nebo na některé druhy senzorů může vyvolat rušivá napětí, která naopak mohou vést k funkčním poruchám.

#### **3.2 Rázy a přechodové jevy**

Nejzávažnější mechanické aspekty manipulace jsou obvykle spojeny s rázy a přechodovými jevy vznikajícími v důsledku hrubé manipulace a zejména v případech shoení (pádu) materiálu. Takovéto případy mohou způsobit lokální strukturální poškození a vnitřní lomy. Pokud však je balení nebo zařízení na dopadové ploše velmi tuhé, pak může dojít k poškození vnitřního zařízení nebo konstrukce v důsledku zatížení zrychlením. Během pádu může dojít k výrazným posunům materiálu, což může způsobit náraz materiálu do vnitřní strany obalu.

#### **3.3 Vibrace**

Pro většinu nákladu je vibrační prostředí vznikající v důsledku manipulace méně závažné než to, jemuž bude materiál vystaven během přepravy. Je však pravděpodobné, že většina balení je určena k tomu, aby spíše než před vibracemi chránila materiál před nárazy. V důsledku toho může u některých typů balení dojít k výraznému zesílení vybuzení při nízkých frekvencích (10 – 50 Hz), které může vzniknout v materiálu narážejícím na vnitřní stranu balení.

### **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

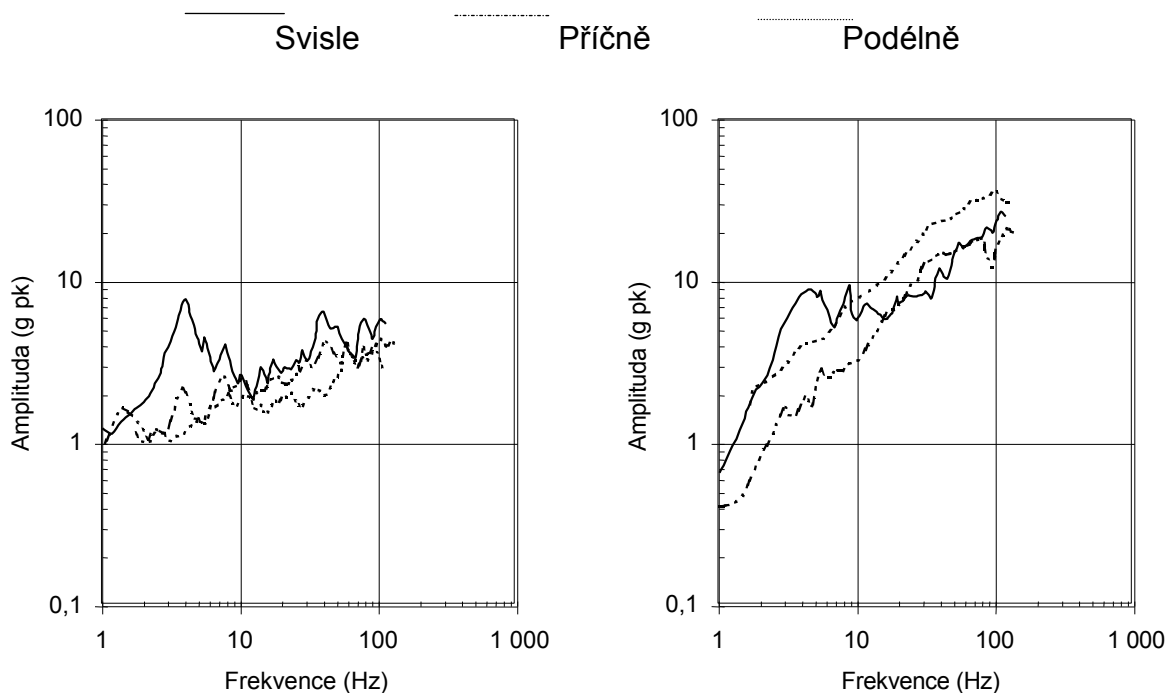
#### **4.1 Rázy a přechodové jevy**

Zkoušky obvykle prováděné pro podchycení rázů a přechodových jevů spojených s manipulací jsou specifikovány v AECTP-400, Metoda 403 – Rázové zkoušení. Navíc v případech, kdy materiál je připevněn řemeny nebo zvedán, je nutno zvážit také Metodu 424 – Skladování a přeprava materiálu v AECTP-400.

#### **4.2 Vibrace**

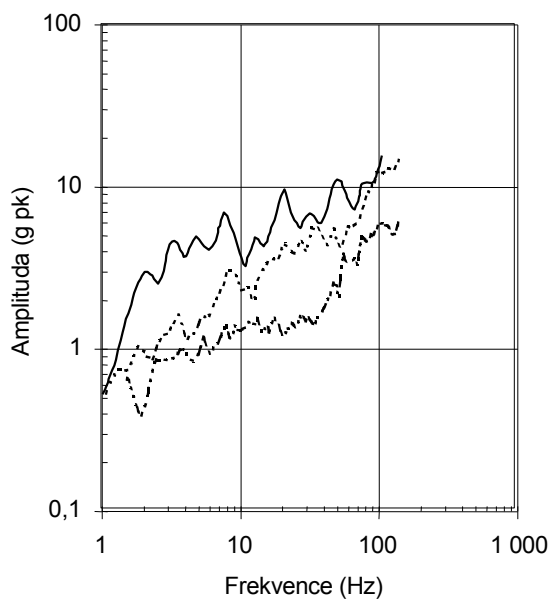
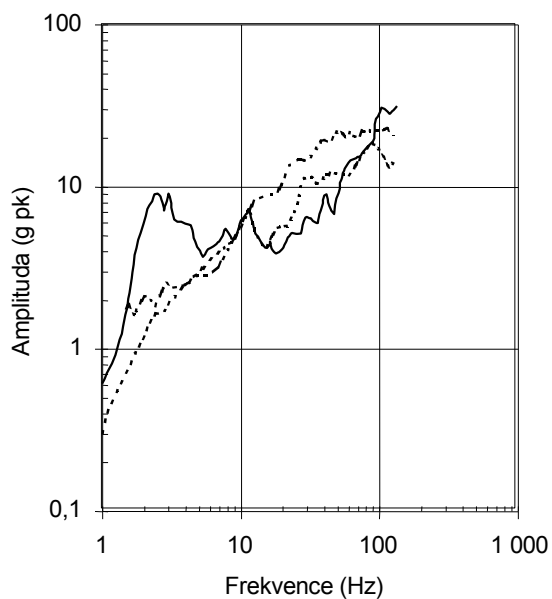
Je nezvyklé vybírat zkušební metody pouze pro vibrační složky manipulačního prostředí. Ve většině případů jsou tyto vibrace zahrnuty v testech určených pro podmínky silniční přepravy, viz část 242/2.





a. vysokozdvizný vozík o nosnosti 1 t

b. vysokozdvizný vozík o nosnosti 1,5 t



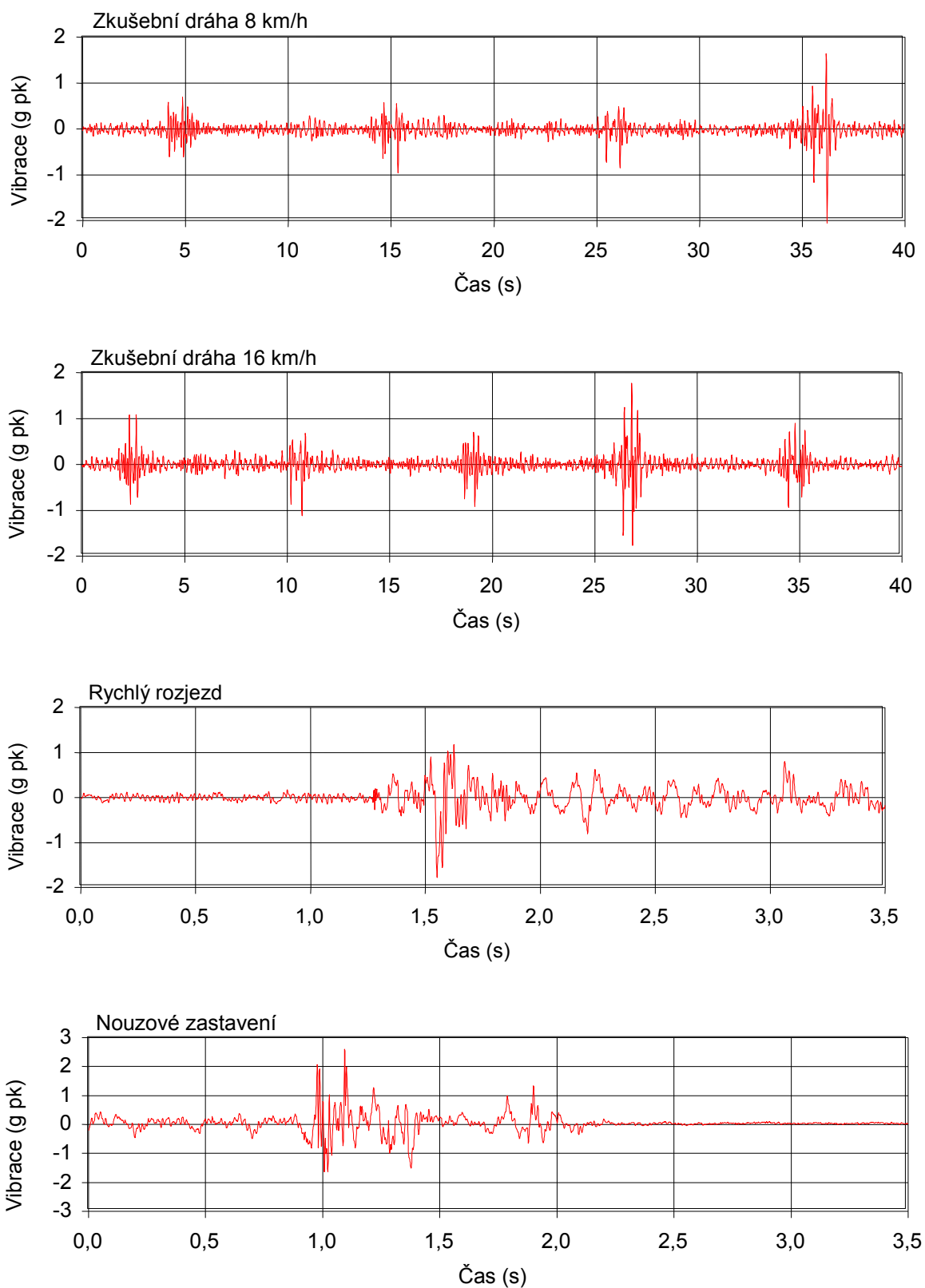
c. vysokozdvizný vozík o nosnosti 2 t

d. vysokozdvizný vozík o nosnosti 3,5 t

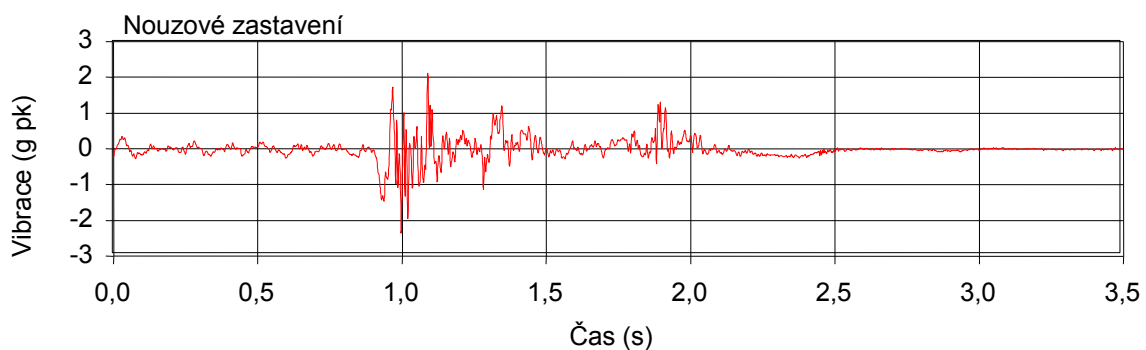
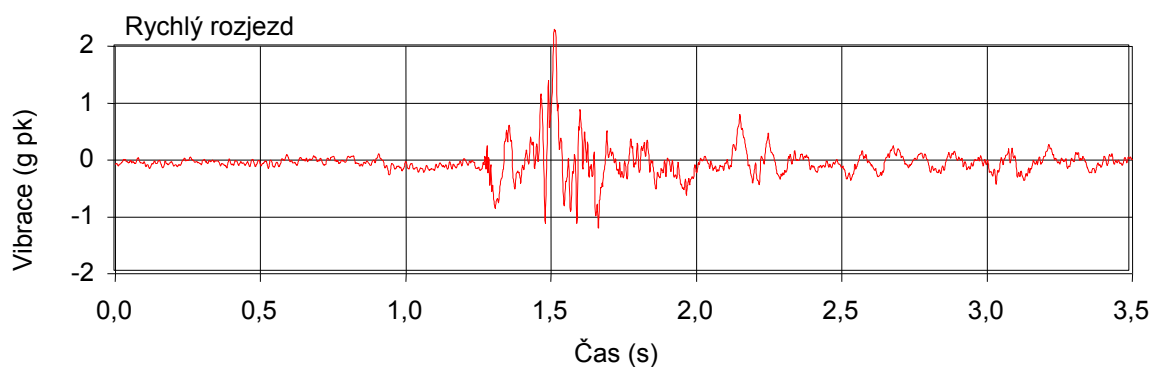
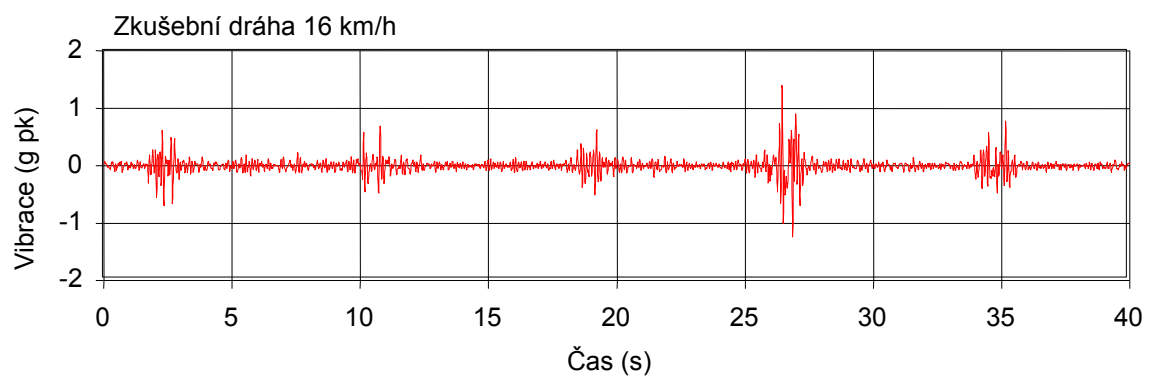
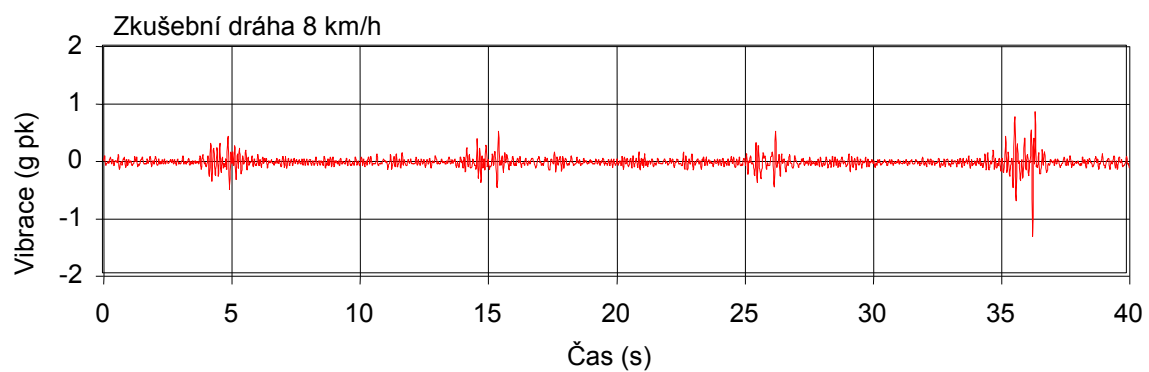
**POZNÁMKA**

Všechna spektra rázové odezvy jsou vypočítána s použitím  $Q = 16,667$ .

**OBRÁZEK 1 – Spektrum rázové odezvy pro přechodové jevy měřené na čtyřech vysokozdvizných vozících**



**OBRÁZEK 2 – Svislé odezvy z letištního S-vozíku měřené nad zadní nápravou**



**OBRÁZEK 3 – Podélné odezvy letištního S-vozíku měřené nad zadní nápravou**

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 243/1

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 243**  
**ČÁST 243/2**  
**SKLADOVÁNÍ**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	94
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	94
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	94
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	95

## ČÁST 243/2 SKLADOVÁNÍ

### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část se zabývá mechanickými prostředími, jimž může být vystaven materiál během skladování v zařízení, jako je například výrobní závod, skladiště, ochranný přístřešek, přepravní místo atd. Zahrnuje také skladovací podmínky kromě těchto zařízení, kde lze očekávat prostředí obvykle spojená s nasazením. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí. Tam, kde je to důležité, jsou uvedeny informace o výběru vhodné zkušební metody z AECTP-400.

Pro účel této části se může materiál skládat z nechráněného zařízení nebo zařízení přepravované v nějaké formě ochrany, balení nebo kontejneru. Kontejner může obsahovat jednu, nebo několik položek materiálu.

### 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

Mechanická zatížení mohou být během skladování vyvolána v důsledku:

- a. rozložení hmotnosti a tuhosti materiálu,
- b. povolené skladovací konfigurace pro materiál,
- c. nerovné podlahy a regálů, v nichž je materiál skladován,

Tato zatížení mohou být ošetřena pomocí kvazistatické analýzy a zkušebních metod.

Během skladování se nevyskytují žádná významná dynamická mechanická prostředí. Dynamická prostředí vznikající při manipulaci jsou předmětem části 243-1.

Ačkoliv stárnutí během skladování může způsobit mechanické poruchy materiálu, jako například trvalou deformaci těsnění a hnacích řemenů, není to samo o sobě mechanicky vyvolané prostředí.

### 3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY

Dále jsou uvedeny příklady problémů, které se mohou projevit, jestliže materiál a jeho obal jsou vystaveny kvazistatickému mechanickému zatížení vznikajícímu působením podmínek popsanych v odstavci 2.1.:

- a. porucha nebo posun konstrukčních složek,
- b. uvolnění šroubů, nýtů, držáků atd.,
- c. nepřijatelná deformace výplňových složek,
- d. zhoršení klimatické ochrany,
- e. poškození ochranných nátěrů.

#### **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

V AECTP-400 je zahrnuta Metoda 424 – Skladování a přeprava materiálu, pokrývající mechanická zatížení, kterým je materiál vystaven během skladování. Pokud se rozpoznají nějaké potenciální skladovací podmínky, které jsou horší než podmínky pokryté výše uvedenou metodou, pak se mají provést provozní měření, z nichž lze určit popis prostředí a náročnost zkoušek.

Jestliže se má za to, že materiál, který se má zkoušet, je citlivý vůči nepříznivým klimatickým podmínkám zahrnujícím teplotu, případně i vlhkost, pak je důležité, aby tyto zkoušky byly prováděny jako kombinované zkoušky v prostředí zahrnující odpovídající klimatické podmínky. Pro specifická prostředí a zkoušky viz AECTP-300.

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 243/2

(VOLNÁ STRANA)



**KAPITOLA 244**  
**ČÁST 244/1**  
**NESENÉ A PŘENOSNÉ MATERIÁLY**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	98
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	98
2.1 TAKTICKÁ POZEMNÍ PŘEPRAVA.....	98
2.2 TAKTICKÁ VZDUŠNÁ PŘEPRAVA .....	99
2.3 PŘENÁŠENÍ .....	99
2.4 NESENÝ MATERIÁL.....	100
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	100
3.1 ZPŮSOBY SELHÁNÍ .....	100
3.2 VIBRACE .....	100
3.3 NÁRAZY A SRÁŽKY .....	100
3.4 DOPAD .....	100
3.5 OHYB .....	100
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	101
4.1 TAKTICKÁ PŘEPRAVA .....	101
4.2 PŘENÁŠENÝ A NESENÝ MATERIÁL .....	101

## **ČÁST 244/1**

### **NESENÉ A PŘENOSNÉ MATERIÁLY**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven nesený a přenosný materiál (tj. materiál umístěný na osobách, nebo přenášený osobami). Podmínky zahrnuté do této části jsou takové, které se mohou vyskytnout za předsunutou skladovací základnou. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a tam, kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o potenciálních škodlivých účincích. Je uvedena informace o výběru odpovídající zkušební metody z AECTP-400.

Mechanická prostředí, jímž je vystaven přenosný materiál během taktické přepravy, zahrnují takové podmínky, které mohou vzniknout při provozu kolových vozidel jak při jízdě po silnici, tak mimo silnici. Zahrnují také podmínky, které se mohou vyskytnout v určitých typech pásových vozidel, jako například v obrněných transportérech. Mechanická prostředí uváděná v této části zahrnují také taktickou vzdušnou přepravu v letadlech a vrtulnících.

Většina podmínek, jímž je vystaven nesený materiál, je stejná a nerozlišitelná od těch podmínek, které se vyskytují u přenosného materiálu. Pouze za velmi speciálních okolností se budou podmínky mechanického prostředí, jímž bude vystaven materiál nesený, lišit od podmínek, jímž byl vystaven materiál přenosný. Navíc, za těchto specifických okolností, budou podmínky prostředí (při nesení) méně náročné, než podmínky, které se vyskytnou během jiné ruční manipulace.

Pro účely této části je materiál uvažovaný jako nechráněný svým obvyklým přepravním obalem nebo kontejnerem. Může být ale stále chráněn sekundárními systémy nebo "bojovými" ochrannými přípravky.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Taktická pozemní přeprava**

2.1.1 Podmínky prostředí, které vzniknou během taktické přepravy neseného a přenosného materiálu, jsou z mnoha hledisek podobné podmínkám, které se vyskytují během taktické přepravy. Navíc k tomu, že materiál je v podstatě nechráněn, není také pravděpodobně bezpečně upevněn na přepravním vozidle. Jakékoliv existující upevnění je pravděpodobně nedostačující k tomu, aby zabránilo nárazům a srážkám materiálu a v důsledku toho budou výsledné pohyby vytvářet hlavní dynamické reakce.

2.1.2 Ačkoli taktická přeprava může využívat kvalitní vozovky, je často nutná jízda po poškozených površích vozovek, po neupravených cestách, nebo ve volném terénu. Tyto špatné podmínky mohou vytvářet výrazně vyšší dynamické reakce. Navíc se mohou použít určité typy vozidel, které se obvykle pro běžnou přepravu nepoužívají, tj. např. obrněné transportéry.

2.1.3 Pro neupevněný náklad jsou nejhorší podmínky prostředí z pohledu rozsahu poškození ty, které vytvářejí relativně velké nízkofrekvenční posuny a rychlosti. Čím horší jsou povrchy vozovky a terénní podmínky, tím

závažnější jsou dynamické reakce. Tyto podmínky však také snižují rychlost vozidla a působí tedy v jistém rozsahu jako omezovací faktory reakčních amplitud:

- a. Kolová vozidla: Podmínky vyvolávající dynamické reakce v materiálu během taktické přepravy na kolových vozidlech jsou popsány v části 245/2. Charakteristiky prostředí popsané v tomto oddílu jsou velmi podobné těm, jimž bude pravděpodobně vystaven přenosný materiál během taktické přepravy.
- b. Pásová vozidla: Podmínky vyvolávající dynamické reakce v materiálu během taktické přepravy v pásových vozidlech jsou popsány v části 245/1. I když se tato část zabývá instalovaným materiálem, charakteristiky prostředí jsou velmi podobné těm, jimž bude pravděpodobně vystaven materiál během taktické přepravy.

## 2.2 Taktická vzdušná přeprava

Charakteristiky prostředí vznikajícího při taktické přepravě v letadlech a vrtulnicích budou pravděpodobně nedostačující k tomu, aby vyvolaly výrazné nárazy a srážky. Okolnosti vyvolávající podmínky mechanického prostředí budou v podstatě identické s těmi, které se vyskytují při normální vzdušné přepravě, jak je uvedeno v části 242/3.

## 2.3 Přenášení

- 2.3.1 Během přenášení bude přenosný materiál zvedán, pokládán, shazován, posouván nebo dokonce házen. Přesný typ a náročnost prostředí vznikajícího z takové manipulace bude záviset na velikosti, hmotnosti a provozním použití daného materiálu. Ve většině případů vzniknou nejvýznamnější dynamické účinky v důsledku nárazu. Takovéto nárazy se mohou uskutečnit proti nejrůznějším povrchům od měkkého bláta až po beton. Navíc může být geometrie povrchu plochá nebo se může vyznačovat značnými nepravidelnostmi.
- 2.3.2 Aby bylo možno určit omezující podmínky, je užitečné zvážit široký rozsah možných scénářů nárazu. Tyto scénáře mají vytvářet nejhorší možné dynamické zatížení při zpomalení, nárazu a ohybu, které se pravděpodobně mohou vyskytnout během manipulace v polních podmínkách.
  - a. Náraz: Je třeba předpokládat, že materiál může narazit v jakémkoliv představitelném úhlu na tvrdý pevný povrch. Rychlost nárazu bude tvořit omezující podmínku zpomalení.
  - b. Ohyb: Dopad materiálu přes zákop, jehož rozměry jsou takové, že zabraňují tomu, aby materiál spadl dovnitř, budou vytvářet mezní podmínky dynamického ohybu. V některých případech mohou být mezní ohybové podmínky vyvolané hmotností člověka působící ve středu materiálu instalovaného přes zákop.
- 2.3.3 Předchozí odstavec naznačuje maximální potenciální rázové rychlosti. Předpokládá se však, že jsou horní hranicí pro malé materiály s nízkou hmotností v taktickém prostředí. Pro větší, těžší a rozměrnější materiál mohou být tyto hodnoty výrazně nižší.

## **2.4 Nesený materiál**

Podmínky, jimž je vystaven nesený materiál, jsou v podstatě podobné podmínkám pro přenosný materiál. Projeví-li se odchylky, je to v důsledku toho, že materiál je používán, pouze když je připojen k člověku. Za určitých podmínek mohou meze přežití člověka určovat úroveň ochrany materiálu. Ve většině případů však nezbytný stupeň mechanické odolnosti bude určen na podobné úrovni jako pro přenosný materiál. Důležitými výjimkami může být například materiál, jako jsou střelecké zaměřovače a přístroje pro noční vidění instalované na letecké přílbě.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Způsoby selhání**

Mechanická prostředí vznikající při použití přenosného a neseného materiálu mohou způsobovat řadu mechanismů potenciálního selhání materiálu. Nejvýznamnější z těchto mechanismů souvisí buď s posuny vyvolanými v materiálu, nebo v důsledku zatížení zrychlením. Posuny indukované uvnitř materiálu mohou vytvářet relativní pohyby, které naopak mohou způsobovat nárazy mezi zařízeními, přetržení tahem a uvolnění konektorů. Poruchy související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku činnosti setrvačného zatížení. Tyto mohou působit pouze jednou a způsobit poruchu v důsledku překročení prahové hodnoty nebo opakovaně a vyvolat únavovou poruchu. Poruchy způsobené v důsledku aplikace rychlosti jsou neobvyklé. Aplikace rychlostní zátěže na některá elektrická zařízení a určité typy senzorů však může vyvolat rušivá napětí a tato napětí naopak mohou způsobit funkční poruchy.

### **3.2 Vibrace**

Vibrační prostředí, jemuž je materiál vystaven během taktické přepravy, je v podstatě podobné k tomu, jemuž bude pravděpodobně vystaven přenosný materiál během normální přepravy. Během taktické přepravy však bude materiál pravděpodobně málo chráněn, pokud bude vůbec chráněn, proti vibracím. Navíc, protože materiál je pouze lehce upevněn, mohou nízkofrekvenční vibrace způsobit nárazy a srážky.

### **3.3 Nárazy a srážky**

Možnost poškození v důsledku nárazu a srážek může být významná pro lehce chráněný, nebo nechráněný materiál. Dobře navržený ochranný systém (nebo kontejner) může výrazně ztlumit většinu účinků rázů vznikajících z nárazů a srážek.

### **3.4 Dopad**

Dopady na tvrdý povrch mohou způsobit plastické deformace a zborcení v místě dopadu. Navíc může mít výsledné zpomalení za následek ztrátu strukturální integrity nebo poruchu vnitřního zařízení.

### **3.5 Ohyb**

Vysoké ohybové zátěže mohou vyvolat ztrátu strukturální integrity a deformaci dostačující ke vzniku závady.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Taktická přeprava**

Odpovídající zkušební postupy jsou uvedeny v odstavci 4 části 242/5-Přeprava za předsunutou základnu.

### **4.2 Přenášený a nesený materiál**

4.2.1 Dopad: Pro tyto podmínky se mají uplatnit zkušební postupy uvedené v AECTP-400, Metoda 403 – Rázové zkoušení. Materiál má být vystaven dopadu na tvrdý, pevný povrch. Úhel a orientace dopadu má být taková, aby způsobila pravděpodobně maximální poškození materiálu.

4.2.2 Ohyb: Má se použít zkušební metoda uvedená v AECTP-400, Metoda 403 – Rázové zkoušení. Materiál má být vystaven dopadu na dva tvrdé pevné povrchy uspořádané tak, aby byly vyvolány podmínky maximálního ohybu. Navíc je třeba zvážit podmínky, kde hmotnost osoby působí okamžitě na střed materiálu instalovaného mezi dva tuhé povrchy.

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 244/1

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 245**  
**ČÁST 245/1**  
**INSTALACE NA A V PÁSOVÝCH VOZIDLECH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	104
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	105
2.1 TYP TERÉNU.....	105
2.2 CHARAKTERISTIKY VOZIDLA .....	105
2.3 PROVOZ VOZIDLA.....	106
2.4 POLOHA MATERIÁLU A JEHO MONTÁŽ.....	106
2.5 STŘELBA A ODPÁLENÍ STŘEL.....	106
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	106
3.1 ZPŮSOBY SELHÁNÍ .....	106
3.2 PROVOZ VOZIDLA.....	107
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	107
4.1 MOŽNOSTI ZKOUŠENÍ .....	107
4.2 LABORATORNÍ VIBRAČNÍ ZKOUŠKY .....	107
4.3 LABORATORNÍ RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ.....	107
4.4 ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNÍ DRÁZE .....	108
4.5 SILNIČNÍ A TERÉNNÍ ZKOUŠKY .....	108
4.6 ZKOUŠKY ZRYCHLENÍ .....	108
<b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A ODVOZENÍ NÁROČNOSTI Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	111

## **ČÁST 245/1**

### **INSTALACE NA A V PÁSOVÝCH VOZIDLECH**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickými prostředími, jimž může být vystaven materiál, je-li používán nebo instalován v pásových vozidlech. Jsou uvažovány následující kategorie pásových vozidel: tanky, obrněná bojová vozidla (včetně obrněných transportérů) a logistická vozidla. Je uváděno použití těchto vozidel jak na silnicích, tak v terénu.

Jsou zde zahrnuty zdroje a charakteristiky mechanických prostředí a tam, kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o potenciálních škodlivých účincích. Je uvedena informace o výběru odpovídající zkušební metody z AECTP-400. V příloze A je uvedeno vodítko pro shromáždění popisu prostředí a náročnosti zkoušek z naměřených dat.

Některá kritická konstrukční zatížení vznikají důsledkem činnosti protivníka, jako je výbuch nebo použití výbušného reaktivního pancíře. Tato prostředí nejsou v této části zahrnuta.

Pohybuje-li se pásové vozidlo v terénu, mají interakce mezi pásy vozidla a nerovnostmi terénu za následek vibrační buzení, které je přenášeno přes pérování a konstrukci korby na materiál instalovaný na vozidle. Vibrace vznikají také v důsledku činnosti pásů pohybujících se na ozubených kolech a válečcích (viz obrázek 1), které se mohou přenášet přímo na korbu vozidla. Navíc bude materiál vystaven setrvačným zatížením vznikajícím v důsledku zrychlení vozidla, tj. při zvyšování rychlosti, brzdění, projíždění zatáček atd.

Činnost motoru vozidla, převodů, čerpadel atd. může také přispívat k nárůstu vibrací, které budou pravděpodobně nejzávažnější v nespojitých frekvencích spojených s otáčením hřídelí, záběrem ozubených kol atd. Význam těchto buzení je silně závislý na poloze materiálu vůči těmto zdrojům.

Vibrační spektra získaná z měření na pásových vozidlech zahrnují širokopásmové náhodné spektrum, na něž je superponován značný počet relativně nízkofrekvenčních úzkopásmových špičkových hodnot. Příklad takového spektra je ukázán na obrázku 2. Dopad postupně jdoucích článků pásu na povrch jízdní dráhy je uvnitř vozidla vnímán jako úzkopásmové spektrální komponenty, které mohou být závažné. Tyto úzkopásmové složky jsou závislé na rychlosti a souvisí se základní frekvencí pásu a obvykle s některými vyššími harmonickými složkami. Širokopásmová komponenta vzniká v důsledku kombinovaného působení převalování se kol na pásech, interakcemi mezi články pásu a různými dalšími zdroji zahrnujícími motor, převodovku, generátory atd. Špičkové hodnoty v reakčních frekvencích odpovídající systému pérování vozidla mohou být nízké, tj. menší než 3 Hz. Relativně širokopásmové špičkové hodnoty frekvencí mohou také zřejmě odpovídat strukturálním dynamickým režimům samotného vozidla. Tyto režimy se mohou pohybovat ve frekvenčním rozsahu 20 Hz - 100 Hz.

Dynamické reakce materiálu instalovaného na pásových vozidlech závisí na faktorech, které jsou dále řešeny.



## 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

### 2.1 Typ terénu

Ráz terénu, v němž se pohybuje pásové vozidlo, bude podstatně ovlivňovat reakci materiálu. Druhy terénu, které je nutno zvážit, závisí na úkolu vozidla a mohou krom volného terénu zahrnovat silniční, nerovné, dlážděné komunikace atd. Jak bylo uvedeno výše, účinek článků pásů dopadajících na jízdní povrch může být hlavním zdrojem vibrací. Tudíž tvrdé povrchy včetně silničních komunikací budou pravděpodobně vytvářet náročnější prostředí než měkčí terén; terénní podmínky mají tendenci odpružovat dopad článků pásu při kontaktu se zemí. Je to rozdílné v porovnání s tendencí u kolových vozidel, která při jízdě na silničních komunikacích vytváří relativně neškodné vibrační zátěže. Příklad pro pásová vozidla, ukazující jak se mění vibrační reakce vyjádřené jako celkové  $g$  rms v závislosti na druhu terénu, je ukázán na obrázku 3.

### 2.2 Charakteristiky vozidla

2.2.1 Vibrační prostředí související s tanky je obzvláště náročné. Faktory, které k tomu přispívají, jsou tuhost jejich závěsných systémů, celková strukturální tuhost, nedostatek pérování, jejich výkonné motory a pásové systémy.

2.2.2 Ostatní pásová obrněná bojová vozidla mají tendenci vytvářet podobná dynamická prostředí jako tanky, ale jejich náročnost je závislá na konstrukci vozidla.

2.2.3 Logistická vozidla mohou být pancéřovaná a jsou často konstruována na standardních konstrukcích podvozků. Úrovně vibrací těchto vozidel závisí na jejich šasi, která jsou navržena tak, aby splňovala buď komerční, nebo vojenské požadavky. Vibrační prostředí pro logistická vozidla konstruovaná na vojenských šasi budou náročnější než u vozidel konstruovaných na komerčních šasi, vzhledem k relativně vyšší tuhosti systému zavěšení kol a konstrukční tuhosti.

2.2.4 Druh článků pásu, jímž je vybaveno pásové vozidlo, má hlavní vliv na vibrační prostředí uvnitř vozidla. Úroveň vibrací mohou ovlivňovat dva aspekty konstrukce článků pásu.

a. Spojení článků: Existuje řada různých možností používaných pro vzájemné spojení článků. Poslední práce ukázaly, že v případě bojových obrněných vozidel jsou vibrace korby, vyjádřené jako celkové  $g$  rms (0 - 1 000 Hz), vyvolané čepovým konstrukčním spojením článků pásu až dvakrát náročnější než vibrace vznikající u pásu s koncovou spojkou, viz ilustrace na obrázcích 4 a 5.

b. Kontaktní plochy článků: Druh kontaktních ploch, jimiž jsou vybaveny kovové články pásu, má odrážet druh terénu, v němž se má vozidlo pohybovat. Například gumové kontaktní plochy se používají často tehdy, jestliže vozidlo stráví větší část provozní doby na silničních komunikacích. I když jsou tyto gumové plochy instalovány proto, aby se zabránilo poškození povrchu vozovky pásy, sekundárním efektem je podstatné snížení úrovně vibrací pásu.

2.2.5 Pohyblivost vozidla úzce souvisí s jeho měrným výkonem. Moderní bojová obrněná vozidla mají vyšší měrný výkon a mohou tudíž dosahovat vyšších rychlostí, tj. větších než 60 km/h. Protože úroveň vibrací se zvyšuje s rychlostí, je důvodné očekávat, že vozidla s vyšším měrným výkonem budou vytvářet náročnější dynamická prostředí. Vyšší rychlosti budou tedy rozšiřovat frekvence harmonických složek pásu.

### **2.3 Provoz vozidla**

2.3.1 Obecně lze očekávat, že úroveň strukturálních vibrací vozidla se zvýší se zvýšením rychlosti vozidla, ale úroveň  $g$  rms se s rychlostí nezvyšují lineárně.

2.3.2 Dojde-li ke vzniku rezonancí, maximální vibrační reakce instalovaného materiálu se nemusí nezbytně projevit při maximální rychlosti vozidla. Takovéto rezonance mohou být spojeny s konstrukcí vozidla, určitou částí materiálu nebo jeho montážním uspořádáním.

2.3.3 Poslední práce ukazují, že v případě bojových vozidel pěchoty jsou vibrace vznikající během otáčení výrazně závažnější než při přímé jízdě, tj. až dvojnásobné pro korbu a až 2,5násobné ve věži, při vyjádření v hodnotách celkového  $g$  rms (0 - 1 000 Hz).

2.3.4 Některé materiály mohou být citlivé na náklon vozidla, což se může významně projevit v terénních podmínkách. Za takových okolností lze očekávat úhly náklonu blízké se  $90^\circ$ .

2.3.5 Ustálená zrychlení mohou vznikat při zvyšování rychlosti vozidla, brzdění nebo zatáčení. Při provozu na silničních komunikacích úroveň zrychlení pravděpodobně nepřekročí 1  $g$ . Při terénním provozu mohou úroveň zrychlení vznikající při otřesech při přejíždění nerovného terénu překročit 1  $g$ .

### **2.4 Poloha materiálu a jeho montáž**

2.4.1 Náročnost prostředí, jemuž je vystaven materiál instalovaný ve vozidle, závisí na tom, kde je materiál namontován. Lze předpokládat, že vibrace korby, vyjádřené v celkovém  $g$  rms (0 - 1 000 Hz), jsou závažnější než vibrace ve věži v závislosti na druhu vozidla a ose měření. S ohledem na relativní závažnost vibrací podle os lze říci, že vibrace ve směru vertikální osy v korbě nebo věži jsou přibližně 1,5krát náročnější než ve směru příčné nebo podélné osy. Reakci materiálu může ovlivnit také jeho hmotnost a montážní přípravky.

### **2.5 Střelba a odpálení střel**

Odpálení střel a střelba z lafetovaných zbraní může vystavit vozidlo vysokým úrovním rázů, vibrací a tlakové vlně. Tyto podmínky jsou vysoce specifické pro jednotlivé instalace, a tudíž obecná směrnice o jejich charakteristikách je nepatřičná.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Způsoby selhání**

Materiál může být citlivý na tři možné způsoby selhání, tj. související s posuny, rychlostí a zrychlením. Poruchy materiálu související s posuny mohou vzniknout v důsledku kolize mezi materiálem po relativním pohybu; přetržení tahem po relativním pohybu a uvolnění konektorů vedoucí k porušení elektrického spojení.

Poruchy související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku působení setrvačného zatížení. Toto může být aplikováno jednou a závada vznikne v důsledku překročení prahové hodnoty nebo opakovaně a vznikne únavová závada. Poruchy související s rychlostí nejsou tak běžné jako poruchy vznikající v důsledku posunu nebo zrychlení. Rychlostní zatížení některých elektrických zařízení, včetně senzorů, však může vyvolat rušivá napětí, která naopak vedou k funkčním poruchám.

### **3.2 Provoz vozidla**

Protože provoz pásových vozidel může vytvářet vysoké úrovně vibrací v instalovaném materiálu, může se objevit kterýkoliv z výše uvedených způsobů poruch. U položek, které nejsou bezpečně upevněny, mohou vzniknout dodatečné problémy v důsledku drnčení, tj. odírání, obrus a tření. Tyto způsoby znehodnocení povrchů mohou vytvářet problémy u optických přístrojů, jako jsou například zaměřovací zařízení. Další oblastí zájmu je možné spojení mezi buzením vozidla na frekvencích pásu a reakce zařízení, tj. spojitost se samotným zařízením nebo jeho montážním uspořádáním. Vzhledem k tomu, že se základní frekvence pásu mění v závislosti na rychlosti vozidla mezi 0 a asi 150 Hz v závislosti na druhu vozidla, může být nesnadné takovým koincencím vždycky zabránit. Tento problém se zhorší, jsou-li zřejmé silné harmonické vibrace pásu.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Možnosti zkoušení**

K dispozici jsou tři možnosti simulace prostředí pásového vozidla, tj. laboratorní zkoušení s pomocí vibrátorů nebo v případě potřeby jiných zařízení, provozní zkoušky s využitím vhodných zkušebních drah nebo provozní zkoušky s využitím silničních nebo terénních povrchů za skutečných podmínek. Simulace prostředí v laboratoři má výhodu v tom, že umožňuje provedení simulace v definovaných a kontrolovaných podmínkách. Navíc laboratorní zkoušení umožňuje snížit dobu zkoušení, snížit náklady, protože není nutný provoz vozidla a zvýšit bezpečnostní standardy (zejména při zkoušení munice). Výhodou provozních zkoušek je to, že všechny části jsou ve správných relativních polohách a všechny mechanické odpory jsou realistické; v důsledku toho lze očekávat, že při provozních zkouškách je materiál vystaven všem odpovídajícím poruchovým mechanismům. Provozní zkoušky mohou být nezbytné v případě, kdy nejsou k dispozici odpovídající údaje, z nichž by bylo možno určit náročnost laboratorních zkoušek. Simulace pomocí provozních zkoušek může být výhodnější v případě velkých a špatně manipulovatelných nákladů a je nezbytná v případě, kdy náklad výrazně reaguje na dynamiku nosného vozidla.

### **4.2 Laboratorní vibrační zkoušky**

Simulace prostředí v laboratoři je obvykle vhodná pro všechny kromě největších druhů materiálu. Pokud je požadována vibrační zkouška, má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

### **4.3 Laboratorní rázové zkoušení**

V některých případech může být nezbytné provádět zkoušení rázů a přechodových jevů, aby bylo možno vytvořit strukturálně přenášené přechodové jevy vznikající

z vozidla. Má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 403 – Rázové zkoušení.

#### 4.4 Zkoušky na zkušební dráze

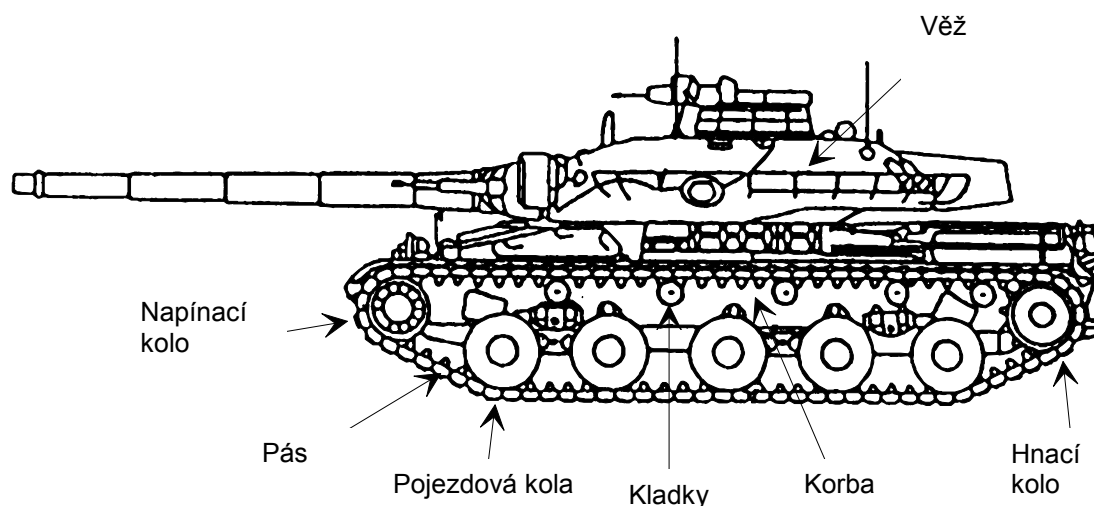
Vzhledem k obtížnosti vytvoření nejhorších možných silničních podmínek se často používají standardní zkušební dráhy. K dispozici je značný rozsah zkušebních drah. Ne všechny jsou určeny pro simulaci prostředí pásových vozidel, některé jsou určeny pro zkoumání aspektů souvisejících s ovládáním vozidla a spolehlivostí. Při výběru vhodných povrchů je tedy nutno dbát na zabezpečení reprezentativních reakcí materiálu. Mohou vzniknout reakce s vysokou amplitudou s výskytem převyšujícím o mnoho řádů četnost, jíž bude materiál tomuto působení vystaven při skutečném provozu, což u některých materiálů může znamenat vznik poruch, které se ve skutečnosti pravděpodobně nevyskytnou. Má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 408 - Přeprava rozměrných kompletů (ČOS 999902).

#### 4.5 Silniční a terénní zkoušky

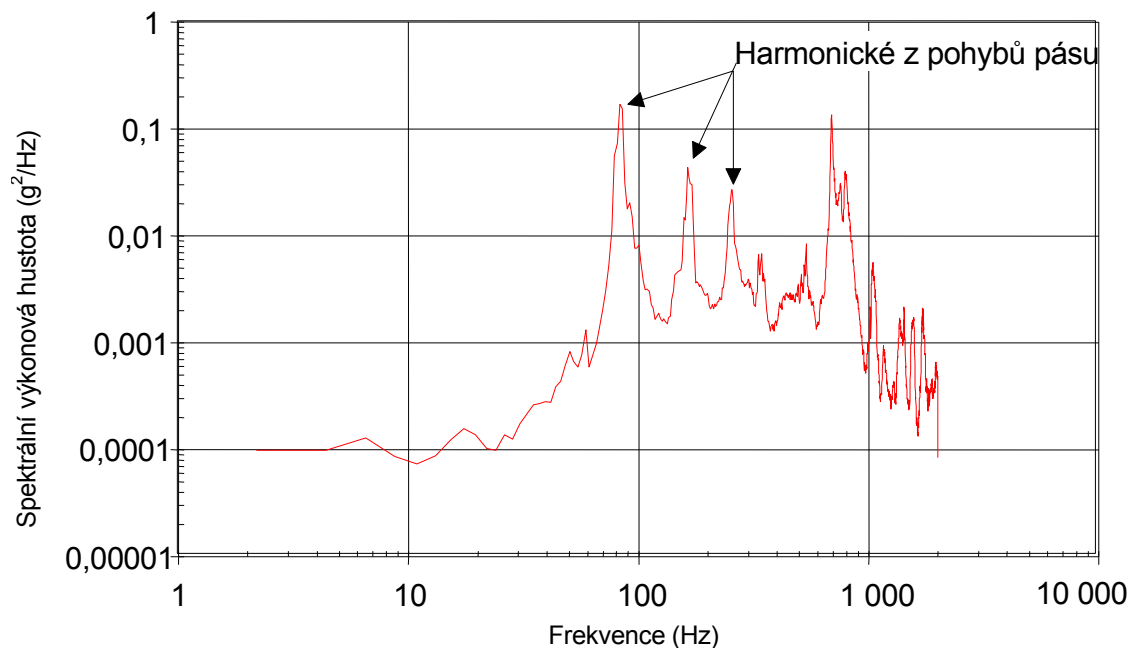
Zkoušky prováděné na reprezentativních silnicích a v terénu po reprezentativní dobu trvání jsou nejrealističtější. Takové zkoušky jsou platné pouze tehdy, je-li k dispozici podrobná znalost instalace materiálu a předpokládané použití pásových vozidel. I při provádění těchto zkoušek může být žádoucí zahrnout některé zkoušky na zkušební dráze jako vhodný způsob začlenění mezních podmínek. Má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 408 - Přeprava rozměrných kompletů (ČOS 999902).

#### 4.6 Zkoušky zrychlení

Zkoušení s aplikací kvazistatického zatížení pro simulaci zrychlení vozidla je obvykle nepotřebné, protože tato zatížení jsou buď zahrnuta ve zkouškách pro jiná provozní prostředí, nebo je vhodnost materiálu doložena hodnocením.



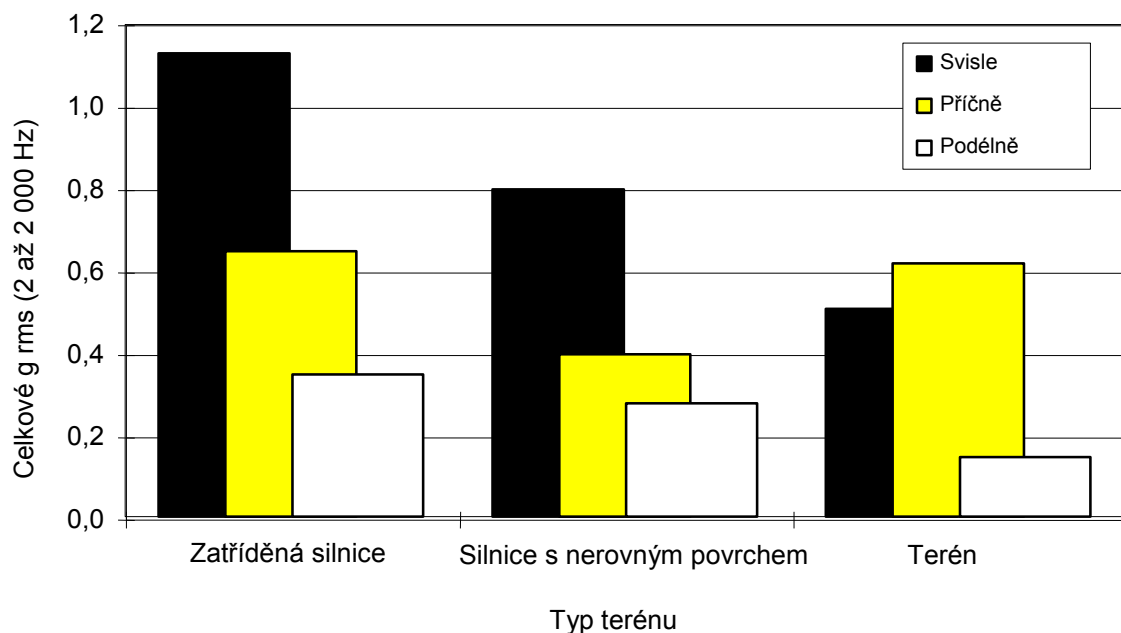
**OBRÁZEK 1 – Oblasti uložení materiálu a charakteristické znaky pásu bojového tanku**



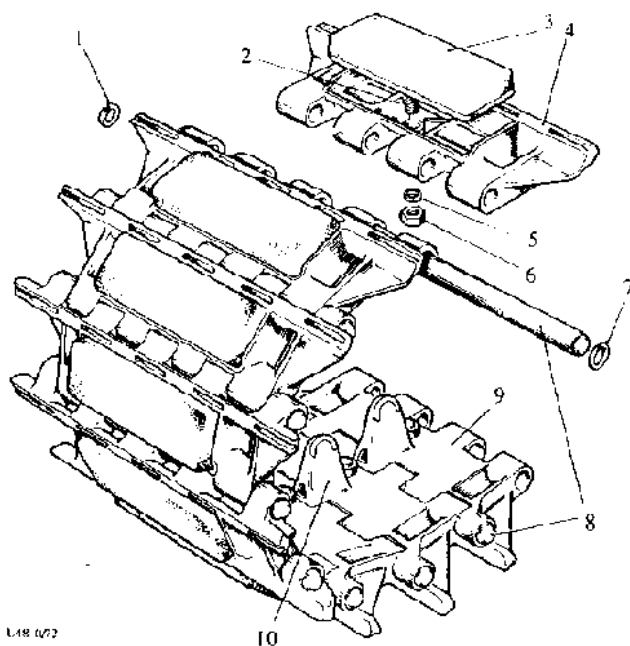
#### POZNÁMKY

- 1 Údaje z korby obrněného bojového vozidla jedoucího po vozovce z prolévaného makadamu rychlostí 50 km/h.
- 2 Spektrum odpovídá 3,25 g rms (svislá osa).

**OBRÁZEK 2 – Vibrační spektrum pro pásové vozidlo**



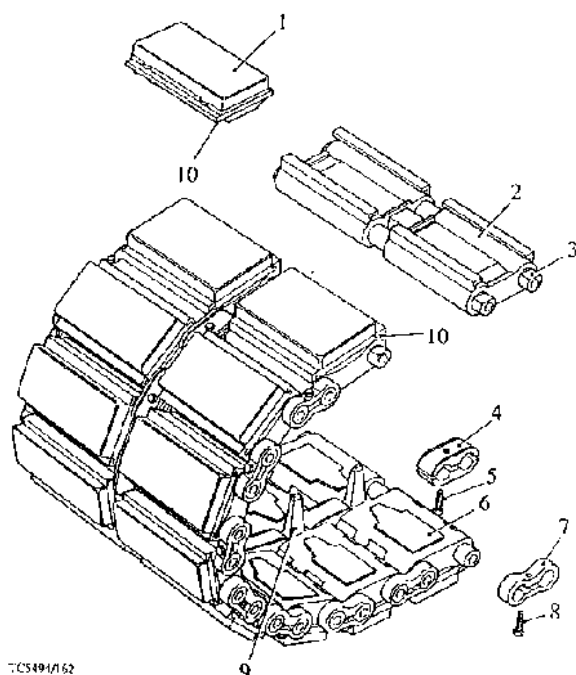
**OBRÁZEK 3 – Relativní úrovně terénu pro korbu pásového vozidla (obrněný transportér)**



### Legenda

1. Pojistný kroužek
2. Pojistný šroub
3. Pryžová patka
4. Těleso článku
5. Pojistná podložka
6. Matice
7. Pojistný kroužek
8. Čep pásu
9. Oko článku
10. Vodicí zub

**OBRÁZEK 4 – Pás s typem spojení “kovové s ocelovým čepem”**



### Legenda

1. Pryžová patka
2. Článek pásu
3. Čep pásu
4. Střední spojka
5. Šroub
6. Vnitřní pryžová vložka
7. Krajní spojka
8. Šroub
9. Vodicí zub
10. Lem tělesa patky

**OBRÁZEK 5 – Pás s typem spojení “kovopryžové s krajní spojkou”**

## **ODVOZENÍ NÁROČNOSTI Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

### **A.1 ODVOZENÍ POPISU PROSTŘEDÍ**

#### **A.1.1 Požadavky**

Nejprve je nezbytné určit z odpovídajících požadavků druh pásového vozidla, v němž má být materiál instalován, úkol vozidla a terén, v němž se bude pohybovat, provozní rychlosti vozidla a umístění materiálu ve vozidle. Po vytvoření požadavků se mají odpovídající vibrační údaje získat z příslušných databank nebo z provozních měření při zkouškách.

#### **A.1.2 Popis prostředí**

Popis prostředí pro materiál instalovaný v pásovém vozidle má obecně zahrnovat charakteristiky frekvenčních reakcí, grafy pravděpodobnosti amplitud a časový průběh všech přechodných jevů pro každý odpovídající terén v rozsahu provozních rychlostí. Tato informace se použije pro zkoumání takových trendů, jak je náročnost ovlivněna terénem a rychlostí vozidla atd. Diagram znázorněný na obrázku A.1 ukazuje kroky, které je nutno uskutečnit, aby bylo možno odvodit z naměřených údajů popis prostředí. Tento diagram umožňuje kvantifikaci frekvenčních reakčních charakteristik a amplitud dynamické reakce pro všechny relevantní zkušební podmínky. Postup pro použití těchto částí popisu prostředí pro vytvoření zkušebního spektra a doby trvání je uveden dále.

### **A.2 ODVOZENÍ ÚROVNÍ VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK**

#### **A.2.1 Všeobecná ustanovení**

Pokud jde o charakteristiky a amplitudy širokopásmové základní vibrace, úzkopásmových složek souvisejících s vibracemi pásu a dobou trvání jsou zkušební úrovně definovány.

#### **A.2.2 Širokopásmová složka**

- a. Charakteristiky: Obecně lze očekávat, že širokopásmová složka spektrálních charakteristik, tj. tvar grafu ASD, bude stabilní s ohledem na mnoho parametrů, včetně rychlosti vozidla a druhu terénu. Ale tento předpoklad nezobrazuje celé provozní prostředí, protože je často zřejmé, že objem širokopásmových frekvencí roste s rychlostí. Tato nesrovnalost se musí vzít v úvahu při definování požadavků na zkoušky.
- b. Amplituda: Náročnost zkušebního spektra není možno obecně získat přímo z ASD, protože pro pásová vozidla neexistuje odpovídající popis prostředí. To je důsledkem charakteru tohoto druhu údajů; mohou být nestacionární s následkem relativně vysokých špičkových hodnot rms, je tedy také negaussovská. Tyto nestacionární a negaussovské vlastnosti jsou v protikladu k charakteru vibrací vytvářených ve zkušebních laboratořích. V důsledku toho je nutno provést speciální kroky, aby se vyloučila malá náročnost při laboratorních zkouškách. V některých případech je nutno použít jistou dávku konzervatismu, aby bylo možno vytvořit odpovídající úroveň náročnosti testů. Druhou možností je použít rozdělení pravděpodobnosti amplitud (APD)

**Příloha A**  
(informativní)

jako základní měřítko náročnosti a odvodit odpovídající faktory, které potom mohou být aplikovány na střední spektra. Tento přístup je upřednostňován pro pásová vozidla a příklad jeho použití je uveden v odstavci 3.

### A.2.3 Úzkopásmové složky

- a. Charakteristiky: Frekvence úzkopásmových složek při dané rychlosti může být vypočítána ze znalosti rozměrů rozteče pásu a lze očekávat, že z naměřených údajů bude snadno rozpoznatelná, přinejmenším při testu v tvrdém terénu a za konstantních rychlostí. Aby bylo možno zahrnout tyto vlivy do zkušebního spektra, tj. že frekvence těchto složek je rychlostně závislá, mají být úzká pásma rozložena přes odpovídající frekvenční rozsah.
- b. Amplitudy: Problémem může být vytvoření amplitud těchto složek, vzhledem k jejich měnící se frekvenci s rychlostí vozidla. To může vést k podhodnocení náročnosti v důsledku zprůměrnujícího účinku, který je součástí analýzy ASD. Jedním z řešení je získání údajů při značném počtu konstantních rychlostí, které pak mohou být analyzovány odděleně. Podobně, jestliže během záznamu není rychlost konstantní, mohou se použít vývojová spektra. V obou případech musí být náročnost vyjádřena buď v podobě ASD nebo rms spojena s rozlišovací šířkou pásma, aby bylo možno vytvořit jednoznačnou definici. Při použití této metody je nutné si dát pozor a vyvarovat se v reakčním spektru oblastí, kde není dostatek údajů umožňujících adekvátní analýzu.

### A.2.4 Trvání zkoušky

Trvání zkoušky má být založeno na požadované životnosti materiálu a profilu používání příslušného pásového vozidla. Aby bylo možno vyloučit neprakticky dlouhé trvání zkoušek, je obecnou zvyklostí uplatňovat pravidla o ekvivalentním únavovém poškození, jako je například Minerovo pravidlo pro normalizaci všech úrovní zkoušení na nejvyšší měřenou náročnost. Možný způsob dosažení tohoto požadavku je uveden dále:

$$t_2 = t_1 (S_1 / S_2)^n$$

kde  $t_1$  = skutečné trvání v požadavcích charakterizovaných měřenou úrovní  
 $t_2$  = ekvivalentní trvání při zkušební úrovni  
 $n$  = zveličovací exponent

Pro úroveň rms

$S_1$  = úroveň rms měřeného spektra  
 $S_2$  = úroveň rms zkušebního spektra  
 $n = b$  = zveličovací exponent (typicky se používají hodnoty mezi 5 a 8).

Pro úroveň ASD

$S_1$  = úroveň ASD měřeného spektra  
 $S_2$  = úroveň ASD zkušebního spektra  
 $n = b/2$  = zveličovací exponent (typicky se používají hodnoty mezi 2,5 a 4).



Hodnota „b“ odpovídá sklonu únavové křivky (S/N) pro odpovídající materiál. Hodnota „b“ rovna 8 odpovídá popisu chování kovových struktur, jako jsou ocele a hliníkové slitiny, které mají v podstatě lineární vztah mezi namáháním a deformací. Toto vyjádření se používá s menší důvěryhodností i pro nelineární materiály a kompozity. Pro elektronické zařízení a nekovové materiály, elastomery, kompozity, plastické látky a výbušniny se doporučuje hodnota „b“ rovna 5.

I když bylo ukázáno, že tento výraz má některé dobré vlastnosti při aplikaci na materiál, má být používán s mimořádnou opatrností, mají-li být vyloučeny nereprezentativní závady. V žádném případě nemají být zkušební úrovně zvyšovány za maximální naměřené úrovně, které jsou předpokládány při provozním používání daného materiálu, s aplikací statistických zkušebních faktorů. Kromě toho tam, kde je prokázáno, že materiál není bezpečně připevněn k vozidlu, je Minerovo pravidlo neplatné.

Při kalkulacích doby zkoušení je nutné vzít v úvahu zkušební doby odvozené z úzkopásmových a širokopásmových složek a potom srovnat doby zkoušení tak, aby jednotlivá doba zkoušení byla aplikována na zkoušku rozmítaných úzkopásmových na širokopásmové náhodné vibraci.

Úzkopásmové zkušební doby jsou kalkulovány pro tři osy, a to z nejvyššího 1. řádu maximální frekvence pásů pro každou rychlost v souboru dat (s použitím Minerova pravidla s indexem 2,5) přirovnané k jednotlivé nejvyšší úrovni 1. řádu frekvence pásů z uvažovaného souboru dat.

Širokopásmové zkušební doby jsou kalkulovány pro tři osy, a to z nejvyšší úrovně širokopásmových pro každou rychlost v souboru dat (s použitím Minerova pravidla s indexem 2,5) přirovnané k nejvyšší úrovni širokopásmových z uvažovaného souboru dat.

Tam, kde je to možné, se za účelem srovnání širokopásmových zkušebních dob s úzkopásmovými zkušebními dobami, specifikace vibrační zkoušky reguluje. Provádí se to v případech, kdy je kalkulovaná doba širokopásmové zkoušky větší než doba kalkulovaná pro úzkopásmovou zkoušku. Aby se zredukovala doba širokopásmové zkoušky na dobu úzkopásmové, zvýší se úroveň širokopásmových (podle Minerova pravidla). V případech, kdy je širokopásmová složka menší než úzkopásmová, se ale nastavení dob zkoušení podle Minerova pravidla projeví v redukci úrovně širokopásmových. Protože se to ale pokládá za nepřijatelné, je nutné v tomto případě připustit nadměrné zkoušení (pokud jde o trvání zkoušky) udržením původní úrovně širokopásmových a využitím doby zkoušení úzkopásmových pro stanovení zkoušky kombinované rozmítané širokopásmové na širokopásmové náhodné vibraci. Za účelem vyrovnávání dob zkoušení se nedovoluje modifikovat úroveň širokopásmových.

Zjednodušený příklad pro odvození trvání zkoušky pomocí Minerova pravidla je uveden dále v tabulce A.1.

**Příloha A**  
(informativní)

**TABULKA A.1 – Zjednodušený příklad aplikace Minerova pravidla na materiál**

Terén	Rychlost (míle/h)	Úroveň náročnosti i	Trvání  %	Čas (min)	
				Skutečný t <sub>1</sub>	Ekvivalentní t <sub>2</sub>
Dlážděný	25	1,0	5,0	3	3,00
Dlážděný	20	0,7	6,7	4	0,67
Nerovná komunikace	15	0,6	13,3	8	0,62
Terén	35	0,5	16,7	10	0,31
Hlavní silnice	45	0,4	30,0	18	0,18
Hlavní silnice	35	0,3	20,0	12	0,03
Hlavní silnice	<20	0,2	8,3	5	<0,01
Celkem:			100,0	60	4,82

**POZNÁMKY**

- 1 Test v trvání 4,82 minut je ekvivalentní 60 minutám skutečné vibrace vozidla.
- 2 Index náročnosti pro terén je celkové g rms přizpůsobené s ohledem na maximální naměřené celkové g rms (ve spojení s dlážděnou vozovkou v tomto příkladě). Je důležité zkontrolovat, aby spektrální profil ASD související s referenční úrovní (opět je zde dlážděná vozovka jako příklad) buď odpovídal, nebo byl upraven tak, aby odpovídal maximálním amplitudám pozorovaným v celém frekvenčním rozsahu.

**A.3 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ S TECHNICKÝMI PODMÍNKAMI ZKOUŠEK**

Při porovnávání naměřeného spektra ze zkoušek vozidla s hodnotami uvedenými v technických podmínkách zkoušek nebo vytvořenými zkušebními zařízeními, je nutno dbát na to, aby se vyloučilo podhodnocení náročnosti naměřených údajů. K tomu může dojít v důsledku rozdílných rozdělení amplitud a poměrů špičkových hodnot vůči rms těchto typů údajů. Tyto rozdíly mohou být kompenzovány způsobem uvedeným v tabulce A.2.

**TABULKA A.2 – Kompenzace pro negaussovská data**

	G rms
Naměřená špičková úroveň APD (při úrovni jednoho z 500 výskytů, tj. 2,88 sigma)	9
Ekvivalentní gaussovské rms	3,1
Naměřené negaussovské rms	1,4
Koeficient měřeného rms	2,2
Koeficient měřeného ASD	4,8

## POZNÁMKA

Zatímco tato analýza ukazuje, že v tomto případě má být na naměřené úrovni ASD použit koeficient 4,8, tyto vyšší hodnoty budou odpovídat relativně krátkému trvání.

## A.4 ODVOZENÍ ÚROVNĚ ZKOUŠENÍ

### A.4.1 Všeobecná ustanovení

A.4.1.1 K odvození úrovně zkoušení se uvádí tři alternativní přístupy, které berou v úvahu složitost povahy prostředí pásového vozidla.

Vibrace pásových vozidel zahrnuje buzení v diskrétních frekvencích, které se mění s rychlostí vozidla. Tyto úzkopásmové frekvenční složky jsou známy jako základní frekvence vznikající od článků pásu. Při znalosti rozměrů pásu je možné pro danou rychlost kalkulovat frekvenci, s jakou po sobě jdoucí články pásu naráží na zem, např. při rychlosti 40 km/h jsou frekvence základní, první a druhé harmonické 72 Hz, 142 Hz a 215 Hz, v uvedeném pořadí.

A.4.1.2 Blokované schéma uvedené na obrázku A1 zobrazuje kroky, které se mají přijmout k odvození popisu prostředí z naměřených dat. Tento diagram umožňuje kvantifikaci frekvenčních odezvových charakteristik a amplitud dynamických reakcí pro všechny významné provozní podmínky.

A.4.1.3 K další kvantifikaci účinků pleskotu pásů při jízdě se může použít analýza typu „kaskáda“, které umožní identifikovat, rozlišit a kvantifikovat strukturální rezonance a silové frekvence pleskání pásů. Příklad takové analýzy uvádí obrázek A2, kde jsou frekvence pleskání pásů jasně viditelné, jak kopírují úhlopříčné linie šířící se z počátku, zatímco strukturální rezonance se jeví jako horizontální čáry. Tato analýza se používá k identifikaci frekvenčních složek souvisejících s rychlostí ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  atd.).

A.4.1.4 Různé vibrační zkušební mají rozdílné kapacity, pokud jde o řízení vibrací. V důsledku toho se přizpůsobené zkoušky mohou sestavit ve třech alternativních formátech s různým stupněm komplexnosti:

- a. Rozmítaná úzkopásmová na širokopásmové náhodné vibraci – toto je tradiční zkušební formát pro toto prostředí, ale bývá obtížně realizovatelný kvůli požadavku na velké amplitudy v nízkých frekvencích.
- b. Dvouúrovňová zkouška vysoké a nízké úrovně, využívající rozmítané úzkopásmové na širokopásmové. Tato zkouška je plánována ke zmírnění vysoké amplitudy nízkofrekvenčních problémů zmiňovaných v (a).  
Zmírnění je následkem skutečnosti, že v případě většiny pásových vozidel jsou vibrace při malých rychlostech jízdy poměrně neškodné.
- c. Rozkolísaná a rozmítaná úzkopásmová na širokopásmové náhodné vibraci – tento formát zkoušení je nejreprezentativnější simulací tohoto prostředí. Řídicí software některých zkušeben není schopen tuto zkoušku implementovat.

**Příloha A**  
(informativní)

A.4.1.5 Z těchto tří možností se doporučuje preferovat výběr C jako nejreprezentativnější z provozních prostředí. Následující obrázky dále zobrazují, že pokud je zkušebna schopná implementovat výběr C, pak je to nejreprezentativnější prostředí, zatímco ostatní volby vedou k nadměrnému zkoušení v nižších frekvencích.

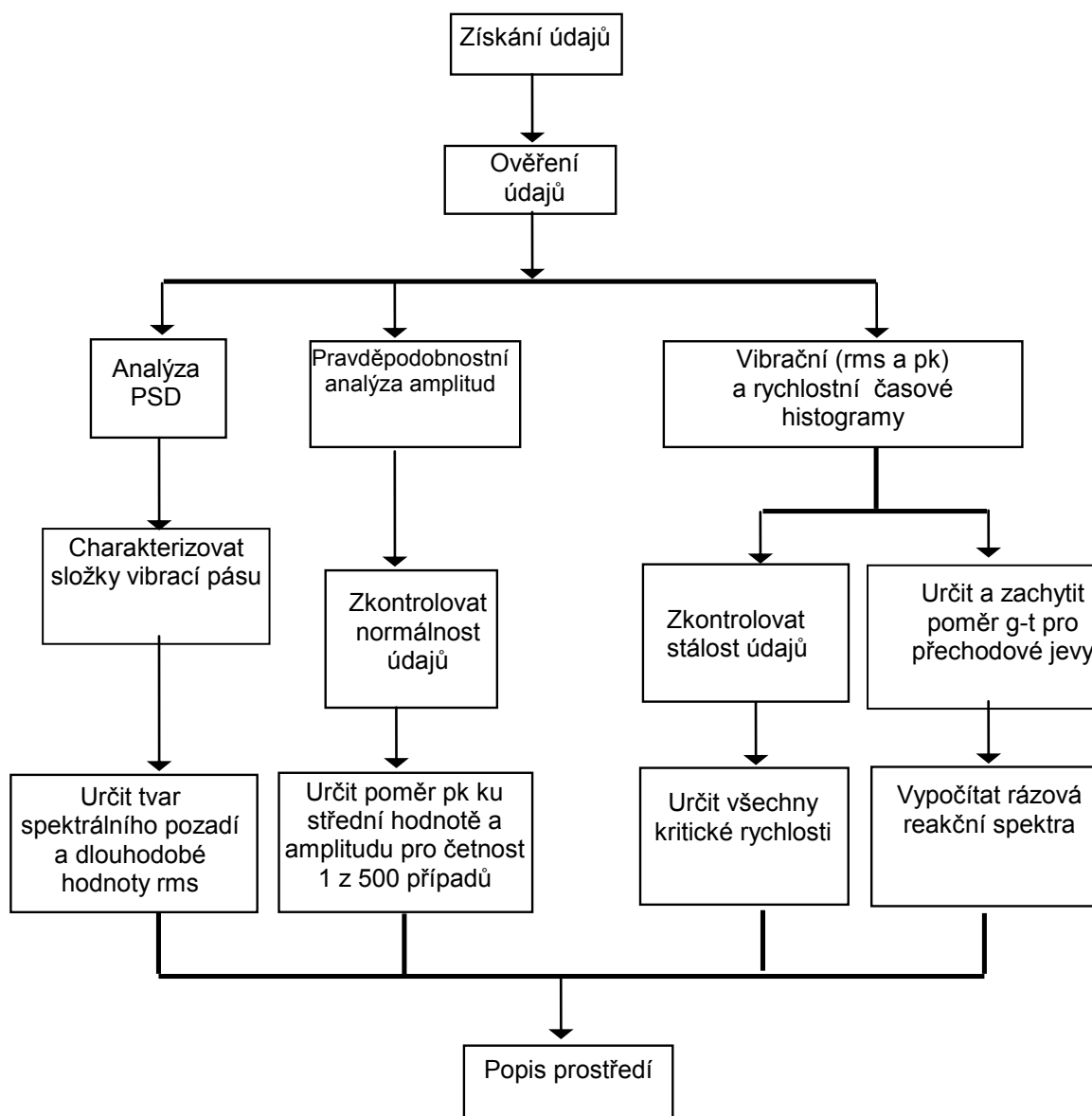
A.4.1.6 Určujícím pro náročnost vibračního prostředí je typický harmonický pleskot pásů. Ve srovnání s úzkopásmovými složkami je širokopásmová náhodná složka relativně neškodná pro každou z dotyčných os. Když se přesně určí, o kterou širokopásmovou složku jde, musí se dát pozor na to, aby se nezačlenily účinky pleskotu pásů, protože ty se zpracovávají odděleně a začleňují se jako rozmítané úzkopásmové nebo sinusoidy. Příklad širokopásmové na úzkopásmové složce je možné vidět na obrázku A3.

A.4.1.7 Následující postup ukazuje, jak se náročnosti širokopásmové vibrační zkoušky dají odvodit z naměřených dat. Tento postup může být přijatelný v mnoha situacích, ale žádný zvláštní přístup se nedá považovat za univerzální řešení. Přesto se však základní logika postupu může považovat za obecně použitelnou pro veškerý materiál umístěný na pásových vozidlech.

- Krok 1: Vytvořit grafy spektrální hustoty vibrační amplitudy ( $g^2/Hz$ ) versus frekvence pro každou měřenou rychlost v rámci rozsahu zájmových rychlostí.
- Krok 2: Pro každou rychlost PSD identifikovat hlavní úzkopásmové složky, kterými se budete zabývat samostatně.
- Krok 3: Vytvořit obálku PSD z naměřených dat úzce sledující širokopásmové složky a ignorující některé úzkopásmové složky.
- Krok 4: Zjednodušit obálku PSD redukováním počtu bodů zlomu. Typicky je vhodné pracovat s 10 až 50 body zlomu. Při výběru počtu bodů zlomu by se mělo docílit toho, aby se nezvýšila hodnota širokopásmového grms více než o 10 % při postupu z obálky vytvořené v kroku 3 a konečný vybraný počet bodů zlomu.
- Krok 5: Vytvořit překryvný graf ze všech obalených PSD.
- Krok 6: Vytvořit obálku z překrytých PSD z kroku 5.
- Krok 7: Požaduje se provedení koeficienční úpravy obálky, aby se získaly statistické provozní odchylky. Tam, kde je to možné, se má tato úprava založit na znalostech odchylek z provozu jiných vozidel. Není-li to možné, pak se běžně přidávají 3 dB.

**Příloha A**  
(informativní)

A.4.1.8 Úzkopásmové nebo sinusoidy reprezentující složky pleskotu pásů jsou určeny k implementaci jako lineárně rozmítané; logaritmické rozmítání může na nižší konec každého frekvenčního pásma umístit nenáležitě důrazy, které jsou pro toto prostředí nevhodné.

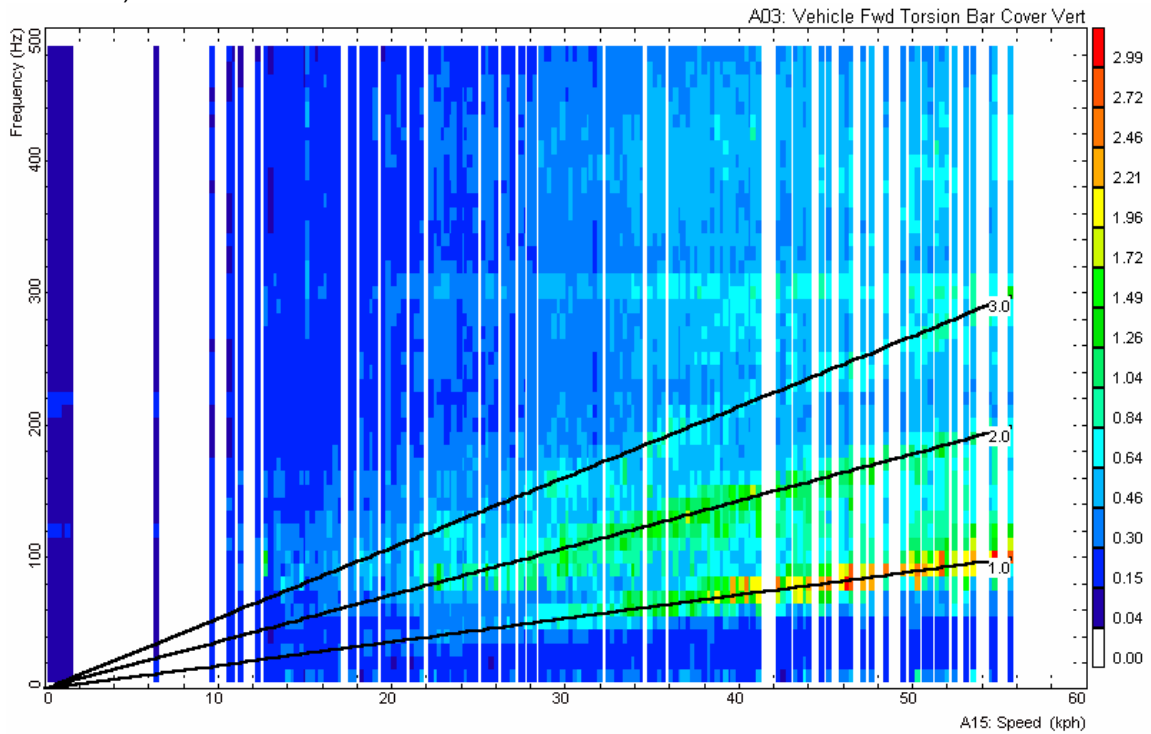


**POZNÁMKA**

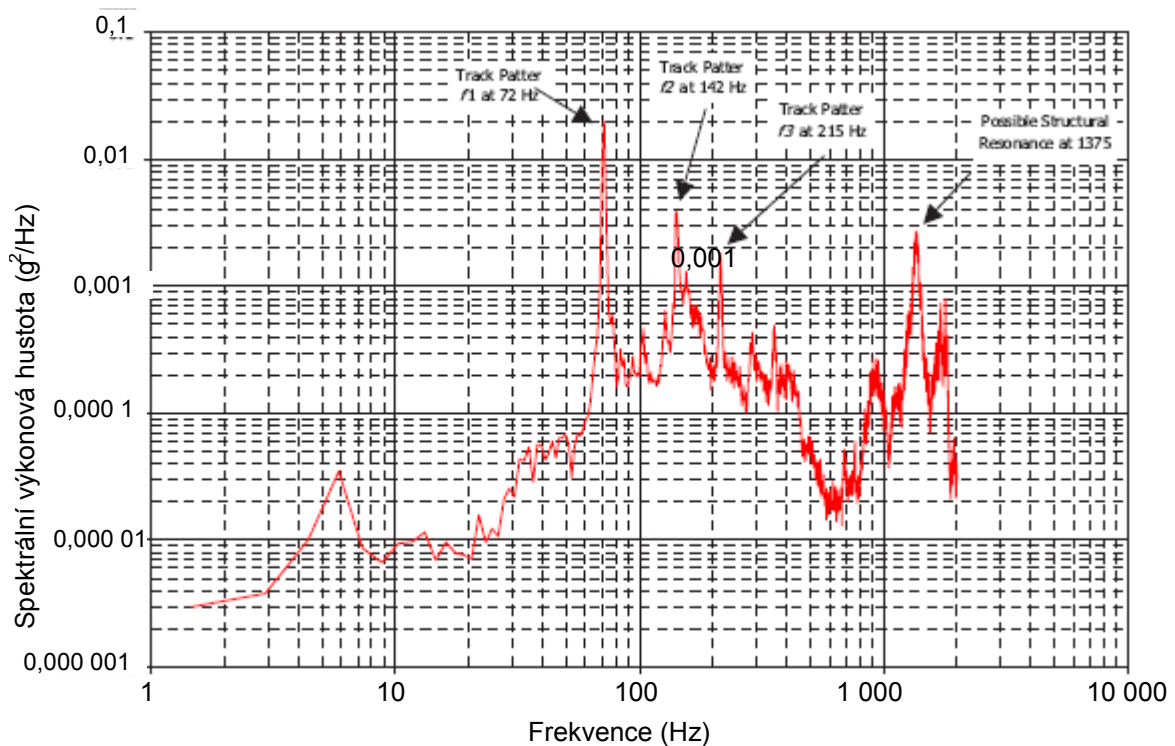
Kroky uvedené výše budou normálně prováděny pro každý terén a pro všechny relevantní instalace.

**OBRÁZEK A.1 – Odvození popisu prostředí od naměřených údajů**

**Příloha A**  
 (informativní)



**OBRÁZEK A.2 – Příklad kaskádové analýzy dat pásového vozidla**



**OBRÁZEK A.3 – Údaje o širokopásmových a úzkopásmových prvcích pásového vozidla**

#### **A.4.2 Zkouška varianta A: rozmítané úzkopásmové na širokopásmové náhodné**

A.4.2.1 Metodika rozpracování širokopásmového spektra je načrtnuta výše.

A.4.2.2 Amplitudy složek pleskotu pásů jsou odvozeny ze spektrální analýzy v rozsahu podmínek stálé rychlosti. Tato analýza poskytuje rozměr maximální amplitudy ( $g_{pk}$ ) jako funkci rychlosti pro každý terén a pro každou významnou složku, tj. základní, první a druhou harmonickou. Pro účely zkoušení amplituda těchto složek je obvykle zvýšená, aby poskytla jistou rezervu. Tyto složky se mohou implementovat buď jako rozmítané sinusoidy nebo rozmítané úzkopásmové – příklad těchto složek je uveden v tabulce A3. Protože tyto úzkopásmové se implementují současně se širokopásmovými, celkové  $g$  rms zkoušky je také zahrnuto v definici.

A.4.2.3 Amplituda složek pleskání pásů se kalkuluje jako  $g_{pk}$ . Pro konverzi na  $g^2/Hz$  pro aplikaci jako úzkopásmová náhodná složka se může použít následující rovnice:

$$\frac{g^2}{Hz} = \left[ \frac{g_{pk}}{\sqrt{2}} \right]^2 \times \frac{1}{B}$$

kde:  $g_{pk}$  je měřená amplituda  $a$

$B$  je šířka úzkého pásma (buď 5, 10 nebo 15 Hz, v závislosti na pořadí)

A.4.2.4 Proces pro získání doby zkoušení je založen na základní složce pleskotu pásů. Úroveň širokopásmových náhodných se pak reguluje směrem nahoru (nikdy dolů) tak, aby odpovídala době zkoušení. Jestliže je náhodná úroveň již vysoká, potom je nezbytné se smířit s nadměrným zkoušením založeným na širokopásmové náhodné.

#### **A.4.3 Zkouška varianta B: dvouúrovňová, rozmítané úzkopásmové na širokopásmové náhodné**

A.4.3.1 Metodika rozpracování širokopásmového spektra je načrtnuta výše.

A.4.3.2 Tento formát zkoušky připouští, že náročnost vibrací z pleskotu pásů závisí na rychlosti vozidla nebo na frekvenci. Tento vztah byl kvantifikován zkouškami pro různá místa měření, osy a významné složky pleskotu pásů, tj. pro základní frekvenci a první dvě harmonické. Tyto vztahy se ukázaly být v některých případech složité, ale dají se pro účely specifikace zkoušky idealizovat. Rychlostní body zlomu se mohou identifikovat na základě zkušebních dat a amplitud celkového  $g$  rms měřených v každém terénu a při každé rychlosti. Je významné, že skutečná rychlost vybraná jako předěl dvou zkušebních režimů určuje nejen amplitudy zkoušení, ale i dobu trvání zkoušky. Metodika používaná pro stanovení doby zkoušení popsaná v Metodě A je také použita pro Metodu B, jak pro vysoké, tak pro nízké úrovně zkušebních vibrací.

**Příloha A**  
(informativní)

A.4.3.3 Příklad implementace složek pleskotu pásu při dvouúrovňové zkoušce jako rozmítané sinusoidy je uveden v tabulce A4. Tyto sinusoidy se mohou implementovat jako rozmítané úzkopásmové, pokud se to vyžaduje, tak s využitím výše uvedené rovnice. Opět je zahrnuto celkové g rms zkoušky. Pro zkoušku vysokých úrovní jsou náročnosti stejné jako pro zkoušku varianty A, ale pro zkoušku nízkých úrovní jsou náročnosti podstatně nižší podle požadavku.

**A.4.4 Zkouška varianta C: rozkolísaná a rozmítaná úzkopásmová na širokopásmové náhodné**

A.4.4.1 Metodika rozpracování širokopásmového spektra je načrtnuta výše.

A.4.4.2 Kaskádová analýza se používá ke kvantifikaci vztahu mezi rychlostí (nebo frekvencí). Spektrální analýza v podmínkách stálé rychlosti se používá pro odvození úzkopásmové amplitudy pro každou složku pleskotu pásu. Tato informace je idealizována a upravena koeficienty tak, aby poskytla grafy amplituda v závislosti na rychlosti pro složky  $f_1$ ,  $f_2$  a  $f_3$ . Tato rozkolísaná data vytváří základ rozmítaných úzkopásmových složek v rámci specifikace zkoušky. Amplitudy složek pleskotu pásů jsou definovány jako sinusoidy, ale ty se mohou implementovat jako úzkopásmové náhodné vibrace s využitím výše uvedené rovnice pro výpočet amplitud  $g^2/Hz$ .

A.4.4.3 Idealizace závislosti amplitudy na rychlosti u prvků pleskotu pásů má za následek jednoduché rampy definované právě dvěma body zlomu (tabulka A5). Sofistikovanější model lze vytvořit z naměřených údajů, ale ten je třeba ověřit z důvodů základní opakovatelnosti, prostorových změn a přesnosti údajů o frekvenčních odezvěch.

A.4.4.4 Celková úzkopásmová náročnost této zkoušky odpovídá zkoušce varianty A v její nejvyšší frekvenci, tj. na vrcholu pásma rozmítání. Ale na nižším konci pásma rozmítání bude celkové g rms pouze okrajově překračovat celkové g rms širokopásmové vibrace pozadí. Z těchto důvodů je tato zkouška reprezentativnější pro provozní prostředí a nejméně náročná pokud jde o výkon budiče kmitů.

**TABULKA A.3 – Varianta A: Rozmítaná úzkopásmová nebo sinusoida na širokopásmové náhodné**

Pořadí chodu pásů	Rozsah rozmítání (Hz)	Úzkopásmové náhodné		Sinusoida (g peak)	BBR (g rms)	Celkové náročnost zkoušky (g rms)
		Šířka pásma (Hz)	PSD ( $g^2/Hz$ )			
$f_1$	10 – 140	5	2,80	5,25	8,39	9,33
$f_2$	20 – 280	10	0,20	2,00		
$f_3$	30 – 420	15	0,05	0,05		



**TABULKA A.4 – Varianta B: Dvouúrovňové rozmítané sinusoidy na širokopásmové náhodné**

Pořadí chodu pásů	Rozsah rozmítání (Hz)	Amplituda sinusoidy (g pk)	BBR (g rms)	Celkové náročnost zkoušky (g rms)	
				Vysoká úroveň	Nízká úroveň
f <sub>1</sub>	10 – 70	2,7	8,39	9,33	8,67
	70 – 140	5,25			
f <sub>2</sub>	20 – 140	1,2			
	140 – 280	2,00			
f <sub>3</sub>	30 – 210	0,9			
	210 – 420	1,25			

**TABULKA A.5 – Varianta C: Rozkolísané úzkopásmové na širokopásmové náhodné**

Pořadí chodu pásů	Frekvence (Hz)	Amplituda (g pk)
f <sub>1</sub>	10	0,50
	140	5,25
f <sub>2</sub>	20	0,50
	280	2,00
f <sub>3</sub>	30	0,50
	420	1,25

## A.5 PŘÍKLADY

Příklad vypracovaný níže demonstruje použití tří zkušebních metod popsaných výše. Každá metoda využívá stejná naměřená data, což umožňuje přímé vzájemné srovnání metod.

**Příloha A**  
 (informativní)

**TABULKA A.6 – Definování zkoušky širokopásmové náhodné**

Svisle		Příčně		Podélně	
Frekvence (Hz)	PSD ( $g^2/Hz$ )	Frekvence (Hz)	PSD ( $g^2/Hz$ )	Frekvence (Hz)	PSD ( $g^2/Hz$ )
10	0,000 1	10	0,000 1	10	0,000 2
60	0,02	50	0,006	65	0,005
180	0,02	235	0,006	95	0,005
210	0,01	300	0,002	120	0,001 5
465	0,025	450	0,002	200	0,001
525	0,015	550	0,001	355	0,001 5
640	0,8	875	0,012 5	510	0,004
700	0,025	1 085	0,002	630	0,003
735	0,14	1 360	0,025	701	0,015
920	0,002	1 500	0,002 5	735	0,003 5
1 000	0,01	1 640	0,042	923	0,001 5
1 050	0,005	2 000	0,001	1 000	0,006
1 100	0,03			1 140	0,015
1 150	0,003 5			1 340	0,01
1 200	0,025			1 415	0,002 5
1 295	0,003			1 525	0,007
1 600	0,04			1 575	0,04
1 700	0,04			1 710	0,3
2 000	0,004			1 780	0,06
				2 000	0,03
Ekvivalent k 8,394 g rms		Ekvivalent k 3,788 g rms		Ekvivalent k 6,791 g rms	

**POZNÁMKA 1**

Pro grafickou prezentaci těchto dat viz obrázky A.4, A.5 a A.6.

Definování úzkopásmové – rozmítané.

**TABULKA A.7 – Definování zkoušky – Alternativa A: rozmítaná úzkopásmová na širokopásmové náhodné**

Osa	Pořadí pleskání pásů	Rozsah rozmítání	Úzkopásmové náhodné		Sinusoida	BBR	Celková náročnost zkoušky
			Šíře pásma	Výkon. spektr. hustota			
		(Hz)	(Hz)	(g <sup>2</sup> /Hz)	g pk	(g rms)	g rms
Svislá	f <sub>1</sub>	10 – 140	5	2,76	5,25	8,39	9,33
	f <sub>2</sub>	20 – 280	10	0,20	2,00		
	f <sub>3</sub>	30 – 420	15	0,05	1,25		
Příčná	f <sub>1</sub>	10 – 140	5	0,30	1,75	3,79	4,08
	f <sub>2</sub>	20 – 280	10	0,05	1,00		
	f <sub>3</sub>	30 – 420	15	0,02	0,75		
Podélná	f <sub>1</sub>	10 – 140	5	0,10	1,00	6,79	6,86
	f <sub>2</sub>	20 – 280	10	0,01	0,50		
	f <sub>3</sub>	30 – 420	15	0,01	0,75		

Doba trvání zkoušky

Osa	Doba zkoušky (h) pro 1 000 km
Svislá	1,6
Příčná	2,9
Podélná	1,9
<b>Celkem:</b>	<b>6,4</b>

#### POZNÁMKY

- 2 Pro odvození doby trvání zkoušky viz tabulka A.10.
- 3 Pro definování širokopásmové náhodné viz tabulka A.6.
- 4 Složky pleskotu pásů se mohou aplikovat buď jako lineární rozmítané úzkopásmové nebo jako lineární rozmítané sinusoidy.

**Příloha A**  
(informativní)

Definování úzkopásmové – rozmítané.

**TABULKA A.8 – Definování zkoušky – varianta B: dvouúrovňové rozmítané sinusoidy na širokopásmové náhodné**

Osa	Pořadí pleskání pásů	Rozsah rozmítání (Hz)	Amplituda sinusoidy (g pk)	BBR (g rms)	Celková náročnost zkoušky (g rms)	
					Vysoká úroveň	Nízká úroveň
Svislá	f <sub>1</sub>	10 – 70	2,70	8,39	9,33	8,67
		70 – 140	5,25			
	f <sub>2</sub>	20 – 140	1,20			
		140 – 280	2,00			
	f <sub>3</sub>	30 – 210	0,90			
		210 – 420	1,25			
Příčná	f <sub>1</sub>	10 – 70	1,10	3,79	4,08	3,93
		70 – 140	1,75			
	f <sub>2</sub>	20 – 140	0,80			
		140 – 280	1,00			
	f <sub>3</sub>	30 – 210	0,60			
		210 – 420	0,75			
Podélná	f <sub>1</sub>	10 – 70	0,80	6,79	6,86	6,84
		70 – 140	1,00			
	f <sub>2</sub>	20 – 140	0,50			
		140 – 280	0,50			
	f <sub>3</sub>	30 – 210	0,60			
		210 – 420	0,75			

Doba trvání zkoušky

Osa	Doba zkoušky (h) pro 1 000 km		
	Vysoká úroveň	Nízká úroveň	Celkem
Svislá	2,0	3,9	5,9
Příčná	3,5	3,8	7,3
Podélná	2,7	3,6	6,3
Celkem:			19,5

**POZNÁMKY**

- 5 Pro odvození doby trvání zkoušky viz tabulka A.11.
- 6 Pro definování širokopásmové náhodné viz tabulka A.6.
- 7 Složky pleskotu pásů se mohou aplikovat buď jako lineární rozmítané úzkopásmové nebo jako lineární rozmítané sinusoidy.

Definování úzkopásmové – rozkolísané a rozmítané.

**TABULKA A.9 – Definování zkoušky – Alternativa C: rozkolísaná úzkopásmová na širokopásmové náhodné**

Osa	Pořadí	Frekvence (Hz)	Amplituda (g pk)
Svislá Z	f <sub>1</sub>	10	0,50
		140	5,25
	f <sub>2</sub>	20	0,50
		280	2,0
	f <sub>3</sub>	30	0,50
		420	1,25
Příčná Y	f <sub>1</sub>	10	0,50
		140	1,75
	f <sub>2</sub>	20	0,50
		280	1,0
	f <sub>3</sub>	30	0,5
		420	0,75
Podélná X	f <sub>1</sub>	10	0,5
		140	1,0
	f <sub>2</sub>	20	0,5
		280	0,5
	f <sub>3</sub>	30	0,5
		420	0,75

Doba trvání zkoušky

Osa	Doba zkoušky (h) pro 1 000 km
Svislá	1,6
Příčná	2,9
Podélná	1,9
<b>Celkem:</b>	<b>6,4</b>

**POZNÁMKY**

- 8 Pro odvození doby trvání zkoušky viz tabulka A.10.
- 9 Pro definování širokopásmové náhodné viz tabulka A.6.
- 10 Složky pleskotu pásů se mohou aplikovat buď jako lineární rozmítané úzkopásmové nebo jako lineární rozmítané sinusoidy.

**TABULKA A.10 – Definování zkoušky – Zkouška varianta A a C – doba trvání zkoušky**

**Příloha A**  
(informativní)

Terén	Rychlost (km/h)	Čas (%)	Vzdálenost za hodinu (km)	Náročnost (celkové g rms)			Ekvivalentní doba (%)		
				svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)	svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)
RR	10	2%	0,2	0,424	0,189	0,278	0,00%	0,01%	0,00%
RR	20	3%	0,6	1,054	0,401	0,504	0,00%	0,04%	0,00%
RR	30	5%	1,5	1,808	0,666	0,967	0,00%	0,11%	0,01%
RR	40	8%	3,2	2,382	0,820	1,322	0,00%	0,22%	0,02%
RR	50	10%	5	4,077	1,349	1,694	0,00%	0,45%	0,03%
SR	10	2%	0,2	0,435	0,239	0,373	0,00%	0,02%	0,00%
SR	20	3%	0,6	0,892	0,369	0,493	0,00%	0,04%	0,00%
SR	30	3%	0,9	1,889	0,751	0,910	0,00%	0,07%	0,00%
SR	40	5%	2	2,384	0,934	1,362	0,00%	0,16%	0,01%
SR	50	9%	4,5	2,815	1,056	1,537	0,00%	0,32%	0,02%
SR	60	10%	6	2,999	1,207	2,033	0,00%	0,40%	0,04%
SR	70	10%	7	3,843	1,528	2,645	0,00%	0,51%	0,05%
SR	75	5%	3,75	4,798	1,975	3,353	0,00%	0,33%	0,03%
XC	40	25%	10	1,768	0,681	0,953	0,01%	0,57%	0,04%
Max.				4,798	1,975	3,353			
Celkem		100%	45,45				0,03%	3,23%	0,26%

tj.	1 h	45,45 km	Doba (h) pro 1 000 km		0,01	0,71	0,06
tak	1 000 km	22,00 h	Celková doba zkoušky (h)		0,78		

RR	10	2%	0,2	0,649	0,249	0,342	0,00%	0,00%	0,00%
RR	20	3%	0,6	1,220	0,466	0,568	0,00%	0,00%	0,00%
RR	30	5%	1,5	2,123	0,785	0,963	0,03%	0,05%	0,01%
RR	40	8%	3,2	2,770	1,056	1,486	0,16%	0,35%	0,10%
RR	50	10%	5	6,072	1,711	2,009	10,00%	4,87%	0,58%
SR	10	2%	0,2	0,451	0,181	0,237	0,00%	0,00%	0,00%
SR	20	3%	0,6	1,081	0,430	0,516	0,00%	0,00%	0,00%
SR	30	3%	0,9	1,876	0,746	0,901	0,01%	0,02%	0,00%
SR	40	5%	2	2,139	1,007	1,332	0,03%	0,17%	0,04%
SR	50	9%	4,5	3,913	1,457	2,008	1,00%	1,97%	0,52%
SR	60	10%	6	3,433	1,358	2,189	0,58%	1,54%	0,88%
SR	70	15%	10,5	4,114	1,933	3,555	2,14%	13,46%	15,00%
XC	40	25%	10	2,491	0,905	1,229	0,29%	0,50%	0,12%
Max				6,072	1,933	3,555			
Celkem		100%	45,2				14,23%	22,94%	17,25%

tj.	1 h	45,2 km	Doba (h) pro 1 000 km		3,15	5,08	3,82
tak	1 000 km	22,12 h	Celková doba zkoušky (h)		12,05		

Celkové trvání zkoušky	Vozidlo	Konfigur.	Použití	svisle	příčně	podélně
		RFU	50%	0,00%	0,36%	0,03%
		RFU	50%	1,57%	2,54%	1,91%
		Součet:	100%	1,58%	2,89%	1,94%
		Celkem		6,41%		

**Příloha A**  
(informativní)

**TABULKA A.11 – Definování zkoušky – Zkouška varianta B – doba trvání zkoušky**

Terén	Rychlost (km/h)	Čas (%)	Vzdálenost za hodinu (km)	Náročnost (celkové g rms)			Ekvivalentní doba (%)		
				svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)	svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)
SR	10	2%	0,2	0,451	0,181	0,237	0,00%	0,00%	0,00%
RR	10	2%	0,2	0,649	0,249	0,342	0,00%	0,00%	0,00%
SR	20	3%	0,6	1,081	0,430	0,516	0,00%	0,00%	0,00%
RR	20	3%	0,6	1,220	0,466	0,568	0,00%	0,10%	0,00%
SR	30	3%	0,9	1,876	0,746	0,901	0,40%	0,50%	0,20%
RR	30	5%	1,5	2,123	0,785	0,963	1,30%	1,10%	0,60%
SR	40	5%	2	2,139	1,007	1,332	1,40%	3,90%	2,90%
XC	40	25%	10	2,491	0,905	1,229	14,70%	11,60%	9,70%
RR	40	8%	3,2	2,770	1,056	1,486	8,00%	8,00%	8,00%
Max.				2,770	1,056	1,486			
Celkem		56%	19,2				25,90%	25,20%	21,40%
SR	60	10%	6	3,433	1,358	2,189	0,60%	1,50%	0,90%
SR	50	9%	4,5	3,913	1,457	2,008	1,00%	2,00%	0,50%
SR	70	15%	10,5	4,114	1,933	3,555	2,10%	13,50%	15,00%
RR	50	10%	5	6,072	1,711	2,009	10,00%	4,90%	0,60%
Max.				6,072	1,933	3,555			
Celkem		44%	26				13,70%	21,80%	17,00%

tj.	1 h	45,2 km	Doba (h) pro 1 000 km	Fáze 1	5,73	5,58	4,74
tak	1 000 km	22,12 h		Fáze 2	3,04	4,83	3,76

Terén	Rychlost (km/h)	Doba (%)	Vzdálenost za hodinu (km)	Náročnost (celkové g)			Ekvivalentní doba (%)		
				svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)	svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)
SR	10	2%	0,2	0,424	0,189	0,278	0,00%	0,00%	0,00%
RR	10	2%	0,2	0,435	0,239	0,373	0,00%	0,00%	0,00%
SR	20	3%	0,6	0,892	0,369	0,493	0,00%	0,00%	0,00%
RR	20	3%	0,6	1,054	0,401	0,504	0,00%	0,00%	0,00%
XC	40	25%	10	1,768	0,681	0,953	2,60%	2,80%	2,70%
RR	30	5%	1,5	1,808	0,666	0,967	0,60%	0,50%	0,60%
SR	30	3%	0,9	1,889	0,751	0,910	0,40%	0,50%	0,30%
RR	40	8%	3,2	2,382	0,820	1,322	3,80%	2,30%	4,50%
SR	40	5%	2,0	2,384	0,934	1,362	2,40%	2,70%	3,20%
Max.				2,384	0,934	1,362			
Celkem		56%	19,2				9,80%	8,80%	11,30%
SR	50	9%	4,5	2,815	1,056	1,537	0,20%	0,40%	0,10%
SR	60	10%	6,0	2,999	1,207	2,033	0,30%	0,90%	0,60%

**Příloha A**  
 (informativní)

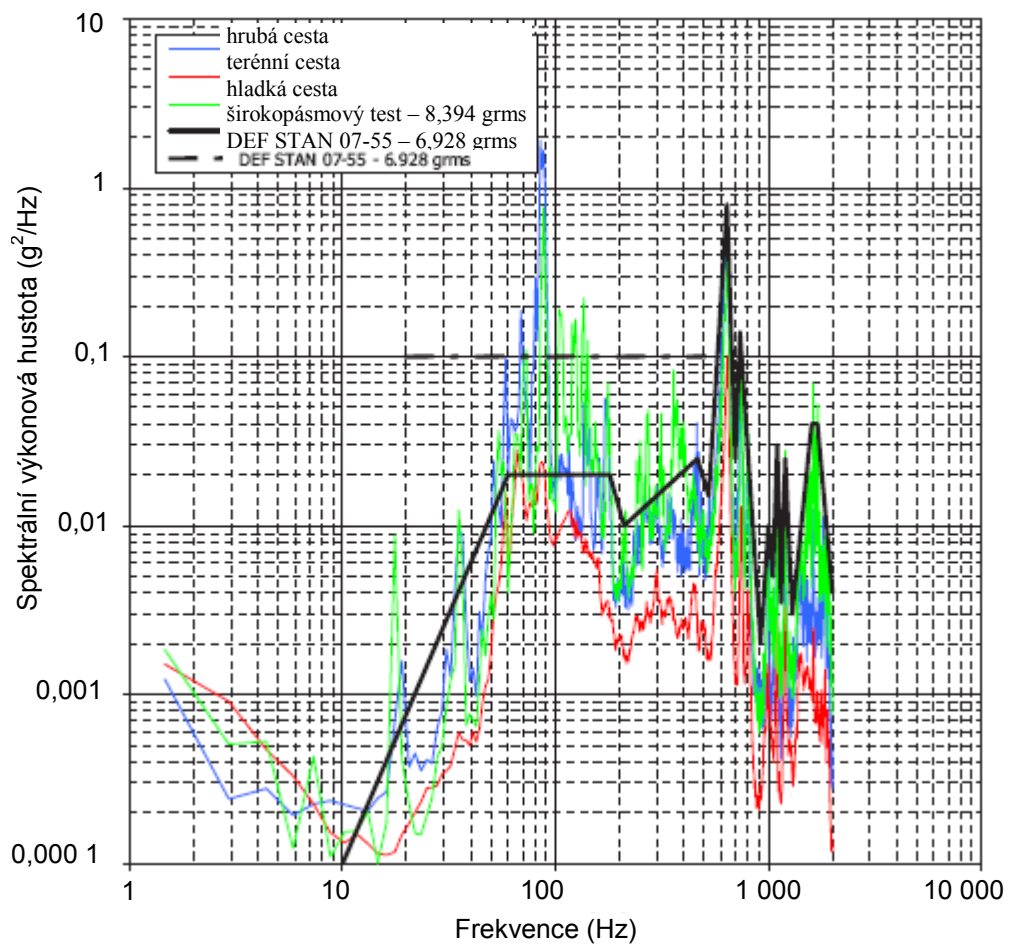
Terén	Rychlost (km/h)	Doba (%)	Vzdálenost za hodinu (km)	Náročnost (celkové g)			Ekvivalentní doba (%)		
				svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)	svisle (x)	příčně (y)	podélně (z)
SR	70	10%	7,0	3,843	1,528	2,645	1,00%	2,80%	2,30%
RR	50	10%	5,0	4,077	1,349	1,694	1,40%	1,50%	0,20%
SR	75	5%	3,75	4,798	1,975	3,353	1,50%	5,00%	3,70%
Max.				4,798					
Celkem		44%	26,25				4,40%	10,50%	7,00%

tj. 1 h	45,45 km	Doba (h) pro 1 000 km	Fáze 1	2,16	1,94	2,48
tak 1 000 km	22,00 h		Fáze 2	0,97	2,31	1,54

	Fáze zkoušky	Svislá (x)	Příčná (y)	Podélná (z)
Doba trvání zkoušky (h) v nízké úrovni (Fáze 1) a vysoké úrovni (Fáze 2)	1	3,95	3,76	3,61
	2	2,00	3,57	2,65
	součet	5,95	7,33	6,26
	celkem	19,54 h		



**Příloha A**  
(informativní)

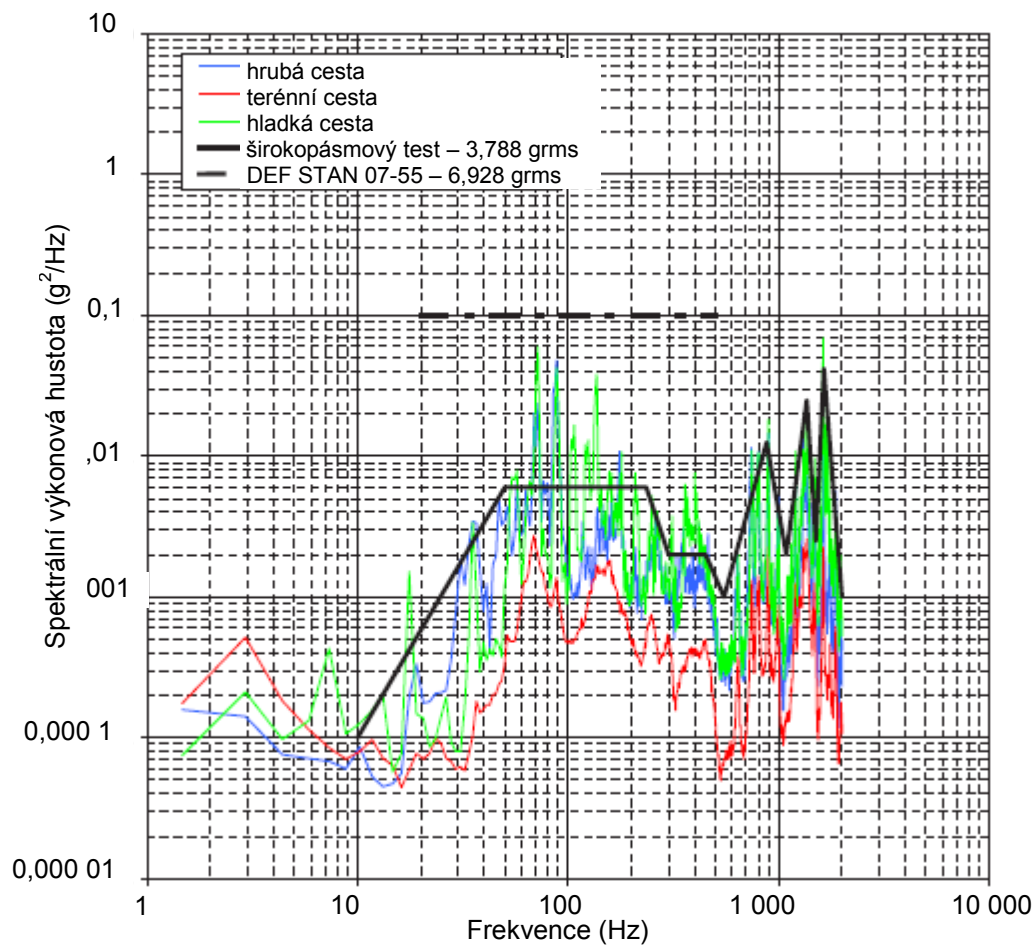


**POZNÁMKY**

- 11 Obálky pro všechny rychlosti na všech typech terénu.
- 12 Poloha měření: kryt přední torzní tyče, kryt zadní torzní tyče.

**OBRÁZEK A.4 – Vibrace na svislé ose**

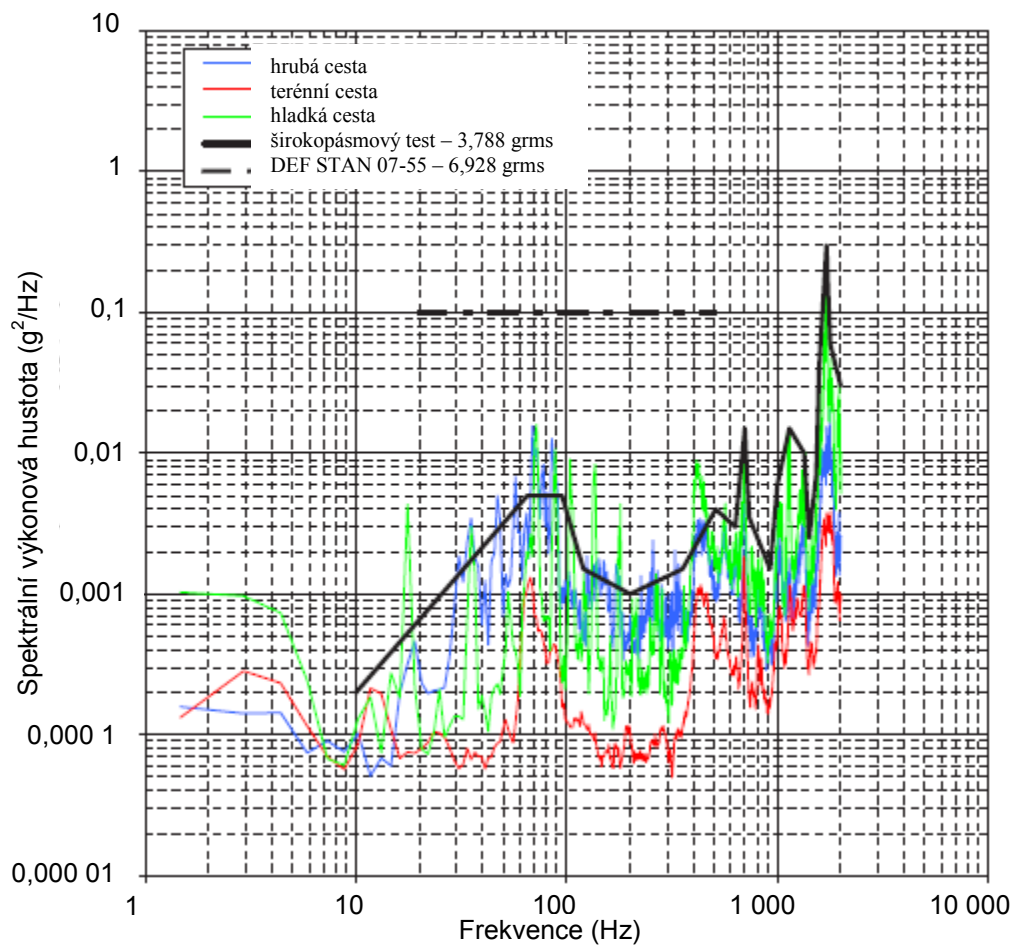
**Příloha A**  
(informativní)



**POZNÁMKY**

- 13 Obálky pro všechny rychlosti na všech typech terénu.
- 14 Poloha měření: kryt přední torzní tyče, kryt zadní torzní tyče.

**OBRÁZEK A.5 – Vibrace na příčné ose**

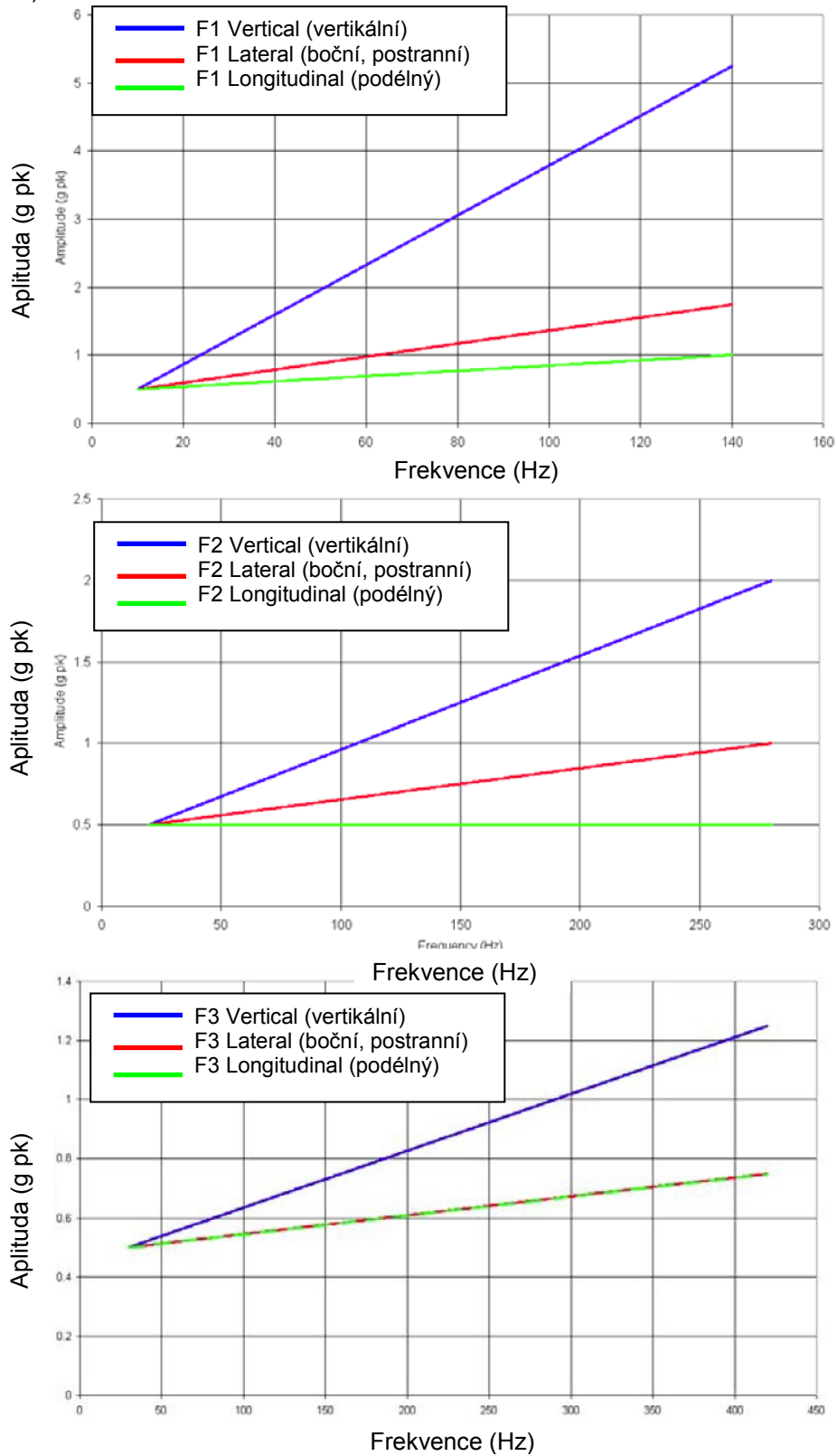


#### POZNÁMKY

- 15 Obálky pro všechny rychlosti na všech typech terénu.
- 16 Poloha měření: kryt přední torzní tyče, kryt zadní torzní tyče.

**OBRÁZEK A.6 – Vibrace na podélné ose**

**Příloha A**  
(informativní)



**OBRÁZEK A.7 – Charakteristika idealizované amplitudy v závislosti na rychlosti pro vibrace pleskotu pásů**

**KAPITOLA 245**  
**ČÁST 245/2**  
**INSTALACE NA A V KOLOVÝCH VOZIDLECH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	134
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	135
2.1 DRUH TERÉNU .....	135
2.2 CHARAKTERISTIKY VOZIDLA .....	135
2.3 PROVOZ VOZIDLA.....	136
2.4 STŘELBA A ODPÁLENÍ STŘEL.....	137
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY .....	137
3.1 ZPŮSOBY SELHÁNÍ.....	137
3.2 PROVOZ VOZIDLA.....	137
3.3 STŘELBA.....	137
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY .....	137
4.1 MOŽNOSTI ZKOUŠENÍ.....	137
4.2 LABORATORNÍ VIBRAČNÍ ZKOUŠKY .....	138
4.3 LABORATORNÍ RÁZOVÉ ZKOUŠENÍ .....	138
4.4 ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNÍ DRÁZE .....	138
4.5 SILNIČNÍ A TERÉNNÍ ZKOUŠKY.....	138
4.6 ZKOUŠKY ZRYCHLENÍ.....	139
<b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ...144	

## **ČÁST 245/2 INSTALACE NA A V KOLOVÝCH VOZIDLECH**

### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickými prostředími, jimž může být vystaven materiál při použití nebo instalaci na kolových vozidlech.

Vozidla zvažovaná v této části patří do kategorie pohybující se od velkých běžných nákladních automobilů až po malé typy s pohonem všech kol a mohou být obrněná, nebo neobrněná. Jedná se o vozidla s pohonem všech kol až po velikost taženou za největšími logistickými vozidly. Obecně se používá mnoho rozdílných typů přívěsů, z nichž některé mohou být postaveny speciálně pro určité použití.

Uvažované typy jsou "běžný nosič", do něhož spadají vozidla používaná přednostně na silničních komunikacích a která jsou určena pro komerční přepravu a "polní" typ, do něhož patří vozidla používaná přednostně v podmínkách mimo vozovky.

Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanických prostředí a kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o potenciálních škodlivých účincích. Je poskytnuto vodítko pro výběr odpovídající zkušební metody z AECTP-400. V příloze A je uveden návod pro vytvoření popisu prostředí a náročnosti zkoušek z naměřených údajů.

Jestliže se kolové vozidlo pohybuje v terénu, interakce mezi pneumatikami vozidla a nerovnostmi terénu mají za následek vibrační buzení, které je přenášeno na materiál instalovaný ve vozidle přes systém odpružení a strukturu šasi. Navíc bude materiál vystaven setrvačnému zatížení vznikajícímu v důsledku akcelerace vozidla, tj. při zvyšování rychlosti, brzdění a zatáčení.

Činnost motoru vozidla, převodovky, čerpadel, atd. přispěje také k vibračnímu buzení. Takovéto buzení je pravděpodobně nejvýznamnější v jednotlivých frekvencích souvisejících s otáčejícími se hřídelemi, záběrem ozubených kol, atd. Zdrojem buzení mohou být také rezonance pneumatik. Význam těchto buzení je výrazně závislý na poloze materiálu ve vztahu k těmto zdrojům.

Vibrační spektra získaná z měření na kolových vozidlech a přívěsech jsou v podstatě širokopásmová náhodná složka. Špičkové hodnoty ve spektrech pravděpodobně mají souvislost s hmotností vozidla a průhybem jeho odpružení. Diskrétní špičkové hodnoty se mohou v takovýchto spektrech projevat při frekvencích souvisejících s různými otáčivými složkami, tj. s motorem a převodovým ústrojím.

Při provozu běžného vozidla - což zahrnuje vozidla se střední pohyblivostí, která stráví větší část své životnosti na normálních dlážděných silnicích, jsou při zvažování strukturálně přenášených rázů očekávány pouze střední úroveň náročnosti. Naopak, vyšší úroveň rázu je nutno očekávat při činnosti vozidla v poli. Sem patří vysoce pohyblivá vozidla, která mohou operovat v terénu nebo v boji.

Dynamická reakce materiálu instalovaného na kolových vozidlech závisí na dále uváděných faktorech.

## 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

### 2.1 Druh terénu

- 2.1.1 Reakci materiálu bude podstatně ovlivňovat ráz terénu, v němž se pohybuje kolové vozidlo. V závislosti na úkolu vozidla může terén, který je nutno brát v úvahu, zahrnovat dlážděné silniční komunikace, nerovné vozovky, vozovky dlážděné pomocí belgické dlažby a terén. Podle očekávání přispívá těžký a nerovný terén, jako například rozbité betonové dráhy, ke vzniku náročnějšího prostředí než silniční vozovky, jak je ukázáno na obrázku 1. Další příklady toho, jak se mění vibrační reakce vyjádřené jako celkové  $g_{rms}$  s ohledem na druh terénu, jsou ukázány na obrázku 2.
- 2.1.2 Dokonce i u silničních komunikací s obvykle dobrým povrchem, se lze při normálním používání setkat s celou řadou povrchových nepravidelností, jako jsou například díry ve vozovce nebo železniční koleje. V důsledku toho je často nezřetelné rozlišení mezi vibracemi a rázem v naměřených dynamických reakcích kolových vozidel. Přítomnost jevu je možno často pozorovat v naměřených pravděpodobnostních rozděleních amplitud, viz obrázek 3a. Tento obrázek ukazuje charakteristickou klidnou plynulou křivku z oblasti vysoké pravděpodobnosti nízkých amplitud do oblasti nízké pravděpodobnosti vyšších amplitud. Dále je nutné si na obrázku 3b všimnout, že rozšířený charakter odpovídajícího grafu hustoty pravděpodobnosti ukazuje, že tyto údaje nemají jednoduchý stacionární Gaussovský průběh, který by měl za následek trojúhelníkovou charakteristiku.
- 2.1.3 Vzhledem k silničním komunikacím je klasifikace průkazná pro minimální šířku vozovky, ale nikoliv nezbytně také pro kvalitu vozovky. Nedávné práce ukázaly, že pro danou rychlost jsou nejmenší vibrace obvykle spojeny s mnohaproudovými vozovkami a nejhorší vibrace s protiproudovými vozovkami. To je způsobeno tím, že je možno očekávat, že menší šířka protiproudové vozovky bude zvyšovat pravděpodobnost rázových přechodových jevů způsobených přeježděním přes zapuštěné odvodňovací drážky nebo při nájezdu na okraj vozovky.
- 2.1.4 Na nerovných cestách a dlážděných vozovkách, kde lze očekávat rázy, může být po většinu doby dynamické prostředí tak náročné, že je toto prostředí obvykle popisováno jako podmínky trvalých vibrací. V těchto případech mohou být jak  $rms$ , tak špičkové reakční amplitudy vysoké.
- 2.1.5 Na terénních drahách může být celková úroveň náročnosti nízká, ale mohou se vyskytnout značné rázy. Následkem toho mohou být amplitudy  $rms$  nízké, ale špičkové amplitudy relativně vysoké.

### 2.2 Charakteristiky vozidla

- 2.2.1 Vibrace, jimž bude vystaven materiál, budou podstatně ovlivněny systémem zavěšení kol vozidla a pneumatikami. Vozidlo s měkkým závěsným systémem s velkou dráhou chodu tohoto závěsného systému vybavené měkkými pneumatikami bude zřejmě vytvářet neškodné prostředí. Naopak vozidla s tuhým závěsným systémem a tuhými pneumatikami, tj. obrněná vozidla, mohou vytvářet relativně tvrdé prostředí, obzvláště při přeježdění nerovných tvrdých povrchů, jako je rozbitý beton nebo pouštní břidlice. Závažné nárazy

se mohou objevit v případě, kdy je vyčerpána celá dostupná dráha systému zavěšení a dojde k nárazům na pružné dorazy.

- 2.2.2 Úroveň vibrací bude také ovlivňovat celková hmotnost naloženého vozidla. Ukazuje se, že úroveň vibrací se snižuje se zvyšujícím se naložením vozidla, jak je ukázáno na obrázku 4.
- 2.2.3 Poloha materiálu ve vozidle nebo přívěsu může ovlivňovat jeho dynamickou reakci. Například obrázek 5 ukazuje průběh úrovně vibrace ve směru podél kloubového mnohonápravového návěsu. Jeho dynamickou reakci může ovlivňovat také hmotnost a způsob naložení, zejména jsou-li použity protirázové podložky.
- 2.2.4 Vibrace působící na materiál jsou součtem vektorů buzení přenášených z každého kola spolu se všemi ostatními zdroji souvisejícími s motorem nebo převodovkou atd. Předpokládá se, že buzení z každého kola v důsledku povrchu vozovky není nezávislé, ale může být v úzkém vzájemném vztahu. Tyto účinky pravděpodobně nebudou důležité pro malé objekty, jako jsou např. objekty s malou základovou plochou, ale musí být brány v úvahu při určování náročnosti zkoušek z naměřených údajů pro velké objekty, obzvláště s ohledem na rotační pohyby vozidla.
- 2.2.5 U přívěsů je náročnost dynamického prostředí pravděpodobně největší pro malé dvoukolové přívěsy. Se zvětšující se velikostí přívěsu se náročnost prostředí přibližuje náročnosti prostředí kolových vozidel s podobnou nosností. Obecně lze říci, že jestliže hmotnost naloženého přívěsu překračuje 2 tuny, bude se pravděpodobně chovat jako odpovídající kolové vozidlo. Volný pohyb ve spoji mezi vozidlem a přívěsem může způsobit nárůst rázů jak u tažného vozidla, tak u přívěsu. Ve skutečnosti všechny přívěsy, kromě nejmenších, budou mít ze spojů obsahujících podélné tlumiče užitek.

### 2.3 Provoz vozidla

- 2.3.1 Úroveň strukturální dynamické reakce vozidla popsaná pomocí celkové amplitudy rms se bude zvyšovat se zvyšující se rychlostí vozidla, jak je ukázáno na obrázku 6. Měření byla prováděna na ložné ploše nad zadní osou velkého kloubového nákladního automobilu jedoucího po nejrůznějších silničních površích. Jestliže dojde ke vzniku rezonancí, nemusí se maximální vibrace instalovaného materiálu nezbytně projevit při maximální rychlosti vozidla, jak je ukázáno na obrázku 7. Takové rezonance mohou souviset s určitou materiálovou položkou nebo způsobem jeho připevnění.
- 2.3.2 Reakce  $g$  pk budou pro těžké nákladní automobily (>35 tun) na kvalitních vozovkách během trhavého rozjezdu a nouzového zastavení zahrnuty pravděpodobně do reakcí souvisejících s normální jízdou na vozovce. Navíc, jak je možno očekávat, při porovnání s normální jízdou po vozovce, se mohou relativně vysoké úrovně reakcí během těchto akcí projevit v podélné ose vozidla. Při ustáleném zrychlení nepřesáhnou hodnoty pravděpodobně 1 g. Vibrace během zrychlování, brzdění a otáčení nebudou pravděpodobně příliš odlišné od vibrací projevujících se během odpovídajících podmínek ustálené rychlosti.
- 2.3.3 Jakékoliv kolové vozidlo jedoucí s jednou nebo více vypuštěnými pneumatikami bude vystaveno horšímu dynamickému prostředí, než při normálních podmínkách se všemi pneumatikami správně nahuštěnými.



Z hlediska spektrálních charakteristik bude vliv vypuštěných pneumatik omezen pouze na část spektra. Tyto účinky jsou zobrazeny na obrázku 8.

2.3.4 Pro citlivý materiál instalovaný na terénních vozidlech při plnění bojových úkolů může být zvláště závažné naklonění vozidla.

## **2.4 Střelba a odpálení střel**

2.4.1 Reakce materiálu na střelbu jsou podrobně uvedeny v části 246/1 - Instalace na a v proudových letadlech.

2.4.2 Odpálení střel může vystavit vozidlo vysokým úrovním rázu, vibrací a tlaku. Tyto podmínky jsou vysoce specifické z hlediska místa instalace a jejich charakteristiky nejsou v této části zahrnuty.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Způsoby selhání**

Materiál může být citlivý vůči třem možným způsobům selhání, tj. v souvislosti s posunem, rychlostí a zrychlením. Selhání související s posunem materiálu může vzniknout v důsledku kolizí mezi zařízeními po relativním pohybu; přetržení tahem po relativním pohybu; uvolnění konektorů vedoucí k přerušení elektrické kontinuity. Selhání související se zrychlením může vzniknout v důsledku působení setrvačného zatížení. Toto může účinkovat jednou a způsobit závadu v důsledku překročení mezní hodnoty nebo opakovaně a způsobit vznik únavové závady. Selhání související s rychlostí nejsou tak běžná, jako selhání způsobená posunem nebo zrychlením. Rychlostní zatížení některých elektrických zařízení včetně senzorů však mohou způsobit rušivá napětí, která naopak mohou vést k funkční poruše.

### **3.2 Provoz vozidla**

3.2.1 Materiál instalovaný s použitím protirázových podložek může být vystaven relativně větším posunům, jestliže přirozená frekvence materiálu na podložkách se shoduje s frekvencemi systému odpružení vozidla.

3.2.2 Pokud kterékoliv rezonanční frekvence materiálu odpovídají frekvencím z rotačních zdrojů vozidla, jako jsou například otáčky pohonné hřídele, může dojít k nadměrné vibraci. Tyto účinky mohou být podstatné během jízdy v konvoji.

### **3.3 Střelba**

Pokud je citlivý materiál instalovaný uvnitř vozidla, účinky tlakové vlny spojené se střelbou z vozidlových zbraní budou pravděpodobně nepodstatné. Možné nepříznivé účinky se však mohou projevit při koincidenci rychlosti střelby se strukturálními frekvencemi vozidla nebo s frekvencemi instalovaného materiálu.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Možnosti zkoušení**

Obecně jsou k dispozici tři přístupy k simulaci prostředí pásového vozidla, tj. laboratorní zkoušení s pomocí vibrátorů nebo v případě potřeby jiných zařízení, terénní zkoušky s využitím vhodných zkušebních drah nebo provozní zkoušky s využitím silničních nebo terénních povrchů za skutečných podmínek. Simulace

prostředí v laboratoři má výhodu v tom, že umožňuje provedení simulace v definovaných a kontrolovaných podmínkách. Navíc laboratorní zkoušení umožňuje snížit dobu zkoušení, snížit náklady, protože není nutný provoz vozidla a zvýšit bezpečnostní standardy (zejména při zkoušení munice). Výhodou terénních zkoušek je to, že všechny části jsou ve správných relativních polohách a všechny mechanické odpory jsou realistické; v důsledku toho lze očekávat, že při terénních zkouškách je materiál vystaven všem odpovídajícím poruchovým mechanismům. Provozní zkoušky mohou být nezbytné v případě, kdy k dispozici nejsou odpovídající údaje, z nichž by bylo možno určit náročnost laboratorních zkoušek. Simulace pomocí provozních zkoušek může být výhodnější v případě velkých a špatně manipulovatelných nákladů a je nezbytná v případě, kdy náklad podstatně reaguje na dynamiku nosného vozidla.

#### **4.2 Laboratorní vibrační zkoušky**

Simulace prostředí v laboratoři je obvykle vhodná pro všechny, kromě největších druhů materiálu. Pokud je požadována vibrační zkouška, má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

#### **4.3 Laboratorní rázové zkoušení**

V některých případech může být nezbytné provádět rázové zkoušení, aby bylo možno vytvořit strukturálně přenášené přechodové jevy vznikající v důsledku činnosti vozidla. Má se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 403 – Rázové zkoušení.

#### **4.4 Zkoušky na zkušební dráze**

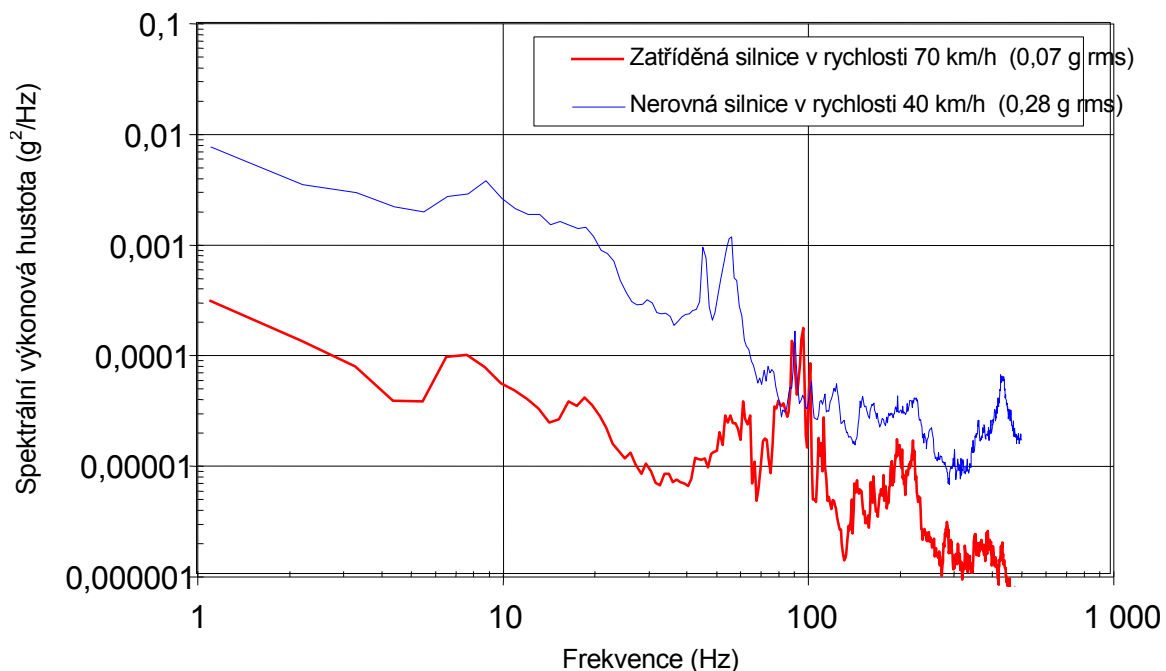
Vzhledem k obtížnosti vytvoření nejhorších možných silničních podmínek, používají se často standardní zkušební dráhy. K dispozici je značný rozsah zkušebních drah. Ne všechny jsou určeny pro simulaci prostředí pásových vozidel, některé jsou určeny pro zkoumání aspektů souvisejících s ovládáním vozidla a spolehlivostí. Při výběru vhodných povrchů je tedy nutno dbát na zabezpečení reprezentativních reakcí materiálu. Mohou vzniknout reakce s vysokou amplitudou s výskytem převyšujícím o mnoho řádů četnost, jíž bude materiál tomuto působení vystaven při skutečném provozu, což u některých materiálů může znamenat vznik poruch, které se ve skutečnosti pravděpodobně nevyskytnou. Doporučuje se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 408 - Přeprava rozměrných kompletů (ČOS 999902).

#### **4.5 Silniční a terénní zkoušky**

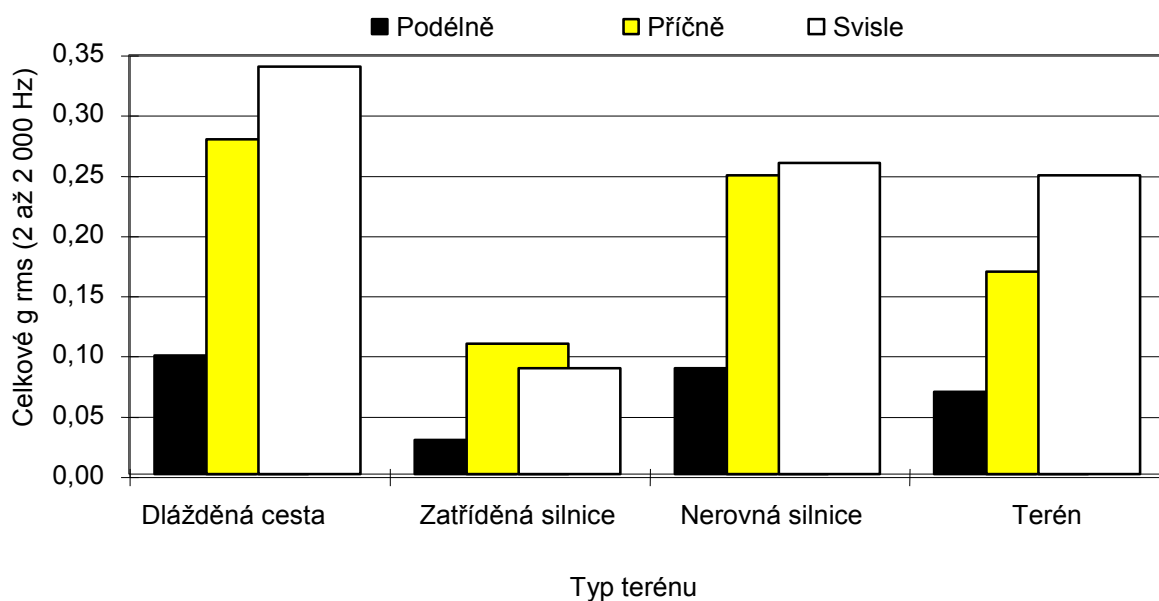
Zkoušky prováděné na reprezentativních silnicích a v terénu po reprezentativní dobu trvání jsou nejrealističtější. Takové zkoušky jsou platné pouze tehdy, je-li k dispozici podrobná znalost instalace materiálu a předpokládaného použití pásových vozidel. Při provedení těchto zkoušek může být žádoucí zahrnout některé zkoušky na zkušební dráze jako vhodný způsob aplikace mezních podmínek. Doporučuje se použít zkušební postup uvedený v AECTP-400, Metoda 408 - Přeprava rozměrných kompletů (ČOS 999902).

#### 4.6 Zkoušky zrychlení

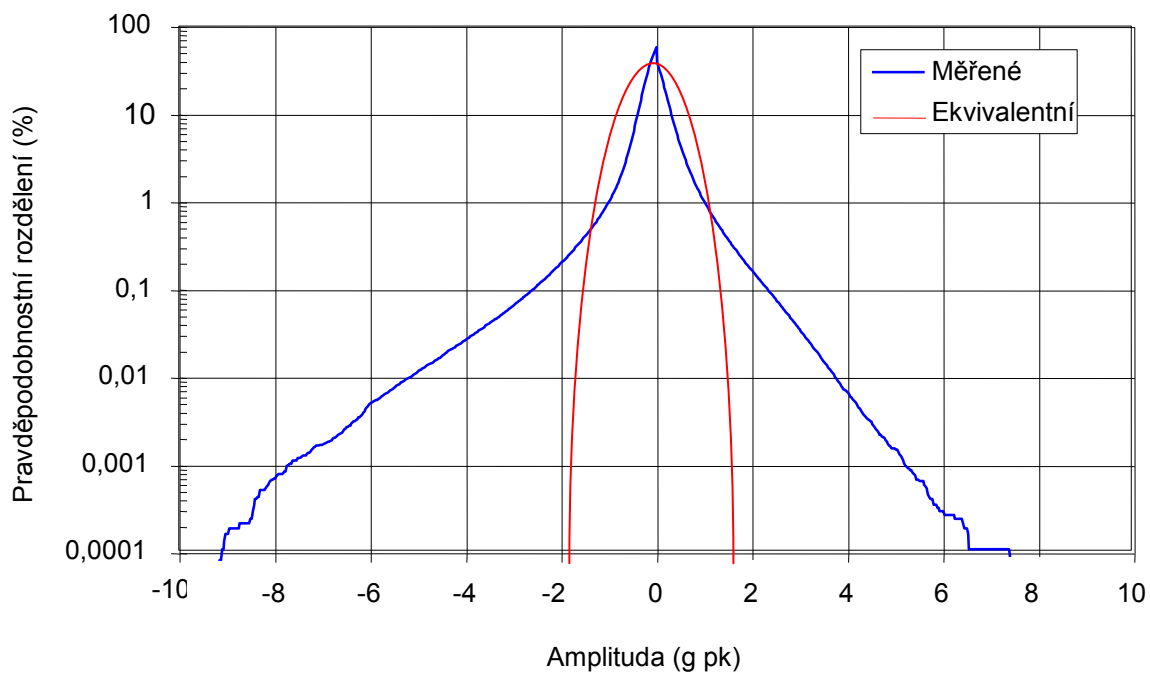
Zkoušení s aplikací kvazistatického zatížení pro simulaci zrychlení vozidla není obvykle potřebné, protože tato zatížení jsou buď zahrnuta ve zkouškách pro jiná provozní prostředí, nebo je odolnost materiálu prokázána posouzením.



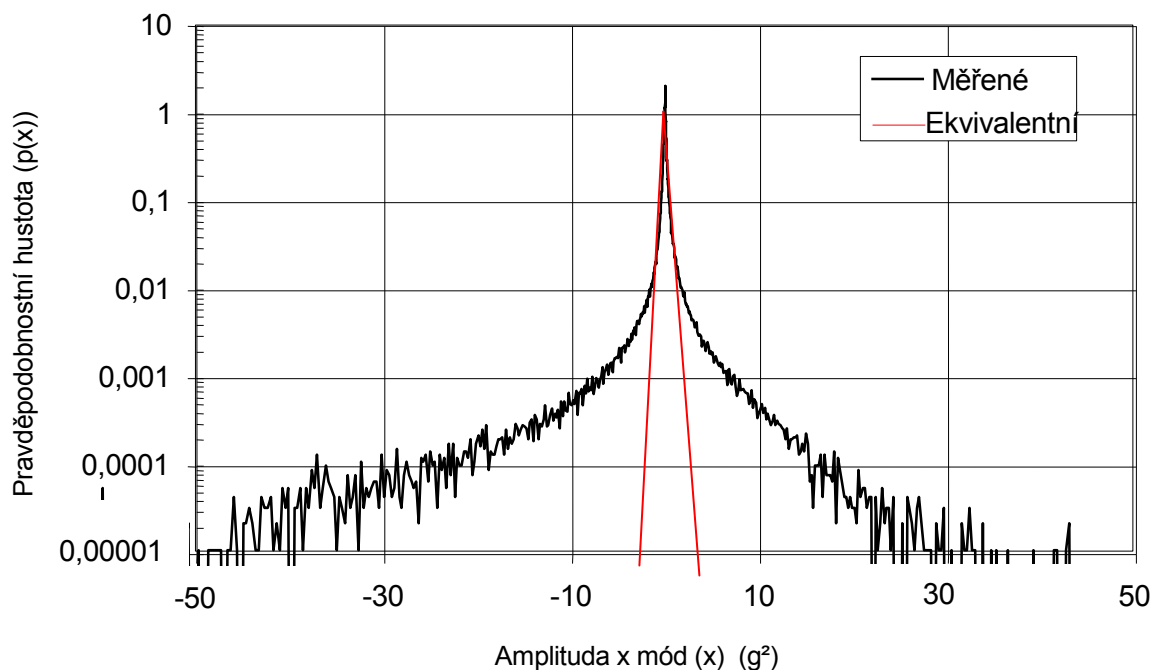
**OBRÁZEK 1 – Vibrační spektrum (svislá osa) pro nerovné a zatříděné silnice – ložná plocha nad zadní nápravou malého vozidla 4x4 (Land Rover s krátkým rozvorem)**



**OBRÁZEK 2 – Vliv terénu na vibrace – ložná plocha nad zadní nápravou malého vozidla 4x4 (Land Rover s krátkým rozvorem)**



a. Amplitudové pravděpodobnostní rozdělení

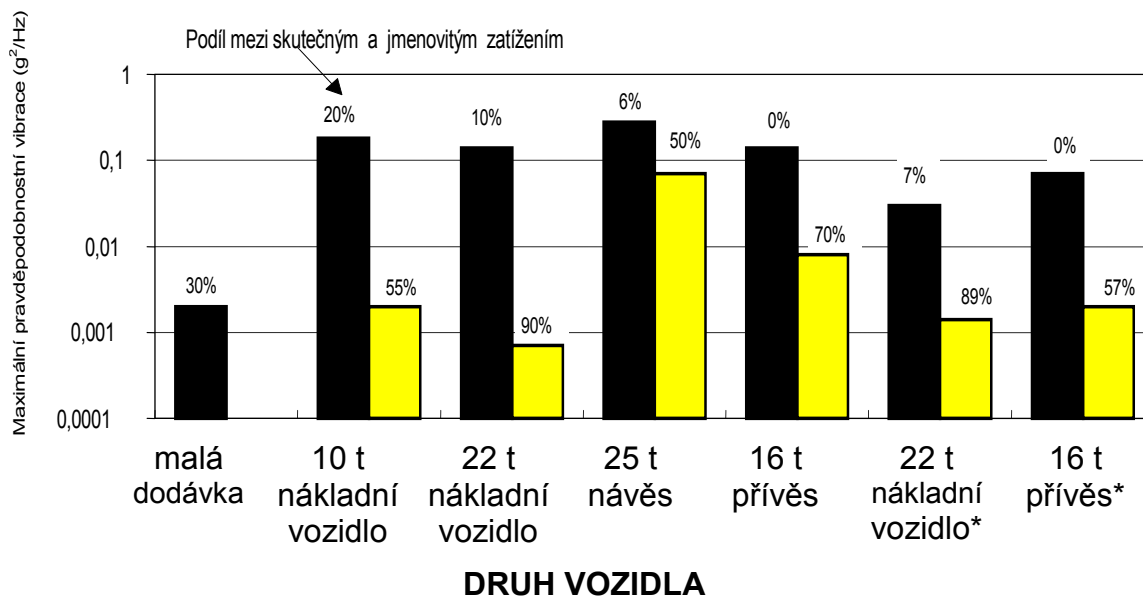


b. Amplitudová pravděpodobnostní hustota

**POZNÁMKY**

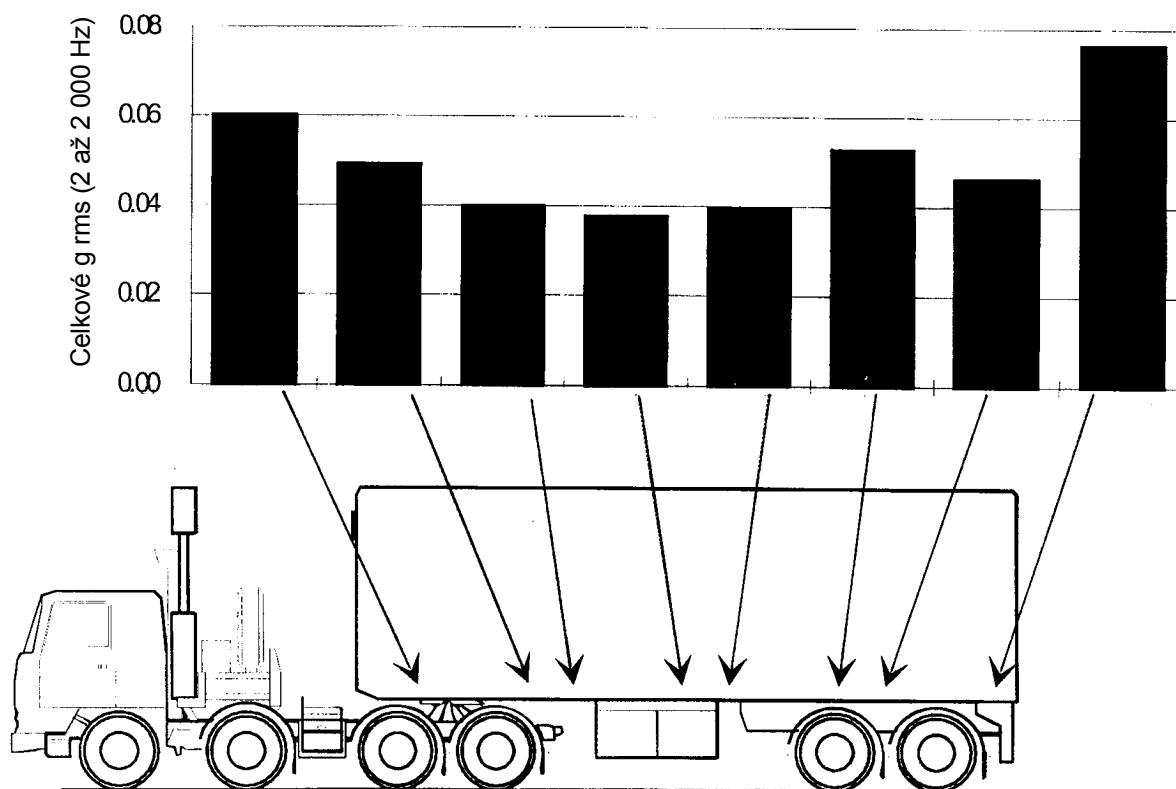
- 1 Měřená data jsou z ložné plochy (svislá osa) 4 tunového vozidla na nerovné silnici.
- 2 Ekvivalentní data jsou z Gaussova rozložení stejných jako měřených úrovní rms.

**OBRÁZEK 3 – Měřené amplitudové pravděpodobnostní funkce**

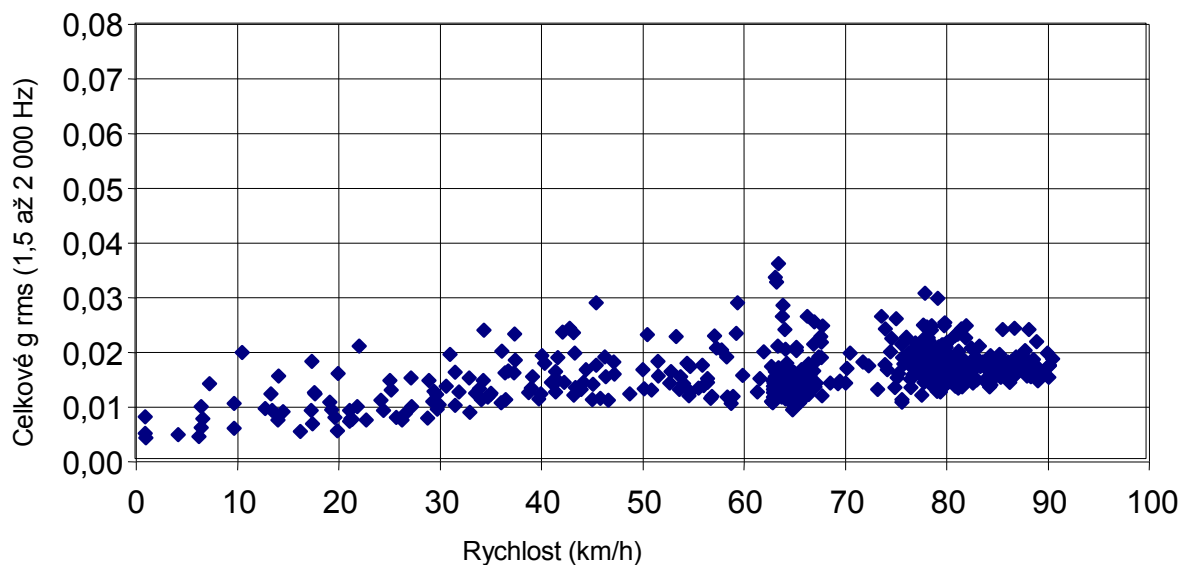


\* Tato vozidla jsou vybavena vzduchovým pérováním

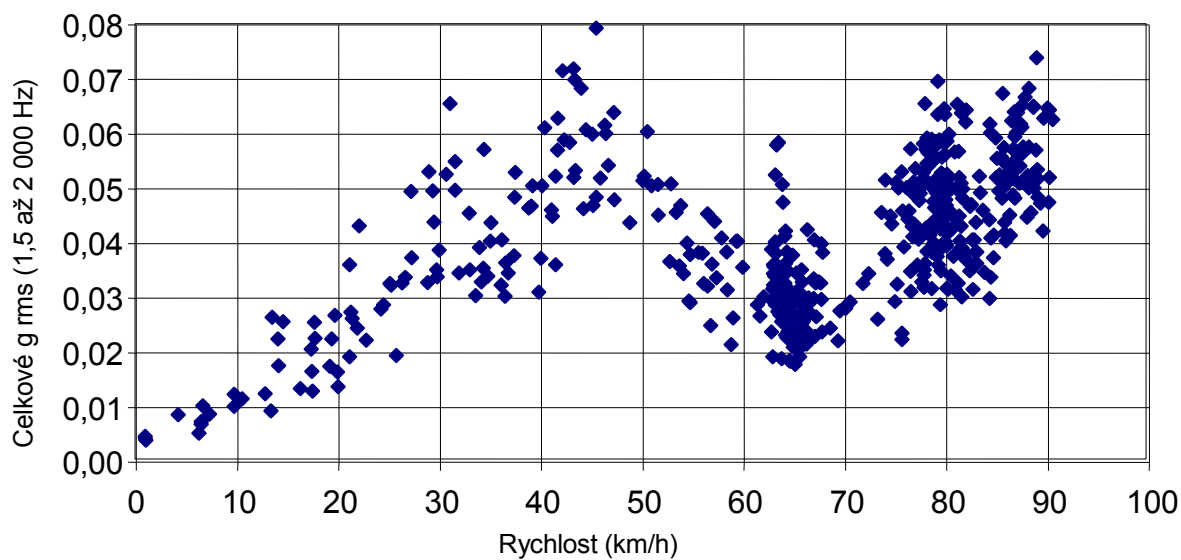
**OBRÁZEK 4 – Vliv celkové hmotnosti vozidla na vibrace vozidla (svislá osa)**



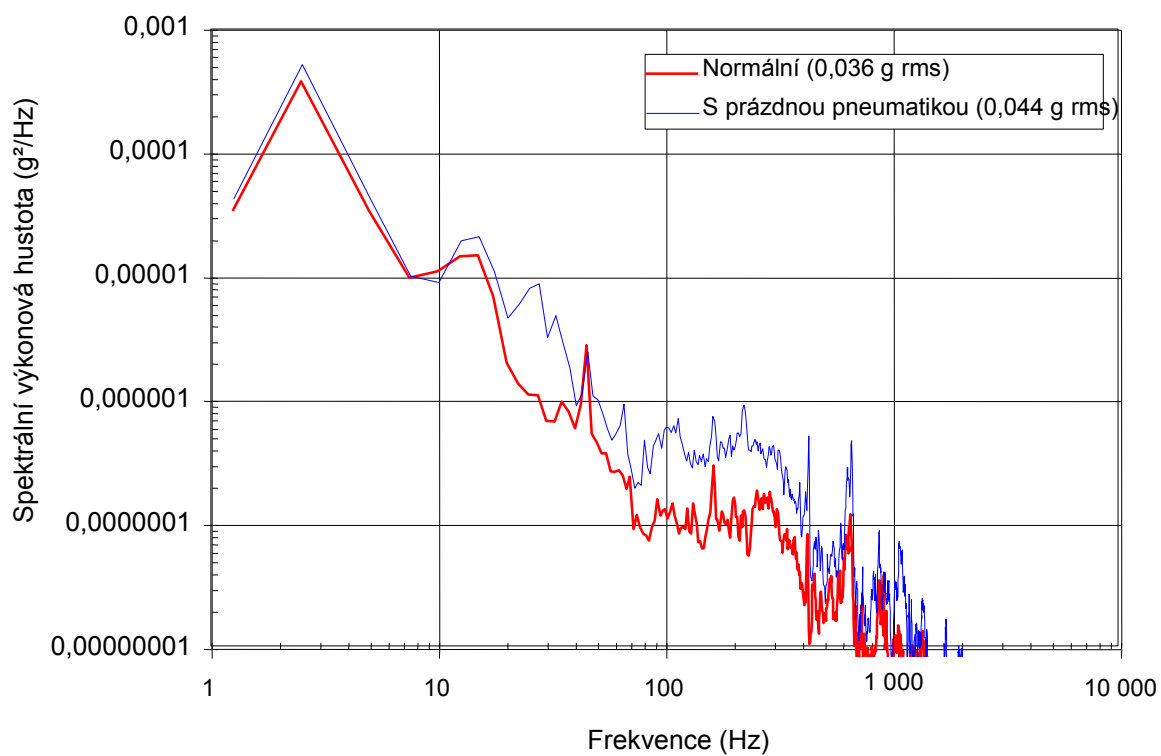
**OBRÁZEK 5 – Vibrační amplitudy kloubového návěsu (svislá osa)**



**OBRÁZEK 6 – Vibrace konstrukce vozidla v závislosti na rychlosti vozidla (svislá osa)**



**OBRÁZEK 7 – Vibrační odezvy zařízení v závislosti na rychlosti vozidla (svislá osa)**



**OBRÁZEK 8 – Vliv prázdných pneumatik na vibrace vozidla (svislá osa)**

**Příloha A**  
(informativní)

## **ODVOZENÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

### **A.1 ODCHYLKY POPISU PROSTŘEDÍ**

#### **A.1.1 Požadavky**

Nejprve je nezbytné určit z odpovídajících požadavků druh pásového vozidla, v němž má být materiál instalován, úkol vozidla a terén, v němž se bude pohybovat, provozní rychlosti vozidla a umístění materiálu ve vozidle. Po vytvoření požadavků mají být odpovídající vibrační údaje získány z databank, pokud údaje existují, nebo z měření z provozních zkoušek.

#### **A.1.2 Popis prostředí**

Popis prostředí pro materiál instalovaný v pásovém vozidle má obecně zahrnovat pro každý odpovídající terén v rozsahu provozních rychlostí charakteristiky frekvenční reakce, grafy pravděpodobnosti amplitud a časový průběh všech přechodných jevů. Tato informace se použije pro zkoumání toho, jak je např. náročnost ovlivněna terénem a rychlostí vozidla. Diagram znázorněný na obrázku A1 ukazuje kroky, které je nutno uskutečnit, aby bylo možno odvodit z naměřených údajů popis prostředí. Tento diagram umožňuje kvantifikaci charakteristik frekvenčních reakcí a amplitud dynamické reakce pro všechny relevantní zkušební podmínky. Postup pro použití těchto částí popisu prostředí pro vytvoření zkušebního spektra a doby trvání je uveden dále.

### **A.2 ODCHYLKA ÚROVNÍ VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK**

#### **A.2.1 Všeobecná ustanovení**

Zkušební úrovně jsou definovány z hlediska charakteristik a amplitudy širokopásmové základní vibrace, úzkopásmových složek souvisejících s vibracemi pásu a dobou trvání. Informace o vytvoření těchto parametrů je uvedena dále.

#### **A.2.2 Širokopásmová složka**

- a. Charakteristiky: Obecně lze očekávat, že širokopásmová složka spektrálních charakteristik, tj. tvar grafu ASD, bude stabilní s ohledem na mnoho parametrů včetně rychlosti vozidla a druhu terénu.
- b. Amplituda: Náročnost zkušebního spektra není možno obecně získat přímo z ASD, protože pro pásová vozidla neexistuje odpovídající popis prostředí. To je důsledkem charakteru tohoto druhu údajů, které mohou být nestacionární s následkem relativně vysokých špičkových hodnot rms. Je tedy také negaussovská. Tyto nestacionární a negaussovské vlastnosti jsou v protikladu k charakteru vibrací vytvářených ve zkušebních laboratořích. V důsledku toho je nutno provést speciální kroky, aby se vyloučila malá náročnost při laboratorních zkouškách. V některých případech je nutno použít jistou dávku konzervatismu, aby bylo možno vytvořit odpovídající úroveň náročnosti testů. Druhou možností je jako základní měřítko náročnosti použít rozdělení pravděpodobnosti amplitud (APD) a odvodit odpovídající faktory, které se potom mohou aplikovat na střední spektra. Tento přístup je



upřednostňován pro pásová vozidla a příklad jeho použití je uveden v kapitole A.3.

### A.2.3 Úzkopásmové složky

- a. Charakteristiky: Frekvence úzkopásmových složek při dané rychlosti se může vypočítat ze znalosti rozměrů rozteče pásu a lze očekávat, že z naměřených údajů bude snadno rozpoznatelná, přinejmenším při zkoušení v tvrdém terénu a za konstantních rychlostí. Aby bylo možno zahrnout tyto vlivy do zkušební spektra, tj. frekvence těchto složek je rychlostně závislá, mají být úzká pásma rozložena přes odpovídající frekvenční rozsah. Podobně širokopásmové spektrum může být jednoduše vytvarováno tak, aby obsahovalo tyto špičkové hodnoty, přičemž úzká pásma budou zbytečná, i když při výrazném riziku nadměrného zkoušení.
- b. Amplitudy: Problémem může být vytvoření amplitud těchto složek vzhledem k jejich měnící se frekvenci s rychlostí vozidla. To může vést k podhodnocení náročnosti v důsledku zprůměrnujícího účinku, který je součástí analýzy ASD. Jedním z řešení je získání údajů ze značného počtu konstantních rychlostí, které pak mohou být analyzovány odděleně. Podobně, jestliže během záznamu není rychlost konstantní, mohou se použít vývojová spektra (kaskádové grafy). V obou případech musí být náročnost vyjádřena buď v podobě ASD nebo rms spojena s rozlišovací šířkou pásma, aby bylo možno vytvořit jednoznačnou definici.

### A.2.4 Trvání zkoušky

Trvání zkoušky má být založeno na požadované životnosti materiálu a profilu používání příslušného kolového vozidla. Aby bylo možno vyloučit neprakticky dlouhé trvání zkoušek, je obecnou zvyklostí uplatňovat zákon o ekvivalentním únavovém poškození, jako je například Minerovo pravidlo. Toto pravidlo je známo také jako "zveličovací vzorec" a je vyjádřeno následujícím způsobem:

$$t_2 = t_1 (S_1 / S_2)^n$$

kde

$t_1$  = skutečné trvání v požadavcích charakterizovaných naměřenou úrovní

$t_2$  = ekvivalentní trvání při zkušební úrovni

$n$  = zveličovací koeficient

Pro úroveň rms

$S_1$  = úroveň rms měřeného spektra

$S_2$  = úroveň rms zkušební spektra

$n = b$  = zveličovací koeficient (typicky používané jsou hodnoty mezi 5 a 8).

Pro úroveň ASD

$S_1$  = úroveň ASD měřeného spektra

$S_2$  = úroveň ASD zkušební spektra

**Příloha A**  
(informativní)

$n = b/2 =$  zveličovací koeficient (typicky používané jsou hodnoty mezi 2,5 a 4).

Koeficient „b“ odpovídá sklonu únavové křivky (S/N) pro odpovídající materiál. Hodnota „b“ rovna 8 je vhodná pro popis chování kovových struktur, jako jsou oceli a hliníkové slitiny,

kteří mají v podstatě lineární vztah mezi namáháním a deformací. Toto vyjádření je používáno s menší důvěryhodností i pro nelineární materiály a kompozity. Pro elektronická zařízení a nekovové materiály, elastomery, kompozity, plastické hmoty a výbušniny se doporučuje hodnota „b“ rovna 5.

Přestože se potvrdilo, že tento výraz má při aplikaci na materiál některé dobré vlastnosti, má se používat s opatrností, mají-li být vyloučeny nereprezentativní závady. V žádném případě nemají být zkušební úrovně zvyšovány za maximální naměřené úrovně, které jsou předpokládány během provozního života daného materiálu při použití zkušebního faktoru vycházejícího ze statistiky. Navíc, kde je zřejmé, že materiál není plně připevněn k vozidlu, je Minerovo pravidlo zcela neplatné a nemá se použít. V takových případech má být zvažováno jako alternativní možnost použití zkoušky pro neupevněný náklad (AECTP-400, Metoda 406 ČOS 999902).

Jednoduchý příklad pro odvození trvání zkoušky pomocí Minerova pravidla je uveden dále.

**TABULKA A.1 – Příklad pro odvození trvání zkoušky**

Terén	Rychlost (mile/h)	Index náročnosti	Trvání %	Čas (min.)	
				Skutečný $t_1$	Ekvivalentní $t_2$
Dlážděný povrch	25	1,0	5,0	3	3,00
Dlážděný povrch	20	0,7	6,7	4	0,67
Nerovná komunikace	15	0,6	13,3	8	0,62
Terén	35	0,5	16,7	10	0,31
Hlavní silnice	45	0,4	30,0	18	0,18
Hlavní silnice	35	0,3	20,0	12	0,03
Hlavní silnice	<20	0,2	8,3	5	<0,01
Celkem:			100,0	60	4,82

**POZNÁMKY**

- 1 Test v trvání 4,82 minut je ekvivalentní 60 minutám skutečné vibrace vozidla.
- 2 Index náročnosti pro terén je celkové g rms normalizované s ohledem na maximální naměřené celkové g rms (v tomto příkladě ve spojení s dlážděnou vozovkou). Je důležité zkontrolovat, aby spektrální profil ASD související s referenční úrovní (opět je zde dlážděná vozovka jako příklad) buď

**Příloha A**  
(informativní)

odpovídalo, nebo bylo upraveno, aby odpovídalo, maximálním amplitudám pozorovaným v celém frekvenčním rozsahu.

- 3 Tato metoda výpočtu trvání zkoušek se má obvykle použít pro maximální trvání 17 hodin na osu.

### **A.3 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ S TECHNICKÝMI PODMÍNKAMI ZKOUŠEK**

Při porovnávání naměřeného spektra ze zkoušek vozidla s hodnotami uvedenými v technických podmínkách zkoušek nebo vytvořeným zkušebním zařízením, je nutno dbát na vyloučení podhodnocení náročnosti naměřených údajů. K tomu může dojít v důsledku rozdílných rozdělení amplitud a poměrů špičkových hodnot vůči rms těchto druhů údajů. Tyto rozdíly mohou být kompenzovány způsobem uvedeným v následujícím příkladu:

Naměřená špičková úroveň APD = 9,0 g  
(při úrovni jednoho z 500 výskytů,  
tj. 2,88 sigma)

$$\text{Ekvivalentní gaussovské rms} = \frac{9,00}{2,88} = 3,1 \text{ g}$$

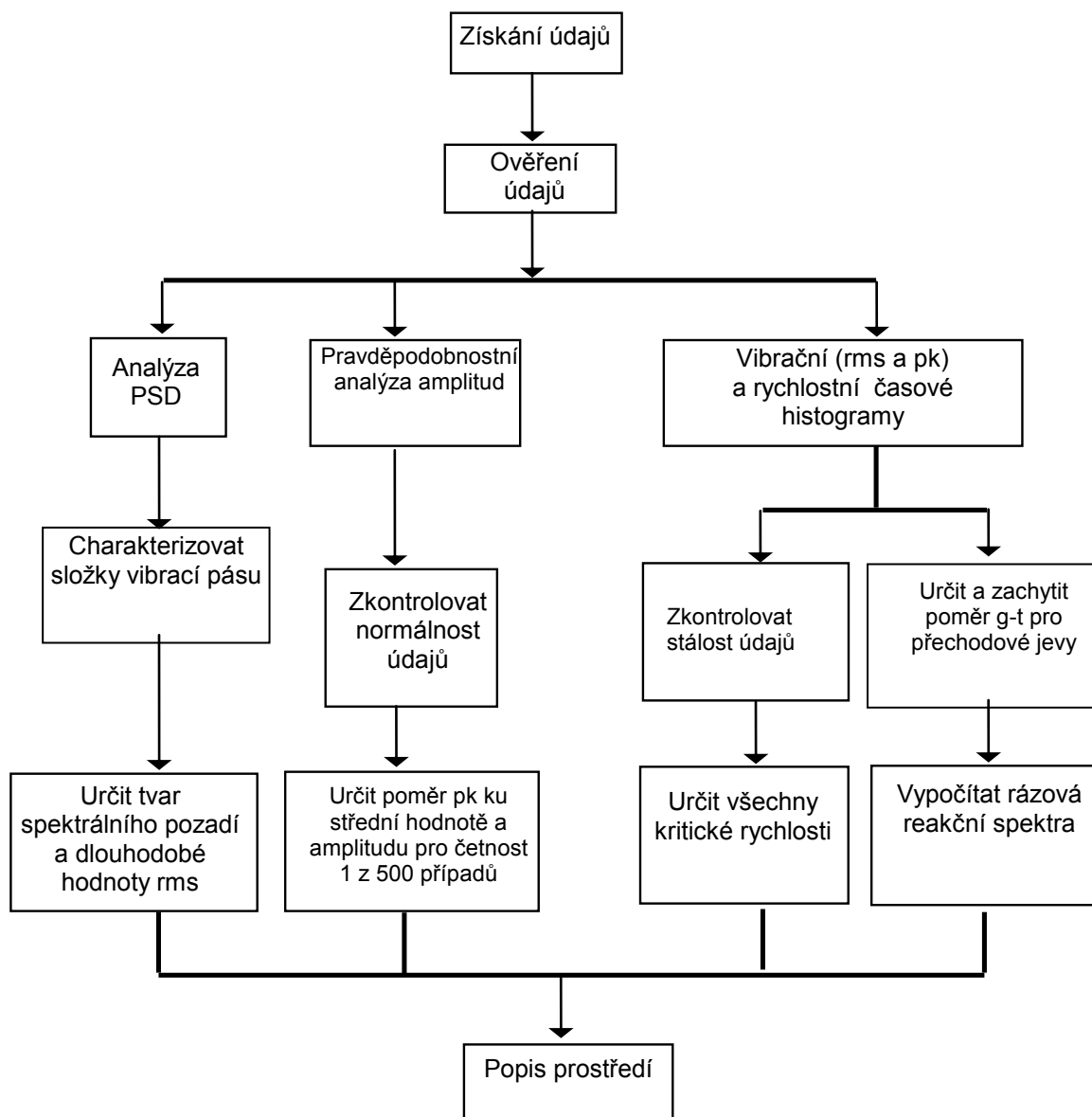
$$\text{Naměřené negaussovské rms} = 1,4 \text{ g}$$

$$\text{Faktor naměřeného g rms} = \frac{3,1}{1,4} = 2,2$$

$$\text{Faktor naměřeného ASD} = 2,2^2 = 4,8$$

Zatímco tato analýza ukazuje, že v tomto případě by se měl na naměřené úrovni ASD použít faktor 4,8, tyto vyšší hodnoty budou odpovídat relativně kratšímu trvání.

**Příloha A**  
(informativní)



**POZNÁMKA**

Kroky uvedené výše budou normálně prováděny pro každý terén a pro všechny relevantní instalace.

**OBRÁZEK A.1 – Odvození popisu prostředí z naměřených údajů**



ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 245/2

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 246**  
**ČÁST 246/1**  
**INSTALACE NA A V PROUDOVÝCH LETOUNECH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	152
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	152
2.1 POJÍŽDĚNÍ.....	152
2.2 START A PŘISTÁNÍ.....	153
2.3 LETOVÉ VIBRACE .....	154
2.4 LETOVÉ MANÉVRY A NÁRAZY VĚTRU .....	156
2.5 STŘELBA .....	156
2.6 ODPÁLENÍ STŘEL .....	158
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	158
3.1 POJÍŽDĚNÍ.....	158
3.2 START A PŘISTÁNÍ.....	158
3.3 LETOVÉ VIBRACE .....	158
3.4 LETOVÉ ZRYCHLENÍ .....	158
3.5 STŘELBA .....	159
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	159
4.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	159
4.2 POJÍŽDĚNÍ .....	159
4.3 START A PŘISTÁNÍ.....	159
4.4 LETOVÉ VIBRACE .....	159
4.5 LETOVÉ ZRYCHLENÍ .....	160
4.6 STŘELBA .....	160
4.7 ODPÁLENÍ STŘEL .....	160
<b>Přílohy</b>	
<b>PŘÍLOHA A PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÁ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>163</b>

## **ČÁST 246/1**

### **INSTALACE NA I V PROUDOVÝCH LETOUNECH**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickými prostředími, jimž může být vystaven materiál, je-li používán nebo instalován na proudových letounech. V části jsou popsány zdroje a charakteristiky mechanických prostředí a tam, kde je to vhodné, je poskytnuta informace o potenciálních škodlivých účincích. Dodatečné informace o důležitých parametrech ovlivňujících mechanické prostředí jsou uvedeny v příloze A. Tam, kde je to vhodné, jsou uvedeny informace o výběru odpovídající zkušební metody z AECTP-400.

V této části nejsou zahrnuty následující aspekty:

- a. Materiál používaný nebo instalovaný na vrtulnících. Informace o této problematice jsou uvedeny v části 247/1.
- b. Motory a související zařízení, tj. prostředí, jimž je vystaven motor a související zařízení vznikající z jejich vlastního provozu. Informace o takových prostředích je nutno získat u výrobce motoru.
- c. Drak letounu a další základní konstrukce. Informace o zatížení a náročnostech vztahujících se k těmto strukturám je nutno získat od výrobce letounu.
- d. Abnormální podmínky, jako je havárie nebo tlaková vlna.

Není-li určeno jinak, popisy prostředí se vztahují ke styčné ploše mezi letounem a instalovaným zařízením a všechny osy jsou shodné s osami letounu.

Mechanická prostředí, jimž je vystaven materiál instalovaný v proudových letounech, je vyvoláno celou řadou zdrojů. Není možno vytvořit žádné obecné pravidlo, pokud se týče dominantního zdroje pro každou položku materiálu, zejména vzhledem k tomu, že některé z potenciálních zdrojů vytváří velmi intenzivní, ale lokalizované účinky. Pro většinu materiálu vzniknou nejnáročnější trvalé podmínky pouze z jednoho nebo dvou zdrojů. Navíc, závažné podmínky přechodného charakteru se mohou projevit v důsledku třesení a použití střelných zbraní. Zatímco každé působení těchto přechodných podmínek se může vyskytovat pouze po dobu několika sekund, jejich kumulativní efekt za celou dobu životnosti letounu může být závažný.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Pojíždění**

2.1.1 Materiál může být vystaven trvalým vibracím a přechodným reakcím v důsledku pojíždění na letišti. Přechodné reakce jsou způsobeny koly přejíždějícími přes nepředvídatelné nepravidlosti na pojížděcích plochách. Úroveň těchto vibrací a přechodových jevů bude principiálně ovlivněna rychlostí letounu a velikostí kol letounu. V reakcích převažují nízké frekvence související s poddajností podvozku a hmotností letounu.



2.1.2 Vzhledem k tomu, že povrchy letišť mají obvykle dobrou kvalitu a pojiždění je obvykle řízené, úrovně náročnosti vyplývající z pojiždění jsou obvykle nízké a podstatně nižší, než ty, které vznikají během fáze letu. To však nemusí platit v případech, kdy jsou používány dočasné nebo opravené dráhy. V takových případech lze očekávat, že dojde k podstatnému zvýšení náročnosti přechodových jevů. Je však nepravděpodobné, že by tyto podmínky byly náročnější než podmínky, které se projeví během startu a přistání na dočasných a opravených VPD.

## 2.2 Start a přistání

2.2.1 Podmínky normálního startu a přistání: Během startu a přistání mohou vznikat v instalovaném materiálu oscilační přechodové jevy s krátkým trváním. Tyto přechodové jevy vznikají hlavně v důsledku přejezdu letounu přes nerovnosti povrchu dráhy. V reakcích opět převládají nízké frekvence související s poddajností podvozku a hmotností letounu. Protože jak start, tak přistání jsou obvykle kontrolované nebo řízené, amplitudy výsledných přechodových jevů jsou neškodné. V důsledku toho se tedy dynamické reakce, k nimž dochází během startu a přistání, považují za zahrnuté v reakcích během letové fáze. Start a přistání obvykle zahrnuje vysoké úrovně výkonu motoru, které naopak mohou vyvolat vibrace a akustický hluk. Tyto související aspekty jsou uvedeny v odstavci 2.4.5. Typické úrovně startovních vibrací jsou zobrazeny na obrázku 1 a typické přistávací rázy jsou zobrazeny na obrázku 2.

2.2.2 Dočasné nebo opravené dráhy: Trvalé vibrační a přechodové rázové úrovně jsou závažnější při použití dočasných a opravených drah. Maximální povolené úrovně náročnosti vyplývající z použití takových povrchů budou záviset na vlastnostech daného letounu a zejména na tuhosti jeho podvozku. Je-li to potřebné, mají být informace o těchto náročnostech získány od výrobce letounu. Zkušební postupy použité pro simulaci těchto podmínek se však mají podobat těm, které jsou doporučeny pro normální startovací a přistávací podmínky.

2.2.3 Start pomocí katapultu a přistání se zachycením: Během startu pomocí katapultu nebo přistání letounu se zachycením budou vznikat v materiálu oscilační přechodové jevy. Obecně bude start pomocí katapultu vykazovat dva přechodové jevy odpovídající počáteční aplikaci zatížení a oddělení katapultu od letounu. Oba přechodové jevy mají výrazně oscilační charakter, přibližně sinusoidní, při relativně nízké frekvenci určené hmotností letounu a tlumícími charakteristikami přistávacího zařízení. Podmínky přistání se zachycením vytváří pouze jeden přechodový jev, ale s charakteristikami podobnými startu pomocí katapultu. V místech, kde je instalován materiál, je trvání pulzu souvisejícího se startem pomocí katapultu a přistání se zachycením relativně dlouhé a tyto přechodové jevy jsou obvykle považovány za kvazistatické podmínky.

2.2.4 Vertikální start a přistání: Během vertikálního startu a přistání může výtrysk z trysek motoru působit na části konstrukce letounu nebo zásobníky, které během normálního letu takovým podmínkám nejsou vystaveny. Navíc může

výtrysk odražený od země působit na většinu spodního povrchu letounu. V důsledku toho mohou vzniknout náročné akustické a vibrační podmínky.

- 2.2.5 Start s pomocí lyží: Dynamické prostředí vznikající během startu s pomocí lyží má velmi nízkou frekvenci a je obvykle považováno spíše za kvazistatické než dynamické podmínky.

## 2.3 Letové vibrace

- 2.3.1 Aerodynamický proud vzduchu: Nejobvyklejším zdrojem vibrací zařízení letounu je aerodynamický proud vzduchu obklopující letoun. Může být spojitý a nespojitý. Tyto dvě podmínky vytváří výrazně rozdílné vibrační buzení. Náročnější vibrační podmínky jsou spojeny s nespojitým prouděním, které se vyskytuje v oblastech vzdálených od náběžných povrchů všech letounů.

- a. Spojité proudění: Tam, kde je proud vzduchu spojený s povrchem letounu, existuje proud typu klasické mezní vrstvy a lze očekávat, že vibrace konstrukce letounu budou minimální. Intenzita vibrace je široce úměrná dynamickému tlaku ( $q$ ) a širokopásmové náhodné frekvenční spektrum souvisí s tloušťkou hraniční vrstvy a rychlostí přes Strouhalovo číslo.
- b. Nespojité proudění: Kde existuje nespojité proudění, intenzita kolísání tlaku může narůst až pětikrát než v případě spojitého proudění. Navíc oblast, v níž jednotlivé fluktuace korelují, vzroste o několik řádů. Tento plošný nárůst má schopnost podstatně zvýšit účinnost, s níž proud vzduchu může vybudovat konstrukci letounu. Zvýšené tlakové fluktuace budou trvale souviset s dynamickým tlakem " $q$ " (ale s vyšším koeficientem účinnosti) a rozčleňování frekvence bude pokračovat v souvislosti se Strouhalovým číslem. V praxi zvýšené tlakové fluktuace vyústí ve zvýšené vibrační reakce struktury letounu v širokém frekvenčním rozsahu, zatímco zvýšení oblasti korelovaných tlaků může vyústit ve velmi podstatný nárůst vibračních reakcí struktury letounu v úzkých frekvenčních pásmech.

Parametry ovlivňující úroveň letových vibrací jsou uvedeny v příloze A.

- 2.3.2 Působení aerodynamického víru: U vysoce výkonných letounů je možné, aby za určitých podmínek úhlu působení, směru a rychlosti, působily aerodynamické víry vznikající od různých částí letounu na jeho strukturu. Charakteristiky těchto aerodynamických vírů jsou takové, že mohou vzniknout vážné strukturální vibrace. Obecně mohou být tyto vibrace ovládány nižšími strukturálními tvary určitých částí draku letounu (křídlo, ocasní plocha, atd.). Závažné vibrační podmínky jsou přechodné a jen velice zřídka se vyskytnou po delší dobu, než několik sekund. Během životnosti letounu však celkový počet takových výskytů může být důležitý. Výsledné vibrační charakteristiky, úroveň závažnosti a ovlivňované oblasti draku letounu budou různé podle druhu letounu. Příklad reakce působení aerodynamického víru je ukázán na obrázku 3.
- 2.3.3 Bzučení: Tato podmínka je někdy uváděna jako druh chvění s jedním stupněm volnosti. Zatímco však běžné chvění souvisí s obecným aerodynamickým proudem vzduchu přes křídla (nebo ovládací povrchy), bzučení obvykle

souvisí s oscilací rázové vlny a uvedené strukturální oscilace mají vyšší frekvence, než které se projevují u běžného chvění. Na konstrukci letounu se tento jev projevuje jako kvalitní sinusová vlna s určitou amplitudovou modulací na frekvenci typicky 60 Hz.

- 2.3.4 Účinek proudu sání motoru: Různá sání mohou mít takovou geometrii, že hlavní proud v sání může procházet přes dutinu používanou pro odvod přebytečného vzduchu. Zkušenosti ukázaly, že ve vedení se mohou projevit silné akustické diskrétní frekvenční rezonance, které naopak mohou vytvářet vysoké úrovně napětí v konstrukci vedení, v rozdělovacím vedení nebo rozváděcích lopatkách. Vibrace s původem v tomto zdroji byly zaznamenány ve struktuře křídla, instalovaném zařízení a zásobnících. Ani intenzitu ani frekvenci buzení nelze vypočítat s dostatečnou přesností, protože nelze přesně určit účinné rozměry prostoru vedení.
- 2.3.5 Vlivy pohonné jednotky: Vibrace vytvářené pohonnou jednotkou na zařízení instalované v letounu vznikají přednostně v důsledku působení hluku motoru na konstrukci letounu. Mohou také vzniknout v důsledku lokálního "připojení" proudu výfukových plynů ke struktuře letounu. Zdroje hluku proudového motoru jsou popsány dále.
- Mísení hluku proudového motoru: Hluk vytvářený turbulentním mísením vydávaného hluku (hluk proudového motoru) byl nepříjemným a prvotním zdrojem strukturálních vibrací, které měly vliv na mnohé letouny. Obvyklým účinkem je vznik dlouhodobé únavy v úchytkách, rozích tvarových výtuh, žebrech a nejčastěji pod nýty. V silných hlukových polích, nad 160 dB, se může projevit krátkodobější únava v důležitějších strukturálních částech, jako jsou stěny žeber nebo středy panelů. Při vyšších úrovních, nad 170 dB, se mohou v běžných konstrukcích projevit závady primární struktury. V takových případech bude nutno do konstrukce zahrnout speciální prvky. Problém byl rozpoznán včas a pro jeho řešení byla provedena řada teoretických a exponenciálních prací. Dnes se má za to, že je věnována odpovídající pozornost detailní konstrukci a použití určitých základních pravidel, aby bylo možno tyto problémy vyloučit. O této problematice existuje rozsáhlá literatura.
  - Ucpané trysky: Ve vyvíjejícím se nadzvukovém proudu existují rázové buňky, které ve vztahu k podzvukovému proudu mají za následek nárůst spektrální hustoty náhodných tlakových fluktuací v určité oblasti frekvenčního spektra. Tyto zvláštní frekvence souvisí s rozměry rázových buněk, které se mohou měnit během letu, pokud se mění poměr tlaku proudu. Vyskytly se případy, kdy frekvence spektrálních špičkových hodnot koincidovala s frekvencí konstrukčních panelů, a výsledkem bylo poškození.
  - Připojení výtryskového proudu: Výtryskový proud, který je blízko, ale zřejmě mimo konstrukci, se sám může připojit ke konstrukci mechanismem, který se někdy označuje jako Coandův efekt. Tento efekt vzniká v případě, kdy v důsledku manévru nebo změny rozměrů výtrysku v důsledku změny tlaku (např. výška) nejsou splněny mezní podmínky požadované pro plné mísení výtrysku. To se projevuje například, když je omezen plný únos vzduchu na jedné straně výtrysku, když se výtrysk

pohybuje směrem k trupu letounu. Výtrysk se bude pak dále pohybovat směrem k trupu letounu, takže hraniční vrstva existující na trupu a proud na hranách výtrysku se bude slučovat "nasáváním" výtrysku směrem k trupu tak, že na něm eventuálně ulpí. To má za následek stoupající a náhlý nárůst úrovně vibrací, stejně jako vznik ohřevu.

- 2.3.6 Dutiny: Dutiny vystavené působení proudu vzduchu proudícího kolem letounu mohou být závažným zdrojem jak hluku, tak vibrací. Frekvenční spektrum takovýchto poruch může být značně široké a obvykle se vyznačuje výraznými mezními hodnotami v celém frekvenčním rozsahu. Hlavní špičkové hodnoty vznikají vybuzením režimů akustického prostoru, které jsou přímou funkcí rozměru prohlubně. Obvyklým příkladem takovéto prohlubně je pumovnice. Frekvence hlavních režimů lze vypočítat s určitým stupněm důvěryhodnosti ze standardních vzorců. Většina méně dominantních režimů je obvykle harmonickou součástí hlavních režimů a může dosahovat dost vysokých řádů. Amplitudy tlakových fluktuací se odhadují hůře vzhledem k tomu, že jsou ovlivňovány geometrickými faktory, jako jsou ostrost hran prohlubně, směr toku přes prohlubeň a obsah prohlubně. Obsah prohlubně může mít méně rozlišitelný účinek na vytváření hlavních modálních špičkových hodnot při zvýšení úrovně širokopásmového šumu pozadí, který je vždy přítomen.

## 2.4 Letové manévry a nárazy větru

- 2.4.1 V důsledku zrychlení způsobeného letovými manévry a nárazy větru bude materiál vystaven nízkofrekvenčnímu zatížení. Toto zatížení se normálně považuje pro účely konstrukce a zkoušení za kvazistatické zatížení. V určitých částech letounu může zatížení vzrůst hlavně v důsledku součtu vektorů šesti stupňů pohybu tuhého tělesa letounu, tj. vertikální, boční, podélný, kolébavý, kymácivý a otáčivý. V některých případech mohou být tyto pohyby zesilovány dynamickými pohyby nižších režimů letounu.
- 2.4.2 Závažnost prostředí vyvolaného letovým zrychlením bude záviset hlavně na druhu uvažovaného letounu. Obecně jsou letová zrychlení dána specifickými konstrukčními požadavky pro určitý druh letounu a jsou tudíž dobře definována již v počátečních fázích návrhu. Zrychlení jsou obvykle omezena letovými limity nebo řídicím systémem letounu. V některých případech jsou tato zatížení monitorována za účelem sledování únavových jevů.

## 2.5 Střelba

- 2.5.1 Podstatná vibrační a rázová buzení v konstrukci letounu, instalovaném zařízení a zásobnících mohou vzniknout v důsledku provozu střelných zbraní umístěných buď uvnitř letounu, nebo ve vnějších závěsech. I když celkové trvání těchto buzení je relativně krátké, amplitudy mohou dosahovat značné velikosti, větší než jsou vibrace vznikající během normálního letu. Navíc, charakteristiky reakcí mohou být výrazně jiné než vibrace projevující se během normálních letových podmínek a mohou vyvolávat různé druhy výpadku zařízení.
- 2.5.2 Účinek střelby potenciálně vyvolává vibrace způsobené třemi různými zdroji. Tyto zdroje jsou přetlak nebo tlaková vlna vznikající u ústí zbraně, zákluz zbraně v jejím uchycení a pohyby munice a nabíjecího systému. Obvykle

nejzávažnější efekty na instalované zařízení má tlaková vlna, která vytváří nejrozšířenější vibrační vlivy na konstrukci a zařízení.

- 2.5.3 Přetlak tlakové vlny po výstřelu ze zbraně vzniká náhlou expanzí hnacího plynu v ústí po výstupu projektilu. Tato tlaková vlna z výstřelu se šíří vzduchem a působí na okolní struktury. Tlaková vlna může ovlivňovat zařízení přímo nebo nepřímo přes konstrukci letounu. Úroveň tlakových vln je závislá na celé řadě faktorů, jako je výška, rychlost vzduchu, druh zbraně a munice, vzdálenost od ústí a působení tlakové vlny. Tyto faktory a metoda výpočtu tlaku tlakové vlny působící na okolní struktury je podrobně uvedena v obranném standardu Velké Británie 00-35, část 5, oddíl 7-02.
- 2.5.4 Charakter strukturálních reakcí vznikajících od tlakové vlny po výstřelu ze zbraně bude záviset na umístění struktury nebo zařízení vzhledem k ústí zbraně. Tyto odezvy mohou mít výrazně odlišné charakteristiky pro blízkou, střední a vzdálenou oblast.
- Blízká oblast: Charakter strukturální reakce vznikající po výstřelu ze zbraně v blízké vzdálenosti od ústí zbraně, tj. blízké prostorové oblasti, je ve značné míře ovlivněn impulzem tlakové vlny. Strukturální reakce a reakce zařízení se projeví jako sled výrazných rázových pulzů. Blízká prostorová oblast bude zahrnovat ústí hlavně a strukturu v jeho bezprostřední blízkosti. Pokud neexistuje prostorová definice, za blízkou oblast se považuje kruhová oblast o velikosti  $0,5 \text{ m}^2$  rozprostírající se kolem ústí zbraně v rovině kolmé k ústí zbraně. Pokud existuje nejistota, zda je zařízení umístěno v blízké nebo střední oblasti a zejména v případě zařízení, které je kritické pro bezpečnost letounu se má předpokládat blízká oblast.
  - Střední oblast: Reakce struktury a materiálu vzdálenějšího od ústí zbraně, tj. ve středním prostorovém poli, je značně ovlivňována spojením tlakového pulzu s dynamickou charakteristikou konstrukce. Charakter reakce je ovládán periodickými pohyby vznikajícími v závislosti na rychlosti palby zbraně a jeho následujícími harmonickými složkami. Pokud nejsou k dispozici lepší informace, za střední prostorovou oblast se má považovat oblast, která se prostírá za blízkou oblastí až do vzdálenosti 150 ráží od ústí hlavně. Pokud existují pochybnosti, má se uvažovat, že zařízení a struktury jsou umístěny spíše ve střední oblasti než ve vzdálené oblasti.
  - Vzdálená oblast: Pro materiál a struktury vzdálené od ústí zbraně nemohou být vibrace vznikající v důsledku přetlaku od střelby přímo rozlišitelné v rámci normálních úrovní letových vibrací. Vyšší harmonické složky rychlosti střelby mají tendenci být méně důležité, eventuálně umožňující pouze periodické pohyby na úrovni základní kadence střelby. Ve vzdálené prostorové oblasti vzhledem k tomu, že amplituda reakcí od střelby je menší než ta, která vytváří normální letové aerodynamické buzení, nemá rozdíl v charakteru žádný podstatný účinek. Vzdálená oblast zahrnuje všechny zbývající oblasti letounu neuvažované v blízké nebo střední oblasti.

Další informace jsou uvedeny v příloze A.

2.5.5 Vibrace vznikající v důsledku zákluzu zbraně jsou méně závažné než vibrace vznikající v důsledku rázové vlny. To je způsobeno tím, že vliv zákluzu zbraně je filtrován vysokou hmotností zbraně a tuhostí upevnění působící na frekvenci střelby. V důsledku toho zákluz zbraně ovlivňuje výrazně pouze zařízení v blízkosti upevnění zbraně. Vibrace způsobené systémy nabíjení munice a manipulace jsou ze všech tří potenciálních zdrojů vibrací nejméně důležité. Tento zdroj ovlivňuje pouze zařízení v největší blízkosti manipulačního systému. Může však být důležitým zdrojem pro samotnou municí.

## 2.6 Odpálení střel

Odpálení nebo vystřelení střel (s výjimkou střelby) může za určitých podmínek vyvolávat vysokou úroveň rázů, vibrační a tlakové vlny v konstrukci letounu a zařízení v blízkosti zbraní nebo zásobníků.

## 3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY

### 3.1 Pojždění

Pohyby vznikající v důsledku pojždění letounu na letišti mají za následek kontinuální reakce s nízkou amplitudou a vysokou frekvencí výskytu, které mohou způsobit poškození v důsledku otěrových únavových mechanismů.

### 3.2 Start a přistání

Pohyby vznikající při normálním startu a přistání jsou ve značné míře dány charakteristikami systému podvozku. Potenciální škodlivé účinky jsou tedy spojeny s posuny při nízkých frekvencích.

### 3.3 Letové vibrace

3.3.1 Aerodynamická turbulence: Vibrace vznikající v důsledku aerodynamické turbulence mohou vytvářet otěr a vysokocyklickou únavu.

3.3.2 Působení aerodynamických vírů: Potenciální vysoké úrovně vibrace spojené s vědomím toho, že dominantní strukturální reakce se projeví při nejnižších strukturálních režimech, že nejpravděpodobnější škodlivé účinky jsou ty, které jsou spojené se zatížením v důsledku vysokého zrychlení a snižují se na středně cyklickou únavu.

3.3.3 Hluk proudového motoru: Protože charakter a strukturální reakce mechanismu vibrací spojovaných s hlukem proudového motoru jsou podobné k mechanismům aerodynamické turbulence, projeví se pravděpodobně podobné mechanismy závad.

3.3.4 Dutiny: Nejpravděpodobnější škodlivé účinky související s rezonancí dutin jsou účinky odpovídající zatížení v důsledku vysokého zrychlení a střední cyklické únavy.

### 3.4 Letové zrychlení

Nejpravděpodobnější škodlivý účinek vzniká v důsledku zatížení zrychlením, které vytváří vnitřní síly uvnitř zařízení, často v místech jeho upevnění, mající dostatečnou velikost pro vyvolání strukturální nebo únavové poruchy. V některých případech mohou taková zatížení způsobit odchylku s velikostí dostačující k tomu, aby zabránila správnému provozu mechanismů.

### 3.5 Střelba

V blízké oblasti může být amplituda tlakové vlny dostatečná k tomu, aby způsobila strukturální poruchu panelů a jejich upevňovacího zařízení. Materiál v blízkosti ústí, ale chráněný před přímou tlakovou vlnou, může selhat v důsledku úrovně diskrétních a opakovaných rázových pulzů. Nejpravděpodobnějšími způsoby selhání zařízení ve střední oblasti jsou ty, které souvisí s nízkofrekvenční vibrací vysoké intenzity.

## 4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY

### 4.1 Všeobecná ustanovení

Následující odstavce poskytují doporučená zacházení pro mechanická prostředí určená v kapitole 2 a tam, kde je to vhodné, určují odpovídající zkušební metodu z AECTP-400.

### 4.2 Pojždění

Vzhledem k tomu, že úrovně náročnosti související s tímto prostředím jsou relativně nízké, jsou často zvažovány spolu s dalšími náročnějšími podmínkami, jako jsou například letové vibrace. V případech, kde se považuje za vhodné provést zkoušení, má se použít vibrační test s širokopásmovou náhodnou vibrací při použití Metody 401 - Vibrace z AECTP-400.

### 4.3 Start a přistání

Vzhledem k tomu, že úrovně zatížení jsou relativně nízké, provádí se opět zkoušení pro toto prostředí pouze za mimořádných okolností. V případech, kdy zkoušení je považováno za vhodné, má se běžně použít zkouška s útlumovou sinusovou vlnou, jak je uvedeno v AECTP-400, Metoda 403 – Ráz (ČOS 999902).

### 4.4 Letové vibrace

4.4.1 Aerodynamická turbulence: Pro toto prostředí se doporučuje použít zkouška náhodných vibrací uvedená v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

4.4.2 Působení vzdušných vírů: Ačkoliv působení vzdušných vírů se projevuje pouze nepříliš často a po krátkou dobu v průběhu životnosti draku letounu, akumulované trvání úzkopásmových náhodných nebo přednostně sinusových vibračních reakcí může být dostatečným důvodem pro potvrzení zkoušky. Odpovídající zkušební postupy jsou uvedeny v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902). Vybraný zkušební postup má být kompatibilní s charakteristikami vibrace.

4.4.3 Hluk proudového motoru: Pro většinu materiálu jsou účinky hluku proudového motoru zahrnuty v podmínkách letových vibrací. Pro citlivý materiál, na nějž hluk proudového motoru působí přímo, tj. jestliže buzení je přednostně přenášeno vzduchem, má být vybrán jeden zkušební postup ze tří postupů uvedených v AECTP-400, Metoda 402 Akustický hluk (ČOS 999902). Tyto tři postupy jsou Difúzní pole, Dopad paprsku v tečném směru nebo Kavitační rezonance. Vybraný zkušební postup má být kompatibilní s charakteristikami hluku.

4.4.4 Dutiny: Je-li materiál instalován uvnitř nebo v blízkosti dutiny, která je otevřená vůči proudu vzduchu, má se provést zkouška na akustickou rezonanci hluku

v dutině. Odpovídající zkušební postup je uveden v AECTP-400, Metoda 402 - Akustický šum (ČOS 999902).

#### **4.5 Letové zrychlení**

Zkoušení se provádí v případě, kdy vhodnost materiálu není možno odpovídajícím způsobem určit výpočtem nebo zkoušením na statickou pevnost. Je-li požadováno zkoušení v tomto prostředí, provádí se obvykle v souladu s AECTP-400, Metoda 404 Konstantní zrychlení (ČOS 999902).

#### **4.6 Střelba**

4.6.1 V každé ze tří prostorových oblastí uvedených výše vznikají v důsledku střelby podstatně odlišné reakce. V důsledku toho je také třeba zvážit odlišné reakce pro každou prostorovou oblast.

4.6.2 Blízká oblast: Pro vytvoření účinku přetlaku tlakové vlny se vyžaduje sled rázových zatížení. Zatímco reprodukovatelnost takové série přechodných pulzů jen zřídka umožňuje přesnou simulaci, moderní zařízení pro vytváření vibrací umožňují dosažení přijatelné aproximace. Simulace střelby má být v případě, že je to vhodné, prováděna s využitím AECTP-400, Metoda 405 – Střelba (ČOS 999902). Alternativně lze využít speciální budicí zařízení. Specifická povaha tlakového rázového zatížení v blízké oblasti vylučuje odvození zobecněných úrovní náročnosti; přednostně mají být úrovně zkoušek založeny na naměřených údajích. V některých případech může být praktické analytické stanovení náročnosti s využitím postupů obranného standardu 00-970, svazek 1, část 501/1, příloha A.

4.6.3 Střední oblast: Simulace prostředí střelby ve střední prostorové oblasti je obvykle prováděna superponováním série sinusových složek vibrace nebo úzkopásmových složek náhodné vibrace na širokopásmovou náhodnou vibraci. Odpovídající frekvence těchto úzkopásmových nebo sinusových vibrací se projeví na základní frekvenci střelby a v následných harmonických složkách. Pro tuto zkoušku se má použít Metoda 405 z AECTP-400. Pro případy, kdy se požadují odhady reakcí konstrukce a zařízení a neexistují žádné odpovídající naměřené údaje, je doporučena Metoda 519 (Střelba) z MIL-STD 810. Zkušenosti ukázaly, že tato metoda poskytuje přijatelné odhady úrovní vibrace ze střelby za mnoha okolností. Tato metoda využívá čtyři sinusové vibrační složky, objevující se na základní frekvenci střelby a nejbližší tři harmonické složky superponované na základ tvarované širokopásmové náhodné vibrace. Metoda také umožňuje použití čtyř úzkopásmových náhodných vibrací místo sinusových vibrací. Tato možnost je preferována vzhledem k tomu, že rychlost střelby nemůže být perfektně konstantní a použití úzkých pásem chrání proti subjektivní povaze reakcí zařízení. Pro vysokoamplitudové reakce však nemusí být použití úzkopásmových vibrací v rámci možností dostupných vibračních generátorů.

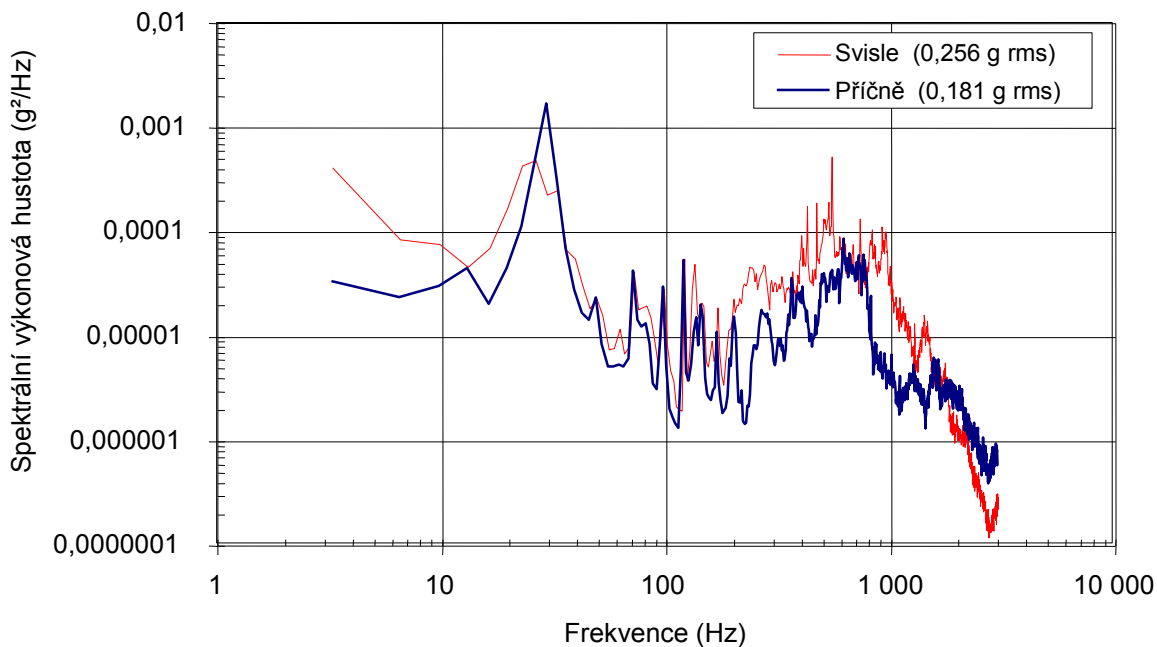
4.6.4 Daleká oblast: V daleké oblasti, kde reakce na střelbu je menší, než reakce projevující se během normálních letových podmínek, není obvykle specifická simulace střelby nezbytná.

#### **4.7 Odpálení střel**

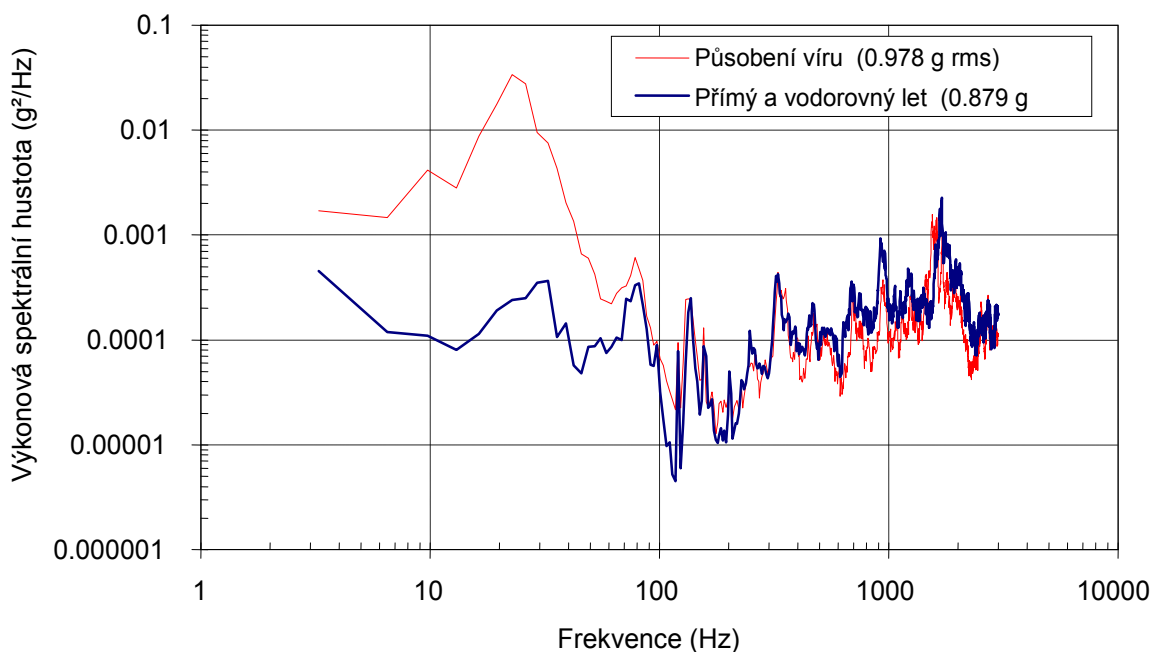
Ve většině případů mohou být indukovaná zatížení zpracována jako kvazistatická, pomocí analytických metod. V některých případech však taková zatížení mohou vyvolat závažné dynamické reakce na draku letounu nebo v zásobnících.



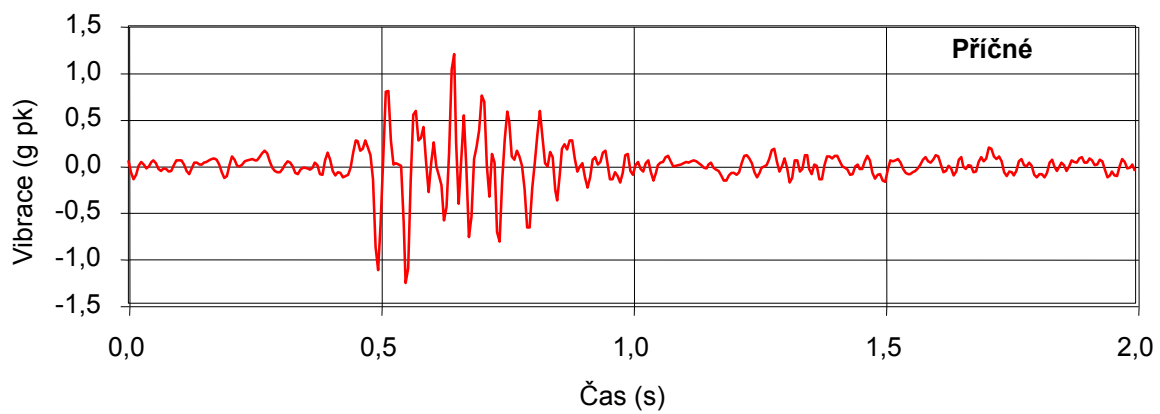
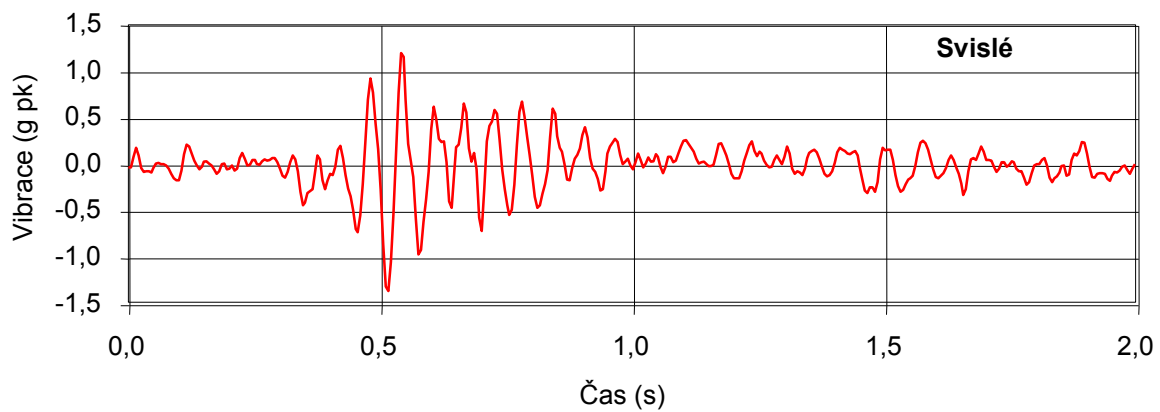
Následkem toho mohou být pro simulování těchto efektů požadovány dodatečné rázové zkoušky nebo zkoušky na zatížení tlakovou vlnou. V případech, kdy je zkoušení požadováno, se doporučuje použít Metodu 403 - Ráz z AECTP-400 (ČOS 999902).



**OBRÁZEK 1 – Vibrace vznikající během vzletu**



**OBRÁZEK 2 – Zvýšení vibrací v důsledku působení aerodynamického víru**



**OBRÁZEK 3 – Přejchodové jevy vznikající při normálním přistání**

## **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÁ PROSTŘEDÍ**

### **A.1 VIBRACE ZA LETU**

Měřené údaje o vibracích za letu budou zřídka k dispozici pro všechny provozní podmínky; je tedy užitečné stanovit (kde je to možné) pracovní znalosti o vlivech různých parametrů na úroveň vibrací. Obvykle se toho dosáhne odvozením z empirických prognostických modelů podle změřených dat získaných ze správně naplánovaných programů.

Zkušenosti ukazují, že hodné zřetele jsou následující parametry a směry.

- a. Výška a rychlost letu: Důležitým parametrem ovlivňujícím úroveň vibrací je dynamický tlak za letu, který má zpětně vztah k výšce a rychlosti letu. Tento parametr je zvláště důležitý, když uvažujeme úroveň pro vysoce výkonné proudové letouny. Je možné provést výzkumy závislosti celkové střední kvadratické hodnoty (rms) vibrací na dynamickém tlaku za letu.
- b. Výkon pohonné jednotky: Změny tohoto parametru a jeho vliv na úroveň vibrací může být zvláště vhodný u letounů se svislým startem a přistáním.
- c. Osa a umístění: Výzkum obecných změn vibračních odezev podle osy a umístění je zvláště užitečný pro nákladový prostor dopravních letounů. Změny mohou být zkoumány, pokud jde o celkovou rms vibrací a spektrální profil. Může to být vhodné i pro stanovení obecného trendu vibračních úrovní v okolí letounu. V důsledku složité povahy strukturálních dynamických charakteristik je nejspíš neschůdné stanovit přesný popis. Ale takový popis je zřídka pro praxi nezbytný.
- d. Rozmístění nákladu: Vlivy z rozmístění nákladu (celková hmotnost a uspořádání) na úroveň vibrací se mohou zkoumat tam, kde je pravděpodobný výskyt podstatných změn v rozmístění nákladu. Pokud jde o celkovou rms vibrací a spektrální profily mohou se tyto vlivy také zkoumat.
- e. Působení víru: Účinky působení víru se mohou zkoumat s využitím grafů špičkových amplitud v časové oblasti. Ale začátek a velikost vibračních odezev se nedají jednoduše korelovat s běžnými sledovanými parametry letounu. Navíc účinky působení víru se při využití empirických prognostických metod obtížně modelují.
- f. Manévrování za letu: Může zahrnovat nestacionární podmínky, jako je vzlet, přistání, zpětný tah, výkruty atd. V těchto případech jsou vhodné grafy celkové rms vibrací v závislosti na čase.
- g. Machovo číslo: Zatímco účinky rychlosti letu se běžně vztahují k dynamickému tlaku za letu, v některých případech při vyšším Machově čísle se závislost může změnit. V důsledku toho je prozíravé zavést vztah mezi úrovní vibrací a Machovým číslem vedle obvyklejšího vztahu vibrací a dynamického tlaku.

**Příloha A**  
(informativní)  
**A.2 STŘELBA**

Zkoumané parametry závisí na vzdálenosti zařízení od ústí hlavně zbraně, tj. zda je umístěno v blízkém, středním nebo vzdáleném poli.

- a. Blízké pole: V blízkém poli bude pulz výbuchu téměř jistě v měřených dynamických odezvách dominantním znakem. Navíc, preferovaná zkouška bude sestávat z reprodukování tohoto pulzu. Z toho vyplývá, že extrakce charakteristik těchto pulzů bude rozhodující záležitostí. To lze pravděpodobně nejlépe dosáhnout v časové oblasti, protože použití buď frekvenčního spektra, nebo spektra rázové odezvy způsobí problémy díky výskytu aerodynamicky vyvolaných širokopásmových náhodných vibrací na pozadí.
- b. Střední pole: Ve středním poli budou odezvy zařízení více vybuzeny od strukturálních odezev než od pulzů vyvolaných výbuchem. Protože při zkouškách je simulace obvykle vytvořena širokopásmovými nahodilými vibracemi, je vhodné vyhodnocovat měřené odezvy ve frekvenční oblasti. Základem odezev bude širokopásmová nahodilá vibrace se superponovanými vibracemi, jejichž frekvence jsou velmi blízké periodickým složkám kadence střelby a jejím následným harmonickým složkám. Přesné určení těchto složek může vyžadovat úzkopásmovou analýzu, která nemusí být slučitelná s frekvenčním rozsahem nahodilých vibrací. Za těchto okolností mohou být oddělena jednotlivá frekvenční spektra směřující ke kvantifikaci každého aspektu. I potom může být vhodné použít pro kvantitativní určení jednotlivých harmonických složek střední kvadratické hodnoty.
- c. Vzdálené pole: Protože střelba pravděpodobně nezpůsobí problémy ve vzdáleném poli, neposkytují se žádná zvláštní doporučení.

**KAPITOLA 246**  
**ČÁST 246/2**  
**EXTERNÍ PŘEPRAVA NA PROUDOVÝCH LETOUNECH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	166
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	166
2.1 POJÍŽDĚNÍ, START A PŘISTÁNÍ .....	166
2.2 LETOVÁ ČINNOST.....	167
2.3 STŘELBA .....	169
2.4 ODPÁLENÍ STŘEL .....	170
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	170
3.1 ZPŮSOBY SELHÁNÍ .....	170
3.2 POTENCIÁLNÍ ÚČINKY .....	170
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	171
4.1 LETOVÝ PROVOZ - AERODYNAMICKÝ PROUD VZUCHU .....	171
4.2 STŘELBA .....	172
 <b>Přílohy</b>	
PŘÍLOHA A PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VIBRACE PODVĚSŮ.....	177

## **ČÁST 246/2**

### **EXTERNÍ PŘEPRAVA NA PROUDOVÝCH LETOUNECH**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž mohou být vystaveny podvěsy během vnější přepravy na proudových letounech. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a tam, kde je to vhodné, je poskytnuta informace o potenciálních škodlivých účincích.

Jsou uvedeny informace o relativních výhodách nabízených zkoušek a kde je to vhodné, o výběru odpovídající zkušební metody z AECTP-400. V příloze A jsou uvedeny informace o parametrech ovlivňujících vibrace podvěsů. V příloze B je uvedeno vodítko pro shromáždění popisu prostředí a náročností testu z naměřených údajů.

Prostředí související s oddělením podvěsů od letounu jsou v části 249/1 - Letecké a pozemní zbraně. Prostředí související se samotným letounem jsou uvedena v části 246/1 - Instalace na a v proudových letounech.

Vibrace, jimž jsou vystaveny podvěsy během vnější přepravy na vysoce výkonných proudových letounech, jsou relativně vysoké. V důsledku toho je obvykle nezbytné zkoušení, které zabezpečí, že podvěs je schopen splnit provozní požadavky.

Vibraci podvěsu za podmínek vnější přepravy ovlivňuje řada aspektů a v souvislosti s vysokými zatíženími je důležité pochopit hlavní vlivy, které mohou ovlivnit úroveň vibrací konkrétních konfigurací podvěsů a letounů, aby bylo možno odvodit účinné specifikace zkoušek. Následující odstavce uvádí tyto hlavní vlivy a rozebírají odpovídající vibrační charakteristiky a úrovně.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Pojíždění, start a přistání**

2.1.1 Normální podmínky: Během pojíždění, startu a přistání může být vystaven podvěs a jeho zařízení oscilačním přechodovým jevům. Tyto přechodové jevy vznikají v důsledku pojíždění letounu po pojížděcích, vzletových a přistávacích dráhách (VPD). Obecně převažuje reakce v nízkých frekvencích souvisejících s poddajností podvozku a hmotností letounu a také se způsobem zavěšení podvěsu. Tyto přechodové jevy jsou obvykle relativně neškodné a jsou zahrnuty v jevech souvisejících se vzdušnou přepravou. Tyto úrovně náročnosti se pravděpodobně zvýší, jsou-li používány dočasné nebo opravené pojížděcí dráhy nebo VPD. Start obvykle zahrnuje vysoké úrovně výkonu motorů, které naopak mohou vyvolávat vibrace a akustický hluk. Úrovně hluku mohou být vzhledem k odrazu od země větší, než během letu.

2.1.2 Zařízení pro zpětný chod: Některé letouny používají během přistávání zařízení pro zpětný chod. Tato zařízení nejen používají vysoké úrovně výkonu motoru, ale mohou také přesměrovat výfuk motoru zpět k letounu. To může vytvářet obzvláště vysoké úrovně lokalizovaného akustického hluku a vibrací, i když pouze po několik sekund. Obrázek 1 ukazuje charakteristické reakce zadní

části podvěsu v důsledku působení přesměřovaného výfuku z motorů, projevující se při provozu zařízení pro zpětný chod.

- 2.1.3 Start s použitím katapultu/přistání se zachycením: V podvěsu se během startu letounu s použitím katapultu nebo při přistání se zachycením projevují krátkodobé oscilační přechodové jevy. Obecně bude start s použitím katapultu vykazovat dva přechodové jevy odpovídající počátečnímu působení zatížení a oddělení katapultu od letounu. Oba přechodové jevy mají výrazně oscilační povahu, přibližně sinusovou při relativně nízké frekvenci dané hmotností letounu a charakteristikami přistávacího tlumicího zařízení. Podmínky přistání se zachycením vytváří pouze jeden přechodový jev, ale s podobnými charakteristikami ke startu s použitím katapultu. Zatímco pulzní charakteristiky související se startem s použitím katapultu nebo přistání se zachycením jsou nízké, dlouhé doby působení (několik sekund) a vysoké frekvence mohou způsobit poruchu.
- 2.1.4 Vertikální start a přistání: Během vertikálního startu nebo přistání může výfuk z trysek motoru působit na podvěsy, které normálně nejsou takovým podmínkám vystaveny. Navíc a pravděpodobně významněji, může výfuk z proudového motoru odražený od země působit na většinu spodního povrchu letounu, včetně podvěsů. V důsledku toho mohou vzniknout náročné vibrační podmínky související s vertikálním startem nebo přistáním.
- 2.1.5 Start s využitím lyží: Dynamické prostředí vznikající během použití lyží při startu mají velmi nízkou frekvenci a jsou spíše než za vibrační nebo přechodové považovány za kvazistatické zátěžové podmínky letounu.

## 2.2 Letová činnost

### 2.2.1 Všeobecná ustanovení:

- a. Mechanická prostředí, jímž je vystaven náklad přepravovaný na vnějších podvěsech během vzdušné přepravy na proudových letounech, jsou hlavně vibrační a pochází od relativně ustáleného aerodynamického toku působícího na vnější povrch podvěsů. Za určitých letových podmínek však mohou i jiné zdroje, jako například některé manévry, vyvolávat reakce ještě závažnější než ty, které vznikají při ustáleném aerodynamickém proudění. Obě podmínky jsou rozebrány níže spolu s působením vzdušných vírů a hlukem proudového motoru. Další podrobné informace o účincích aerodynamického proudění, sání motoru a pohonné jednotky je možno nalézt v části 246/1. Účinky manévru, poryvů větru a konstrukčních dutin jsou tedy plně rozebrány v části 246/1 a nejsou již v této kapitole opakovány.
- b. Fyzikální parametry podvěsu a jeho instalace mohou podstatně ovlivňovat vibrační reakce, avšak je obvykle nepraktické kvantifikovat jeho interakce s působícími nestálými aerodynamickými tlaky pro předpověď vibračních reakcí. Vliv hlavních parametrů, které zahrnují dynamický tlak, druh podvěsu, umístění, atd. na úroveň vibrací jsou uvedeny v příloze A.

### 2.2.2 Aerodynamické proudění:

- a. Nejdůležitější zdroj vibrací podvěsu je spojen s nestálými tlaky v proudu vzduchu obklopujícím zásobník. Proudění vzduchu přes podvěs, zejména přes přední části, může být spojitě nebo nespojitě, jak je obvyklé v zadních částech podvěsu. Závažnější vibrace, jimž je vystaven podvěs, souvisí s odpojeným tokem.
- b. Účinky spojitého a nespojitého proudění jsou ukázány na obrázku 2. Tečkovaná křivka ukazuje reakce v případě, kdy je proudění převážně spojitě, zatímco plná křivka ukazuje účinky vyskytující se při nespojitém proudění. Odpovídající měření ve větrném tunelu ukazují, že nestálé tlaky se zvyšují o faktor mezi 2 - 2,5 po celém širokém frekvenčním rozsahu. Tyto zvýšené tlaky mohou mít za následek podstatné zvýšené vibrační reakce panelů, jak je ukázáno na obrázku 2.
- c. Protože vibrační buzení vznikající působením normálního aerodynamického tlaku na podvěs je v podstatě širokopásmová náhodná vibrace, škodlivé účinky budou pravděpodobně souviset s únavou, jako jsou například kontaktní selhání malých mechanismů, elektrických spojů, atd. U podvěsů s vysokou modální hustotou jsou buzeny vibrace s frekvencí nejméně 3 kHz; nejvyšší vibrační amplitudy se často vyskytují kolem frekvencí podvěsu. U podvěsů s nízkou modální hustotou mohou převládat reakce s pouze několika frekvenčními špičkovými hodnotami; vibrační amplituda každé špičkové hodnoty ale může být relativně vysoká.
- d. Další údaje o aerodynamickém toku jsou uvedeny v části 246/1, článek 4.1.

### 2.2.3 Působení vzdušných vírů

Za určitých podmínek manévru letounu je možné působení vzdušných vírů pocházejících z například ze sání vzduchu vysokovýkonného letounu na podvěs. Během těchto podmínek mohou vzniknout závažné přechodné vibrační reakce, ale jen zřídka se projeví po dobu delší než několik sekund. Charakteristiky vibračních reakcí úzce souvisí s určitou konfigurací zásobníku letounu a mohou se vyskytnout pouze během velmi omezeného množství kombinací rychlosti, výšky, směru a úhlu útoku. Pokud by frekvence vzdušných vírů koincidovala s místní rezonancí, mohou se vyskytnout vibrace s vysokou amplitudou, které mohou mít za následek únavovou závadu.

### 2.2.4 Manévr pro odstranění třesení letounu:

- a. Jestliže podmínky aerodynamického víru popsané v článku 3.3 způsobí vybuzení podvěsu připevněného na křídle v základních režimech nebo v režimech tuhého tělesa na jeho relativně pružném nosném zařízení, mohou vzniknout závažné vibrační reakce. Typické srovnatelné vibrační reakce jsou zobrazeny na obrázku 3 pro štíhlou střelu upevněnou na křídle vysokovýkonného letounu během přímého letu a při provádění zatáčky. Základní ohybový režim střely je dominantní vibrační reakce s frekvencí kolem 30 Hz.
- b. Pro relativně dlouhé a štíhlé raketové systémy mohou být úroveň vibračních reakcí na příslušných frekvencích nejzávažnější reakce, jimž bude systém během své provozní životnosti vystaven. Vzhledem



k nestacionární charakteristice údajů pro podmínky tohoto typu manévru je nesnadné určit amplitudy s dostatečnou důvěryhodností, ale na předních částech štíhlých raketových systémů byly pozorovány vibrační reakce překračující v časové oblasti hodnotu 10 g a ve frekvenční oblasti 10 g<sup>2</sup> /Hz. Navíc, ačkoliv se vysoké vibrační reakce projevují pouze po dobu několika sekund během každého manévru pro odstranění třesení letounu, výsledné amplitudy při relativně nízkých frekvencích mohou vytvářet dostatečné posuny, které mohou při spojení s jejich potenciální frekvencí výskytu nepříznivě ovlivňovat únavovou životnost konstrukce střely.

- c. Podmínky podobné manévru pro odstranění třesení letounu mohou vznikat v důsledku pohybu tuhého tělesa, podvěsu nebo střely upevněné na křídlech vyplývající z ohybu nebo krutu křídla. Porovnatelné amplitudy vibrací za takových podmínek pro podvės s hmotností 1 000 liber během přímého letu a při zatáčení jsou ukázány na obrázku 4, kde je vidět, že reakce podvěsu ve vertikální ose pro cg podvěsu se zvýšily o více než tři velikostní řády při nízké frekvenci. Reakce s frekvencí kolem 25 Hz náleží režimu krutu křídla. Další studie o této reakci ukazují, že se vztahuje k úhlu působení a dynamickému tlaku, jak je ukázáno na obrázku 5. Vibrační reakce jsou zřejmější u vpředu instalovaných štíhlých střel na vnějších polohách křidel a mohou dosahovat amplitud srovnatelných s těmi, které byly uvedeny v předešlých odstavcích.

#### 2.2.5 Hluk proudového motoru:

Vibrace vytvářené pohonnou jednotkou v nákladech přepravovaných na vnějších podvěsech vznikají přednostně působením hluku vytvářené turbulენტním mícháním vystupujícího výtrysku odrážejícího se od země během startu. Výsledné amplitudy vibrací podvěsu jsou obvykle menší, než ty, které vznikají za letu vysokou rychlostí, ale mohou být dominantním zdrojem vibrací pro podvěsy přepravované v zadní části letounu s nízkým výkonem. Charakteristika těchto vibrací je obvykle širokopásmová náhodná. Další podrobnosti o vlivech pohonné jednotky jsou uvedeny v části 246/1, článek 4.5.

### 2.3 Střelba

- 2.3.1 Závažné vibrační a rázové reakce mohou vzniknout v nákladech přepravovaných na vnějších podvěsech v důsledku střelby ze střelných zbraní instalovaných uvnitř nosného letounu nebo na přilehlých vnějších podvěsech. Zatímco celkové trvání těchto buzení je relativně krátké, amplitudy mohou být podstatně vyšší než vibrace vznikající během normálního letu. Navíc charakteristiky reakcí jsou výrazně odlišné od vibrací vznikajících při podmínkách normálního letu a mohou vyvolávat různé způsoby poruch.

- 2.3.2 Účinky střelby potenciálně vyvolávají vibrace ze tří různých zdrojů. Tyto zdroje jsou: tlaková vlna proudící od ústí zbraně, zákluz zbraně v jejím upevnění, pohyb munice a nabíjecího systému. Pro náklady převážené na vnějších podvěsech je nejdůležitějším zdrojem vibrací téměř vždycky tlaková vlna. Typické vibrační reakce vnějšího oplechování podvěsu a vnitřního zařízení v důsledku účinku rázové vlny od střelby jsou ukázány na obrázku 6. Další

informace o zpracování účinku střelby ze všech tří zdrojů jsou uvedeny v části 246/1 - Instalace na a v proudových letadlech.

## **2.4 Odpálení střel**

Odpálení střel může vyvolat vysoké úrovně rázů, vibrační a tlakové vlny v sousedících podvěsech. Ve většině případů je toto zatížení považováno za kvazistatické podmínky a je odpovídajícím způsobem ošetřeno. V některých případech mohou vzniknout nízkofrekvenční dynamické reakce konstrukce křídla letounu, které naopak mohou vytvářet vysoká zatížení podvěsů. Jsou známy poruchy upevnění podvěsů způsobené takovýmito zatíženími. Pro simulaci těchto účinků může být nezbytné dodatečné zkoušení rázu, vibrační nebo působení tlakové vlny, ale protože tyto zátěžové podmínky jsou specifické pro každý konkrétní objekt, je nevhodné poskytovat obecné rady.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Způsoby selhání**

- 3.1.1 Mechanická prostředí vznikající při instalaci vnějších podvěsů na letounech mohou vyvolávat řadu druhů poruch. Nejzávažnější z těchto způsobů jsou ty, které souvisí se zrychlením. Druhy závad související se zrychlením mohou vzniknout z jedné aplikace zatížení a vytvořit poruchu v důsledku překročení mezní hodnoty nebo mohou působit opakovaně, sérií zatížení, a vytvořit únavovou závadu.
- 3.1.2 Pro podvěsy jsou také důležité závady související s posuny, jako jsou závady způsobené pnutím a uvolnění konektorů, a mohou vzniknout v důsledku relativních pohybů prvků nebo v důsledku kolizí mezi zařízeními.
- 3.1.3 Závady vzniklé v důsledku působení rychlosti jsou nezvyklé. Aplikace rychlostního zatížení na některá elektrická zařízení a určité druhy senzorů může vyvolat rušivá napětí, která naopak mohou vyvolat funkční poruchy.

### **3.2 Potenciální účinky**

- 3.2.1 Všeobecná ustanovení: Primárními zdroji potenciálního poškození materiálů přepravovaných na vnějších podvěsech je působení zatížení, která vznikají v důsledku procesu aerodynamického proudění vyskytujícího se během vzdušné přepravy a následující odstavce se zabývají pouze těmito zdroji. Účinky střelby jsou rozebrány v části 246/1 - Instalace na a v proudových letounech.
- 3.2.2 Aerodynamické proudění: Protože vibrační buzení vznikající v důsledku aerodynamického proudění kolem podvěsů jsou v podstatě širokopásmové náhodné vibrace, škodlivé účinky souvisí s únavou, jako je například otěr malých mechanismů, elektrických spojů atd. Pro podvěsy s vysokou formální hustotou je frekvenční rozsah buzení takový, že vznikají prakticky všechny druhy vibrace až do 3 kHz; nejvyšší amplitudy vibrace se často projevují v oblasti frekvence podvěsů. Pro podvěsy s nízkou formální hustotou může v reakcích převládat pouze několik frekvenčních špičkových hodnot; amplituda vibrace v každé špičkové hodnotě však může být relativně vysoká. Tyto vysoké amplitudy při specifických režimech nemusí být vyjádřeny celkovou úrovní vibrace, pokud je zobrazována v termínech  $g_{rms}$ , která může vykazovat opačnou tendenci.

- 3.2.3 Působení vzdušných vírů: Vibrační amplitudy vznikající v důsledku působení vibračních vírů na podvěs mohou být závažné. Tyto podmínky mohou vzniknout v případě, kdy vzdušné víry jsou šířeny od přilehlých struktur, jako je například sání letounu. Pokud by se frekvence vírů shodovala s místní rezonancí, mohou se projevit vibrace s vysokou amplitudou, které mohou vyústit v únavové poškození.
- 3.2.4 Manévr pro odstranění třesení letounu: Ačkoliv se vysoké vibrační reakce projevují pouze po dobu několika sekund během každého manévru pro odstranění třesení letounu, amplitudy a frekvence vytváří podstatné posuny, které mohou naopak ovlivňovat únavovou životnost konstrukce střely.

## 4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY

### 4.1 Letový provoz - aerodynamický tok

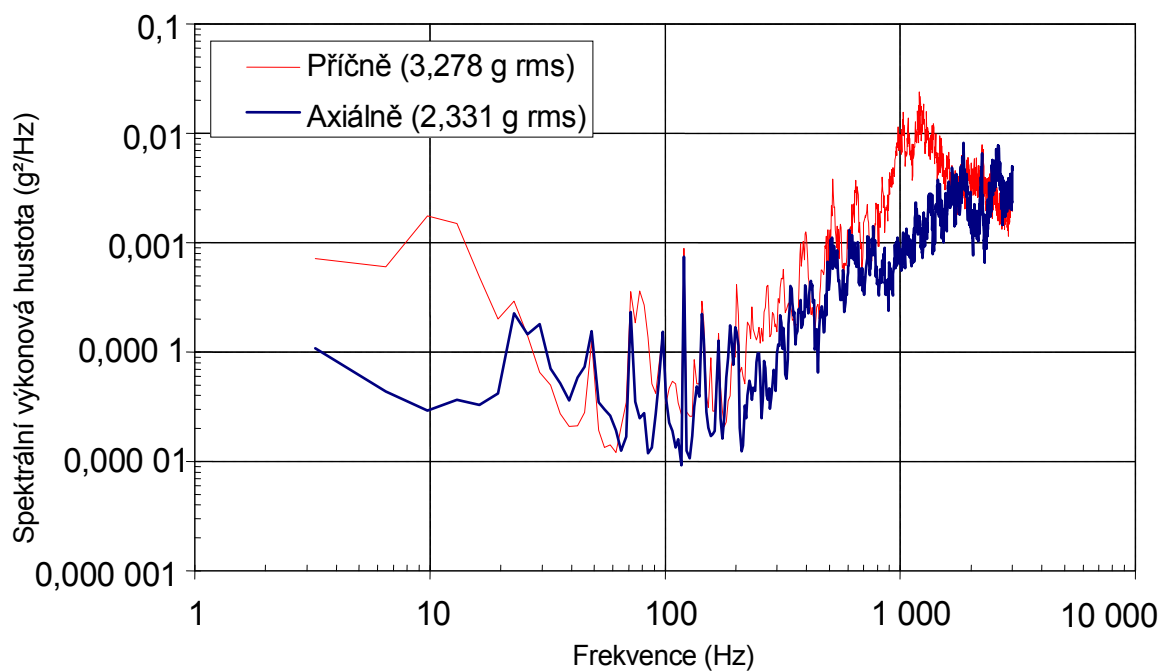
- 4.1.1 Možnosti zkoušení: Zdroj aerodynamického buzení je distribuován na vnějším povrchu podvěsu. V důsledku toho je nesnadné, obzvláště ve vyšších frekvencích, simulovat tento zdroj efektivně pomocí technik bodové excitace, jako jsou například mechanické vibrátory. Z tohoto důvodu se používají často akustické metody buzení. Samotné akustické buzení však nemůže být dostatečně adekvátní pro simulaci reakcí při nižších frekvencích a tudíž musí být doplněno zkouškou mechanickými vibracemi. Pokud zkoušení pomocí akustického buzení není schůdné, pak se obvykle za přijatelné považuje mechanické vibrační zkoušení pokrývající široký frekvenční rozsah.
- 4.1.2 Akustické zkoušení: Pro vytváření požadovaného akustického buzení jsou k dispozici dvě metody. První vytváří akustické tlakové úrovně uvnitř dozvukové komory, druhá pomocí progresivní vlnové trubice. Pro obě metody se vyžaduje doplňková, přednostně současná aplikace mechanického buzení. Úrovně použité pro akustické zkoušení mohou být definovány buď jako akustické zvukové tlakové úrovně nebo vibrační reakce podvěsu. Protože první uvedená metoda vyžaduje velké předpoklady, včetně souvislosti účinnosti spojení zvukového tlaku s dynamickými charakteristikami zásobníku, vždycky se dává přednost metodě druhé. Vhodné akustické zkušební postupy jsou uvedeny v AECTP-400, Metoda 402 - Akustický šum (ČOS 999902).
- 4.1.3 Mechanické zkoušení: Mechanický vibrační test lze použít pro pokrytí celého frekvenčního rozsahu nebo pro doplnění akustického zkoušení při nižších frekvencích. Protože zdroj a amplituda vibrací je rozprostřena po celé délce zásobníku, dává se přednost tomu, aby buzení bylo aplikováno na více než jedno místo podél podélné osy podvěsu. Pokud tento přístup není schůdný, může být možnou alternativou aplikace buzení pouze v jednom místě, avšak téměř určitě dojde v tomto místě v důsledku zkoušení k nadměrnému zatížení. Navíc, při použití jakékoliv formy mechanických vibračních zkoušek pro toto prostředí, je rozumné předpokládat přinejmenším nějaké nereprezentativní poškození v okolí bodů buzení. Vhodný zkušební postup pro mechanické zkoušení je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).
- 4.1.4 Kombinovaná prostředí: Potřeba simulovat různé podmínky prostředí současně je přednostním požadavkem pro kompletní podvěsy. Takovéto kombinované zkoušky se mohou vyžadovat pro účely schválení nebo

ověřování spolehlivosti. Obvykle se používají dvě kombinované zkušební metody pro prostředí:

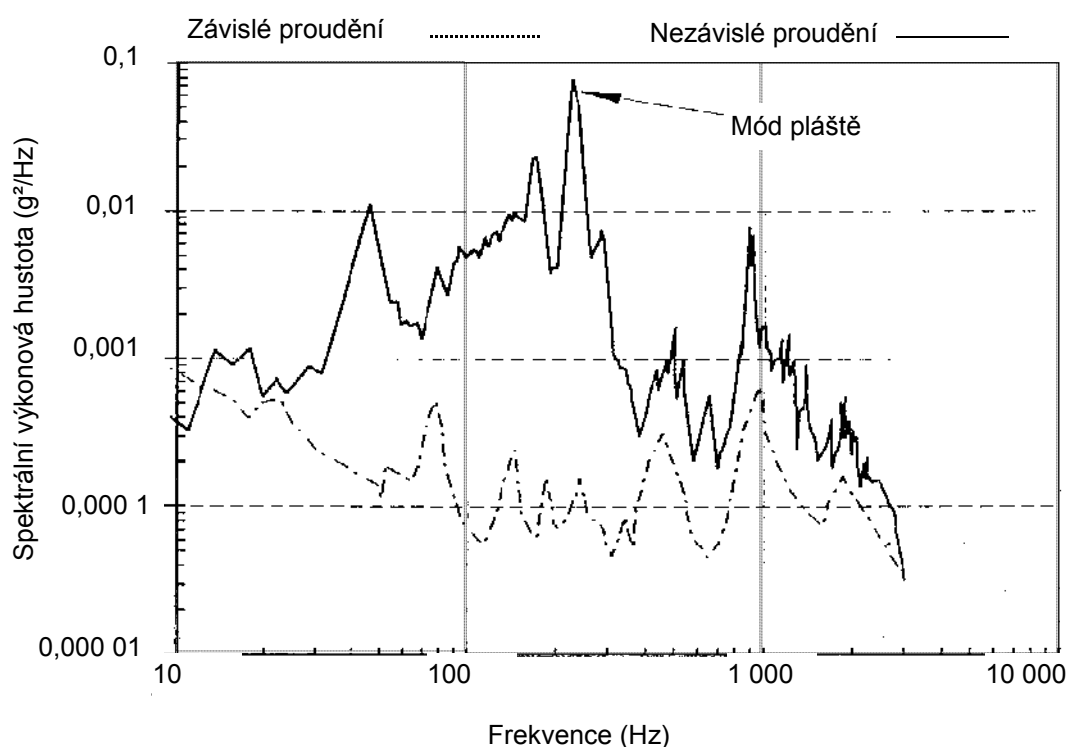
- a. Vibrační/Akustická/Teplotní: Tato metoda, která je uvedena v AECTP-400, Metoda 413 (ČOS 999902), umožňuje současnou aplikaci mechanických vibrací, akustických a teplotních podmínek.
- b. Vibrační/Teplotní/Výšková: Tato metoda, která je uvedena v AECTP-300, Metoda 318, umožňuje současnou aplikaci mechanických vibrací, teplotních a výškových podmínek.

## 4.2 Střelba

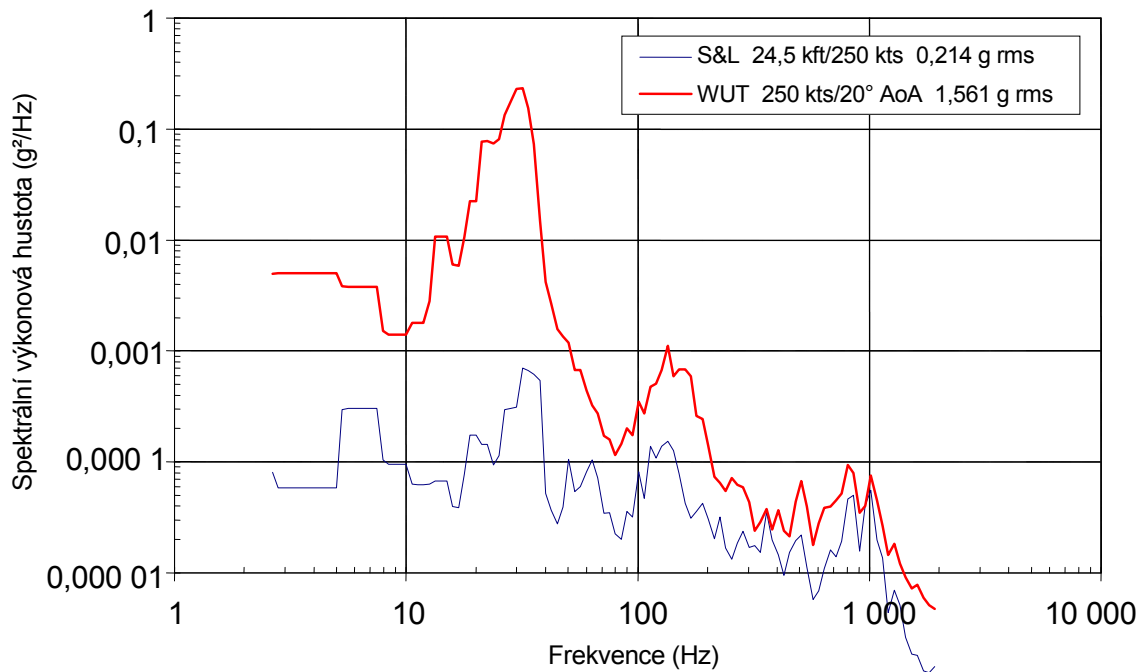
- 4.2.1 Možnosti zkoušek: Jsou k dispozici pulzní a vibrační zkušební metody, které mohou napodobit reakce podvěsu vznikající v důsledku střelby z letounu. Vibrační metoda je použitelná pouze v případě, kdy individuální pulzní charakteristiky nejsou rozlišitelné; tj. u zařízení montovaného v podvěsech a umístěného dále od pláště podvěsu a v případech, kdy je podvěs umístěn v určité vzdálenosti od ústí leteckého kanónu. Ve všech ostatních případech se preferuje výběr zkušební metody, která vytváří sled pulzů.
- 4.2.2 Pulzní metoda: Při vytváření série pulzů představujících rázové účinky střelby existují výrazné praktické problémy. Avšak nedávno vyvinuté zařízení pro vytváření vibrací je schopné dosáhnout relativně dobré aproximace. Použitá speciální metoda se může vybrat z metod uvedených v AECTP-400, Metoda 405 – Střelba (ČOS 999902), je však nutno dbát na to, aby se zajistila uspokojivá simulace.
- 4.2.3 Vibrační metoda: Simulace střelby pomocí vibračních zkušebních metod se obvykle provádí superponováním sérií fázových sinusových složek vibrace nebo úzkopásmových náhodných vibračních složek na širokopásmové náhodné vibrace. Frekvence úzkého pásma nebo sinusové vibrace jsou základní frekvencí rychlosti střelby a jejich následných harmonických složek. Nejobvykleji používané postupy využívají čtyři sinusové vibrační složky projevující se na základní frekvenci střelby a následující tři harmonické složky superponované na základ tvarované širokopásmové náhodné vibrace. Přijatelné je také použití čtyř úzkých pásem náhodné vibrace místo sinusové vibrace. Tato poslední možnost je preferována proto, že zahrnuje změny jak rychlosti střelby, tak reakce zařízení. Při vysokých amplitudách však použití úzkých pásem může být mimo možnosti generátoru vibrací. Odpovídající zkušební postupy jsou uvedeny v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).



**OBRÁZEK 1 – Vibrační odezvy pláště podvěsu přímo před motory letounu během zpětného tahu**

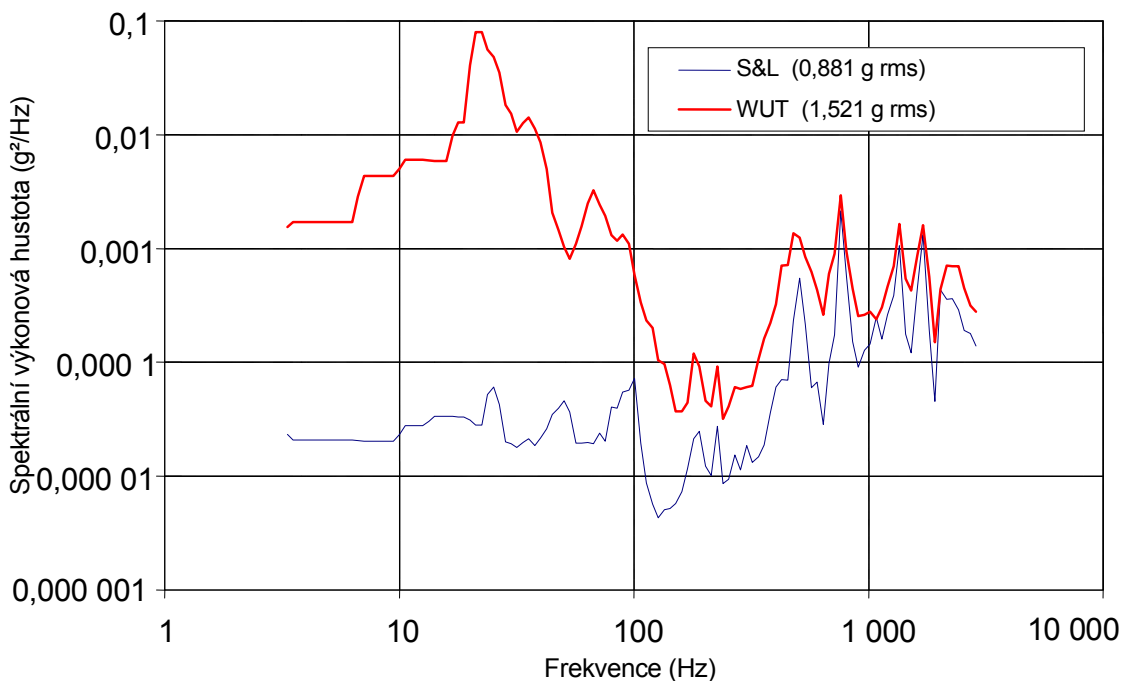


**OBRÁZEK 2 – Vliv závislého a nezávislého proudění na vibrační odezvy podvěsu**



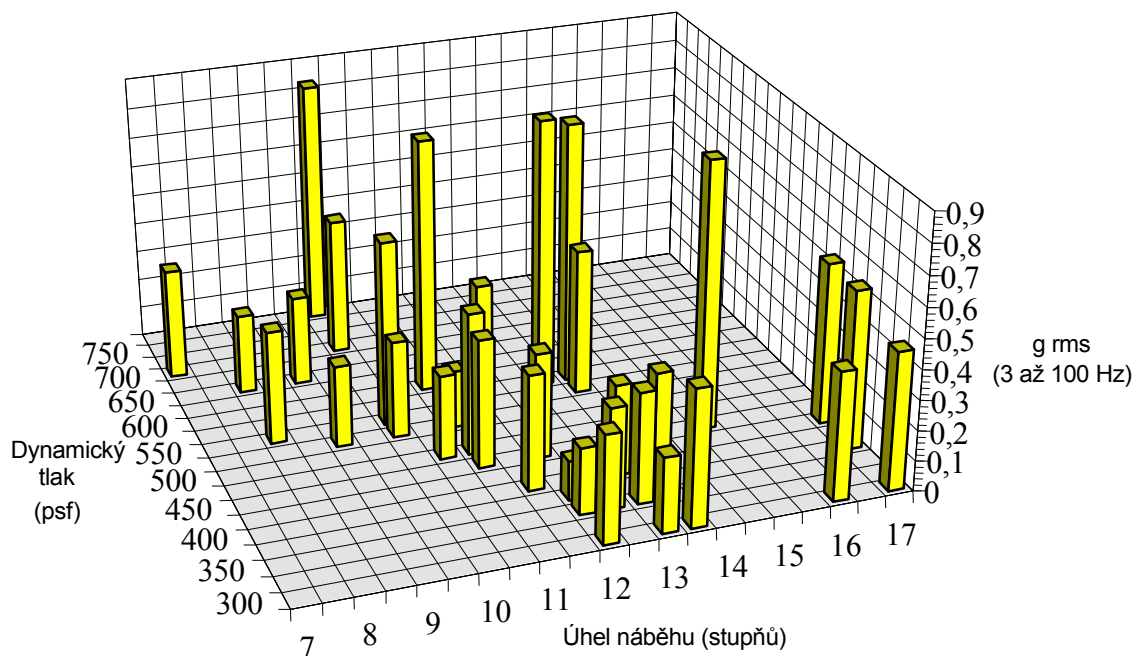
S&L – přímý a vodorovný let; WUT – výkruh; kft – kubická stopa;  
 kts – kilotuny; AoA – úhel náběhu

**OBRÁZEK 3 – Porovnání vibrací štíhlé střely během přímého letu ve stálé výšce a při třepání letounu na rychlém proudovém letounu**



S&L – přímý a vodorovný let; WUT – výkruh; psf – liber na kubickou stopu

**OBRÁZEK 4 – Porovnání vibrací podvěsu při přímém letu ve stálé výšce a při třepání letounu při tlaku 420 psf na křídle rychlého proudového letounu**

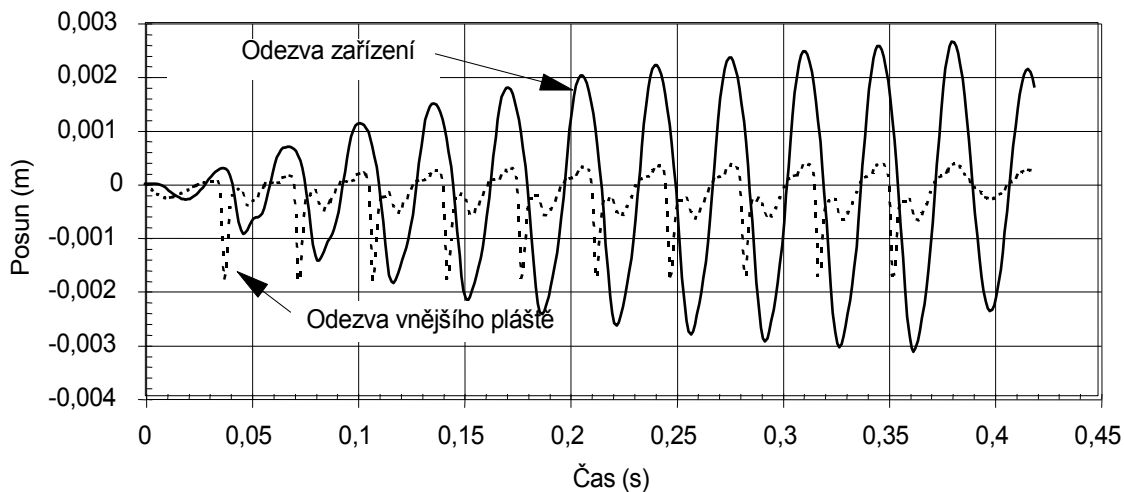


#### POZNÁMKY

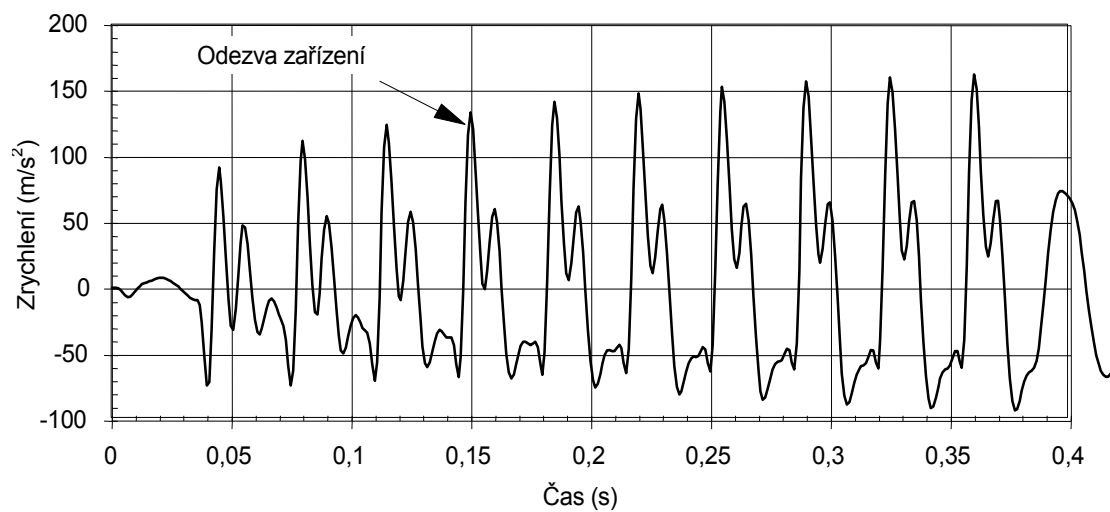
- 1 Data získaná ve frekvenčním pásmu, kde se neobjevuje třepání podvěsu, tj. 3 až 100 Hz.
- 2 Data byla získána při stacionárních podmínkách třepání.
- 3 Podvěs je přepravován vně letounu na křídle rychlého proudového letounu.

**OBRÁZEK 5 – Vibrace podvěsu jako funkce úhlu náběhu a dynamického tlaku za letu**

Posun odezvy na střelbu salvou (10 nábojů)



Akcelerační odezva na střelbu salvou (10 nábojů)



**OBRÁZEK 6 – Vibrační odezvy vnějšího pláště podvěsu a vnitřního zařízení následkem střelby**



## **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VIBRACE PODVĚSŮ**

### **A.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato příloha poskytuje informace o vlivu vlastností podvěsu, okolnostech rozmístění podvěsů a letových podmínkách na úroveň vibrací.

### **A.2 DYNAMICKÝ TLAK**

Ukazuje se, že intenzita vibrací podvěsu vycházejících z relativně ustáleného proudění kolem vnějšího povrchu podvěsu se vztahuje k dynamickému tlaku. Navíc za předpokladu, že průtokový režim kolem podvěsu zůstává dostatečně stabilní, může být poměr mezi vibrací podvěsu a dynamickým tlakem kvantifikován s vysokou mírou jistoty. Znalost těchto vztahů je mimořádně důležitá, protože může být velmi účelně využita k odhadu úrovně vibrací. Vztah typického dynamického tlaku a úrovně vibrací pro vnější podvěsy je uveden na obrázku č. A1.

### **A.3 TYP PODVĚSU**

Druh podvěsu, pokud jde o tvar a konstrukci, je jedním z nejlivnějších parametrů působících na úroveň vibrací. Změny v odezvách podvěsů jsou zobrazeny na obrázcích A2 až A5. Odezvy podvěsů jsou z podobného místa na čtyřech různých podvěsech normalizované na tytéž letové podmínky. Ačkoli druh podvěsu je jedním z nejdůležitějších aspektů ovlivňujících vibrační charakteristiky i úrovně vibrací, je kvantifikace těchto vztahů obtížná. Široce se využívá metody založené na jednoduchých měřítkových parametrech. Typicky používané parametry jsou měrná hmotnost, hmotnost, plocha povrchu, tloušťka pláště a poloměr podvěsu. Zkušenosti naznačují, že takové parametry mohou být dostatečně efektivní při použití pro indikaci tendencí v úrovních vibrací. Na obrázcích č. A6 až A8 jsou uvedeny tři příklady. Použití takových parametrů je ale omezené, protože jednotlivý parametr nemůže popsat vibrační úroveň pro všechny podvěsy nebo pro celé relevantní frekvenční pásmo. Z tohoto důvodu by se takové parametry měly používat opatrně.

### **A.4 UMÍSTĚNÍ**

Silnější mezní vrstva směrem k zádi podvěsu a přiřazené vyšší kolísavé tlaky obvykle vedou ke zvýšeným vibračním úrovním v této oblasti. Tyto vyšší úrovně mají vliv na skoro celou frekvenční zájmovou oblast. Takové proudění způsobí dokonce vyšší úrovně než úrovně předpokládané z osamocené připojeného proudění. Pokud je oddělené proudění značné, může se lehce spojit s módy konkrétního podvěsu a vyvolat velmi výrazný nárůst amplitud přes relativně úzké frekvenční pásmo. Změna z 8 až k 1 byla zaregistrována v celkové vibrační úrovni ze zádi na předek podvěsu. Pro módy vibrací konkrétního podvěsu může být nárůst dokonce i větší. Typické změny v odezvách v důsledku umístění podvěsu jsou zobrazeny na obrázku A9.

### **A.5 OSA**

Konstrukce a vnější tvar podvěsu, rozložení neustáleného tlakového pole a strukturální dynamické charakteristiky podvěsu přispívají k tendenci, která vyvolává nižší vibrační úroveň v podélné ose. Tato tendence platí pro celou frekvenční zájmovou oblast. Typické úrovně v podélné ose tvoří polovinu až čtvrtinu úrovní

**Příloha A**  
(informativní)

ve svislé nebo příčné ose. Změny amplitudy odezvy mezi svislou a příčnou osou jsou obvykle malé. Typické účinky osy jsou zobrazeny na obrázku A10.

### **A.6 TYP LETOUNU**

Druh nosného letounu má jen relativně malý vliv na úroveň vibrací podvěsu, jak je uvedeno na obrázku A11, který ukazuje ekvivalentní odezvy pro tentýž podvės na různých letounech. Změny jsou často omezeny na oblast nízkých frekvencí, tj. pod 200 Hz. Ve vyšších frekvencích je vliv druhu letounu zanedbatelný; výjimkou jsou účinky odděleného proudění, jako je odpadávání vírů z letounu. Pokud provedení nosného letounu podstatným způsobem narušuje proudění kolem podvěsu, jako např. pro shodně přepravované podvěsy, dá se předpokládat výskyt významné změny vibračních odezev.

### **A.7 POLOHA NA LETOUNU**

Účinky připevnění podvěsů na různá místa nosného letounu často vytváří rozsáhlé změny vibračních amplitud a pro odvození náročností zkoušky se musí využít naměřené údaje.

### **A.8 UPEVNĚNÍ PODVĚSU**

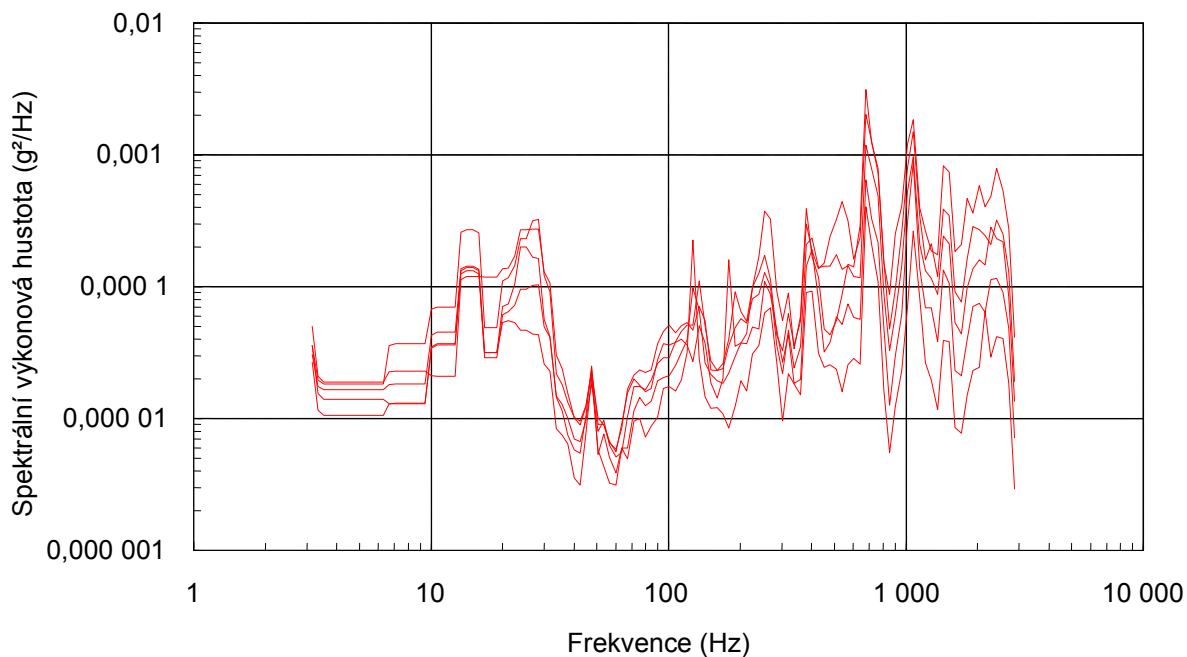
Druh upevnění podvěsu (ERU, MACE atd.) sice má nějaký vliv, ale obvykle velmi malý a omezený na oblast nízkých frekvencí.

### **A.9 VÍCENÁSOBNÉ NOSIČE**

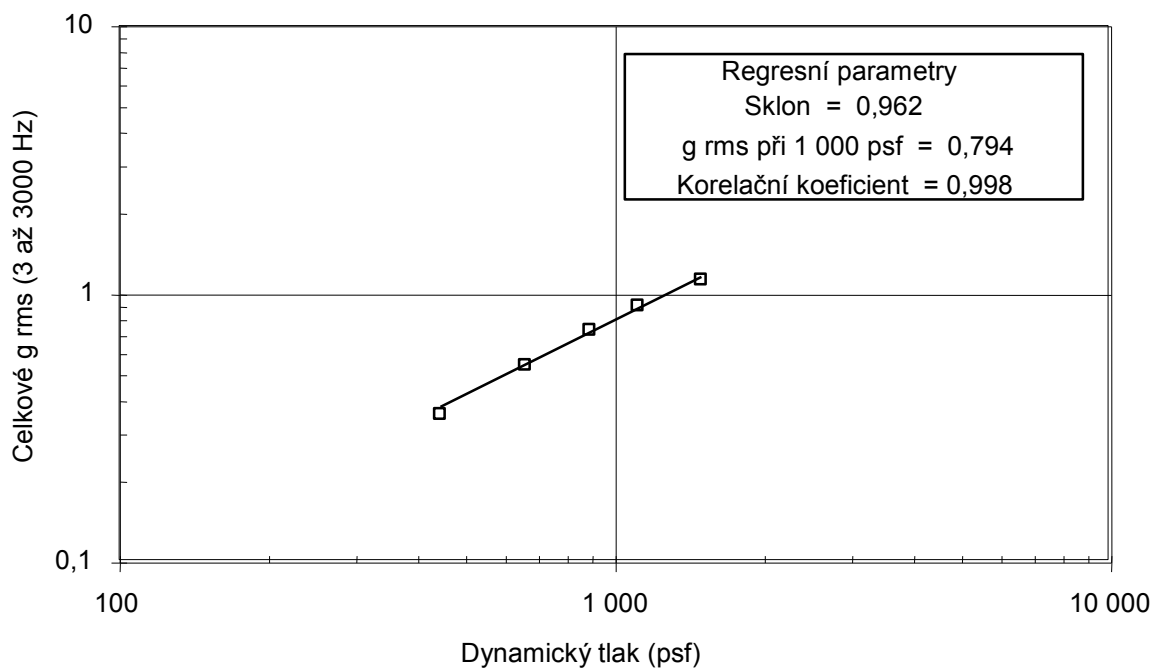
Ukazuje se, že použití vícenásobných nosičů zvyšuje úroveň vibrací. Zdá se to být spíše důsledkem těsné blízkosti nesených podvěsů, která omezuje aerodynamické proudění – viz dále uvedená kapitola A.10, než důsledkem charakteristických rysů samotného nosiče.

### **A.10 SOUSEDNÍ PODVĚSY**

Některé sestavy nosičů umísťují podvěsy těsně jeden vedle druhého. V těchto případech se může aerodynamické proudění změnit tak, že důsledkem je podstatný nárůst vibračních odezev podvěsů. Byl zaznamenán nárůst celkové úrovně vibrací na 2násobek až 3násobek, ve spojitosti s velmi rozsáhlými nárůsty (+ 200) v určitých frekvencích.



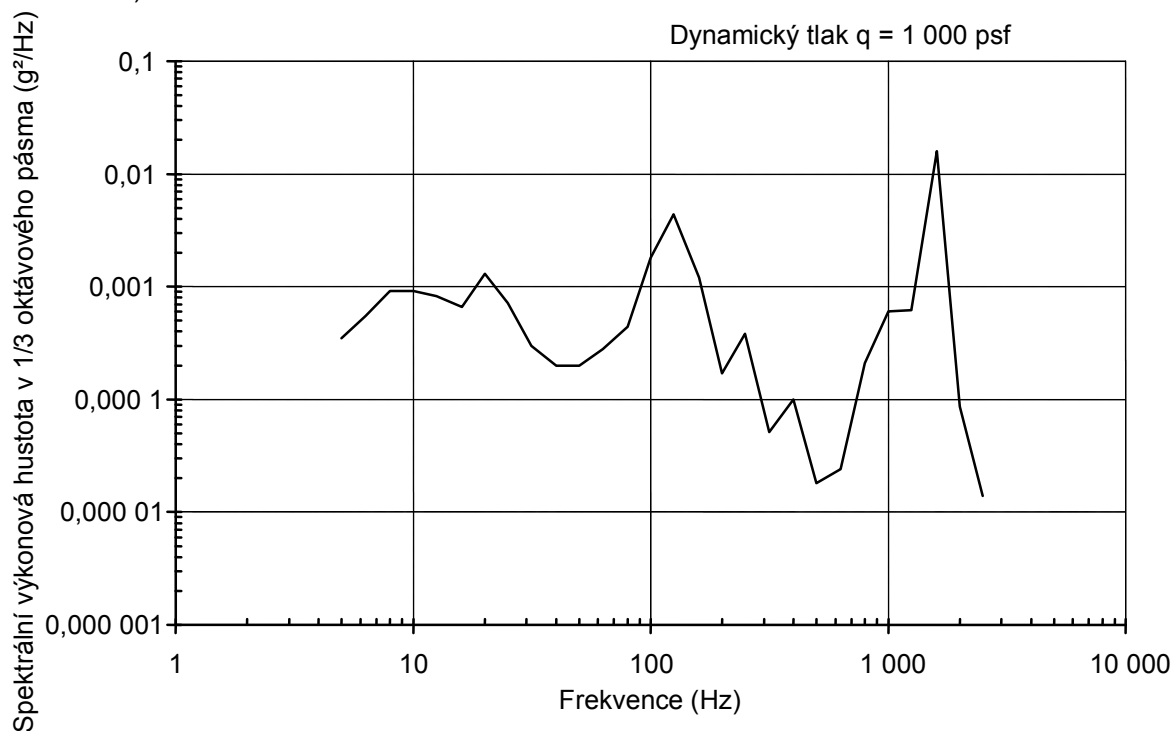
a. Vibrační odezvy z pěti různých letových dynamických tlaků



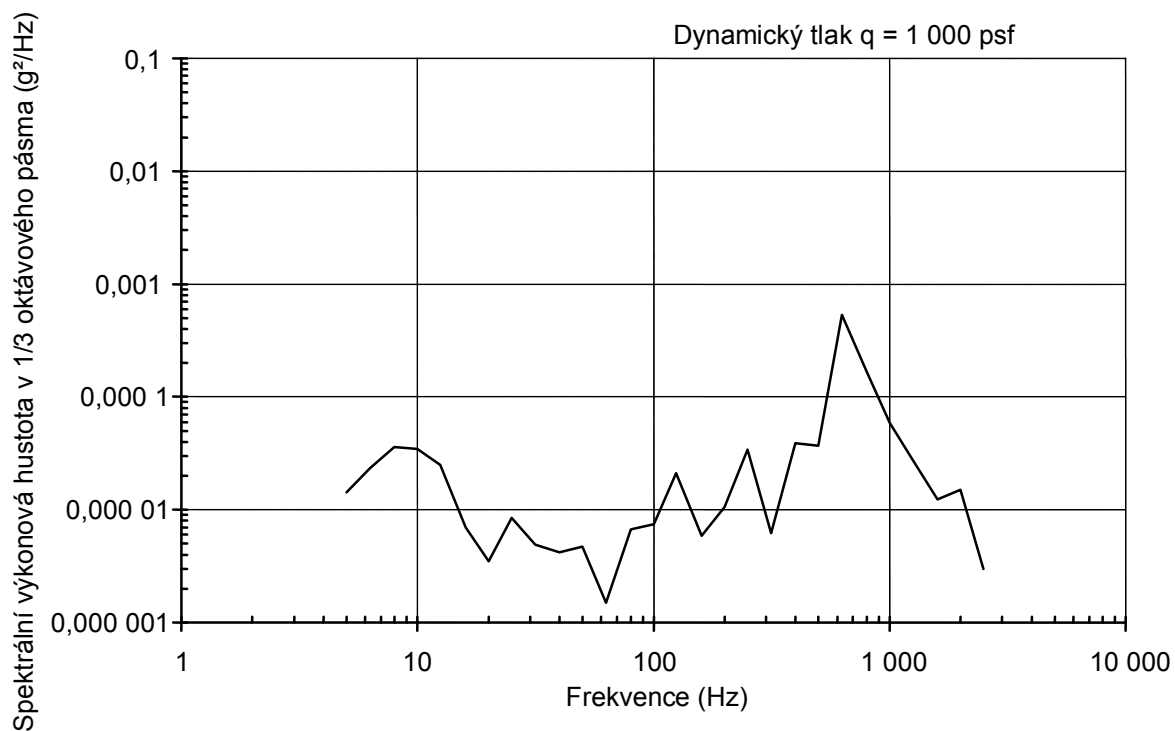
b. Vibrační úroveň (celkové g rms) v závislosti na letovém dynamickém tlaku

**OBRÁZEK A.1 – Vztah mezi vibracemi podvěsu a letovým dynamickým tlakem**

**Příloha A**  
(informativní)

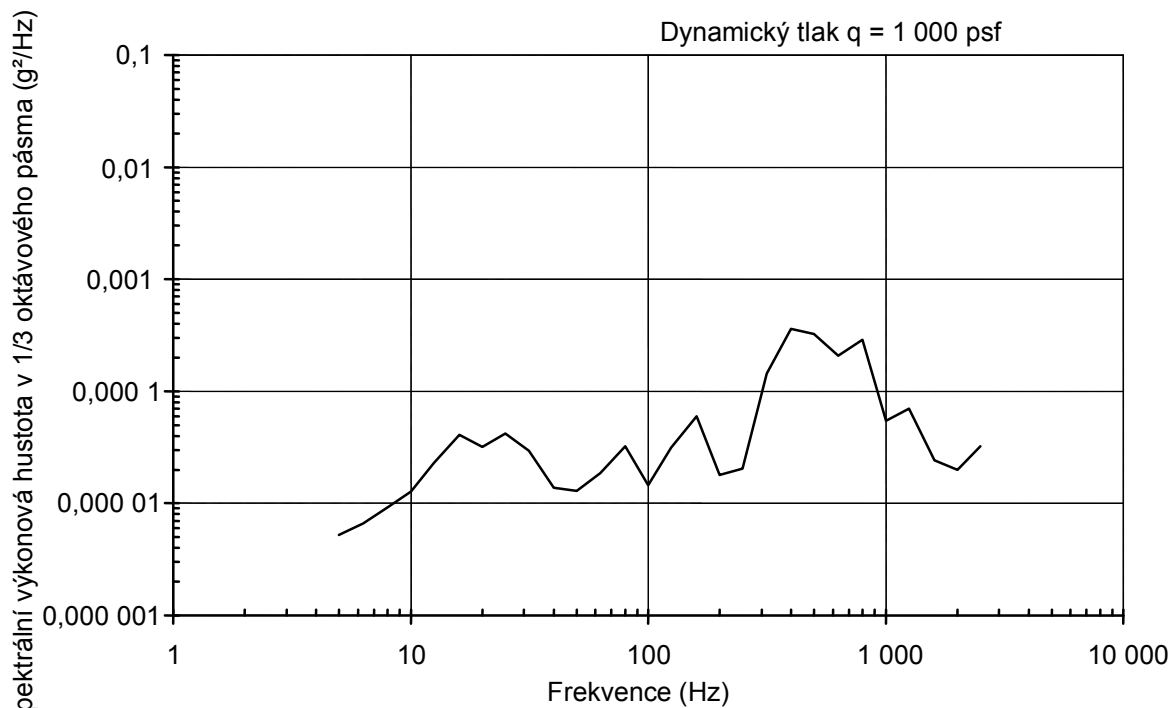


**OBRÁZEK A.2 – Vibrační odezvy ze středně velkého podvěsu se silným pláštěm**

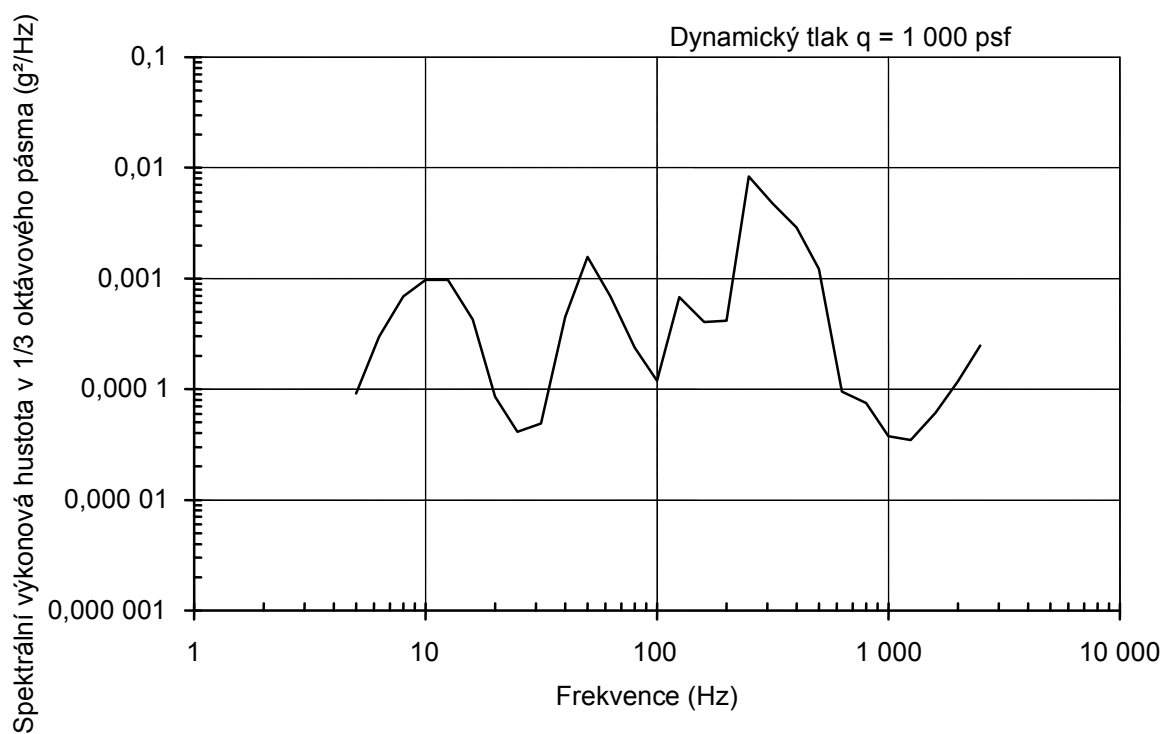


**OBRÁZEK A.3 – Vibrační odezvy ze středně velkého podvěsu se středně silným pláštěm**

**Příloha A**  
(informativní)

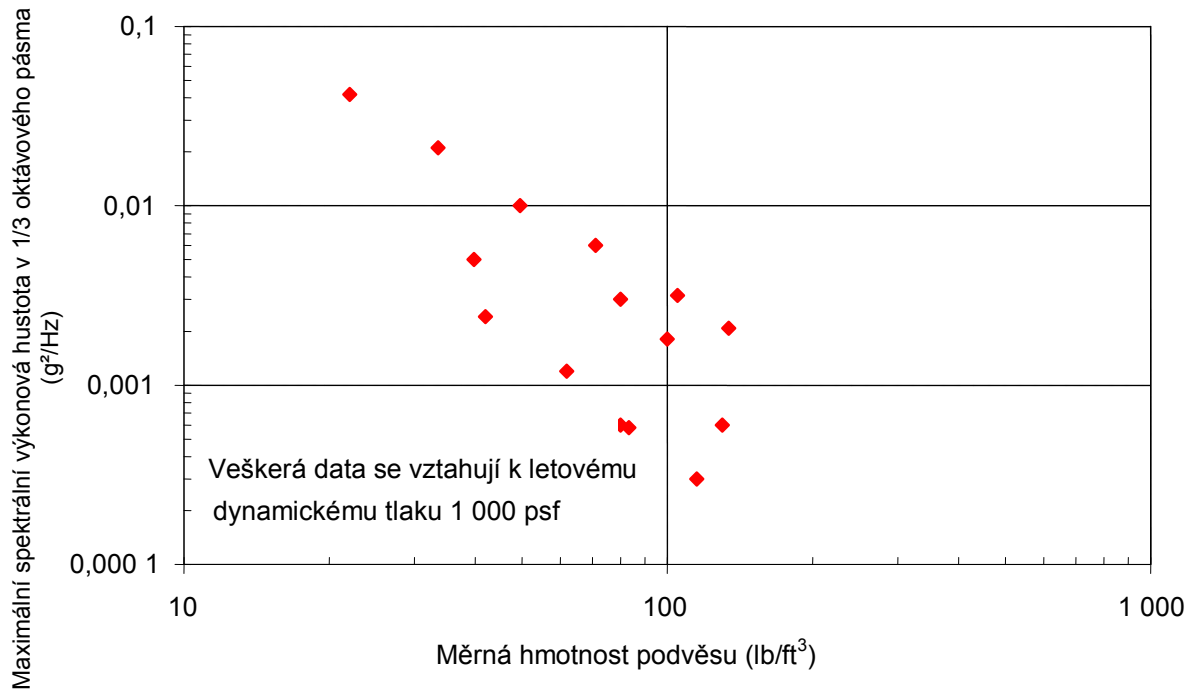


**OBRÁZEK A.4 – Vibrační odezvy ze středního podvěsu se středně silným pláštěm**

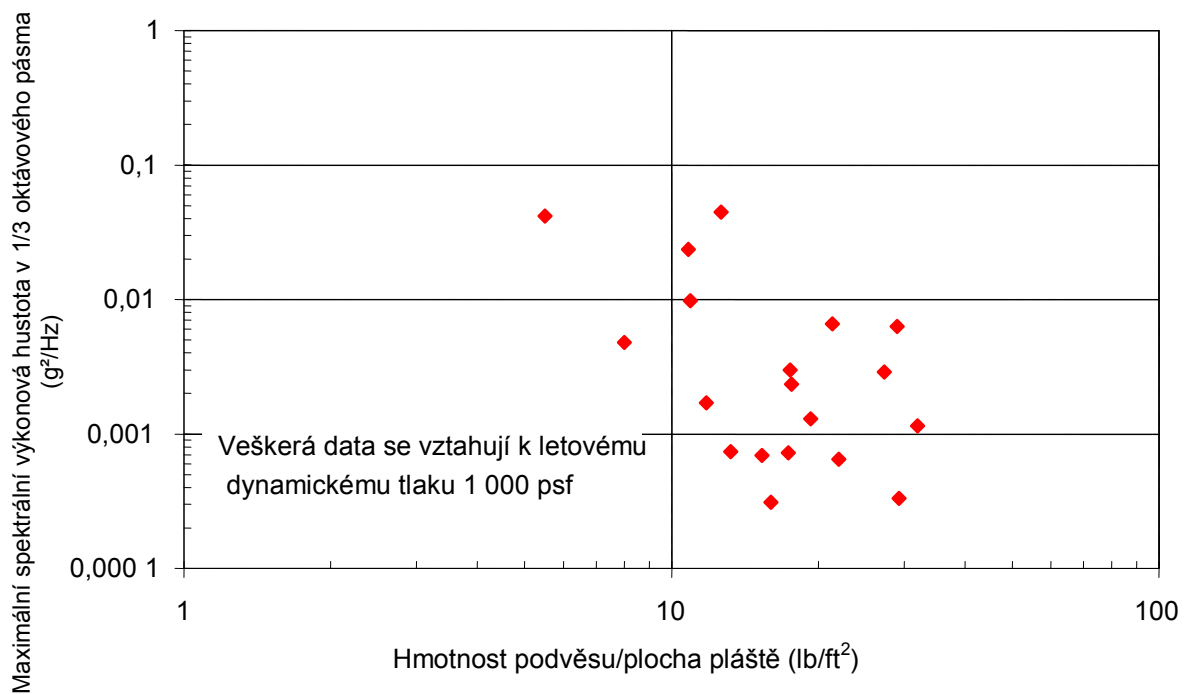


**OBRÁZEK A.5 – Vibrační odezvy z velkého podvěsu s tenkým pláštěm**

**Příloha A**  
 (informativní)

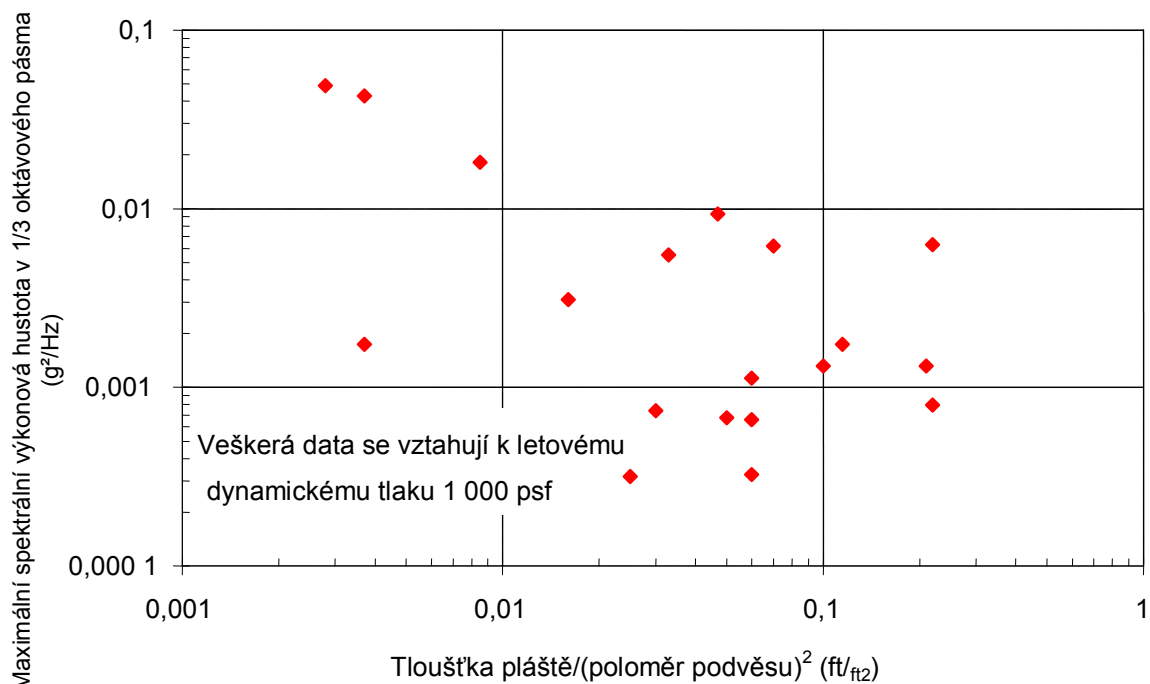


**OBRÁZEK A.6 – Vztah mezi měrnou hmotností podvěsu a maximální spektrální výkonovou hustotou amplitudy odezvy**

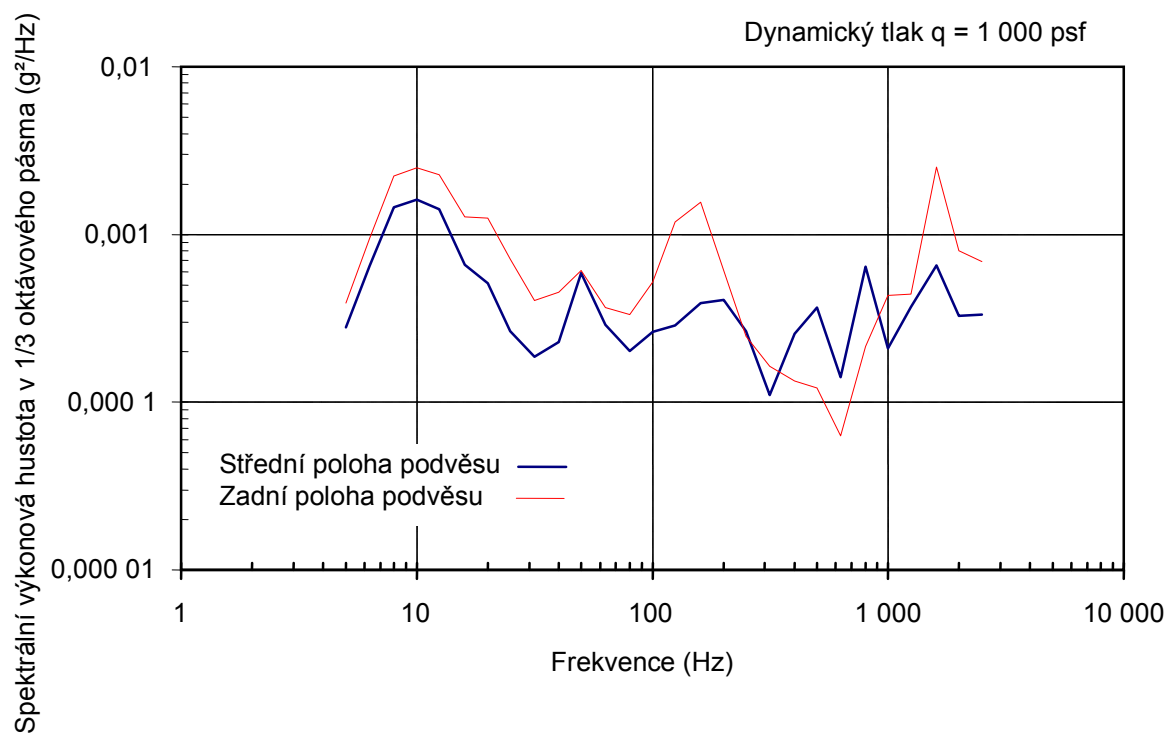


**OBRÁZEK A.7 – Vztah mezi poměrem hmotnost podvěsu/plocha pláště a maximální spektrální výkonovou hustotou amplitudy odezvy**

**Příloha A**  
 (informativní)

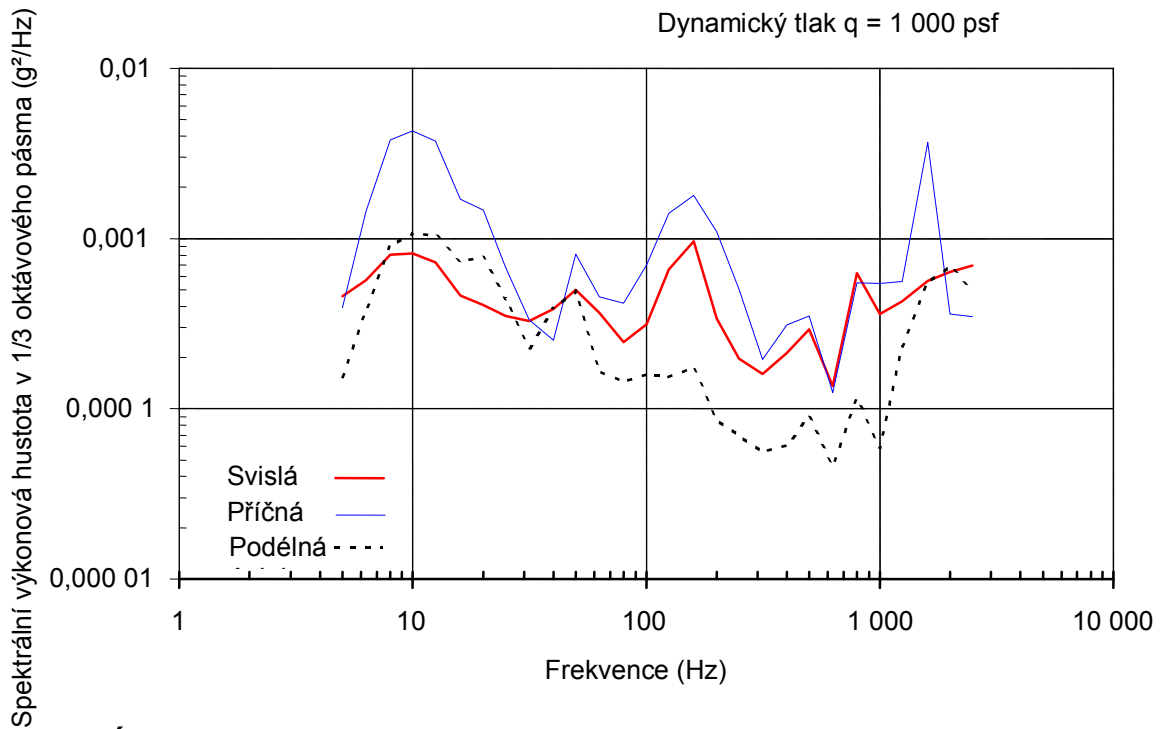


**OBRÁZEK A.8 – Vztah mezi poměrem tloušťka pláště/poloměr podvěsu a maximální spektrální výkonovou hustotou amplitudy odezvy**

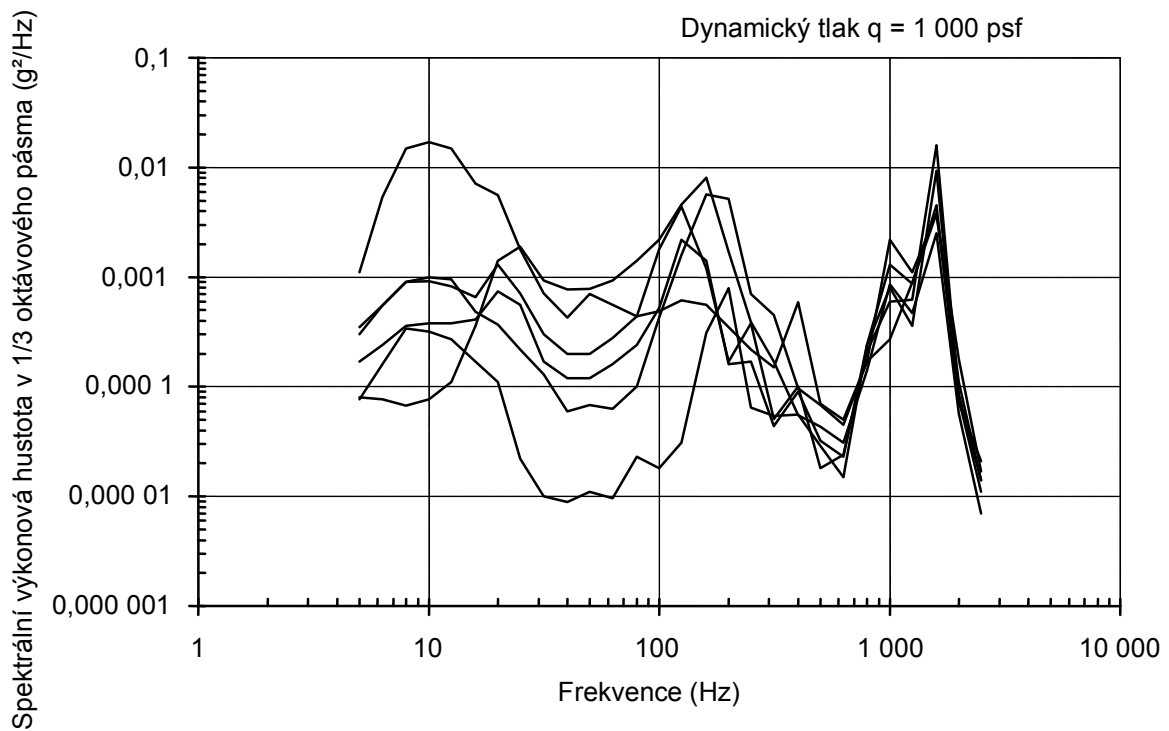


**OBRÁZEK A.9 – Změny ve vibračních odezvách prisuzované umístění podvěsu**

**Příloha A**  
(informativní)



**OBRÁZEK A.10 – Změny ve vibračních odezvách přisuzované ose měření**



**OBRÁZEK A.11 – Změny ve vibračních odezvách přisuzované druhu letounu**



**KAPITOLA 246**  
**ČÁST 246/3**  
**INSTALACE NA I VE VRTULOVÝCH LETOUNECH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	186
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	186
2.1 Pojíždění .....	187
2.2 Start a přistání.....	187
2.3 Letový provoz - motor a vrtule.....	188
2.4 Letový provoz – aerodynamické proudění.....	188
2.5 Letový provoz - působení aerodynamických vírů.....	188
2.6 Dutiny .....	188
2.7 Manévrování a poryvy větru .....	189
2.8 Střelba.....	189
2.9. Odpalování střel.....	189
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY .....	189
3.1 Pojíždění.....	189
3.2 Start a přistání.....	189
3.3 Letový provoz - motor a vrtule.....	189
3.4 Letový provoz - aerodynamické proudění.....	190
3.5 Letový provoz - působení aerodynamických vírů.....	190
3.6 Dutiny .....	190
3.7 Manévrování a poryvy větru .....	190
3.8 Střelba.....	190
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	190
4.1 Všeobecná ustanovení.....	190
4.2 Pojíždění .....	191
4.3 Start a přistání .....	191
4.4 Letový provoz - motor a vrtule.....	191
4.5 Letový provoz – aerodynamické proudění.....	191
4.6 Letový provoz - působení aerodynamických vírů.....	191
4.7 Dutiny .....	191
4.8 Manévrování a poryvy větru .....	191
4.9 Střelba.....	191
4.10 Odpalování střel.....	192
PŘÍLOHA A ZDROJE VIBRACÍ Z VRTULE A MOTORU.....	196
PŘÍLOHA B PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VIBRACE VRTULE A MOTORU .....	199

## ČÁST 246/3

### INSTALACE NA I VE VRTULOVÝCH LETOUNECH

#### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál během přepravy na vrtulovém letounu. V části jsou popsány zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a tam, kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o možných škodlivých účincích. V příloze A jsou uvedeny dodatečné informace o zdrojích vibrace vrtule a motoru a v příloze B o parametrech ovlivňujících vibrace vrtule a motoru. Tam, kde je to vhodné, je poskytnuta informace o výběru odpovídajících zkušebních metod z AECT 400.

Tato část se zabývá jak vnitřním tak vnějším zařízením, jako jsou například podvěsy. V této části nejsou zahrnuty následující aspekty:

- a. Materiál instalovaný na vrtulnicích. Pro informaci o této oblasti viz část 247/1.
- b. Motory a související zařízení, tj. prostředí, jemuž je vystaven motor a související zařízení, a která vznikají z jeho vlastního provozu. Informace o této problematice nebo o těchto prostředích lze získat od výrobce motoru.
- c. Drak letounu a další primární konstrukce. Informace o zatíženích a úrovních náročnosti souvisejících s těmito konstrukcemi lze získat u výrobce letounu.
- d. Abnormální podmínky, jako je například havárie nebo tlaková vlna.

Pokud není určeno jinak, popis prostředí se vztahuje ke styčné ploše mezi zařízením a letounem. Všechny osy odpovídají osám letounu.

#### 2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ

##### 2.1 Pojíždění

2.1.1 Lze předpokládat, že materiál bude vystaven vibracím a přechodným reakcím v důsledku pojíždění letounu. Tyto reakce jsou způsobeny přejezdem kol přes nežádoucí nepravidelnosti na plochách pojížděcích drah. Úroveň těchto vibrací a přechodových jevů bude ovlivněna principiálně rychlostí a velikostí kol letounu. V reakcích převládají nízké frekvence související s poddajností podvozku a hmotností letounu.

2.1.2 Protože povrchy letišť jsou obvykle kvalitní a pojíždění je obvykle řízené, úroveň náročnosti, které jsou důsledkem pojíždění, jsou obvykle nízké a podstatně menší než při vzdušné přepravě. To nemusí platit v případě, kdy jsou používány dočasné nebo opravené pojížděcí dráhy. V takových případech lze očekávat, že se projeví výrazný nárůst v úrovni přechodových jevů. Avšak ani tyto podmínky nejsou horší než podmínky, které se projeví během startu a přistání na opravených nebo dočasných drahách.

2.1.3 Během pojiždění po letišti mohou nabyt na významu hluk a vibrace pocházející od motoru a vrtule. Mechanismy způsobující takové účinky jsou uvedeny v článku 2.3.

## **2.2 Start a přistání**

2.2.1 Podmínky normálního startu a přistání: Během startu a přistání mohou být v instalovaném materiálu vyvolány krátkodobé oscilační přechodové jevy. Tyto přechodové jevy vznikají hlavně v důsledku rychlého přejezdu letounu přes nerovnosti povrchů dráhy. V reakcích opět převládají nízké frekvence související s poddajností podvozku a hmotností letounu. Protože jak start, tak přistání jsou obvykle řízené, amplitudy výsledných přechodových jevů jsou obvykle neškodné. V důsledku toho se dynamické reakce, jimž je materiál vystaven během startu a přistání, zahrnují obvykle do reakcí, které se vyskytují během letové činnosti. Start a přistání obvykle zahrnuje vysoké úrovně výkonu motoru, které naopak mohou vyvolat podmínky vzniku vibrací a akustického hluku. Tyto související aspekty jsou uvedeny v článku 2.3.

2.2.2 Dočasné nebo opravené dráhy: Trvalé vibrace a přechodové rázy jsou závažnější v případě, že jsou používány dočasné nebo opravené dráhy. Maximální povolená úroveň zatížení vyplývající z použití takových povrchů bude záviset na schopnostech zvažovaného letounu a obzvláště na tuhosti podvozku letounu. Pokud je to nezbytné, informace o těchto úrovních lze získat od výrobce letounu. Jakékoliv zkušební postupy, používané pro simulaci těchto podmínek, budou však pravděpodobně podobné těm, které jsou doporučeny pro normální startovací a přistávací podmínky.

2.2.3 Start s použitím katapultu a přistání se zachycením: Během startu a přistání letounu budou v materiálu indukovány oscilační přechodové jevy. Obvykle bude start s použitím katapultu vykazovat dva přechodové jevy odpovídající počáteční aplikaci zatížení a oddělení katapultu od letounu. Oba přechodové jevy mají výraznou oscilační povahu, přibližně sinusovou, při relativně nízkých frekvencích daných hmotností letounu a charakteristikou záchytného přistávacího zařízení. Podmínky přistání se zachycením vytváří pouze jeden přechodový jev, ale s podobnými charakteristikami jako v případě startu s použitím katapultu. Amplitudy pulzů, souvisejících se startem s použitím katapultu a přistáním se zachycením působící na instalované zařízení, jsou relativně nízké a doby působení jsou relativně dlouhé. V důsledku toho jsou tyto přechodové jevy považovány obvykle za kvazistatické podmínky.

## **2.3 Letový provoz - motor a vrtule**

2.3.1 Činnost vrtulí a motorů jsou u těchto druhů letounů obvykle hlavním zdrojem vibrací. Vibrace naměřené v trupu letounu budou však součtem vibrací z mnoha zdrojů a mechanismů. Některé vytváří vibrace přímo, zatímco jiné vytváří hluk, který produkuje vibrace při dopadu na konstrukci letounu.

2.3.2 Vzhledem k různým charakterům a interakcím mohou vibrační spektra vykazovat znaky, které lze těžko vysvětlit, například zrušení nebo zvýšení určitých harmonických složek vyvolaných chodem listu vrtule. Příklady vibračních spekter získaných během letových podmínek jsou uvedeny na obrázcích 1 až 4 pro čtyři různé letouny. Relativní úroveň vibrací na frekvencích chodu listů vrtule pro tyto letouny je znázorněna na obrázku 5.

2.3.3 Další informace o zdrojích vibrací vznikajících v důsledku činnosti vrtule a motoru jsou uvedeny v příloze A.

2.3.4 Úroveň a charakter vibračního prostředí, jemuž je vystaven materiál instalovaný na určitém místě vrtulového letounu, může záviset na řadě parametrů, jako je například druh letounu, letové podmínky, atd. Účinky těchto parametrů rozebírá příloha B.

2.3.5 Obrázky 1 až 4 ukazují, že vibrační prostředí související s vrtulovým letounem se skládá z širokopásmového náhodného vibračního spektra, na něž je superponováno relativně silné buzení umístěné na frekvencích souvisejících s harmonickými složkami chodu listu vrtule. Vibrace mohou být tedy evidentní obvykle na relativně nízkých úrovních při frekvencích souvisejících s harmonickými složkami rotace hřídele vrtule. Úroveň náhodných vibrací pozadí je obvykle nízká. Periodické vibrace na frekvencích chodu listů vrtulí mohou činit až 90 % celkového g rms ve frekvenčním pásmu 2 až 2 000 Hz.

## 2.4 Letový provoz – aerodynamické proudění

Další závažný zdroj vibrací zařízení vrtulového letounu souvisí s turbulencí proudu vzduchu obklopujícího letoun. Tento proud vzduchu kolem konstrukce letounu může k němu být spojitý a nespojitý. Tyto dvě podmínky vytváří podstatně odlišné vibrační buzení. Závažnější vibrační podmínky souvisí s nespojitým prouděním, které existuje občas u všech letounů. Vibrace vznikající působením aerodynamického proudění jsou uvedeny v části 246/1.

## 2.5 Letový provoz - působení aerodynamických vírů

Za určitých podmínek úhlu působení, směru a rychlosti vzduchu je možné, aby aerodynamické víry vznikající vlivem některé části letounu dopadaly na spodní část konstrukce. Charakteristiky těchto aerodynamických vírů jsou takové, že na spodní části konstrukce letounu mohou vzniknout strukturální vibrace. Obecně mohou v těchto vibracích převládat vibrace nižších strukturálních částí určité oblasti draku letounu (křídla, ocasní plochy atd.) Tyto vibrační podmínky jsou přechodné a jen zřídka se objeví na dobu delší než několik sekund. Během životnosti letounu však celkový počet těchto projevů může být závažný. Výsledné charakteristiky vibrací, jejich úroveň a oblasti letounu, které budou výrazně ovlivněny, budou silně závislé na druhu letounu.

## 2.6 Dutiny

Dutiny vystavené toku obklopujícímu letoun mohou být důležitým zdrojem jak hluku, tak vibrací. Frekvenční spektrum takových poruch bude široké, obvykle se bude vyznačovat ostrými špičkovými hodnotami a bude se rozprostírat v celém frekvenčním rozsahu. Hlavní špičkové hodnoty vznikají v důsledku vybuzení akustického prostoru, který je přímou funkcí rozměrů dutiny. Obvyklým příkladem takové dutiny je zbraňový prostor nebo pumovnice. Frekvence hlavních projevů se dají vypočítat s přijatelnou pravděpodobností ze standardního vzorce. Většina méně dominantních projevů je obvykle harmonickými složkami hlavních projevů a může dosahovat značně vysokých úrovní. Amplitudy tlakových fluktuací se určují obtížněji, protože jsou ovlivňovány geometrickými faktory, jako je například ostrost hran dutiny, směr proudění přes dutinu a objem dutiny. Objem dutiny může mít vliv na vytváření

méně rozeznatelných hlavních formálních špičkových hodnot a přitom zvyšovat úroveň širokopásmového šumu pozadí, který je vždycky přítomen.

## **2.7 Manévrování a poryvy větru**

Materiál bude vystaven nízkofrekvenčnímu zatížení vyvolanému zrychlením v důsledku letových manévru a poryvů větru. Tyto jevy jsou obvykle považovány pro konstrukční a zkušební účely za kvazistatické zatížení. V určitých bodech letounu vznikne zatížení hlavně v důsledku vektorového součtu šesti stupňů volnosti tuhého tělesa letounu, tj. vertikálního, bočního, podélného, kolébatvého, kymácivého a otočného. Tato zatížení mohou být zesilována dynamickými pohyby z nižších režimů letounu.

Úroveň letového zrychlení bude záviset hlavně na druhu uvažovaného letounu. Obecně je letové zrychlení dáno konstrukčními požadavky na konkrétní druh letounu, a tudíž je dobře definováno již v počátečních fázích konstrukce. Tato zrychlení jsou obvykle omezena mezními letovými postupy nebo počítači řídicího systému. Mnohé letouny obsahují zařízení, která tato zatížení monitorují pro účely sledování únavových jevů.

## **2.8 Střelba**

Při provozu zbraní instalovaných uvnitř letounu nebo na vnějších závěsech mohou vznikat podstatné vibrace a rázy v konstrukci letounu, zařízeních a podvěsech. Zatímco celkové trvání těchto buzení je relativně krátké, amplitudy mohou dosahovat řádově větších hodnot než u vibrací vznikajících během normálního letu. Navíc charakteristiky reakcí pro určitá zařízení a konstrukce mohou být výrazně odlišné od vibrací projevujících se během normálních letových podmínek a mohou vyvolávat různé způsoby selhání zařízení. Podrobnosti o mechanismech způsobujících dynamické mechanické reakce v důsledku střelby jsou uvedeny v části 246/1.

## **2.9 Odpalování střel**

Odpálení nebo vystřelení střel může za určitých podmínek vyvolat vysoké úrovně rázu, vibrací a tlakové vlny v konstrukci letounu, sousedních zbraních nebo podvěsech.

# **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

## **3.1 Pojíždění**

Pohyby vznikající v důsledku pojíždění letounu na letišti mají za následek spojitě reakce s nízkou amplitudou a vysokou frekvencí výskytu, které mohou způsobit poškození v důsledku únavových mechanismů.

## **3.2 Start a přistání**

Pohyby vznikající při normálním startu a přistání jsou ve značné míře určovány charakteristikami podvozkového systému. Potenciální škodlivé účinky budou pravděpodobně souviset s velkými posuny při nízkých frekvencích.

## **3.3 Letový provoz - motor a vrtule**

Frekvence periodické složky vibrační reakce pohybu listu vrtule se obvykle projevuje v rozsahu 50-100 Hz. Tento rozsah se bude shodovat s prvním vibračním režimem mnoha zařízení, zejména těch, která jsou upevněna na pružných závěsech.

Periodická buzení mohou vyústit ve výrazné posuny, které naopak mohou mít za následek poškození obzvláště u málo tlumených zařízení.

Potenciální škodlivé účinky širokopásmové náhodné složky vibračních reakcí jsou typické pro tuto třídu buzení, tj. otěr, tření, vysokocyklická únava, atd.

### **3.4 Letový provoz – aerodynamické proudění**

Protože vibrace vznikající v důsledku aerodynamických turbulencí jsou širokopásmové a náhodné, potenciální škodlivé účinky jsou typické pro tuto oblast buzení, tj. otěr, tření, vysokocyklická únava, atd. Nespojitě proudění může mít za následek podstatné zvýšení účinnosti, s níž jsou určité režimy buzeny. V důsledku toho může být amplituda reakcí určitých režimů zvýšena o několik řádů, což může vést k rychlé strukturální poruše v důsledku únavy.

### **3.5 Letový provoz - působení aerodynamických vírů**

Vibrace vznikající v konstrukci pod náběžnou hranou v důsledku působení aerodynamických vírů jsou převážně periodické povahy. Jejich úroveň může být vysoká, ale relativně lokalizovaná. Vibrace mohou rychle vyústit v akustickou únavu panelů a v některých případech i sousedícího zařízení. Vibrace vznikající ve směru proudu aerodynamických vírů jsou podstatně významnější a mohou způsobovat vysokoamplitudové vibrace v nižších frekvenčních režimech konstrukce. V některých případech může být akumulovaná únavová porucha stejná nebo větší než akumulovaná porucha způsobená normálními letovými manévry.

### **3.6 Dutiny**

Akustické vlny mohou způsobit poruchu panelů uvnitř prohlubně velmi rychle. Navíc mohou být v materiálu uvnitř prohlubně vyvolány vysoké úrovně vibrací.

### **3.7 Manévrování a poryvy větru**

Nejzávažnější potenciální škodlivý účinek vzniká ze zatížení vytvářejících vnitřní pnutí materiálu a často i jeho upevnění, které dostačuje k tomu, aby způsobilo poruchu v důsledku strukturální únavy. V některých případech může zatížení vyvolat deformace, které jsou dostatečně velké k tomu, aby zabránily správnému provozu mechanismů.

### **3.8 Střelba**

V blízké oblasti je tlaková vlna dostatečně velká na to, aby způsobila strukturální poruchu panelů a jejich upevňovacích elementů. Materiál v blízkosti ústí zbraně, ale chráněný před přímou tlakovou vlnou, může selhat v důsledku velikosti opakovaných, ale diskrétních rázových pulzů, jimž je vystaven. Nejpravděpodobnější způsoby selhání zařízení ve střední oblasti jsou ty, které souvisí s vysoce intenzivní nízkofrekvenční vibrací.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Všeobecná ustanovení**

Následující odstavce uvádí doporučený postup zpracování pro mechanická prostředí uvedená v kapitole 2 a tam, kde je to vhodné, naznačuje odpovídající zkušební metody z AECTP-400.

## **4.2 Pojždění**

Protože úrovně související s tímto prostředím jsou relativně nízké, jsou často uvažovány spolu s ostatními závažnějšími podmínkami, jako jsou například letové vibrace. V případech, kdy je zkoušení požadováno, má být použit odpovídající širokopásmový náhodný vibrační test, který je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

## **4.3 Start a přistání**

Protože úrovně v tomto případě jsou opět relativně nízké, provádí se zkoušení na toto prostředí pouze ve zvláštních případech. Je-li zkoušení považováno za vhodné, obvykle se používá zkouška s tlumenou sinusovou vlnou, uvedená v AECTP-400, Metoda 403 – Ráz (ČOS 999902).

## **4.4 Letový provoz - motor a vrtule**

Pro tyto podmínky se má zvolit zkouška používající sinusovou vlnu na náhodném širokém pásmu nebo náhodné úzké pásmo na náhodném širokém pásmu uvedená v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

## **4.5 Letový provoz – aerodynamické proudění**

Aerodynamická turbulence: Pro toto prostředí se doporučuje použít zkouška širokopásmových náhodných vibrací uvedená v AECTP-400, Metoda 401- Vibrace (ČOS 999902).

## **4.6 Letový provoz - působení aerodynamických vírů**

Ačkoliv se působení aerodynamického víru projevuje pouze nepříliš často a po krátkou dobu v průběhu životnosti draku letounu, postupně načítaná doba trvání úzkopásmových náhodných nebo převážně sinusových vibračních reakcí může být dostatečná k tomu, aby ospravedlňovala provedení zkoušky. Odpovídající zkušební postupy jsou uvedeny v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902). Vybraný zkušební postup má být kompatibilní s charakteristikami.

## **4.7 Dutiny**

Je-li materiál instalován uvnitř nebo v blízkosti dutiny, která je otevřená vůči proudění vzduchu, doporučuje se provést zkoušku na akustickou rezonanci dutiny. Odpovídající zkušební postup je uveden v AECTP-400, Metoda 402 - Akustický šum (ČOS 999902).

## **4.8 Manévrování a poryvy větru**

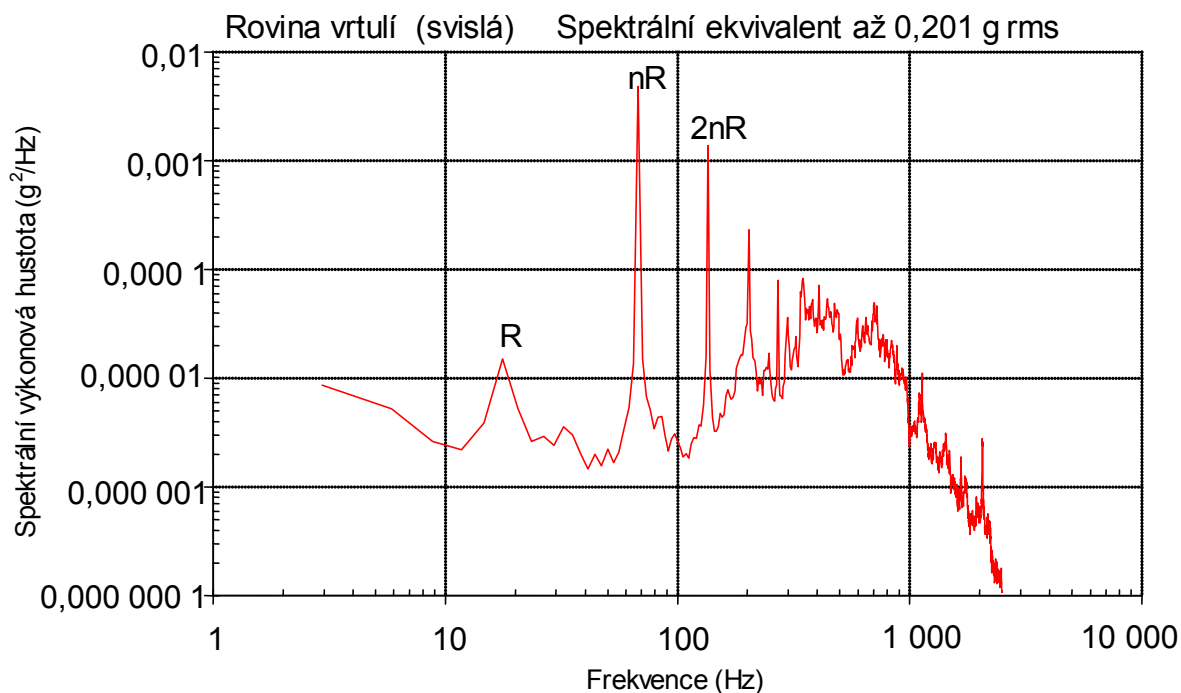
Zkoušení se provádí v případě, kdy vhodnost materiálu nelze určit výpočtem nebo zkoušením na statickou pevnost. Požaduje-li se zkoušení v prostředí, provádí se obvykle v souladu s AECTP-400, Metoda 404 - Konstantní zrychlení (ČOS 999902).

## **4.9 Střelba**

Protože pro každou definovanou prostorovou oblast vznikají v důsledku střelby podstatně odlišné reakce, používají se pro každou tuto oblast rozdílná opatření. Vhodná opatření jsou uvedena v části 246/1, článek 5.6.

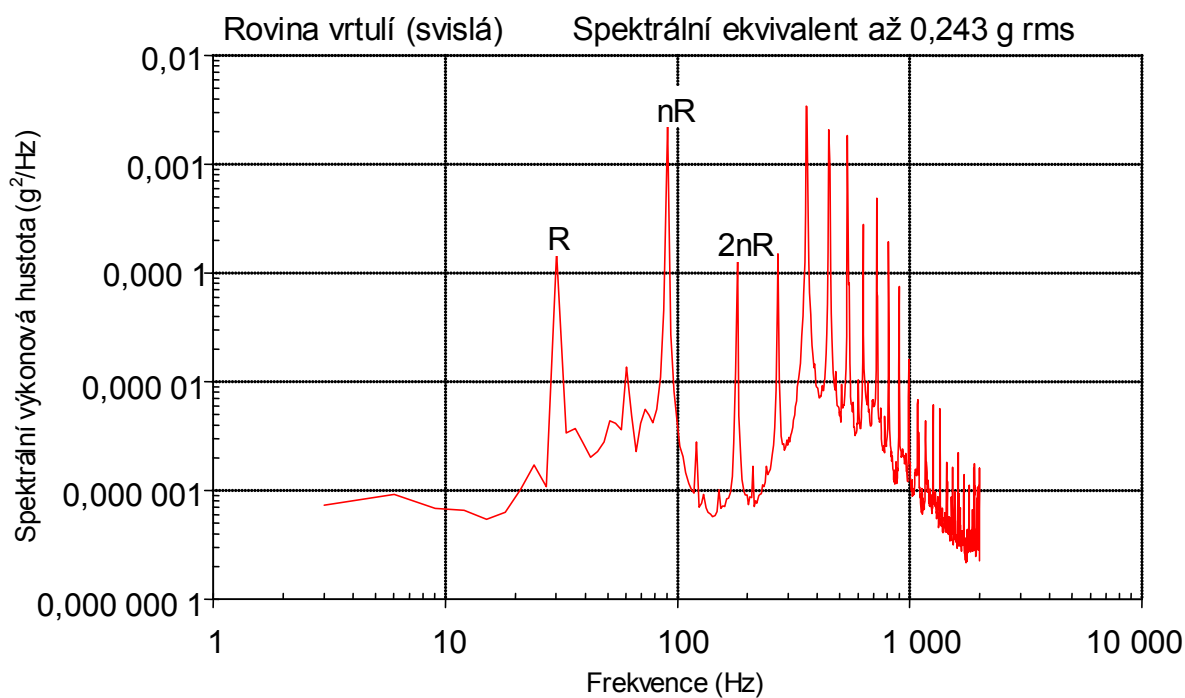
#### 4.10 Odpalování střel

Indukovaná zatížení mohou být ve většině případů ošetřena pomocí kvazistatických analytických metod. V některých případech však mohou tato zatížení vyvolávat výrazné dynamické reakce na konstrukci draku letounu nebo podvěsy. V důsledku toho se pro simulaci těchto účinků mohou požadovat dodatečné rázové zkoušky nebo zkoušky působení tlakové vlny. V případech, kdy je takové zkoušení požadováno, se doporučuje použít metodu 403 - Ráz z AECTP-400 (ČOS 999902).

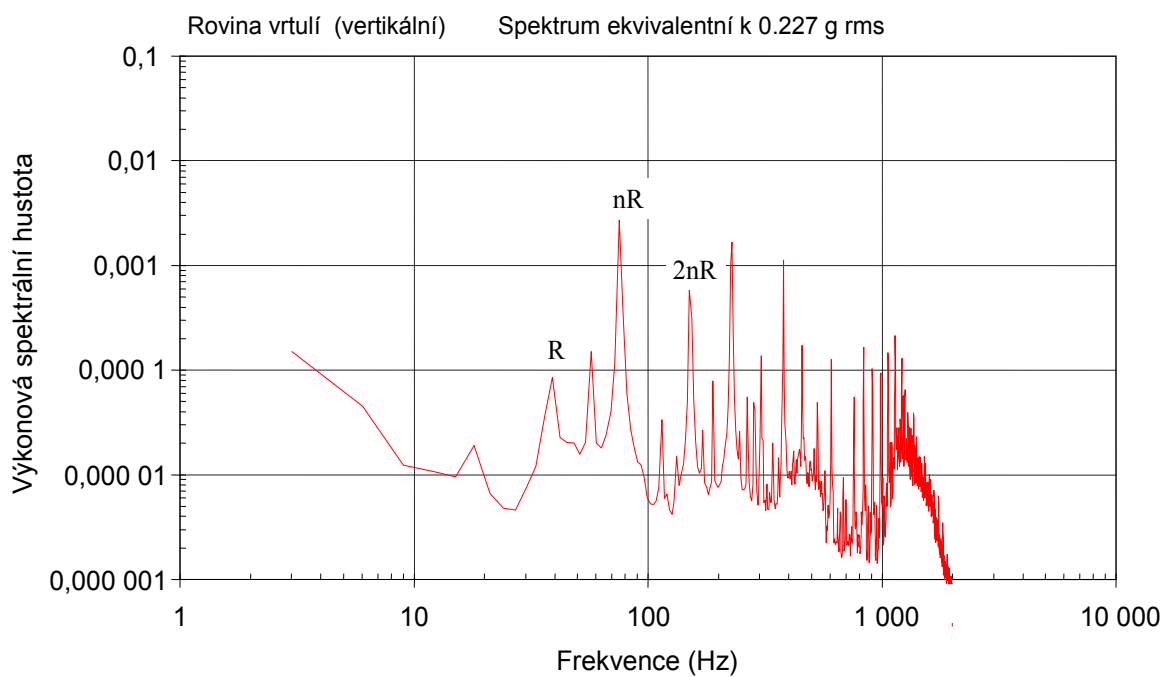


**OBRÁZEK 1 - Vibrační spektrum letounu C 130 Herkules Mk1 během letu**

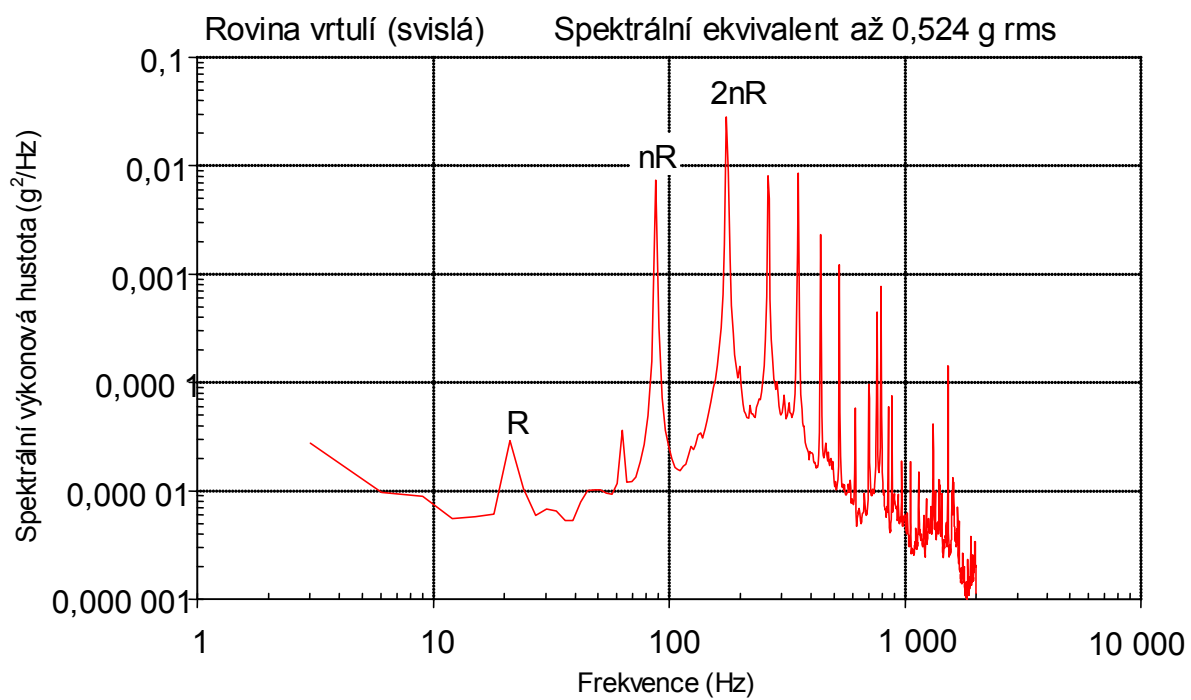




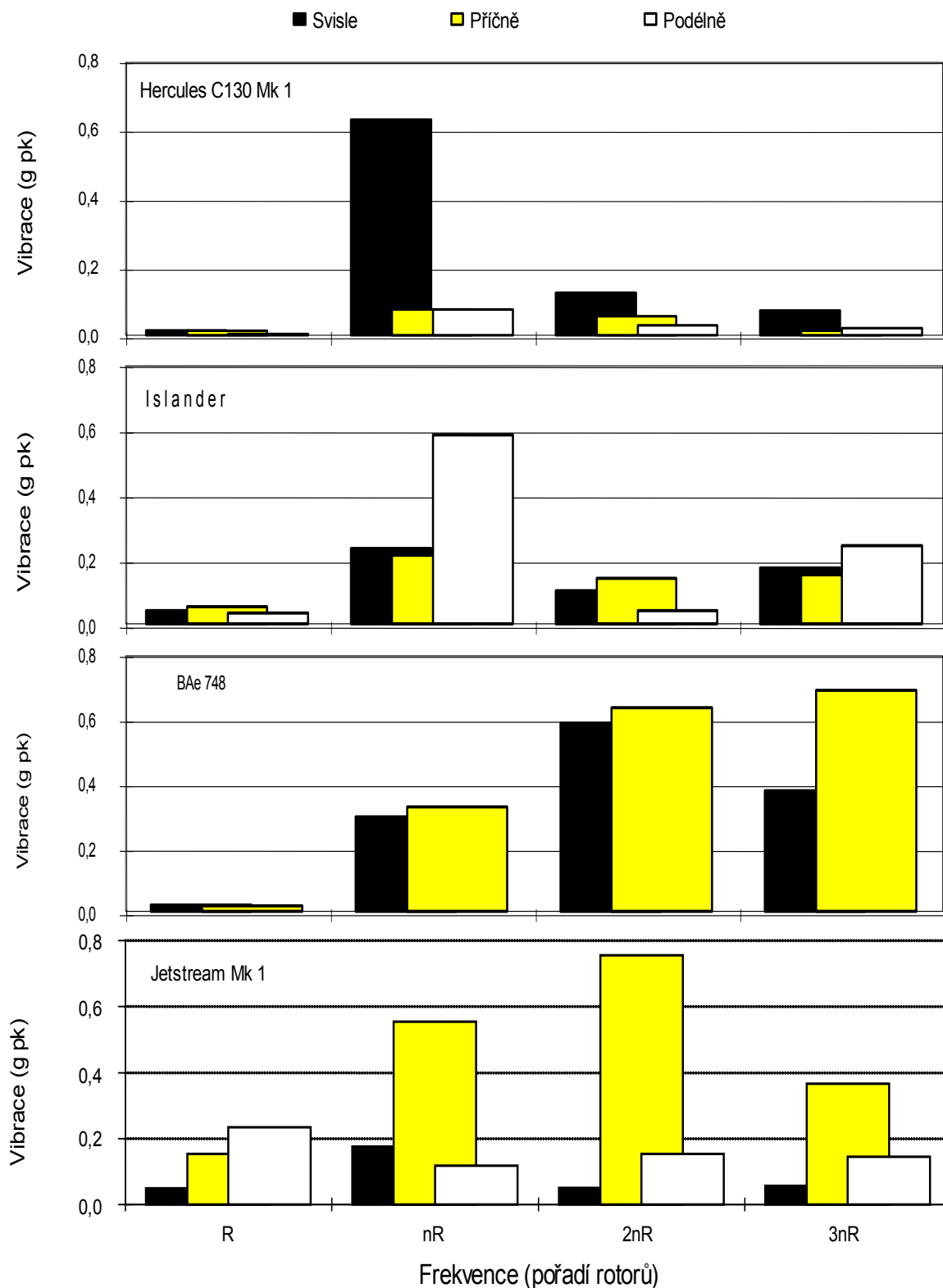
**OBRÁZEK 2 - Vibrační spektrum letounu Jetstream Mk1 během letu**



**OBRÁZEK 3 - Vibrační spektrum letounu Islander během letu**



**OBRÁZEK 4 - Vibrační spektrum letounu BAe 748 během letu**



**OBRÁZEK 5 - Vibrace podle pořadí rotorů pro čtyři vrtulové letouny za letu**

## **PŘÍLOHA A**

### **ZDROJE VIBRACÍ Z VRTULE A MOTORU**

#### **A.1 VŠEOBECNÁ NEVYVÁŽENOST**

Vibrace jsou způsobeny mechanickou nevyvážeností vrtule a budou patrné ve frekvenci rotace hřídele a následných harmonických. Nevyváženost může narůstat v důsledku přirozeného působení mechanického narušení během nějakého časového intervalu. Pravidelná údržba letounu by měla minimalizovat tyto vibrace, ale určitá zbytková nevyváženost je pravděpodobná, protože může být obtížné dynamicky vyvážit vrtuli s měnitelným sklonem.

#### **A.2 MÓDY VRTULOVÝCH LISTŮ**

Módy vrtulových listů mohou být vybudeny silovými funkcemi jako např. pohybem vzduchu přes plochu okruhu vrtule nebo interakcemi list - křídlo (viz dále), a to může způsobit vibrace, které se budou přenášet přes ložiska náboje vrtule do konstrukce letounu. Je nepravděpodobné, že by to mohlo být důležitým zdrojem vibrací, protože konstruktéři se pokouší minimalizovat vibrace listů vrtule tak, aby prodloužili její životnost.

#### **A.3 INTERFERENCE PROUDĚNÍ VZDUCHU**

Vibrace se mohou navodit v listech vrtule a přenášet se přes ložiska náboje vrtule do konstrukce letounu od vzduchu proudícího zpět z vrtule, čelící zdánlivému odporu způsobenému přítomností křídla a jejich sousedních tlakových polí. Tato vibrace se vyskytuje v charakteristické frekvenci závislé na počtu interferencí podle otáčení listu a náhodné frekvence listu vrtule. Některé harmonické se mohou ztratit v měřených spektrech, protože výsledná síla působící na vrtule je vektorovým součtem sil působících na celou vrtuli, tj. některé harmonické se mohou připojit a jiné odečítat. Význam tohoto zdroje, který je použitelný pouze, když je vrtule před křídlem, je závislý na poměru velikostí vrtule a křídla. Nejhorší druh vrtule, pokud jde o účinky interakce vrtule - křídlo, je dvoulistová vrtule.

#### **A.4 TLAKOVÁ POLE VRTULE**

Buzení vznikající z rotace vrtule může být s výhodou uvažováno ve dvou různých režimech, a to s listy vytvářejícími přítlačnou sílu a s nulovou přítlačnou silou. Ve druhém případě je vytvářen hluk proudění, který je obvykle zmiňován jako hluk závislý na tloušťce listu vrtule. Ve stavu uvedeném jako první je hluk závislý na tloušťce listu vrtule ještě vytvářen, ale může se šířit jinou formou hluku zmiňovanou jako rotační nebo silový hluk.

- a. Hluk závislý na tloušťce listu vrtule. V případě nulové přítlačné síly je hluk generován jako důsledek omezené tloušťky vrtulových listů. Tento hluk je vytvářen pohybem vzduchu z ustupujícího listu a potom se vracejícím po průchodu listu. Výsledná pulzace vzduchu působí jako klasický zdroj hluku. Když vezmeme v úvahu tento mechanismus, zdá se, že plocha okruhu vrtule se skládá ze soustavy pulzujících zdrojů s příslušnými

**Příloha A**  
(informativní)

fázovými vztahy. V trupu letounu je toto vnímáno jako řada širokopásmových pulzů přicházejících v náhodné frekvenci listu.

- b. Rotační nebo silový hluk. Pokud list vytváří přítlačnou sílu, přídavný hluk se může generovat jako výsledek narušeného proudění vzduchu, především víry vznikajícími z předchozího listu. Obyčejně hluk závislý na tloušťce listu vrtule převládá bez ohledu na to, jestli rotační nebo silový hluk je nebo není přítomný. Ale za jistých podmínek to nemusí být nezbytně tento případ. Rotační hluk vybudovaný listem vytvářejícím přítlačnou sílu se nemůže kalkulovat tak přesně jako hluk závislý na tloušťce listu vrtule. Je to částečně důsledkem komplikované povahy rychlostního pole proudění vzduchu kolem plochy okruhu vrtule. Mnoho přístupů, které se použily při zvažování tohoto mechanismu, muselo předpokládat nějaké přibližné rozdělení tlaku přes list a převedení těchto celkových tlaků na ekvivalentní fixní sílu působící kolem plochy okruhu vrtule. Pro hluk závislý na tloušťce listu vrtule je zdroj hluku identifikován jako akustické dipóly a celková akustická síla je odvozena z integrování přes plochu okruhu vrtule.

## A.5 VÍRY

Víry odpadávající z hrotů rotujících listů vrtule. Tento mechanismus vytváří širokopásmové spektrum hluku, které má pravděpodobně špičku ve frekvenci ( $f$ ) spojené se Strouhalovým číslem, tj.:

$$f = K V / d$$

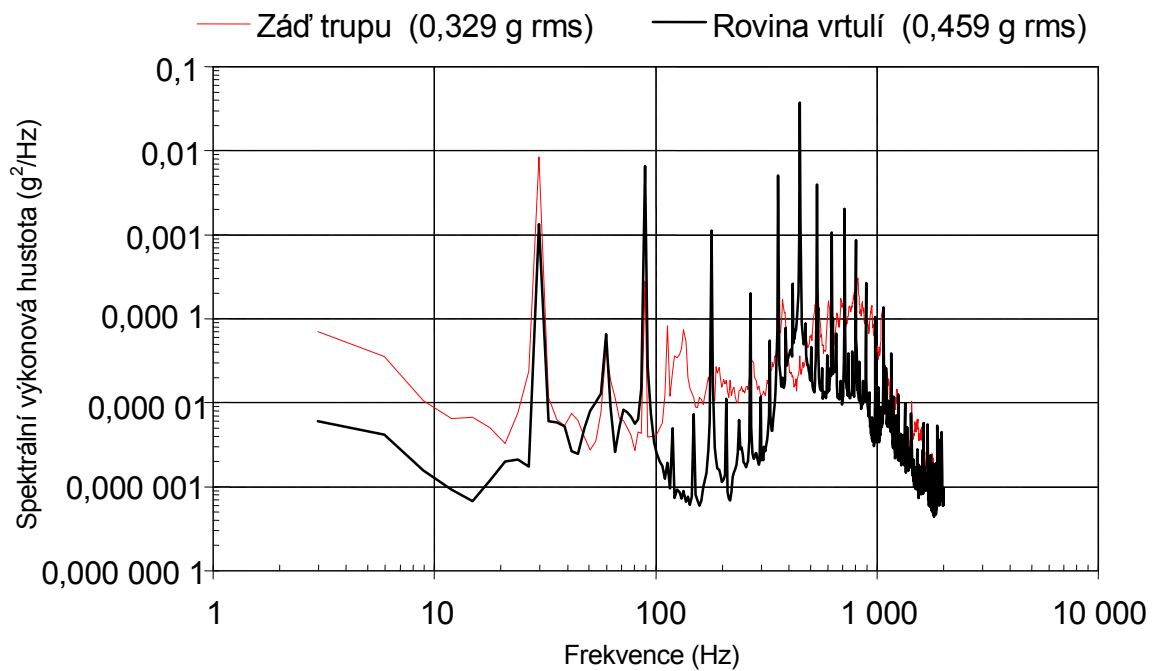
kde  $V$  = rotační rychlost hrotu vrtulového listu  
 $d$  = rozměr znázorňující zúžení listu  
 $K$  = konstanta

Vibrační účinky vznikající z vírů by se kvůli směrové charakteristice vírového hluku neměly pokládat za podstatné pro letoun, který má tlačnou vrtuli.

## A.6 ÚČINKY SMĚROVOSTI

Každý ze zdrojů vibrací, podrobně uvedených výše, je charakterizován konkrétním směrovým formátem. Rotační hluk vrtule je maximální v rovině vrtulí. Mechanické a aerodynamické nevyváženosti také konvergují k tomu být nejdůležitější poblíž roviny vrtulí. Účinky vírů odpadávajících z hrotů vrtulí budou nejvíc patrné směrem k zádi letounu. Hluk závislý na tloušťce listu vrtule má také snahu se šířit z vrtulí nejvýrazněji směrem k zádi letounu. Obrázek A1, který ukazuje vibrační spektrum konstrukce letounu Jetstream Mk 1 ze dvou míst – z roviny vrtulí a ze zádi trupu, zobrazuje účinky směrovosti a charakter různých zdrojů uváděných výše. Na tomto obrázku je vidět, že periodické vibrace, zejména v náhodné frekvenci listu vrtule a jejích harmonických, jsou nejsilnější v rovině vrtulí a že širokopásmové vibrace v rozsahu 500 až 1 200 Hz jsou nejsilnější na zádi letounu.

**Příloha A**  
(informativní)



**OBRÁZEK A1 - Porovnání spekter z míst vpředu a vzadu u Jetstream Mk1**

## **PŘÍLOHA B**

### **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VIBRACE VRTULE A MOTORU**

#### **B.1 DRUH LETOUNU**

Dá se předpokládat, že různé letouny mají různé provozní otáčky motoru a různý počet listů vrtule, což vede k rozdílným náhodným frekvencím listu, jak je zobrazeno na obrázcích 1 až 4. Následkem toho není možné předpokládat, že vibrační data vztahující se k jednomu konkrétnímu vrtulovému letounu jsou použitelná na jiný letoun. To je poněkud odlišné od proudových letounů, kde hlavním parametrem regulujícím vibrační úroveň je letový dynamický tlak, tj. rychlost letounu. U vrtulových letounů vibrační úroveň nejvýrazněji ovlivňují parametry spojené s letounem samotným spíše než jeho rychlost nebo prostředí, kterým se pohybuje. Některé současné vrtulové letouny mají motory se stálými otáčkami, tj. motory jsou ovládány v rámci několika procent v okolí jejich jmenovitých otáček. Pro tyto druhy letounů je požadovaný výkon dosahován využitím měnitelného sklonu listů vrtule. Některé letouny však mají stálý sklon listů vrtule, ale měnitelné otáčky motorů, např. pístové motory. V těchto případech se obvykle doporučuje zvyšovat otáčky motoru při určitých manévrech, např. při vzletu nebo pojíždění. Jiné letouny mohou vyrábět požadovaný výkon jak změnou otáček motoru, tak natáčením vrtulí. Je zřejmé, že zařízení instalovaná v letadlech s měnitelnými otáčkami motoru budou vystavena buzení v širším frekvenčním pásmu než v letadlech s fixními otáčkami motoru. Náhodné frekvence listu jsou obvykle v rozsahu 60 až 100 Hz. To vyplývá z množství fyzikálních omezení, např. z průměru vrtule, z potřeby udržovat účinnost a zabránit nadzvukové rychlosti hrotu listu vrtule.

#### **B.2 LETOVÉ PODMÍNKY**

Pro vrtuli a většinu dalších částí letounu se maximální vibrace obvykle objevují v době maximálního požadovaného výkonu, jako např. během vzletu. Vzlet je však událost krátkého trvání, např. 25 sekund. Stoupání může také vytvářet relativně vysoké úrovně vibrací. Pojíždění je méně náročné, pokud jde o amplitudu a sestup také tak. Vibrační úroveň spojená s přistáváním může být tak silná jako vzlet, když se použije zpětný tah; ale doba trvání těchto situací je pravděpodobně kratší než u vzletu, např. 10 sekund. Zatímco úroveň při letu je obvykle relativně nízká, náhodné frekvence listu spojené s těmito podmínkami by nicméně mohly být pro určitá zařízení kritické. Kromě toho vliv letu může být vzhledem k dlouhému trvání těchto letových podmínek nejdůležitější, pokud jde o strukturální únavu. Relativní náročnost celé škály letových podmínek je zobrazena na obrázku B1, pokud jde o celkové zrychlení rms (2 až 2 000 Hz) měřené na konstrukci letounu. Z tohoto obrázku se dá vyvodit, že vibrační úroveň závisí na požadovaném výkonu. Tento závěr je z velké části potvrzen grafy závislosti vibrací na požadovaném výkonu uvedenými pro Jetstream Mk 1 na obrázku B2.

#### **B.3 POLOHA NA LETOUNU**

Vibrační úroveň závisí na vzdálenosti vrtulí od letounu, protože vibrační úroveň je u vrtulí obvykle maximální. Na obrázku B3 je uveden diagram odhalující, jak se

## **Příloha B**

(informativní)

vibrační úroveň mění podél délky letounu Jetstream Mk 1. Lze vidět, že na tomto konkrétním letounu vibrace v dominantní příčné ose v zádi letounu tvoří pouze kolem 25 % vibrací v rovině vrtulí. Spektra týkající se míst v rovině vrtulí a v zádi letounu Jetstream Mk 1 jsou pro srovnání na obrázku A1. Na tomto obrázku je vidět, že zatímco úroveň ve frekvencích vztahujících se k náhodným listů vrtule je nižší v zadní poloze, úroveň širokopásmových vibrací je větší v zádi než v rovině vrtulí. Širokopásmové vibrace jsou pravděpodobně spojené s odtrháváním vírů a hlukem listů vrtule.

### **B.4 UPEVNĚNÍ MATERIÁLU**

Uspořádání upevnění materiálu může ovlivnit jeho vibrační odezvy. Samozřejmě je žádoucí, aby konstruktéři zabezpečili, že frekvence spojené s materiálem se nebudou shodovat s rotací hřídele vrtule nebo s náhodnými frekvencemi listů vrtule spojenými s nosným letounem. To sice není možné zajistit u motoru s měnitelnými otáčkami, ale je žádoucí se vyvarovat alespoň dominantních frekvencí, které existují po většinu doby, např. během letu. V praxi to může být obtížné vzhledem k řadě významných náhodných harmonických listu vrtule, jak je zobrazeno na obrázcích 1 až 4. Oblast možných problémů je spojená s přirozenou frekvencí instalovaného materiálu (která závisí na hmotnosti materiálu a tuhosti jeho upevnění) a s rezonancí uvnitř materiálu (např. pružnost tištěných spojů). Lze očekávat, že přirozené frekvence budou relativně nízké, tj. menší než 200 Hz a relativně jednoduše modifikovatelné. Vnitřní rezonance související s jednotkou se mohou projevit na mnohem vyšších frekvencích a může být mnohem obtížnější měnit je předpověditelným způsobem. V takových případech se může vyžadovat zkoušení, aby se zahrnujely vyšší frekvenční harmonické složky.

### **B.5 USPOŘÁDÁNÍ MATERIÁLU**

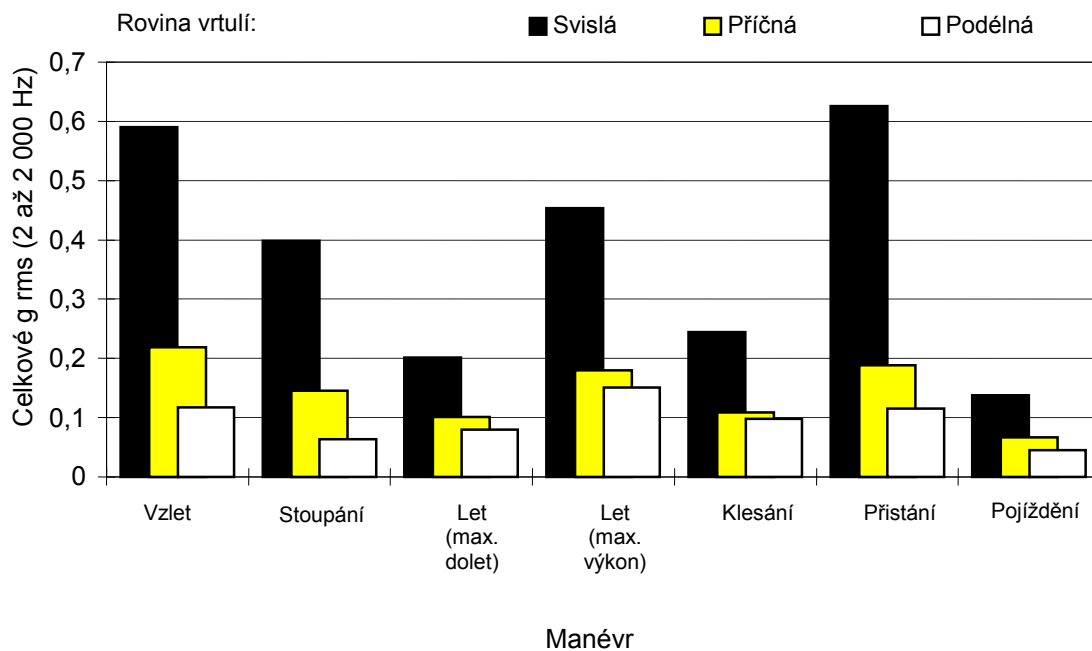
Uvažované variace se sledovaly v relativní úrovni tří os pro měření vibrací v závislosti na druhu letounu. Zatímco nejsilnější vibrace mají snahu se vyskytovat ve svislé nebo příčné ose, relativně vysoké úrovně byly zaznamenány v podélné ose. To naznačuje, že když se sestavují letová měření, měla by zahrnovat všechny tři osy.

### **B.6 DALŠÍ PARAMETRY**

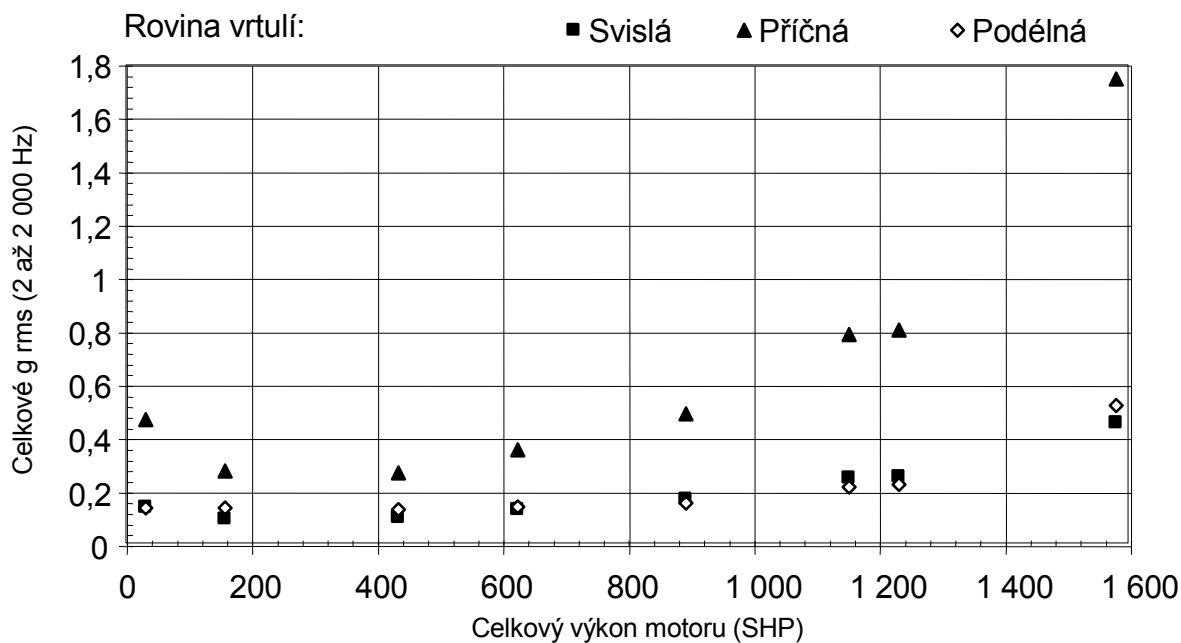
Rozdíly ve vibrační úrovni u nominálně identických vrtulových letounů jsou přisuzovány neurčitelným strukturálním rozdílům. Například při průzkumu zahrnujícím dvanáct letů letounem C 130 (Herkules), obsahujícím různé nosné konstrukce, byl variační koeficient (standardní odchylka dělená střední hodnotou) pro dominantní frekvenční prvky kolem 30 %. Takové změny v úrovni se při sestavování popisu prostředí nebo podmínek zkoušení musí vzít v úvahu, tj. obalením měřených dat s příslušnou rezervou.



**Příloha B**  
 (informativní)

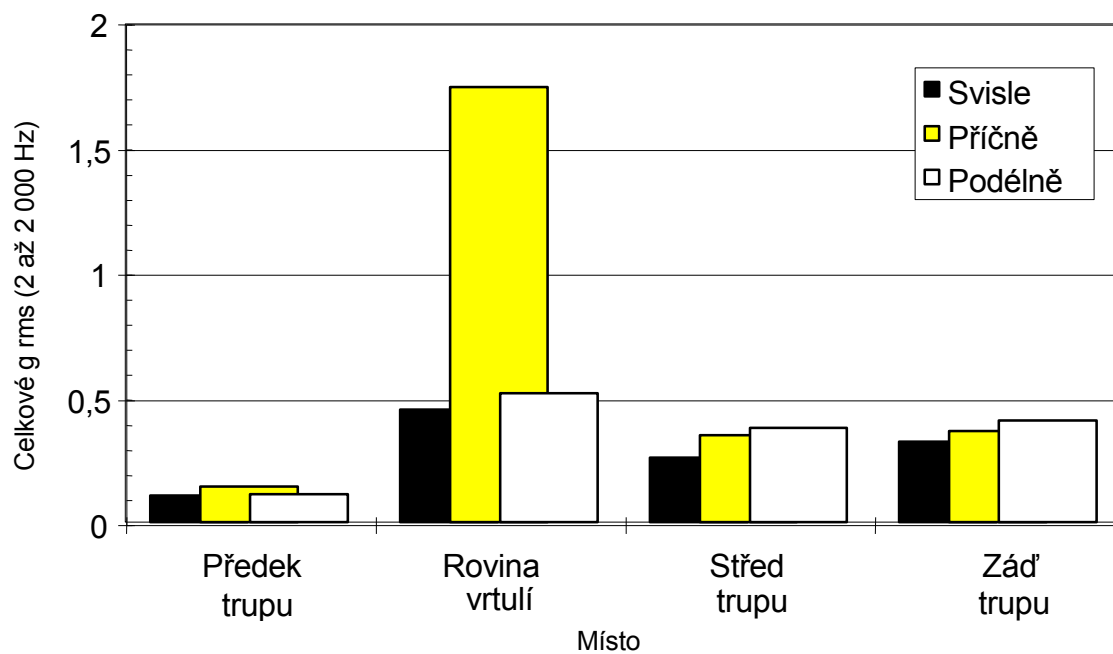


**OBRÁZEK B1 - Příklady vibrační úrovně letounu Herkules C 130 Mk1 při různých letových situacích**



**OBRÁZEK B2 - Vibrační úroveň v závislosti na požadovaném výkonu letounu Jetstream Mk1**

**Příloha B**  
(informativní)



**OBRÁZEK B3 - Změny vibrační úrovně podél trupu letounu Jetstream Mk1 za letu**

**KAPITOLA 247**  
**ČÁST 247/1**  
**INSTALACE NA A VE VRTULNÍCÍCH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	204
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	204
2.1 Všeobecná ustanovení.....	204
2.2 Letové podmínky .....	205
2.3 Varianty vrtulníků.....	205
2.4 Uspořádání nákladu .....	205
2.5 Poloha a osa měření .....	205
2.6 Střelba .....	206
2.7 Odpálení střel.....	206
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	206
3.1 Způsoby selhání .....	206
3.2 Pojíždění .....	206
3.3 Start, přistání a let .....	206
3.4 Střelba.....	206
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	207
4.1 Letové vibrace.....	207
4.2 Střelba.....	207
PŘÍLOHA A PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÁ PROSTŘEDÍ.....	211
PŘÍLOHA B ODVOZENÍ NÁROČNOSTI Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	214

## **ČÁST 247/1**

### **INSTALACE NA A VE VRTULNÍCÍCH**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž je vystaven materiál při použití nebo instalaci v letadlech s rotujícími křídly jako jsou vrtulníky. V části jsou popsány zdroje a charakteristiky prostředí a tam, kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o potenciálních škodlivých účincích. Dodatečné informace o důležitých parametrech ovlivňujících náročnost mechanického prostředí jsou uvedeny v příloze A. Tam, kde je to vhodné, jsou poskytnuty informace o výběru odpovídajících zkušebních metod z AECTP-400.

Informace o zpracování naměřených údajů při sestavování popisu prostředí a náročnosti zkoušek jsou uvedeny v příloze B. V příloze B je také uvedeno použití vhodných technik pro zpracování dat týkajících se vibračních charakteristik vrtulníku.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Všeobecná ustanovení**

- 2.1.1 Zhodnocení zdrojů vibrací, jak je uvedeno v příloze A, udává, že je realistické charakterizovat vibrační spektra související s vrtulníky diskrétními špičkovými hodnotami superponovanými na pozadí širokopásmových náhodných vibrací. Otáčky motoru vrtulníku jsou obecně řízeny v rozmezí 2 % a frekvence rotujících částí jsou omezeny podobným způsobem.
- 2.1.2 V průběhu plnění úkolů provádí vrtulník řadu letových manévrů, které mohou zahrnovat vznášení, přímý let (dopředu, dozadu a do strany), stoupání, sestup, obraty, zrychlení, zpomalení atd. Pro účely zpracování dat mohou vyžadovat tyto podmínky rozdělení do dvou skupin, tj. ustálený a neustálený stav, protože pro každou tuto skupinu jsou vhodné rozdílné techniky. První skupina bude zahrnovat přímý let a ostatní relativně ustálené podmínky, zatímco druhá skupina bude zahrnovat přechod z dopředného letu ke vznášení a další relativně přechodné podmínky.
- 2.1.3 Typické průběhy zrychlení pro vnější podvěs na vrtulníku Sea King během přímého letu při maximální rychlosti ( $V_{ne}$ ) jsou uvedeny na obrázku 1. Tento obrázek uvádí data pro vertikální, příčné a podélné osy. Obrázek 2 ukazuje frekvenční analýzu až do 500 Hz pro průběh zrychlení ve směru vertikální osy uvedený na obrázku 1. Na obrázku 2 jsou zřetelně vidět budící harmonické složky související s frekvencí průběhu listů hlavního rotoru vrtulníku Sea King. Další frekvenční analýza těchto údajů až do 3 000 Hz je na obrázku 3. Z obrázku 3 je zřejmé, že reakce nad 200 Hz mají velmi nízkou úroveň bez ohledu na špičkovou hodnotu umístěnou v oblasti kolem 700 Hz, která patří záběru ozubených kol převodovky.
- 2.1.4 Na tomto záznamu vibrací byla také provedena analýza hustoty pravděpodobnosti amplitud (APD), výsledný graf je prezentován na obrázku 4. Charakteristiky údajů APD jsou na poloviční cestě mezi náhodnými vibracemi a vibracemi souvisejícími se sinusovými vibracemi.

2.1.5 Studie ukázaly, že parametry, které ovlivnily vibrační charakteristiky zařízení vrtulníku, je možno rozčlenit do čtyř kategorií, tj. letové podmínky, varianty vrtulníku, uspořádání nákladu a místo nebo osa měření. Tyto parametry je nutno zvážit při sestavování specifikace zkoušky z naměřených údajů.

## 2.2 Letové podmínky

2.2.1 Vibrace vrtulníku obvykle závisí na rychlosti vrtulníku, jak je ukázáno na obrázku 5. Na tomto obrázku je třeba si všimnout, že maximální vibrace se neprojevují vždycky při maximální rychlosti, ale souvisí s rychlostí nižší, než je rychlost cestovní.

2.2.2 Přechod do vznášení z dopředného letu je obecně nejnáročnější letová situace. Navíc, náročnost přechodu do vznášení může překročit náročnost letu až čtyřikrát, byť po dobu jen několika sekund. Přechodná povaha tohoto manévru je znázorněna průběhem zrychlení uvedeným na obrázku 6. Vlivy startu a přistání nejsou podstatně odlišné od vlivů souvisejících se stavem vznášení.

2.2.3 Během letu bude vrtulník vystaven zrychlením s mimořádně nízkou frekvencí. Tato zatížení, která mají obecně malou náročnost, mohou být způsobena manévry, jako jsou klopené zatáčky nebo mohou být vyvolány nárazy větru. Pro účely konstrukce a zkoušení jsou tato zatížení vyvolaná zrychlením považována obvykle za kvazistatická. Jejich účinky mohou být někdy zesilovány sdružením s dynamickými pohyby vznikajícími v důsledku vibrací konstrukce vrtulníků na nižších frekvencích, avšak takovéto spojení by se mělo očekávat a zvažovat v etapě konstruování vrtulníku.

## 2.3 Varianty vrtulníku

Pozorování z měření kabiny, jejíž vibrační charakteristiky jsou obzvláště vhodné pro vnitřní zařízení, vrtulníky podle úrovně náročnosti v pořadí Chinook, Lynx a Sea King. Avšak data vztahující se k vnějším podvěsům na vrtulníku Sea King a Lynx ukazují, že u vrtulníku Sea King je náročnost nejvyšší. Odchylny náročnosti, tj. od nejlepšího k nejhoršímu pro vrtulníky Lynx a Chinook, ukázaly, že poměr v případě dominantních složek frekvence činí 5:1. Pro uvedené typy vrtulníků odchylny vibračních amplitud podvěsu v důsledku polohy držáku ukázaly, že se pohybují v rozsahu až 3:1.

## 2.4 Uspořádání nákladu

Připojení masivního zařízení (obzvláště podvěsů) vytváří přirozené frekvence v kombinaci zařízení / držák zařízení / vrtulník. Problémy nadměrných vibrací se mohou projevit v případě, kdy se tyto frekvence shodují s nějakými jinými hlavními frekvencemi, jako například s frekvencí průchodu listu rotoru nosného vrtulníku. Smíšené zatížení nosníku vnějším zařízením může také ovlivňovat úroveň vibrací. Bylo pozorováno až 1,6 násobné zvýšení úrovně vibrací.

## 2.5 Poloha a osa měření

Měření vibrací vrtulníků bude ovlivňováno jeho blízkostí k různým zdrojům buzení a tedy druhem struktury, k níž je měřicí senzor připojen. Pro externí zásobníky, kde se mohou projevit výrazné pohyby tuhého tělesa, mohou být dodatečnými vlivy poloha senzorů podél podvěsu a osa snímání.

## **2.6 Střelba**

Reakce materiálu na střelbu jsou rozebírány v části 246/1 - Instalace na proudových letadlech.

## **2.7 Odpálení střel**

Toto prostředí zahrnuje odpálení střel z nosného vrtulníku, tj. odpálení střel TOW. Odpálení střel může vystavit konstrukci vrtulníku vysokým úrovním rázu, vibrací, tlakové vlny a výfuku z raketového motoru. Tyto podmínky jsou vysoce specifické k určité kombinaci zbraně a vrtulník, a tudíž je nevhodné poskytovat obecnou směrnici.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Způsoby selhání**

Materiál může být citlivý ke třem možným způsobům selhání, tj. souvisejícím s posunem, rychlostí a zrychlením. Závady související s posunem materiálu mohou vzniknout v důsledku kolizí mezi zařízeními po relativním pohybu; přetržení tahem po relativním pohybu; uvolnění konektoru vedoucí k přerušení elektrické kontinuity. Závady související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku působení setrvačných zatížení. Tato mohou působit jednou a způsobit závadu v důsledku překročení mezní hodnoty nebo opakovaně a vyvolat únavovou závadu. Závady související s rychlostí nejsou tak obvyklé, jako závady související s posunem nebo zrychlením. Rychlostní zatížení však může u některých zařízení, včetně senzorů, vyvolat rušivá napětí, která zpětně mohou vést k funkčním poruchám.

### **3.2 Pojízďení**

Toto prostředí je pro většinu materiálu neškodné a obvykle není potřeba uvažovat o nějakých zvláštních škodlivých účincích.

### **3.3 Start, přistání a let**

Hlavní potenciální problémovou oblastí pro materiál instalovaný na vrtulnicích je možné spojení mezi frekvencemi souvisejícími s průchodem listů rotoru vrtulníku a frekvencemi souvisejícími se zařízením, tj. se zařízením upevněným v držácích nebo s jeho vnitřními prvky. Toto není jediným zdrojem poruchy zařízení, ale v konstrukci vrtulníku mohou vznikat nadměrná zatížení.

Výsledkem letových manévrů nebo působení poryvů větru mohou vznikat setrvačná zatížení v zařízení a v jeho připojovacích bodech k draku vrtulníku. Taková zatížení mohou vytvářet strukturální a únavové poruchy nebo snižovat správnou funkci mechanismů.

### **3.4 Střelba**

Tlaková vlna související s účinky střelby může vyvolávat strukturální poškození draku vrtulníku v blízkosti ústí zbraně, tj. v blízké oblasti. Také v této oblasti může být zařízení v blízkosti ústí - byť chráněné před přetlakovou vlnou - vystaveno účinkům mechanického rázu přenášeného konstrukcí vrtulníku. Dále od ústí zbraně, tj. v daleké oblasti, může být zařízení vystaveno účinkům souvisejícím s intenzivními nízkofrekvenčními vibracemi odpovídajícími kadenci střelby. Možné nepříznivé

účinky v této oblasti mohou vzniknout v důsledku spojení kadence střelby s režimy vibrace trupu nebo s přirozenými frekvencemi zařízení.

## 4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY

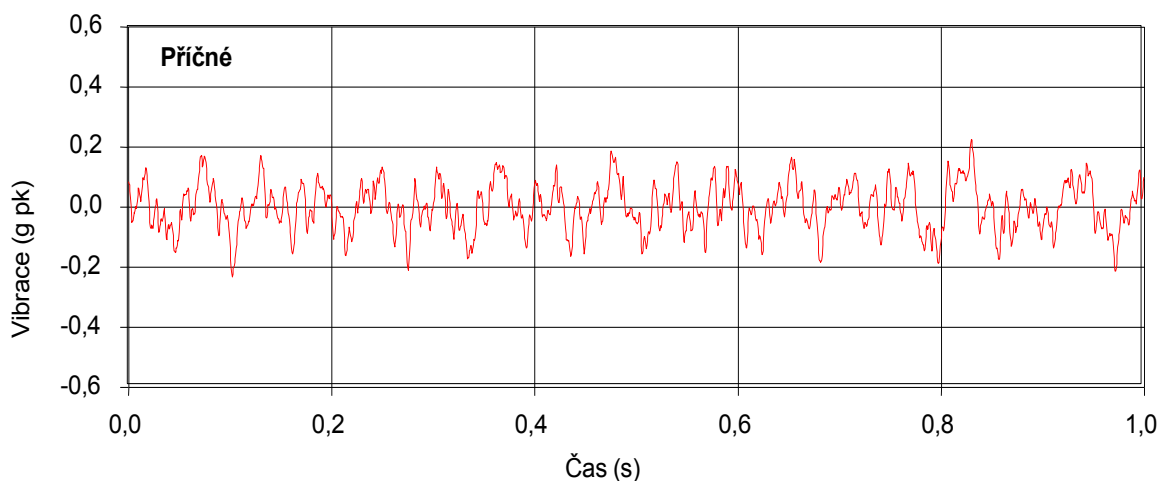
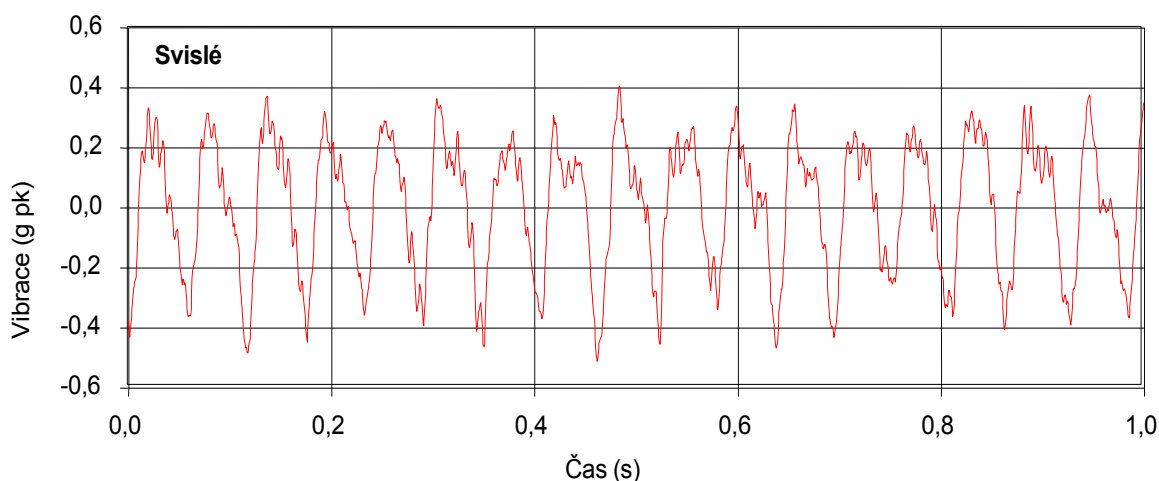
### 4.1 Letové vibrace

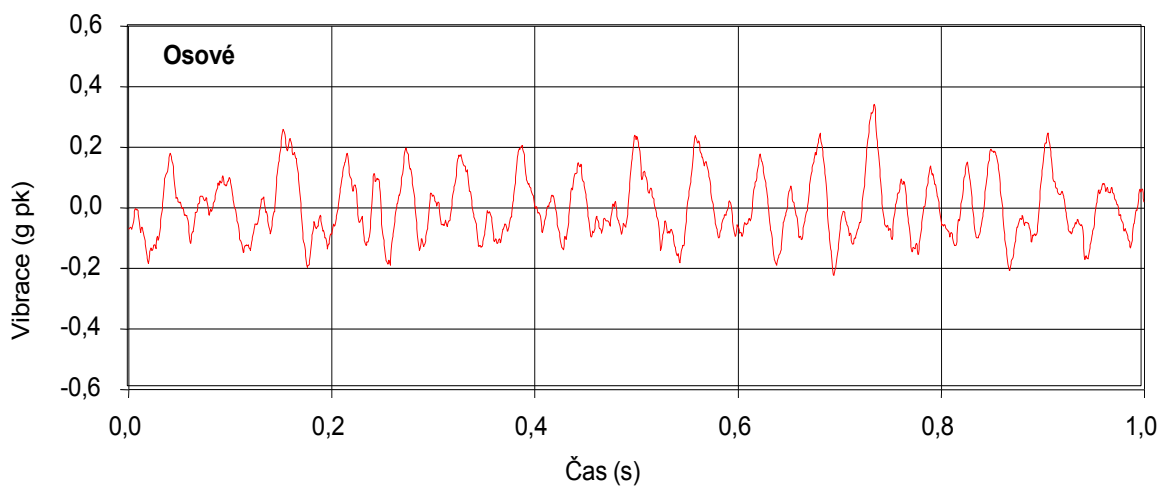
4.1.1 K dispozici jsou obecně dvě metody pro simulaci tohoto prostředí, tj. laboratorní zkoušky nebo provozní zkoušky. Laboratorní zkoušky umožňují, aby simulace byla prováděna v přísně definovaných a řízených podmínkách. Zkušební postup, který se doporučuje použít, je uveden v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902).

4.1.2 Provozní zkoušky jsou potenciálně realističtější a mohou daleko lépe vyhovovat pro zkoušení rozměrných zařízení. Provozní zkoušky jsou nezbytné v případě, kdy zařízení podstatným způsobem reaguje s nosným vrtulníkem, jako je třeba případ těžkých vnějších podvěsů.

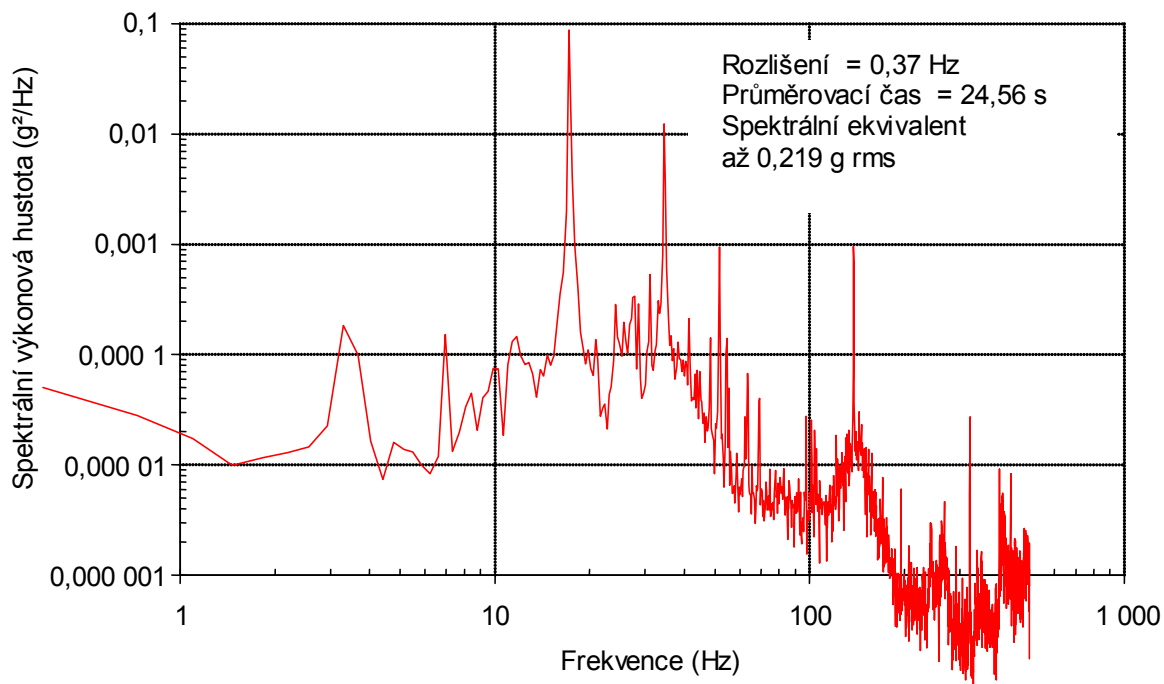
### 4.2 Střelba

Zkušební metody, které se mají použít pro toto prostředí, jsou kompletně uvedeny v části 246/1 - Instalace na proudových letadlech, článek 5.6 – Střelba.



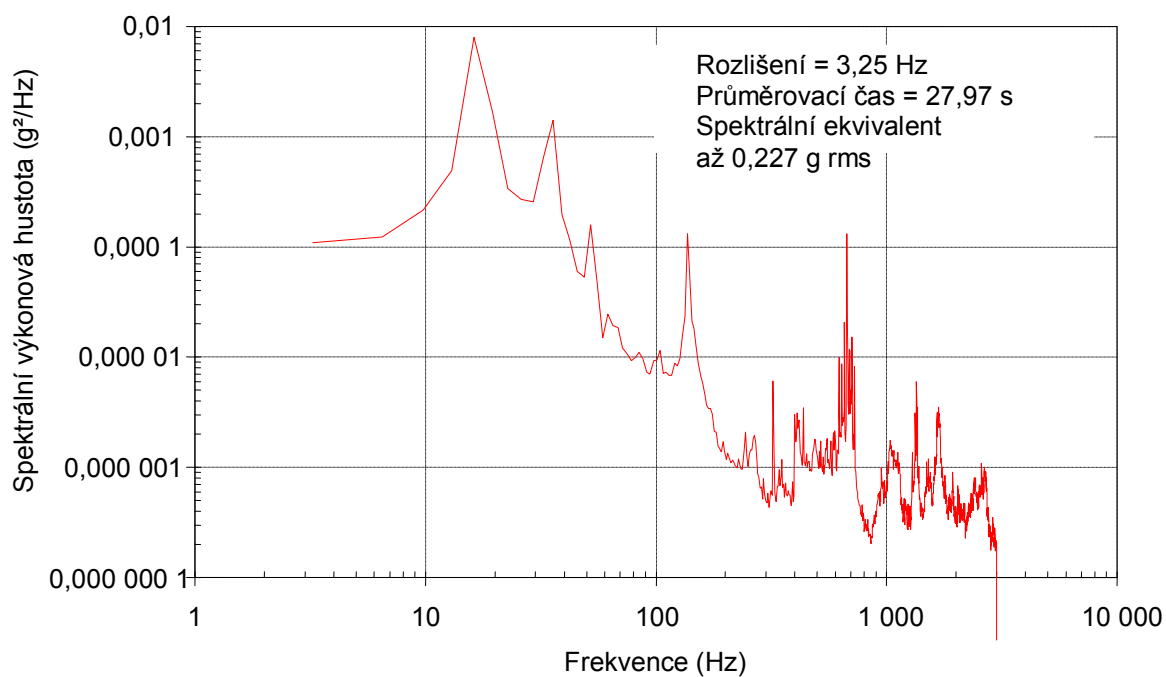


**OBRÁZEK 1 - Průběh vibrací vnějšího podvěsu během přímého letu vrtulníku Sea King ve stálé výšce**

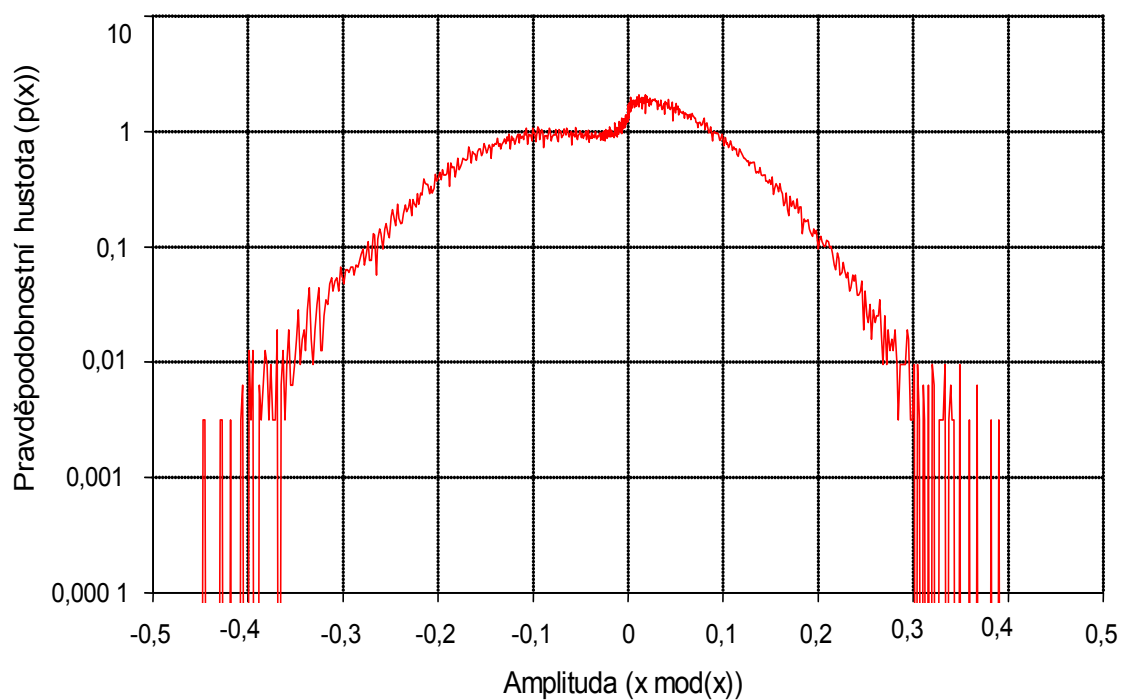


**OBRÁZEK 2 - Spektrum vibrací vnějšího podvěsu na vrtulníku Sea King**

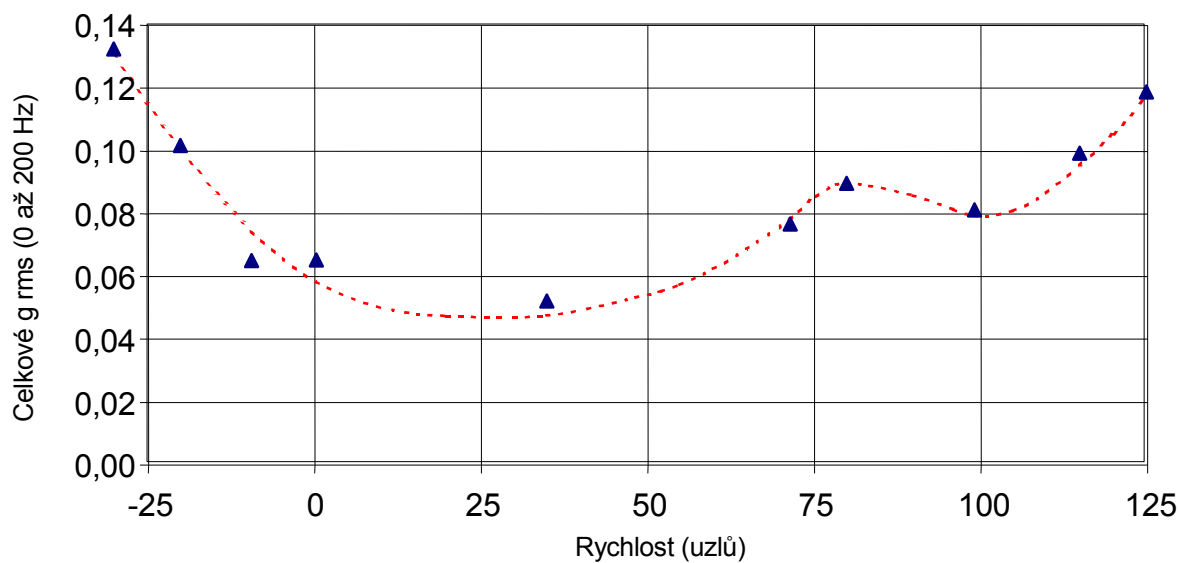




**OBRÁZEK 3 - Širokopásmové vibrační spektrum vnějšího podvěsu na vrtulníku Sea King**

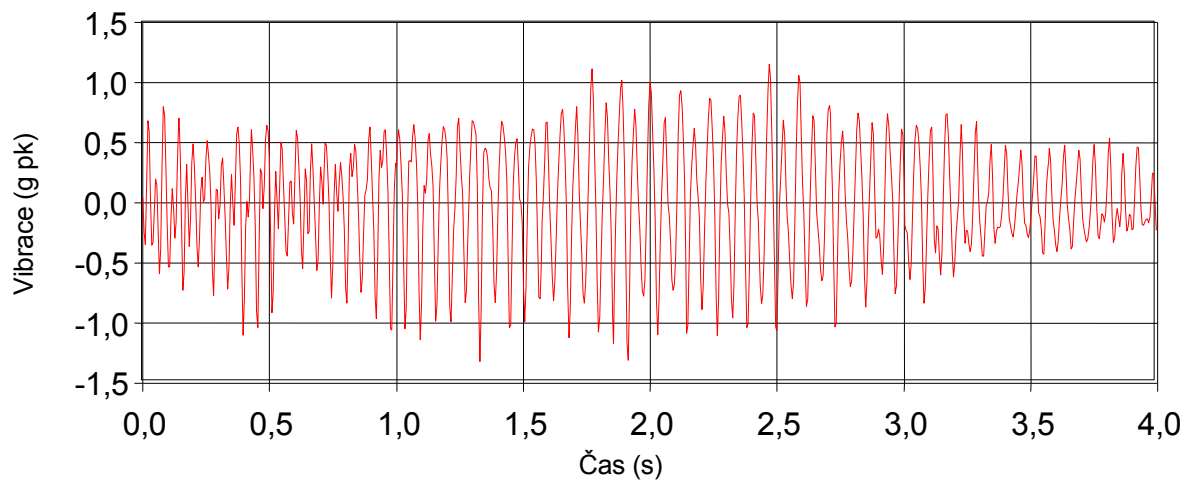


**OBRÁZEK 4 - Amplitudová pravděpodobnostní hustota pro vnější podvěs na vrtulníku Sea King**



Poznámka Data z vnějšího podvěsu na vrtulníku Lynx

**OBRÁZEK 5 - Vibrace vrtulníku v závislosti na rychlostní charakteristice**



**OBRÁZEK 6 - Průběh vibrací podvěsu při přechodu vrtulníku z dopředného letu do visu**

## **PŘÍLOHA A**

### **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÁ PROSTŘEDÍ**

#### **A.1 POJÍŽDĚNÍ**

Během pojíždění po letištní ploše se předpokládá, že vrtulník je vystaven vibracím a přechodovým jevům vznikajícím z interakce kol podvozku vrtulníku s povrchem dráhy. Úroveň a charakter těchto vstupů bude záviset na hmotnosti vrtulníku, velikosti jeho kol, odpružení podvozku a kvalitě povrchu dráhy. Toto prostředí se nedá použít na všechny druhy vrtulníků, například ne na ty vybavené místo kol ližinami.

#### **A.2 VZLET A PŘISTÁNÍ**

Charakteristiky a úrovně vznikající z těchto podmínek jsou obecně obsaženy v charakteristice letu (viz dále). Možnou výjimkou je přistání se zachycením, jaké se může vyskytovat na palubě letadlové lodi.

#### **A.3 LETOVÉ REŽIMY**

- A.3.1 Pro materiál instalovaný uvnitř nebo vně vrtulníku je dominantním zdrojem vibrační zdroj spojený s náhodnou frekvencí listu hlavního rotoru. V závislosti na poloze materiálu v nosné konstrukci se mohou závažné úrovně vibračních odezev vyskytnout ve frekvencích sdružených vyšších harmonických a také, ačkoli obvykle v nižších úrovních, ve frekvencích hlavního rotoru, vyrovnávacího rotoru a jejich listů. Buzení přes široké frekvenční pásmo také vzniká z činnosti jiných rotačních komponent, jako např. hnacího hřídele, motorů, čerpadel a ze záběru ozubených kol převodovky.
- A.3.2 Pro popisování různých rotačních frekvencí byl vyvinut záznamový systém. Pokud je  $R$  rotační rychlost hlavního rotoru a  $n$  je počet listů rotoru, potom náhodná frekvence listu je  $nR$  a následné harmonické jsou  $2nR$ ,  $3nR$  atd. Podobně pro vyrovnávací rotor jsou náhodné frekvence listů označeny  $nT$ ,  $2nT$  atd., kde  $T$  je rotační rychlost vyrovnávacího rotoru a  $n$  značí počet listů.
- A.3.3 Typické vibrační spektrum měřené na vrtulníku by mohlo obsahovat složky z následujících zdrojů:

**Příloha A**  
(informativní)

Zdroj	Frekvenční rozsah (Hz)
Pohyby podvozku, účinky turbulence	0-3
Hlavní rotor R	3-7
Módy ohybu trupu	5-8
Módy tuhého tělesa z vnějších podvėsů na jejich nosičích	6-20
Náhodné frekvence listů hlavního rotoru nR	11-26
Vyrovňovací rotor T, násobky nR, hnací hřídlel vyrovnávacího rotoru, čerpadla, převodovky	8-80
Náhodné frekvence listů vyrovnávacího rotoru nT, čerpadla, motory a převodovka, výstupní hřídlele	100-140
Záběr ozubených kol hlavní převodovky	450-700
Další frekvence ozubených kol převodovky	1 000-5 000
Náhodné frekvence lopatek turbíny motoru	10 000 a více

A.3.4 U vrtulníků s dvojitým rotorem, jako je Chinook, má dominantní frekvence sklon se stát frekvencí z interakce mezi dvěma soubory listů, to je  $2nR$ .

A.3.5 Vibrace mohou vznikat z několika mechanismů spojených s činností rotorového systému. Některé z těchto mechanismů vytváří vibrace přímo, zatímco jiné nejprve generují hluk, který vyvolává vibrace až po nárazu na konstrukci vrtulníku. Vzhledem k rozmanité povaze těchto zdrojů a jejich interakcí se mohou měřená vibrační spektra jevit složitá a mající znaky, které se obtížně vysvětlují, jako např. potlačování nebo zesilování určitých náhodných harmonických listu rotoru. Některé z takových zdrojů vibrací jsou:

- Pole rotačního tlaku: Tlaková pole otáčející se s listy rotoru vytváří hluk, který zpětně při nárazech na trup vrtulníku vyvolává periodické vibrace v náhodné frekvenci listu a v harmonické frekvenci.
- Víry: Víry odpadávající z hrotů rotujících listů způsobují při svém dopadu na trup vrtulníku širokopásmové náhodné vibrace.
- Hluk listů: Tento hluk je generován pohybem vzduchu ven od postupujícího listu a potom zpět po průchodu listu daným bodem. Tato pulzace hluku je v trupu vnímána jako hluk v náhodné frekvenci listu a může vyvolávat periodické vibrace v konstrukci vrtulníku.
- Mechanická nevyváženost: Periodické vibrace jsou způsobeny mechanickou nevyvážeností agregátu rotoru a budou se projevovat harmonickými vibracemi detekovanými na hřídlel rotoru. Nevyváženost může vznikat kvůli přirozenému povrchovému mechanickému narušení v nějakém časovém intervalu. Pravidelná údržba by měla působit

**Příloha A**  
(informativní)

na minimalizaci těchto vibrací, ale je pravděpodobná nějaká zbytková nevyváženost.

- e. Interference proudění: Když rotor vytváří vztlak, proud vzduchu směřuje dolů. Pokud toto proudění interferuje například s ocasní částí vrtulníku, v listech rotoru se mohou navodit vibrace a přenášet se přes ložiska rotoru do konstrukce vrtulníku.
- f. Módy listů rotoru: Módy listů mohou být vyvozeny silovými funkcemi, jako je např. pohyb vzduchu přes plochu okruhu rotoru nebo interferencemi proudění. Jestliže existuje spojení mezi frekvencemi módu listu a silovými funkcemi, pak listy vibrují s velkou amplitudou a je zde malá zpětná vazba na ložiska rotoru. I když jsou frekvence dobře oddělené, listy přesto budou trpět vynucenými vibracemi, které se budou přenášet přes ložiska rotoru do trupu vrtulníku.

A.3.6 Samotný agregát rotoru má základní charakteristiku, produkující periodické vibrace. Při dopředném letu jsou listy rotoru vystaveny periodickým změnám zatížení kvůli vlastní rotaci ve vztahu k dopředné rychlosti vrtulníku a také k měnícím se úhlům náběhu.

A.3.7 Aerodynamické buzení materiálu, vznikající z pohybu vrtulníku vzduchem, se nepokládá v důsledku relativně nízkých rychlostí letu vrtulníků za důležité. Avšak nemusí to platit vždy, protože technologie rotorových listů se zdokonaluje a rychlost vrtulníků se zvyšuje.

A.3.8 Materiál instalovaný uvnitř i vně je vystaven vibracím, které jsou převážně mechanicky přenášeny z náboje rotoru. Tlak vzduchu směřující dolů z listů rotoru není pro vnější zařízení považován za důležitý mechanismus buzení. Argumentem je, že jsou to právě hroty listů rotoru, které generují nejvíce vztlaku a proto tedy, pokud je materiál přepravovaný vně na obvyklém místě své instalace, bude mít výhodu z toho, že je v oblasti s menším rušením vzduchu.

## **PŘÍLOHA B**

### **ODVOZENÍ ÚROVNÍ NÁROČNOSTI Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

#### **B.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část vysvětluje, jak lze odvodit úroveň náročnosti zkoušek z naměřených údajů. Úroveň náročnosti jsou založeny na popisu prostředí, jejich odvození je uvedeno nejdříve.

#### **B.2 ODVOZENÍ POPISU PROSTŘEDÍ**

B.2.1 Tato část se zabývá sestavením popisu prostředí z provozních dat ve formátech vibračních údajů. Základní logika postupu je obecně aplikovatelná na veškerý materiál převáženy uvnitř i vně na vrtulnících.

B.2.2 Následující postup pro odvození popisu prostředí je uspokojivý pro značný počet situací, avšak nelze očekávat žádný všeobecný postup, který by byl univerzálně úspěšný. Postup zobrazený jako diagram na obrázku B2 obsahuje následující fáze:

a. Určit z vibračních spekter vypočítaných z naměřených údajů všechny kritické instalované přirozené frekvence související s integrací materiálu do vrtulníku a odděleně se zabývat všemi potenciálními problémy vzhledem ke spojení této frekvence s jakýmkoliv frekvencemi souvisejícími s průchodem listů rotoru.

b. Vybrat referenční body na materiálu, obvykle tři na relativně tuhé struktuře, jeden v každé z pravoúhlých os. Vytvořit charakteristiky  $g$  rms vůči rychlosti v těchto referenčních bodech a tak potvrdit vibrační amplitudy při normálních provozních ( $V_{no}$ ) podmínkách. Tato se obvykle prezentují v grafické podobě s normalizovanými amplitudami s ohledem na maxima, jak je ukázáno na obrázku B.1. Vybrané maximum má odpovídat materiálu a jeho použití; obecně vhodné je pro tento účel použít maximální letovou rychlost  $V_{ne}$ .

c. Odvodit popis náhodného vibračního spektra pozadí pro každý referenční bod vytvořením grafu PSD pro všechny naměřené letové podmínky. Lze očekávat, že  $g$  rms této vibrace pozadí bude relativně nízká. Proto tedy může být v této etapě zapracován určitý konzervativní prvek s malým nepříznivým vlivem z hlediska potenciálního poškození při zahrnutí PSD jak pro ustálené, tak pro přechodné letové podmínky.

d. Ze špičkových spekter získaných z naměřených údajů vytvořit dvě sady úrovní  $g$  pk, tj. jednu sadu pro ustálený stav a jednu sadu pro přechodné letové podmínky při dominantních budících frekvencích, tj.  $nR$ ,  $2nR$ , atd. Je žádoucí zkontrolovat, aby špičkové úrovně  $g$  pro přechodné podmínky byly doplněny špičkovými úrovněmi výsledovanými z průběhu zrychlení pro náročnější přechodové podmínky, jako je přechod do visu, aby se zabránilo možnému podhodnocení náročnosti.

e. S pomocí PSD a výčtu špičkových amplitud  $g$ , kvantifikovat všechny trendy údajů. Vhodné oblasti pro výzkum zahrnují relativní náročnost

**Příloha B**  
(informativní)

letových podmínek, relativní náročnost os, účinky smíšených zatížení a účinky IGE.

B.2.3 V tomto okamžiku jsou vibrační amplitudy, jimž je vystaven materiál, kvantifikovány přímým měřením pro všechny provozní podmínky zahrnuté do zkušebního programu. Postup využívající prvky popisu prostředí pro vytvoření zkušebního vibračního spektra je uveden dále.

### **B.3 ODVOZENÍ ZKUŠEBNÍCH VIBRAČNÍCH AMPLITUD**

B.3.1 Aby bylo možno převést popis prostředí odvozený z letových naměřených údajů na úroveň zkoušek, je třeba upravit prvky uvedené výše tak, aby představovaly poznanou maximální úroveň náročnosti předpokládaných provozních podmínek. Zatímco principiálně je žádoucí, aby zkušební amplitudy představující mezní podmínky byly vyjádřeny v termínech pravděpodobnosti výskytu, tj. jedna na 500 případů nebo 2,88 úroveň sigma, je jen zřídka praktické provádět to takto přísně, vzhledem k velkému množství údajů potřebných pro vytvoření statistiky. Tudíž ve většině případů musí být poskytnuta pomoc při inženýrském posouzení vytváření limitních podmínek z naměřených údajů. Jako vodítko lze uvést, že jen za výjimečných okolností mohou náročnosti testů překročit havarijní úroveň uvedené v AECTP-400, Metoda 401, příloha A.

B.3.2 Transformace souvisejících prvků náhodných vibrací pozadí a souvisejících prvků frekvence průchodu listu rotoru do zkušebních spekter se provádí odděleně. Logika tohoto postupu zahrnuje následující fáze:

- a. Náhodný prvek pozadí popisu prostředí často vyžaduje zjednodušení, aby bylo možno vytvořit praktické zkušební spektrum. Toho lze dosáhnout zabalením měřeného spektra řadou přímých segmentů, které sledují základní trend charakteristik PSD. Výsledné  $g_{rms}$  má představovat skutečné limitní podmínky nebo nominální pravděpodobnost výskytu, tj. 1 na 500 úrovní.
- b. Špičkové amplitudy  $g$  naměřené při frekvencích souvisejících s průchodem listu rotoru  $nR$  a  $2nR$ , atd. se zvažují odděleně pro ustálený stav a přechodné letové podmínky. Pro oba typy letových podmínek je nutno vytvořit amplitudy odpovídající skutečným mezním podmínkám nebo nominální pravděpodobnosti výskytu, tj. 1 na 500 úrovní.
- c. Hodnoty odvozené v odstavci (a) výše pro náhodný prvek pozadí a v odstavci (b) výše pro prvek související s průchodem listu rotorů při ustálených letových podmínkách se potom přehodnotí pro určení toho, zda je nutné další zvýšení úrovní, aby se zahrnuly následující parametry vrtulníku:

Letové podmínky.

Varianty vrtulníků, jak v rámci druhu, tak případ od případu.

Alternativní umístění držáků a uspořádání nákladu.

**Příloha B**  
(informativní)

Poloha a osa měření.

Vlivy těchto parametrů jsou rozebrány v kapitole 2. Ve skutečnosti je nepravděpodobné, že náhodný prvek pozadí bude vyžadovat další zvýšení, aby bylo možno tyto parametry zahrnout, ale komponenty související s průchodem listu rotoru budou obvykle vyžadovat určité opravy.

- a. Úrovně odvozené pro náročné přechodné podmínky v odstavci (b) výše mohou překračovat obvykle čtyřikrát hodnoty pro  $V_{no}$ . Navíc, je jen málo důkazů pro předpoklad, že odchylky ovlivňující podmínky ustáleného stavu lze stejně aplikovat na vysokoamplitudní přechodné podmínky. Proto, aby se zabránilo nadměrným a nereprezentativním zkušebními amplitudám, předpokládá se, že zvýšené úrovně stálého stavu, tj. ty, které berou v úvahu parametry proměnlivosti z odstavce (c) uvedeného výše, mají být základem zkušebních amplitud. Je třeba si všimnout, že takovouto strategii nelze použít vždy a tudíž každý případ má být zpracován individuálně.
- b. Výsledné mezní hodnoty nebo celkové zkušební  $g_{rms}$  se mají porovnat s podmínkami souvisejícími s  $V_{no}$ . Pro informaci lze uvést, že toto zkušební  $g_{rms}$  obvykle překračuje letové podmínky  $V_{no}$  2,5 až 3,5násobně.

## B.4 ODVOZENÍ TRVÁNÍ ZKOUŠEK

B.4.1 Trvání zkoušek by se mělo založit na požadované životnosti materiálu a profilu používání odpovídajícího pásového vozidla. Aby se zabránilo neprakticky dlouhému trvání zkoušek, je obvyklé použít zákony o únavovém poškození, jako je například Minerovo pravidlo. Toto pravidlo je také známo jako „zveličovací vzorec“ a je vyjádřeno následujícím způsobem:

$$t_2 = t_1 (S_1 / S_2)^n$$

kde

- $t_1$  = skutečné trvání v požadavcích charakterizovaných měřenou úrovní  
 $t_2$  = ekvivalentní trvání na zkušební úrovni  
 $n$  = zveličovací exponent

### Pro úroveň rms

- $S_1$  = úroveň rms měřeného spektra  
 $S_2$  = úroveň rms zkušební spektra  
 $n = b$  = zveličovací exponent; typicky se používají hodnoty mezi 5 a 8

### Pro úroveň ASD

- $S_1$  = úroveň ASD měřeného spektra  
 $S_2$  = úroveň ASD zkušební spektra  
 $n = b/2$  = zveličovací exponent; typicky se používají hodnoty mezi 2,5 a 4

Exponent „b“ odpovídá sklonu únavové křivky (S/N) pro odpovídající materiál. Hodnota „b“ rovna 8 je vhodná pro popis chování kovových struktur, jako je ocel a hliníkové slitiny, které mají v podstatě lineární průběh deformační křivky. S menší důvěryhodností je možno jej použít pro nelineární materiály a kompozity.



**Příloha B**  
(informativní)

Pro elektronická zařízení a nekovové materiály, elastomery, kompozity, plastické hmoty a výbušniny se doporučuje hodnota „b“ rovná 5.

I když se ukázalo, že toto vyjádření má při použití na materiál některé výhody, má být používáno s mimořádnou opatrností, pokud mají být vyloučeny nereprezentativní závady. V žádném případě nemají být zkušební úrovně zvyšovány nad maximální úrovně, které jsou předpokládány, že jim bude materiál vystaven během své provozní životnosti s použitím zkušebního faktoru založeného na statistických údajích. Navíc, pokud je zřejmé, že materiál není plně připevněn k vozidlu, je Minerovo pravidlo zcela neplatné a nemělo by se použít. V takových případech by se jako alternativa měla zvažovat zkouška Volný náklad (AECTP-400, Metoda 406 ČOS 999902).

B.4.2 Nejprve se požaduje vytvoření hlavních charakteristik nominálních nebo dominantních profilů letu, které budou obecně mít podobu procentuálního podílu času stráveného v určitých letových podmínkách. Na základě těchto podrobných profilů letu lze odvodit zjednodušený idealizovaný profil seskupením podmínek s podobnou náročností. Předpokládané skupiny jsou vznášení; nižší cestovní podmínky; cestovní podmínky a maximum. Předpokládaná klasifikace letových podmínek je ukázána na obrázku B.1. Seskupením letových podmínek tímto způsobem lze určit podíl času stráveného v každé z těchto tří skupin.

B.4.3 Po odvození procentuálního podílu trvání, jak je uvedeno výše, mohou se tyto údaje zkombinovat, jak je ukázáno v dále uvedené tabulce pro výpočet zkušební doby ekvivalentní hodinovému letu. Pro ilustraci jsou vybrány relativní úrovně náročnosti z obrázku B1. Pomocí Minerova pravidla, ekvivalentní trvání strávené při vysokých cestovních úrovních je vypočítáno pro nižší než cestovní úrovně a pro cestovní úrovně. Tato trvání jsou potom sečtena, jak je ukázáno na následujícím příkladu.

Podmínka	Index náročnosti $i$	Čas		
		%	Minuty	Ekvivalent
Vznášení	0,3	15	9,0	0,02
Nižší než cestovní úroveň	0,6	20	12,0	0,93
Cestovní úroveň	0,5	40	24,0	0,75
Maximum	1,0	25	15,0	15,0
	<b>Celkem:</b>	100	60,0	16,7

tj. test s trváním 16,7 minut odpovídá 60 minutám letového času.

B.4.4 Základ postupu popsaného v kapitolách B.3 a B.4 je uveden na diagramu na obrázku B.3.

**Příloha B**  
(informativní)

**B.5 FORMÁT ÚDAJŮ PRO ZKOUŠENÍ**

B.5.1 Amplitudy frekvencí průchodu listu rotoru byly odvozeny buď ze špičkových spekter, nebo z průběhu zrychlení, aby se vyloučilo možné podhodnocení v PSD. Další informace jsou uvedeny v kapitole B.7. Pro zkušební účely mohou být tyto špičkové hodnoty  $g$  použity přímo jako sinusoidální amplitudy nebo přednostně po převedení na úroveň PSD přiřazeny úzkopásmovým náhodným komponentám. Tato konverze je také rozebrána v kapitole B.7.

B.5.2 Předpokládá se, že šířka úzkého pásma má být 10 % středové frekvence, tj. pro vrtulník Sea King s frekvencí průchodu listu rotoru 17,4 Hz, šířka pásma v úzkých pásmech představujících první dvě harmonické složky průchodu listu rotoru má být 1,74 a 3,48 Hz v uvedeném pořadí.

**B.6 KOMBINOVANÁ ZKOUŠKA VRTULNÍKŮ**

B.6.1 Následující postup, který je použitelný v případě, kdy jsou k dispozici letové údaje, je doporučen pro přizpůsobení řady druhů vrtulníků v rámci jedné laboratorní zkoušky.

B.6.2 Frekvence průchodu listů rotoru

Amplituda: Protože frekvence průchodu listů rotoru může být pro každý druh vrtulníku různá, jak je ukázáno v následující tabulce, vytvoření jednoho (kombinovaného) testu, který by pokrýval materiál pro všechny možné druhy vrtulníků, musí nezbytně zahrnovat určitý stupeň kompromisu. Takovýto kompromis může být ve většině případů akceptovatelný. V předchozích odstavcích se předpokládalo, že buzení na frekvencích souvisejících s průchodem listu rotoru bude reprezentováno úzkopásmovými náhodnými vibracemi. Dále se předpokládá, že pro kombinovaný test tato úzká pásma budou rozkládána ve frekvenční oblasti, aby zahrnula všechny uvažované druhy vrtulníků. Prakticky se předpokládá, že rozsah rozkladu úzkopásmových složek bude přibližně 10 Hz. V této situaci se požaduje, aby rychlost rozkladu byla dostatečně nízká, aby uvolnila všechny strukturální rezonance, které se mohou projevit na provozních úrovních.

Vrtulník	Hlavní rotor			Ocasní rotor		
	Rychlost rotace (Hz)	Počet listů	$f_1$ (Hz)	Rychlost rotace (Hz)	Počet listů	$f_1$ (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-64 (starší Apache)	4,82	4	19,28	23,40	4	93,60
AH-64 (novější Apache)	4,86	4	19,44	23,60	4	94,40
CH-47D (Chinook)	3,75	3	11,25	---	---	---
EH 101 (Merlin)	3,57	5	17,85	16,18	4	64,72

**Příloha B**  
(informativní)

Vrtulník	Hlavní rotor			Ocasní rotor		
	Rychlost rotace (Hz)	Počet listů	$f_1$ (Hz)	Rychlost rotace (Hz)	Počet listů	$f_1$ (Hz)
Gazelle	6,30	3	18,90	96,20	13	1 250,60
Lynx Mk 1, Mk 2, Mk 3	5,51	4	22,04	31,90	4	127,60
Lynx 3	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

### B.6.3 Náhodné pozadí

- Amplituda. Protože g rms náhodných vibrací pozadí je relativně nízké, grafy PSD pro různé letové podmínky, jak je uvedeno výše, mohou být obvykle převrstveny pro všechny vibrace vrtulníku bez vytvoření nadměrných úrovní. Tato výsledná amplituda může být zahrnuta do zkušebního spektra pomocí postupu popsaneho v článku B.3.2(a).
- Trvání. Náhodná vibrace pozadí se aplikuje spolu s úzkopásmovými komponentami, jak je uvedeno v kapitole B.4.

## B.7 KLÍČOVÉ ASPEKTY ZPRACOVÁNÍ

B.7.1 Tato kapitola obsahuje některé důležité aspekty, které vznikají při zpracování vibračních údajů vrtulníku.

B.7.2 Výkonová spektrální hustota (PSD) je nejobvyklejší používaný datový formát a popisuje spektrální obsah vibračních záznamů. Pokud jednotkou měření je zrychlení, je uváděna také jako spektrální hustota zrychlení (ASD); amplituda je obvykle vyjadřována jako  $g^2/Hz$ . ASD se obvykle vytváří pomocí algoritmu rychlé Fourierovy transformace (FFT).

**Příloha B**  
(informativní)

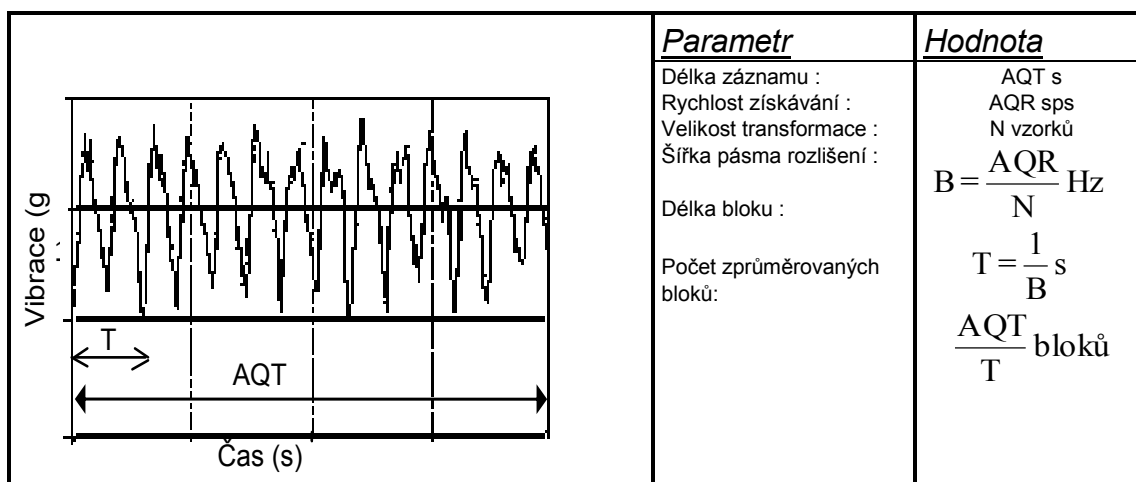
B.7.3 Typické parametry pro vytváření údajů PSD mohou být následující:

Parametr	Zkratka	Typická hodnota
Maximální frekvence	Fmax	200 Hz
Rychlost získávání	AQR	512 sps
Transformační velikost	N	2 048
Šířka pásma rozlišení	B	0,25 Hz
Trvání záznamu	AQT	30 sekund

B.7.4 Pro analýzu nejnižší budící frekvence (R) a všech podstatných harmonických složek průchodu listu rotoru je dostačující frekvenční rozsah 0,25 - 200 Hz a šířka pásma rozlišení 0,25. Vyšší frekvenční buzení, jako je buzení vznikající v důsledku záběru zubů převodovky, nejsou zahrnuta, ale u většiny materiálů nejsou na důležitých amplitudách přítomna.

B.7.5 Amplitudy z grafů PSD jsou výsledkem dvou zprůměrovacích postupů, tj.:

- Zprůměrování v časové oblasti podle trvání záznamu (AQT).
- Zprůměrování ve frekvenční oblasti podle šířky pásma rozlišení (B).



Parametry analýzy PSD

Výsledky těchto zprůměrovacích postupů se mohou zpracovat odlišně, aby se vytvořila střední a špičková spektra. Výše uvedený graf ukazuje, jak je záznam vibrací rozdělen do řady bloků podle parametrů T a B. Trvání jednoho bloku je 1/B sekund a obsahuje N vzorků, kde N je velikost Fourierovy transformace.

B.7.6 Poté, co data z bloku byly digitálně vyzorkovány podle určených AQR, lze použít obvyklý počítačový program vytvářející data PSD, jak je uvedeno na obrázku B.4. Po skončení analýzy záznamu vibrací bylo vytvořeno jak střední, tak špičkové spektrum. Střední PSD je výsledkem obou zprůměrovacích procesů popsaných výše.

**Příloha B**  
(informativní)

- B.7.7 Špičkové PSD eliminovalo vliv zprůměrování v časové oblasti, ale je stále založeno na zprůměrování frekvenční oblasti. Špičková spektra (ekvivalentní špičková spektra) jsou někdy uváděna v termínech amplitudy  $g_{pk}$ , avšak měření jsou založena na střední kvadratické hodnotě. Při odvozování hodnoty  $g_{pk}$  se předpokládá poměr špičková hodnota ku rms, obvykle se používá hodnota 1,414.
- B.7.8 Tam, kde zkušební amplitudy vibrací na frekvencích řádu odpovídajícím frekvenci rotoru jsou udány v termínech špičkových hodnot  $g$ , jsou vhodné pro sinusoidální reprezentaci. Tyto špičkové hodnoty jsou založeny na naměřeném středním kvadratickém zrychlení. V důsledku toho, pokud se požaduje uvést vibrace na úrovni vibrací rotoru pomocí úzkopásmových náhodných špičkových hodnot spíše než pomocí sinusoid, lze požadované hodnoty  $g^2/\text{Hz}$  získat z následujícího vzorce:

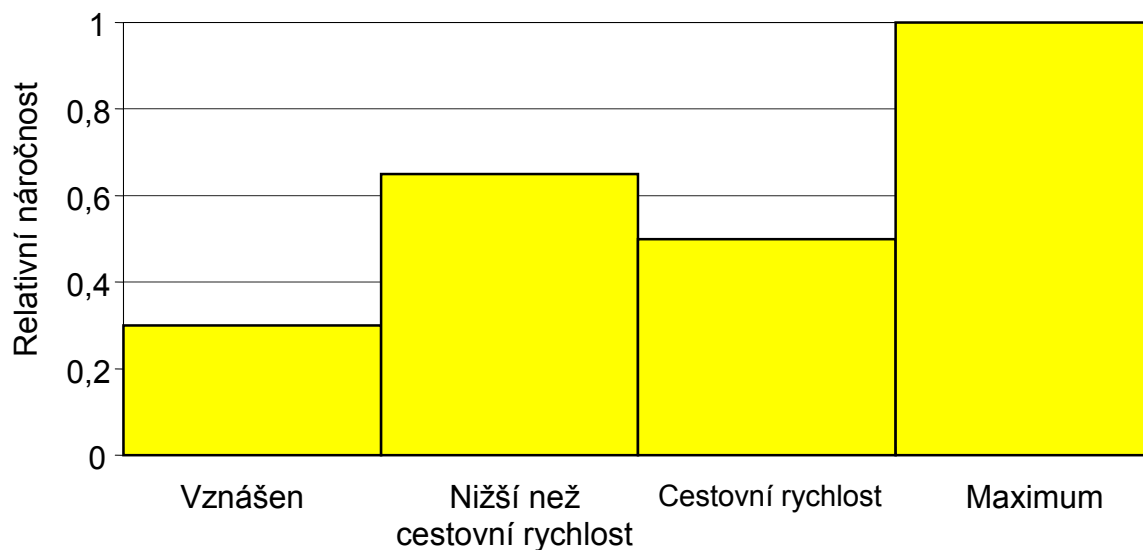
$$\frac{g^2}{\text{Hz}} = \frac{1}{B} \left[ \frac{g_{pk}}{\sqrt{2}} \right]^2$$

kde  $B$  v tomto případě je šířka pásma úzkopásmové špičkové hodnoty.

Je třeba si všimnout, že výše uvedený vzorec nepředstavuje obecně použitelný konverzní prostředek mezi sinusovým průběhem a náhodným průběhem. Je použitelný pouze v tomto speciálním případě, protože sinusové úrovně vychází původně z naměřených středních kvadratických hodnot.

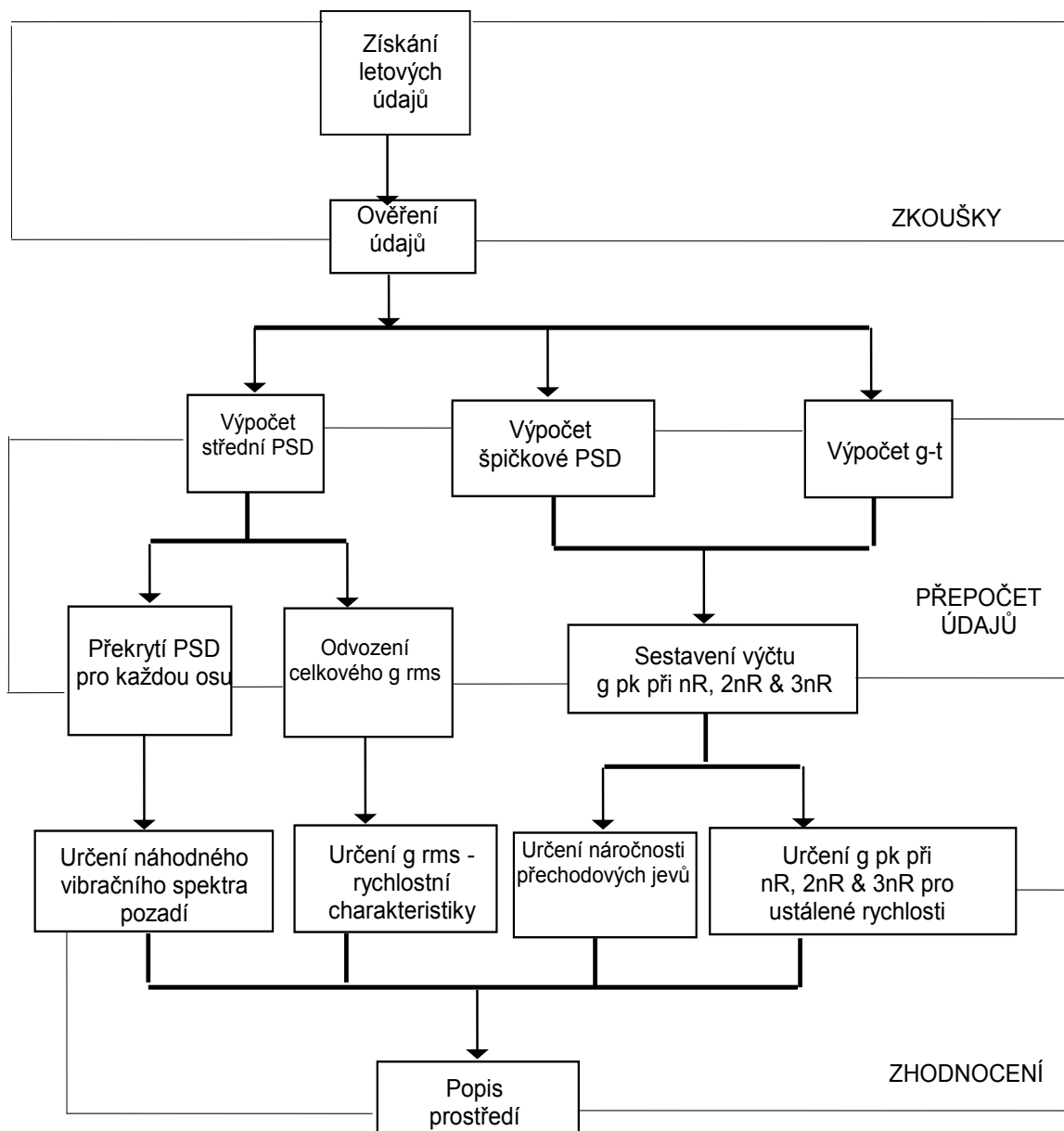
- B.7.9 Úrovně PSD vrtulníku nemají smysl, pokud není určena šířka pásma rozlišení. Údaje pro vrtulník nejsou vždycky stacionární a výrazně se soustřeďují u výkonu kolem řady diskretních frekvencí, tj. harmonických složek průchodu listů rotoru. V důsledku toho může být PSD vrtulníkových údajů citlivé jak na délku záznamu, tak na šířku pásma rozlišení. To je v protikladu stacionárním širokopásmovým náhodným vibracím, které obvykle existují u proudových letounů.
- B.7.10 Pro nejspolehlivější charakterizaci se nestacionární manévry doporučují zpracovávat pomocí průběhu zrychlení. Ekvivalentní špičková spektra neposkytnou pravdivé určení špičkové amplitudy. Existuje často požadavek na jemné frekvenční rozlišení, tj. pomoc při interpretaci režimu tuhého tělesa. V důsledku toho se používají relativně dlouhé délky bloků, např. rozlišení 0,25 Hz znamená délku trvání bloku 4 sekundy. U jevů přechodné povahy pro určité manévry vrtulníku jsou 4 sekundy dostatečně dlouhá doba, aby se maximální úrovně zprůměrovaly směrem dolů. Aby se zabránilo podhodnocení, mají se záznamy z nestacionárních manévru zpracovávat odděleně, jako průběhy závislosti zrychlení na čase.

**Příloha B**  
(informativní)



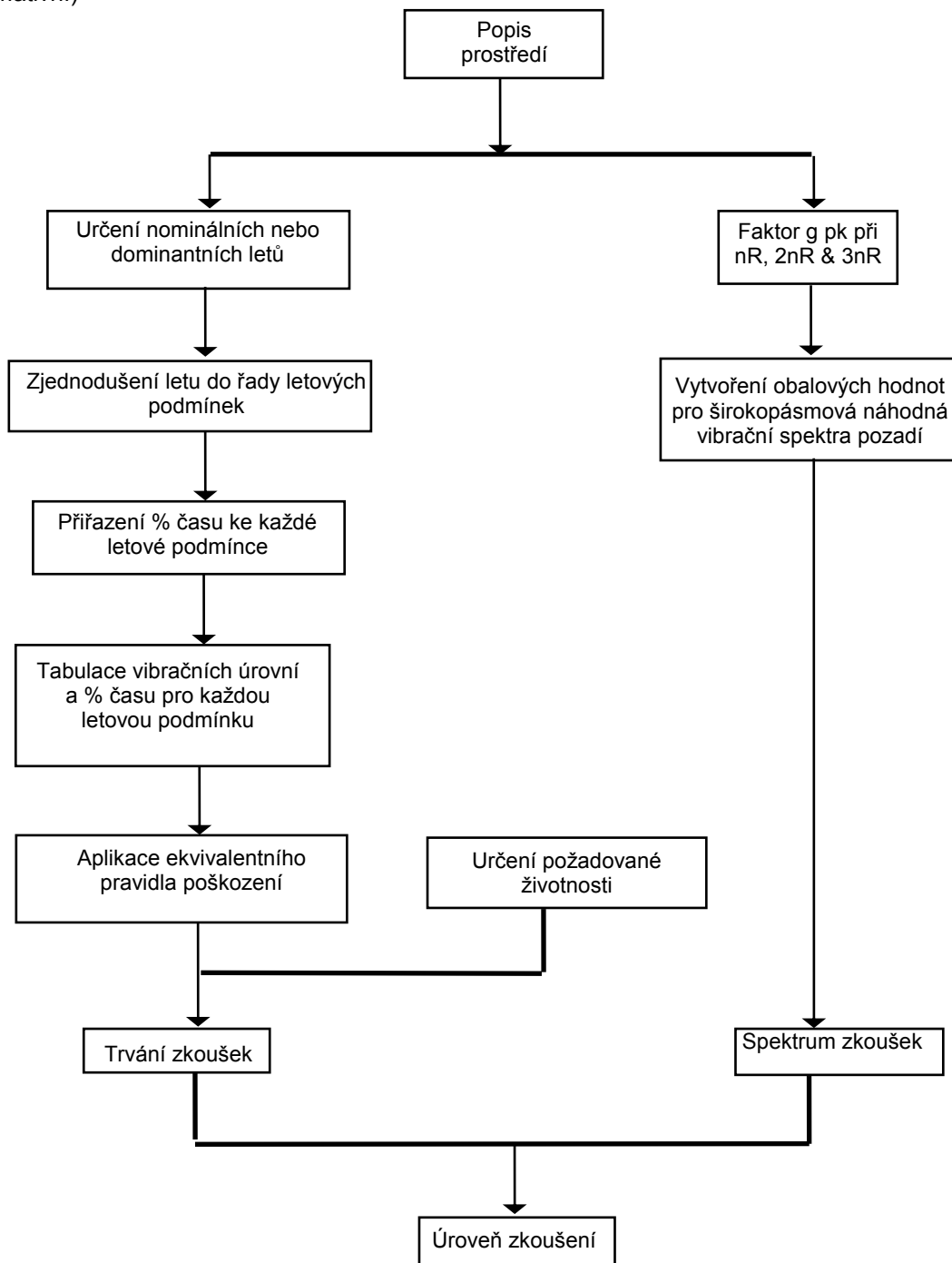
**OBRÁZEK B1 - Letové podmínky a jejich relativní náročnost**

**Příloha B**  
(informativní)



**OBRÁZEK B2 - Odvození popisu prostředí z naměřených údajů**

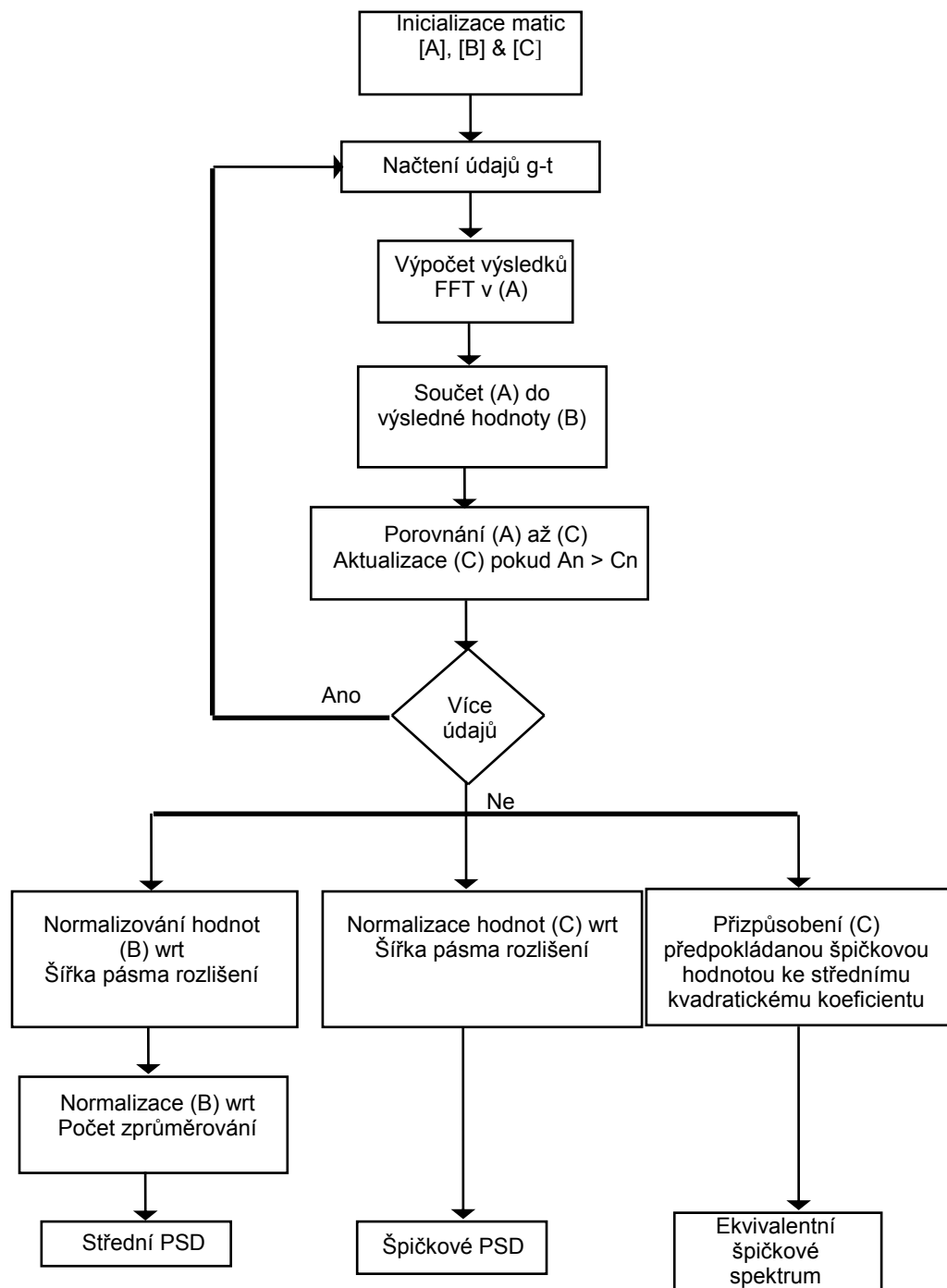
**Příloha B**  
(informativní)



**OBRÁZEK B3 - Odvození úrovní vibračních zkoušek z popisu prostředí**



**Příloha B**  
(informativní)



**OBRÁZEK B4 - Výpočet středního a špičkového PSD**

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2  
Kapitola 247/1

(VOLNÁ STRANA)

**KAPITOLA 248**  
**ČÁST 248/1**  
**INSTALACE NA A V HLADINOVÝCH LODÍCH**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	228
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	228
2.1 Palubní strojní zařízení .....	228
2.2 Údery vln .....	229
2.3 Nárazy moře .....	229
2.4 Plavba lodi .....	229
2.5 Střelba a odpalování střel .....	229
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	229
3.1 Způsoby závad .....	229
3.2 Důsledky.....	230
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	230
4.1 Možnosti .....	230
4.2 Palubní strojní zařízení .....	231
PŘÍLOHA A PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÉ PROSTŘEDÍ.....	234
PŘÍLOHA B ODVOZENÍ ÚROVNÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ .....	238

## **ČÁST 248/1**

### **INSTALACE NA A V HLADINOVÝCH LODÍCH**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Obsah této části se zabývá mechanickým prostředím, jemuž může být vystaven materiál při použití nebo instalaci na hladinových lodích poháněných jaderným nebo konvenčním pohonem.

V části jsou popsány zdroje, charakteristiky a škodlivé účinky mechanického prostředí. V příloze A je obsažena informace o důležitých faktorech ovlivňujících mechanické prostředí. Tam, kde je to vhodné, je poskytnuta informace o výběru odpovídající zkušební metody z AECTP-400. V příloze B je uvedeno vodítko pro shromažďování údajů k popisu prostředí a k odvození náročnosti zkoušek z naměřených údajů.

Informace v této části se týkají pouze hladinových lodí s konvenční konstrukcí trupu. V této části nejsou zahrnuty prostředky, jako jsou křídlové čluny nebo vznášedla.

Aspekty související s použitím nebo instalací materiálu na hladinových lodích, které v této části nejsou zahrnuty, jsou:

- a. Činnost protivníka: Náročná prostředí vznikající v důsledku činnosti protivníka, jako je podvodní nebo letecký útok, mohou ovlivňovat hlavní konstrukční parametry, ale jsou mimo rozsah tohoto ČOS. Pro informace o takových akcích je třeba se obrátit na akviziční úřad.
- b. Pohonné systémy: Prostor, jemuž je vystaveno zařízení na základové desce pohonného systému způsobené provozem pohonného systému, je vyloučeno. Informace a údaje by měl k tomu dodat dodavatel pohonného zařízení. Jsou zahrnuta prostředí na styčné ploše mezi základovou deskou a lodí.

Úroveň vibračních amplitud na hladinových lodích jsou relativně neškodné. Navíc požadavky na utajení tyto úrovně ještě snižují. Další faktor, který přispívá k udržení nízkých vibračních úrovní, je tolerance posádky, protože na rozdíl od tanků, nákladních automobilů nebo letounů posádka lodí žije na palubě mnohdy nepřetržitě i několik měsíců.

Mechanické prostředí, jemuž je vystaveno zařízení, je vyvoláváno činností palubního a strojního zařízení a moře. Mohou vzniknout následující prostředí

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Palubní strojní zařízení**

2.1.1 Činnost palubního strojního zařízení včetně generátorů, transformátorů, pohonných motorů, převodovek, otáčejících se hřídelí a šroubů, bude vyvolávat vibraci v používaném nebo instalovaném materiálu. Vibrační charakteristiky tohoto strojního zařízení, jímž bude materiál vystaven, budou zahrnovat typicky buzení na diskretních frekvencích superponovaných na základní širokopásmové náhodné vibrace.

2.1.2 Buzení na diskretních frekvencích budou odpovídat různým rotačním zdrojům v závislosti na poloze materiálu vůči těmto zdrojům. Vibrace na úrovni průchodu listů šroubu a související harmonické složky jsou často relativně výrazné. Tyto frekvence se mohou měnit s rychlostí v závislosti na druhu lodi. Například některé lodě dosahují změny rychlosti změnou otáček motorů a náběhového úhlu listů šroubu. Typický příklad vibračního spektra pocházejícího ze zadní části protiponorkové fregaty Velké Británie je uveden na obrázku 1. Tento obrázek také ukazuje frekvence otáčení hřídele. Spektra zrychlení ASD ze zadní části francouzské protiletadlové fregaty jsou uvedeny na obrázku 2.

2.1.3 Náhodná širokopásmová složka typického vibračního spektra vznikne z kumulativního efektu veškeré činnosti hladinové lodi, převažujících podmínek moře a vlivu reakčních dynamických charakteristik lodi.

## 2.2 Údery vln

Vliv vln dopadajících na trup lodi, tj. nárazy vln, mohou vyvolávat rázové zatížení. Není obvykle nezbytné provádět pro tyto podmínky zkoušky. Jakékoliv rázy, které lze očekávat, že se vyskytnou, mohou být zahrnuty do rázů souvisejících s manipulací.

## 2.3 Nárazy moře

Údery moře jsou lokalizovaný jev projevující se v případě, kdy relativně plochá spodní strana trupu lodi naráží na hladinu moře při relativně vysoké rychlosti při jízdě v bouřlivých mořích. Je tedy použitelnější pro materiál instalovaný v trupu pod hladinou ponoru. Přejídná zrychlení vyvolaná těmito nárazy u fregat a větších lodí mohou dosáhnout hodnoty 1 g. U menších lodí, například minolovek, byla zaznamenána přechodná zrychlení až 5 g. Pro tyto podmínky není obvykle nezbytné provádět zkoušky.

## 2.4 Plavba lodi

Činnost moře a počasí mohou vyvolávat cyklické pohyby na nízkých frekvencích (periody několik sekund) při kolébání, kymáčení a otáčení. Tyto pohyby jsou přibližně jednoduché harmonické s přirozenou periodou závislou na charakteristice lodi. Příklady hodnot pohybu lodi pro stav moře 7 jsou uvedeny v tabulce 1. Protože úroveň jsou tak nízké, není obvykle nezbytné pro tyto podmínky provádět zkoušky.

## 2.5 Střelba a odpalování střel

Lodní kanóny mohou vyvolat rázové reakce v přilehlém zařízení. Tyto reakce vznikají v důsledku tlakové vlny a v menším rozsahu v důsledku zákluzu zbraně. Tlaková vlna je způsobena výstupem a rychlou expanzí hnacích plynů po výstupu projektilu z ústí hlavně. Tyto podmínky a podmínky spojené s odpálením střel jsou vysoce závislé na druhu kanónu nebo střely a poskytnutí nějakých obecných informací týkajících se potřebnosti zkoušek je z tohoto důvodu nevhodné.

# 3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY

## 3.1 Způsoby závad

Materiál může být citlivý na tři možné způsoby závad, tj. související s posunem, rychlostí a zrychlením. Závady související s posuny v materiálu mohou vzniknout v důsledku nárazů mezi zařízeními po relativním pohybu, přetržení po relativním

pohybu; uvolnění konektorů vedoucí k přerušení elektrických obvodů. Závady související se zrychlením mohou vzniknout v důsledku působení setrvačného zatížení. Tato zatížení mohou být aplikována jednou a vytvořit závadu v důsledku překročení limitní hodnoty nebo mohou působit opakovaně a způsobit únavovou závadu. Závady související s rychlostí nejsou tak běžné, jako ty, které souvisí s posuny nebo zrychlením. Rychlostní zatížení může však u některých elektrických zařízeních, včetně senzorů, vyvolat rušivá napětí, která zpětně mohou vést k funkčním poruchám.

### **3.2 Důsledky**

- 3.2.1 Aby byl materiál chráněn proti vlivům podvodního útoku, je často vybaven protirázovými úchyty. Naneštěstí materiál upevněný pomocí těchto zařízení může v důsledku toho vykazovat přirozené frekvence ve frekvenčním rozsahu souvisejícím s palubním rotačním strojním zařízením. Pokud se projeví souběh buzení a reakčních frekvencí, může mít za následek nadměrné posuny materiálu. Taková koincidence může vést k degradaci protirázových úchytů a samozřejmě i materiálu.
- 3.2.2 Ačkoliv vibrační prostředí hladinových lodí je pro většinu materiálu neškodné, je třeba si všimnout, že v závislosti na operačním určení lodi může být materiál vystaven danému prostředí nepřetržitě po dobu několika měsíců. V důsledku toho budou nejběžnější mechanismy závad, jako je například vysokocyklická únava, tření, otěr apod. časově závislé. Tyto druhy závad mají obzvláštní význam pro pružné a lehce tlumené komponenty, které mohou mít rezonance v rozsahu souvisejícím s frekvencemi průchodu lopatek lodního šroubu.
- 3.2.3 Tlaková vlna související s dělostřeleckou palbou může vyvolávat strukturální poškození konstrukcí lodí v blízkosti ústí kanónu, tj. v blízké oblasti. V této oblasti tedy materiál v blízkosti ústí, ale chráněný před tlakovou vlnou, může být vystaven účinkům zbytkového mechanického rázu souvisejícího s dělostřeleckou palbou. Dále od ústí kanónu, tj. v daleké oblasti, bude materiál vystaven účinkům souvisejícím s intenzivními nízkofrekvenčními vibracemi odpovídajícími kadenci dělostřelecké palby. Možné nepříznivé účinky v této oblasti vzniknou při spojení kadence dělostřelecké palby se strukturálními vibracemi nebo s přirozenými frekvencemi instalovaného materiálu.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Možnosti**

- 4.1.1 Pro zkoušení materiálu, který se má použít v prostředí určeném v kapitole 2, jsou k dispozici laboratorní zkoušky nebo námořní zkoušky. Námořní zkoušky jsou nezbytné v případě, kdy materiál vstupuje významně do reakce s dynamikou lodi. Námořní zkoušky mohou být požadovány v případě, že materiál je citlivý a nejsou k dispozici odpovídající údaje, na nichž by bylo možno založit laboratorní zkoušky s odpovídající přesností. Výhodou námořních zkoušek je, že všechny jednotky jsou ve svých správných relativních polohách a všechna mechanická působení jsou realistická. V důsledku toho mohou námořní zkoušky potenciálně vystavit materiál odpovídajícím mechanismům závad, což v případě laboratorních zkoušek není

možné. Ve skutečnosti však je vysoce nepravděpodobné, že námořní zkoušky by mohly mít dostatečně dlouhé trvání, aby vyvolaly časově závislé mechanismy poruchy uvedené v kapitole 3 výše. Navíc úroveň mechanického prostředí hladinových lodí může záviset na převažujícím stavu moře a to nelze při plánování zkoušek předvídat. Simulace prostředí v laboratoři je obvykle vhodná pro všechny materiál kromě nejrozměrnějších položek.

4.1.2 S výjimkou dělostřelecké palby (viz článek 2.6) jediné prostředí, pro něž může být vyžadováno zkoušení, je prostředí pokrývající účinky palubního strojního zařízení a hřídele šroubu.

#### 4.2 Palubní strojní zařízení

Pro toto prostředí se doporučuje použít zkoušku s rozmítanou sinusovou frekvencí uvedenou v AECTP-400, Metoda 401 - Vibrace. Tato zkouška je použitelná pro materiál instalovaný ve všech oblastech hladinových lodí, včetně hlavic stožárů, exponovaných horních palub, chráněných prostorů a trupu pod čárou ponoru.

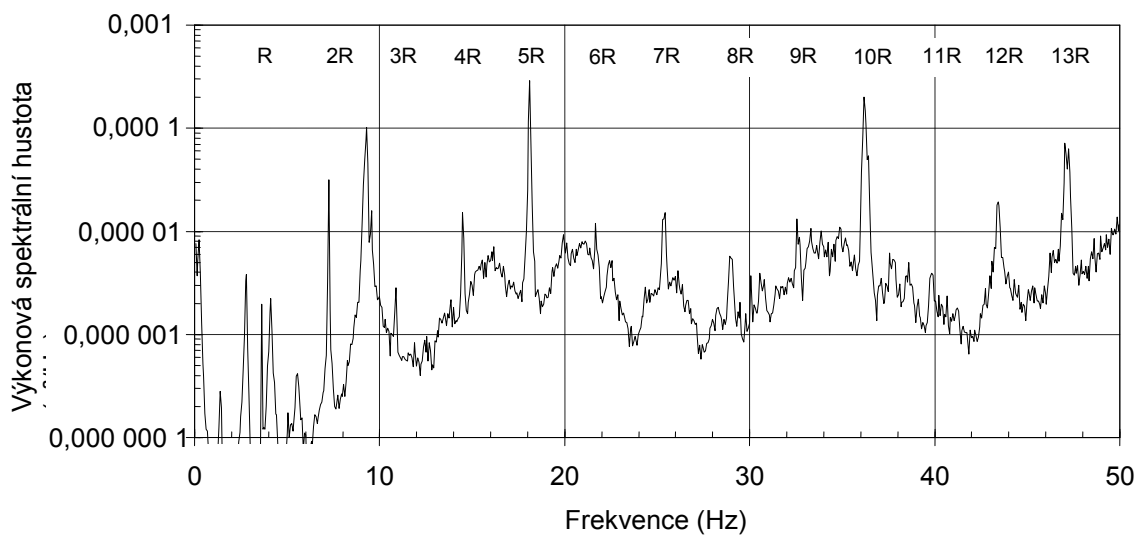
**TABULKA 1 - Údaje o pohybu lodi**

Kolébání (Nestabilizované)		Kymácení		Zatáčení	Házení	
Perioda (s)	Amplituda (deg)	Perioda (s)	Amplituda (deg)	Zrychlení při pohybu lodi (deg/sec <sup>2</sup> )	Perioda (s)	Amplituda (m)
10	±18	5 až 6	±8	1,75	7	±3,5

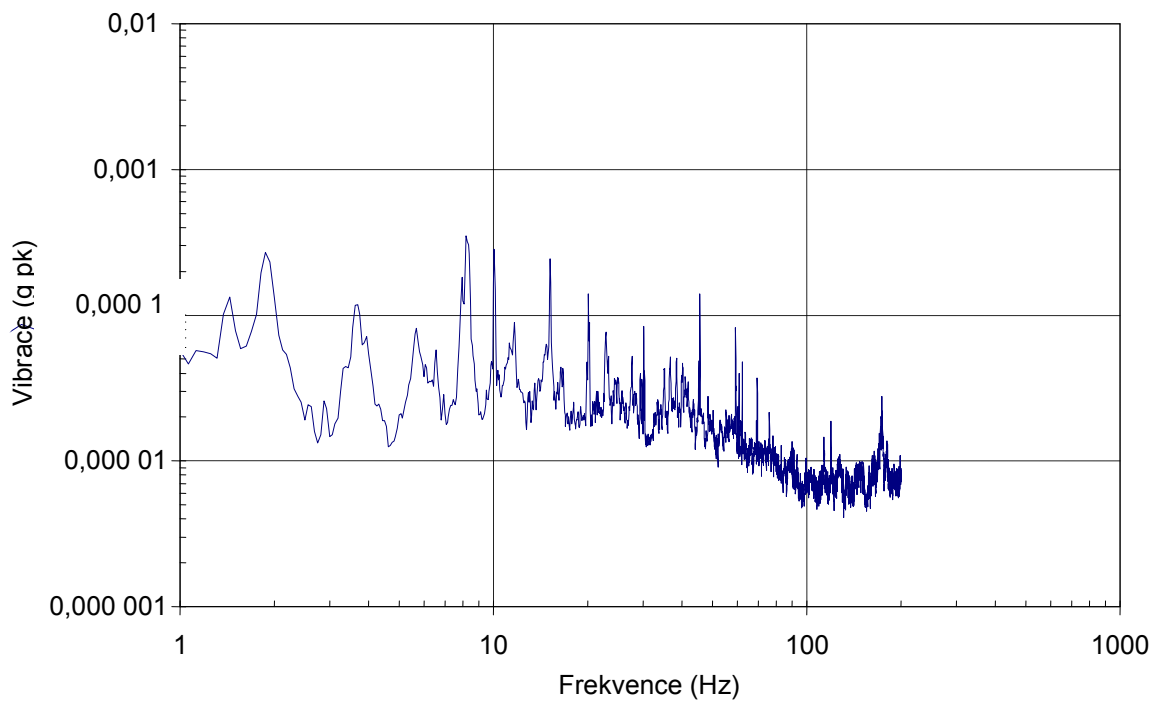
Poznámky k tabulce 1:

- (1) Všechny údaje se vztahují ke stavu moře 7, výška vln 6 až 9 m.
- (2) Tyto statisticky důležité údaje jsou definovány jako průměr třetích nejvyšších špičkových hodnot a existuje 13% pravděpodobnost překročení těchto hodnot.
- (3) Hodnoty RMS, které mají numerickou hodnotu stejnou jako polovina platné hodnoty, jsou překročeny o 60%.

(Odvozeno z normy Velké Británie NES 1004)

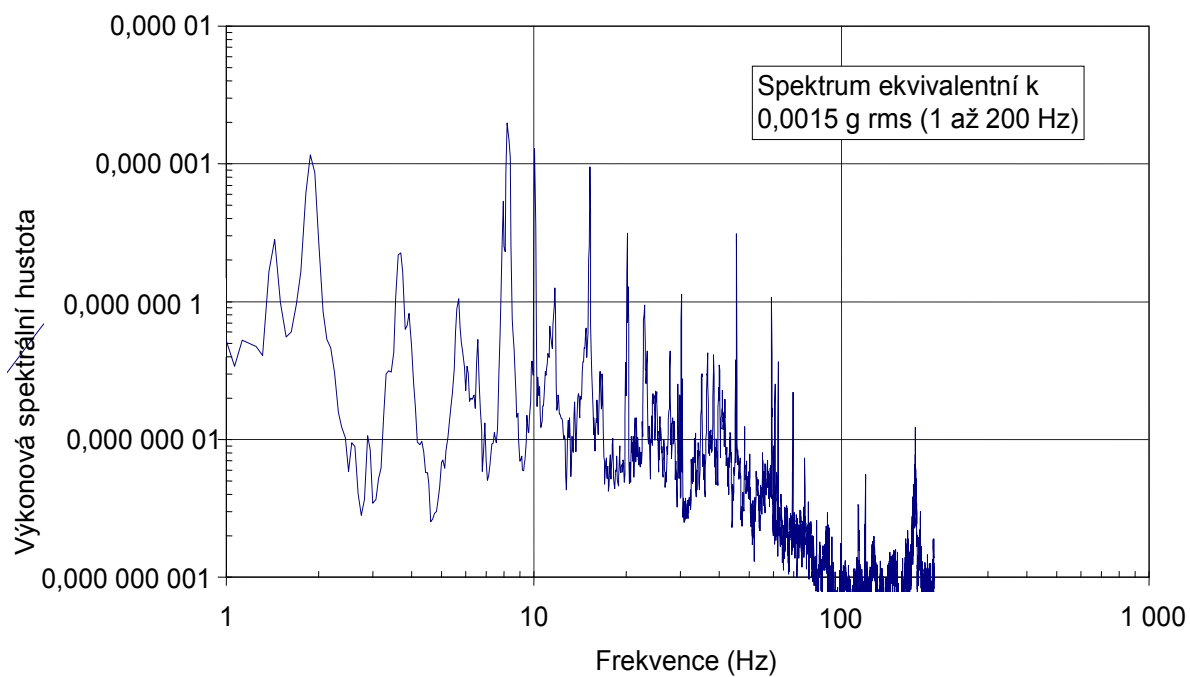


**OBRÁZEK 1 - Určení složek frekvence hnací hřídele ve vibračním spektru fregaty**



a: Špičkové vibrační spektrum (g pk)





b: Střední výkonová spektrální hustota

**OBRÁZEK 2 - Vibrační spektrum protiletadlové fregaty (F70)**

## **PŘÍLOHA A**

### **PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANICKÉ PROSTŘEDÍ**

#### **A.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

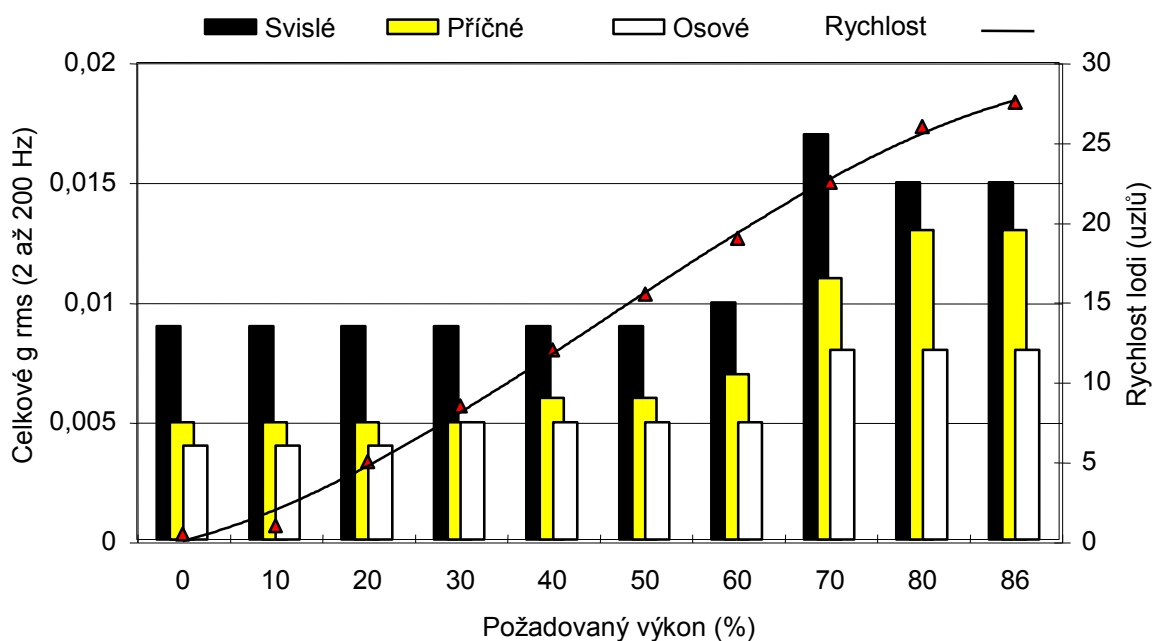
- A.1.1 Jen zřídka budou k dispozici naměřené vibrační údaje palubního strojního zařízení pro všechny provozní podmínky. Je tedy užitečné, zejména pro citlivý materiál, seznámit se s účinky různých parametrů na úroveň vibrací. Toho se obvykle dosahuje odvozením empirických předpovědních modelů z naměřených údajů získaných při dobře naplánovaném programu.
- A.1.2 Vibrační amplitudy na malých lodích, jako jsou např. motorové torpédové čluny, mohou být vzhledem k jejich vysokému výkonu relativně vysoké. U malých prostředků budou přenosové cesty od strojního zařízení k instalovanému materiálu krátké a tlumení vibrací bude omezeno. Zatímco velké lodi budou vystaveny méně škodlivému vibračnímu prostředí než malé lodi, speciálním případem jsou letadlové lodi. To vyplývá z požadavků vysokého výkonu a instalace nezbytných výkonných pohonných systémů. Provoz letounů, jako je start a přistání, může také vyvolávat vibrační a rázové zatížení na konstrukci lodí.
- A.1.3 Vzhledem k relativně neškodnému prostředí vznikajícímu v důsledku podmínek uvedených v této části, omezují se následující parametry na parametry vztahující se pouze k přenosu vibrací z palubního strojního zařízení, ať už je u instalovaného materiálu použito protirázové upevnění, či nikoliv.

#### **A.2 PALUBNÍ STROJNÍ ZAŘÍZENÍ**

- A.2.1 Rychlost: Lze očekávat, že vibrace se zvýší se zvyšující se rychlostí, avšak maximální vibrace nemusí nezbytně souviset s maximální rychlostí. Větší vliv než rychlost budou mít výkonové požadavky nebo poloha řídicí páky výkonu (PCL). Některé lodě reagují na výkonové požadavky změnou jak rychlosti otáčení motoru, tak postavením lodního šroubu podle předem určených pravidel. Obrázek A1 ukazuje údaje získané na fregatě, která ilustrují, jak se mohou vibrace měnit podle nastavení PCL; na obrázku jsou také uvedeny odpovídající rychlosti lodí.
- A.2.2 Asynchronní chod: Některé lodě jsou vybaveny násobnými pohonnými systémy a někdy jsou provozovány pouze s jednou pracující částí a jednou částí ve „výcvikovém režimu“; tento stav se nazývá asynchronní chod. Mohou se projevit rozdíly v úrovni vibrací při asynchronním a synchronním chodu.
- A.2.3 Uspořádání motoru: Některé lodě jsou vybaveny několika motory na jednu pohonnou linii. Lze očekávat rozdíly v úrovni vibrací v závislosti na tom, jaké uspořádání motoru je používáno.
- A.2.4 Obraty: Lze očekávat, že obraty doprava i doleva budou stejně náročné a budou mít větší náročnost než odpovídající dopředný pohyb, jak je ukázáno na obrázcích A2 a A3.

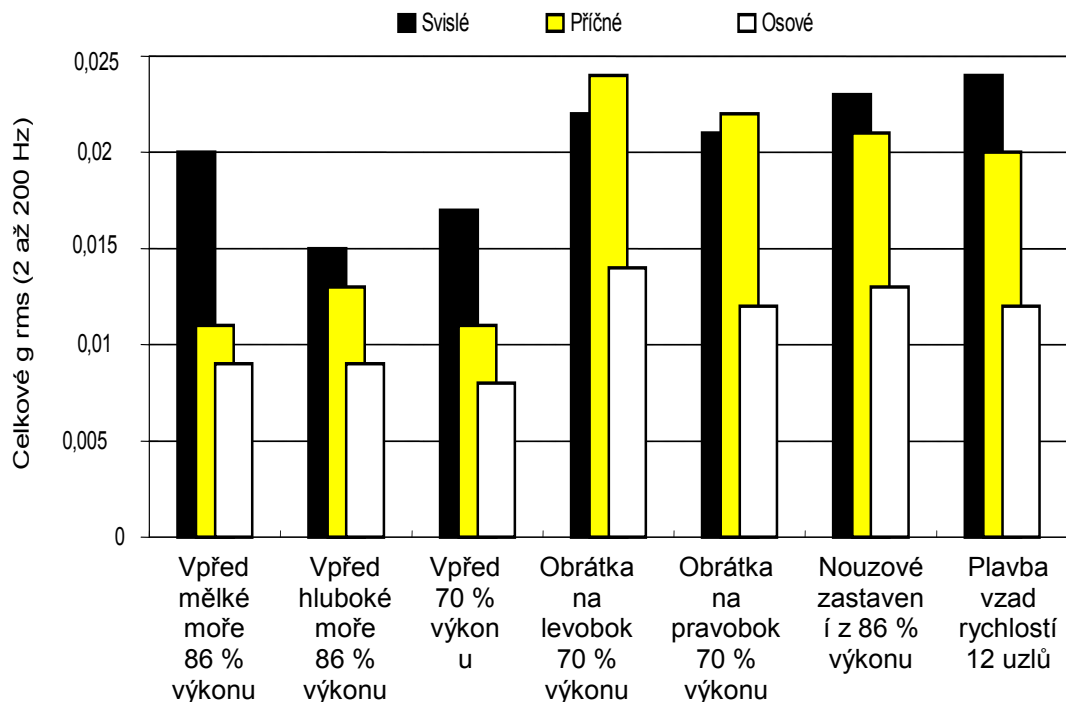
**Příloha A**  
(informativní)

- A.2.5 Nouzové zastavení: Lze očekávat, že tato podmínka vyvolá relativně náročné vibrace, i když pouze krátkodobé. Časový průběh zrychlení (g rms) pro nouzové zastavení je uveden na obrázku A4.
- A.2.6 Chod vzad: Vibrace související s touto podmínkou mohou překročit úroveň vibrací při plném chodu vpřed, avšak pokud se týče nouzového rychlého zastavení, mají vibrace tendenci mít nestacionární charakter.
- A.2.7 Hloubka moře: Určité vibrační podmínky budou pravděpodobně náročnější v mělkých vodách než v hlubokých, vzhledem k odrazům od dna moře. Za mělkou vodu se obecně považuje hloubka menší než pětinašobek ponoru lodi.
- A.2.8 Stav moře: Lze očekávat, že obecné vibrační prostředí na palubě lodi bude mnohem náročnější se zhoršujícím se stavem moře. K tomu dochází v důsledku nárazů vln, slapových pohybů vln a zvýšených požadavků na pohonný systém.



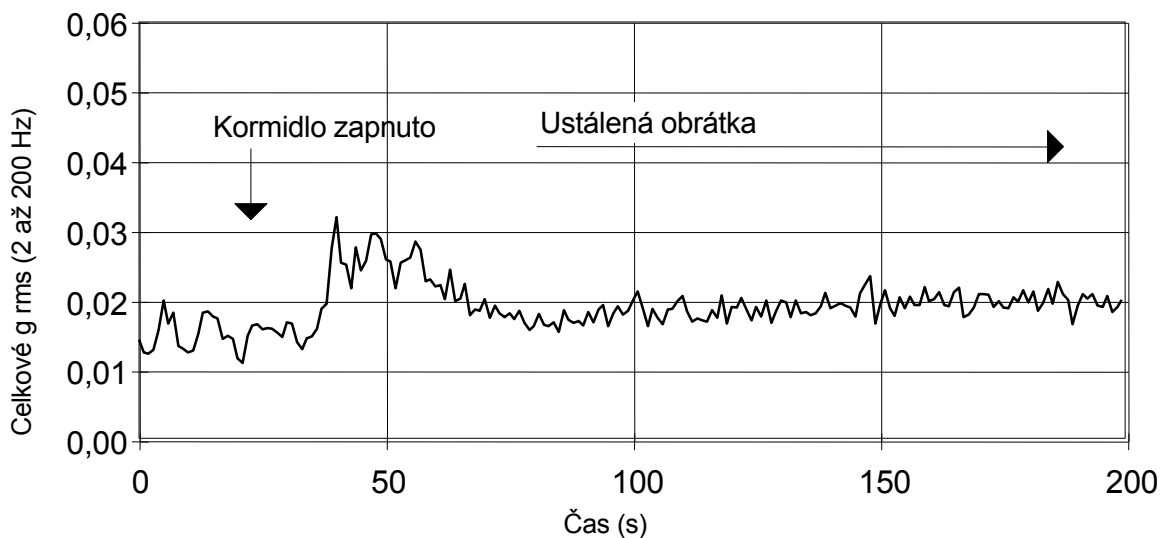
**OBRÁZEK A1 – Vibrační úroveň (g rms) v závislosti na požadovaném výkonu**

**Příloha A**  
 (informativní)

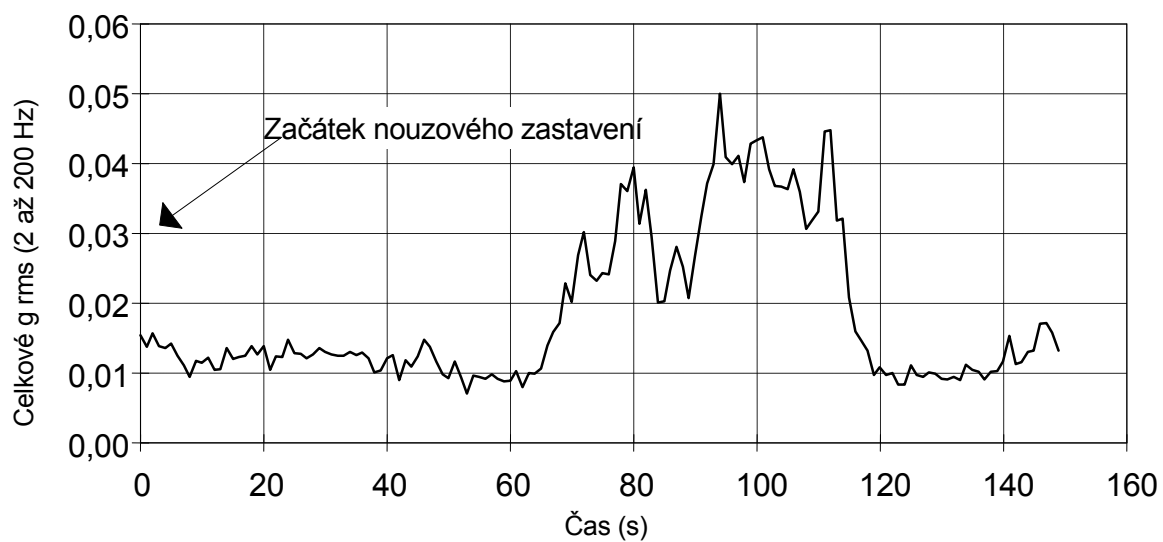


Režimy plavby

**OBRÁZEK A2 – Porovnání účinků různých situací při plavbě lodi**



**OBRÁZEK A3 – Strukturální vibrační odezvy lodi při obrátce na pravobok**



**OBRÁZEK A4 – Strukturální vibrační odezvy lodi při nouzovém zastavení**

## **PŘÍLOHA B**

### **ODVOZENÍ ÚROVNÍ NÁROČNOSTI ZKOUŠEK Z NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ**

#### **B.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

B.1.1 Tento oddíl vysvětluje, jak lze odvodit úroveň náročnosti vibračních zkoušek z naměřených údajů. Úrovně jsou založeny na popisu prostředí, jehož odvození je vysvětlováno jako první.

#### **B.2 ODVOZENÍ POPISU PROSTŘEDÍ**

B.2.1 Popis prostředí pro materiál instalovaný na nebo v lodi má obecně zahrnovat pro tento materiál a pro každé relevantní podmínky provozu lodi frekvenční reakční charakteristiky a amplitudy a časový průběh veškerých přechodných jevů. Tato informace má být základem pro zkoumání trendu, tj. jak je náročnost ovlivněna rychlostí. Myšlenky vyjádřené dále mají být použity pro odvození popisu prostředí z naměřených údajů. Jsou také rozebírány postupy využívající prvky popisu prostředí pro vytváření zkušebních spekter a určení doby trvání.

B.2.2 Vzhledem na spektrální charakteristiky je nutno zvažovat dvě části spektra, tj. širokopásmové vibrace pozadí a úzkopásmové špičkové hodnoty související s rotujícím strojním zařízením.

- a. Širokopásmová složka: Obecně lze očekávat, že spektrální charakteristiky širokopásmové složky, tj. tvar grafu PSD budou stabilní s ohledem na mnoho parametrů.
- b. Úzkopásmové složky: Frekvence dominantních úzkopásmových složek budou odpovídat frekvenci průchodu listu šroubu a jeho harmonických složek. Odchytky amplitud pro tyto složky mohou být problémem v případě, že frekvence se mění s rychlostí. To může vést k podhodnocení úrovně závažnosti vzhledem ke zprůměrujícímu efektu odpovídajícímu analýze PSD. Jedním z řešení je získání údajů při velkém počtu konstantních rychlostí, které mohou být potom analyzovány odděleně. Podobně, pokud nejsou rychlosti během záznamu konstantní, lze použít vývojových spekter (kaskádové grafy). Další možností je použití synchronizačního filtru připojenému k signálu otáčení hřídele. Aby bylo možno vytvořit jednoznačnou definici, má se v obou případech úroveň spojit s šířkou pásma rozlišení. V extrémních případech může být úroveň související s těmito složkami založena na spektrech špičkových hodnot, aby se vyloučilo, že jejich závažnost bude podrobena zprůměrujícím postupům.

#### **B.3 ODCHYLKA ZKUŠEBNÍCH VIBRAČNÍCH AMPLITUD**

B.3.1 Aby bylo možno transformovat popis prostředí sestavený z naměřených údajů na úroveň náročnosti, musí se prvky popsané výše upravit tak, aby reprezentovaly úroveň náročnosti předpokládanou při provozních podmínkách. Zatímco z principu je žádoucí, aby zkušební amplitudy představující takové

**Příloha B**  
(informativní)

mezní podmínky byly vyjádřeny, pokud jde o pravděpodobnost výskytu, tj. 1 na 500 případů nebo úroveň 2,88, jen zřídka bude praktické to provádět přesně vzhledem k velkému množství údajů požadovaných pro vytvoření statistických souborů. Z tohoto důvodu je ve většině případů nutné při vytváření limitních podmínek z naměřených údajů vyžádat expertní zhodnocení. Pro informaci lze uvést, že pouze za výjimečných okolností mohou zkušební úrovně náročnosti překročit úrovně uvedené výše.

**B.3.2** Přeměna náhodných vibrací pozadí a prvků souvisejících s frekvencí průchodu listu lodního šroubu na zkušební spektra se provádí odděleně. Postup zahrnuje následující fáze:

- a. Aby bylo možno vytvořit praktické zkušební spektrum, je často třeba zjednodušit náhodný prvek pozadí z popisu prostředí. Toho lze dosáhnout obalením naměřeného spektra řadou přímých segmentů, které sledují základní trend charakteristiky PSD. Výsledné  $g_{rms}$  má reprezentovat limitní podmínky nebo nominální předpověděnou pravděpodobnost výskytu, tj. 1 na 500 úrovní.
- b. Amplitudy naměřené na frekvencích souvisejících s průchodem listu lodního šroubu se posuzují odděleně pro ustálený stav a pro přechodné podmínky. Pro obě podmínky mají být určeny amplitudy odpovídající limitním podmínkám nebo nominální pravděpodobnosti výskytu. U některých lodí se tyto frekvence mohou měnit v závislosti na rychlosti. Pro rozpoznání ve zkušebním spektru, zda frekvence těchto složek je závislá na rychlosti, mají být na odpovídající frekvenční rozsah rozložena úzká pásma. Podobně by se mohlo širokopásmové spektrum vytvarovat tak, aby zahrnuje tyto špičkové hodnoty, a tím se vyloučí použití úzkých pásem na úkor stupně nadměrného zkoušení.
- c. Hodnoty odvozené (a) pro náhodný prvek pozadí a (b) pro ustálené podmínky související s průchodem lopatky lodního šroubu se mají pak znovu zvážit, aby bylo možno určit, zda je nezbytné další zvýšení úrovní, zahrnující následující parametry:
  - Podmínky lodi.
  - Varianty lodi jak v rámci druhu, tak mezi různými druhy, pokud je to vhodné.
  - Alternativní schémata instalace.
  - Poloha a osa měření.

Prakticky je nepravděpodobné, aby náhodný prvek pozadí vyžadoval další zvýšení pro zahrnutí těchto parametrů, ale podrobné zvážení mohou vyžadovat složky související s průchodem lopatek šroubu.

## **B.4 ODVOZENÍ DOBY TRVÁNÍ ZKOUŠKY**

**B.4.1** Délka trvání zkoušky se má založit na požadované životnosti materiálu a profilu použití odpovídajících lodí.

## **Příloha B**

(informativní)

B.4.2 Trvání zkoušky: Délka trvání zkoušky se má založit na požadované životnosti materiálu a profilu použití odpovídajících lodí. Aby se vyloučilo neprakticky dlouhé trvání zkoušek, je obecnou praxí používat pravidla pro únavové poškození, jako je například Minerovo pravidlo. Toto pravidlo je známo též jako „zveličovací vzorec“ a je vyjádřeno následujícím způsobem:

$$t_2 = t_1 (S_1 / S_2)^n$$

kde

$t_1$  = skutečné trvání v požadavcích charakterizovaných měřenou úrovní

$t_2$  = ekvivalentní trvání na zkušební úrovni

$n$  = zveličovací exponent

### Pro úroveň rms

$S_1$  = úroveň rms měřeného spektra

$S_2$  = úroveň rms zkušebního spektra

$n = b$  = zveličovací exponent, typicky se používají hodnoty mezi 5 a 8

### Pro úroveň ASD

$S_1$  = úroveň ASD měřeného spektra

$S_2$  = úroveň ASD zkušebního spektra

$n = b/2$  = zveličovací exponent, typicky se používají hodnoty mezi 2,5 a 4

Exponent „b“ odpovídá sklonu únavové křivky (S/N) pro odpovídající materiál. Hodnota „b“ rovna 8 je odpovídající pro popis chování kovových struktur, jako je ocel a hliníkové slitiny, které vykazují v podstatě lineární průběh deformační křivky. S menší důvěryhodností je možno vzorec použít pro nelineární materiály a kompozity. Pro elektronická zařízení a nekovové materiály, elastomery, kompozity, plastické hmoty a výbušniny se doporučuje hodnota „b“ rovna 5.

Ačkoliv zkušenosti ukázaly, že z aplikace vzorce na vojenský materiál vyplývají některé výhody, má se používat s opatrností, aby se vyloučily nereprezentativní závady. V žádném případě nemají být zkušební úrovně zvyšovány nad maximální úrovně, jimž bude vystaveno zařízení během své provozní životnosti s použitím zkušebního faktoru založeného na statistických údajích. Kromě toho, pokud je zřejmé, že materiál není úplně připevněn k vozidlu, je Minerovo pravidlo zcela neplatné a nemělo by se použít. V takových případech se doporučuje jako alternativu zvážit zkoušku Volný náklad (AECTP-400, Metoda 406 ČOS 999902).



**Příloha B**  
(informativní)

B.4.3 Zjednodušený příklad odvození doby trvání zkoušky s použitím těchto úvah je uveden dále.

Podmínka	Výkon (%)	Index úrovně náročnosti	Čas		
			%	min	ekvivalent
Dopředu	100	0,8	10,0	6,0	2,00
Dopředu	70	0,6	47,0	28,2	2,19
Dopředu	40	0,4	10,0	6,0	0,06
Zatáčení	100	1,0	5,0	3,0	3,00
Zatáčení	70	0,8	25,0	15,0	4,92
Zpětný chod	-	1,0	2,0	1,2	1,20
Nouzové zastavení	-	1,0	0,5	0,3	0,30
Celkem:			100,0	60,0	17,67

Poznámky k tabulce:

1. Zkouška v trvání 17,67 minut odpovídá 60 minutám v provozu.
2. Index úrovně náročnosti je celkové g rms normalizované s ohledem na maximální naměřené celkové g rms (související v tomto případě se zpětným chodem a nouzovým zastavením).

B.4.4 Jak bylo uvedeno v článku B.4.2, při pokusu o urychlení zkoušek jak je uvedeno výše, je dobrým zvykem nezkoušet na úrovních vyšších než ty, které se vyskytují při provozu. Avšak protože v tomto případě mohou být úrovně vibrací velmi nízké, může být přípustné další snížení trvání zkoušek použitím vyšších úrovní zkoušek, než přísluší odpovídajícímu prostředí. Například úrovně související se silniční přepravou se mohou považovat za základ pro zkoušení.

B.4.5 Výše uvedená metoda výpočtů trvání zkoušek bude normálně používána s podmínkou, že maximum bude 17 hodin na osu.

**KAPITOLA 249**  
**ČÁST 249/1**  
**LETECKÉ A POZEMNÍ ZBRANĚ**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	244
2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ.....	244
2.1 Odpálení z letounu - přechodové jevy související s odpálením .....	244
2.2 Odpálení z letounu - poruchy související s odpojením.....	244
2.3 Odpálení z vozidla.....	245
2.4 Odpálení ze země nebo ze sila.....	245
2.5 Odpálení z dělostřelecké hlavně.....	245
2.6 Ostatní způsoby odpálení .....	245
2.7 Let se zapnutým motorem.....	245
2.8 Manévrování za letu.....	246
2.9 Let s vypnutým motorem.....	246
2.10 Oddělení a vynesení .....	246
2.11 Rotace.....	247
2.12 Zpomalení pomocí padáku.....	247
2.13 Vstup do vody.....	247
2.14 Vymrštění submunice .....	247
2.15 Dopad submunice .....	248
2.16 Nové přístupy .....	248
3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY.....	248
3.1 Všeobecná ustanovení.....	248
3.2 Odpálení z letounu/Manévrování/Zpomalení pomocí padáku .....	248
3.3 Odpálení ze země/Poháněný let .....	248
3.4 Odpálení z hlavně/Oddělení/Dopad .....	249
4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY.....	249
4.1 Odpálení z letounu - přechodové jevy související s vymrštěním.....	249
4.2 Odpálení z letounu - poruchy související s uvolněním.....	249
4.3 Let se zapnutým motorem.....	249

4.4 Oddělení a vynesení .....	250
4.5 Zpomalení pomocí padáku.....	250
4.6 Oddělení submunice .....	250
PŘÍLOHA A ODKAZY.....	256

## **ČÁST 249/1**

### **LETECKÉ A POZEMNÍ ZBRANĚ**

#### **1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ**

Tato část se zabývá mechanickým prostředím, jemuž mohou být vystaveny letecké a pozemní zbraně, včetně řízených střel, pum a projektilů během jejich oddělení od nosného prostředku a během jejich autonomního letu na cíl. Jsou uvedeny zdroje a charakteristiky mechanického prostředí a tam, kde je to vhodné, doplněny odkazy v příloze A. Pokud je to vhodné, je poskytnuta informace o potenciálně škodlivých účincích, opravných prostředcích a výběru odpovídajících zkušebních metod z AECTP-400.

#### **2 CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ**

##### **2.1 Odpálení z letounu - přechodové jevy související s odpálením**

2.1.1 V podvěsech jsou během uvolnění pomocí uvolňovací jednotky poháněné pyropatronou indukována závažná přechodová zrychlení. Účelem uvolňovací jednotky je zabezpečit bezpečné uvolnění podvěsu od vysoce výkonného letounu. Ostatní zařízení, jako jsou různé uvolňovací jednotky pracující na základě gravitace, používané pro uvolňování zásobníku od vrtulníku a kolejová odpalovací zařízení používaná pro uvolnění některých druhů řízených střel od letounu, nevyvolávají v podvěsech podstatná přechodná zatížení.

2.1.2 V závislosti na konkrétní kombinaci letoun/podvěs mohou přechodové jevy působící na podvěsy v důsledku činnosti uvolňovací jednotky dosahovat úrovně zrychlení až 40 g, zatímco tvary pulzu jsou polosinusové a trvání se typicky pohybuje v rozsahu 10 až 40 ms. Síly při náporovém vystřelení mohou dosahovat 50 kN. Typický časový průběh náporové síly je ukázán na obrázku 1. Další informace jsou uvedeny v příloze A, kapitola A1.

2.1.3 Relativně vysoké amplitudy a dlouhé trvání těchto pulzů často vytváří kritické případy zatížení. V důsledku toho jsou pro odvození konkrétních, tj. přizpůsobených grafů zatížení - čas, pro něž je materiál konstruován, používáno modelování nebo zkušební střelby. Obecně použitelné nouzové úrovně nebo úrovně minimální integrity pro konstrukci takových zařízení nejsou vhodné pro aplikaci na přechodové jevy související s odpálením.

##### **2.2 Odpálení z letounu - poruchy související s odpojením**

2.2.1 Během oddělování podvěsu od letounu budou asymetrické vystřelovací síly vyvolávat závažné kymácivé pohyby zásobníku, které budou mít za následek výrazný aerodynamický tlak a síly zrychlení, které budou přenášeny na zásobník.

2.2.2 Požadavky aerodynamické konstrukce pro podvěsy mají zajistit, že síly související s uvolněním zásobníku budou rychle utlumeny. Nicméně síly působící na podvěs mohou dosahovat relativně vysokých amplitud a dlouhého trvání, což může mít za následek kritické zatížení. Pro vytvoření specifických,

tj. přizpůsobených zátěží, pro něž je materiál konstruován, se tedy používá modelování nebo zkoušení ve větrném tunelu. Nouzové úrovně nebo úrovně minimální integrity nejsou pro tyto podmínky vhodné.

### **2.3 Odpálení z vozidla**

S tímto způsobem odpálení nesouvisí žádné dodatečné závažné zatížení zbraně, kromě těch, které souvisí s materiálem instalovaným na vozidle (viz oddíl 245). Je však obvykle nezbytná podrobná znalost pohybu vozidla pro zvážení použití zbraně.

### **2.4 Odpálení ze země nebo ze sila**

2.4.1 Během odpálení může odraz plynů od odpalovací podložky nebo povrchu sila vyústit v závažné přechodové akustické a vibrační úrovně po celém zásobníku, které někdy vytváří nejvyšší provozní vibrační úrovně.

2.4.2 Amplitudy a trvání těchto přechodových jevů jsou samozřejmě specifické pro určitou konstrukci zásobníku a není tedy vhodné pro tyto případy používat nouzové úrovně. V každém případě je však vzhledem k vytvářeným vysokým hodnotám důležité provést měření co možná nejdříve, aby bylo možno potvrdit konstrukční předpoklady.

### **2.5 Odpálení z dělostřelecké hlavně**

V projektilích odpalovaných kanónem při průchodu celou délkou hlavně mohou být podélně indukované velmi vysoké síly zrychlení řádově 20 000 g. Navíc mohou být projektily vystaveny vysokým bočním silám zrychlení, často s podobnou velikostí a tedy také velmi vysoké rychlosti otáčení. Tyto projektily vyžadují speciální odpalovací zařízení, v nichž jsou prováděny konstrukční a kvalifikační zkoušky.

### **2.6 Ostatní způsoby odpálení**

Ostatní způsoby odpálení, jako je například odpálení munice z paluby hladinové lodi, jsou rozebrány v části 249/2, článek 2.4.

### **2.7 Let se zapnutým motorem**

2.7.1 Během hnací fáze letu mohou být určité části a díly střel, obzvláště ty, které jsou umístěny v blízkosti pohonného systému, vystaveny závažným vibračním vznikajícím v důsledku spalování paliva a dynamiky plynů. Tyto vibrace často zahrnují dvě fáze, tj. krátkou fázi s vysokou úrovní odvozenou od fáze zrychlení následovanou bezprostředně delší fází s nižší úrovní vznikající v průběhu fáze letu. Vibrační reakce jsou specifické pro konkrétní projekt, protože pro každou kombinaci střela/motor existují jedinečné výkonové charakteristiky. Je tedy nepraktické zabývat se v této části všemi kombinacemi. Jsou však popsány základní charakteristiky typických vibračních spekter a jsou určeny typické úrovně náročnosti.

2.7.2 Pro střelu s hnacím motorem na tuhé palivo jsou pozorovaná vibrační spektra u zařízení instalovaného před motorem přednostně širokopásmová náhodná a mají typicky podobu ukázanou na obrázku 2, ale dutiny v palivu vyvolávají rezonance, které se mohou někdy projevit jako sinusová buzení. Motory na kapalné palivo vytváří také přednostně širokopásmové náhodné vibrace v místě trysek. V pozorovaných vibračních spektrech zařízení umístěného na podobných místech ve střelách s hnacím náporovým motorem mohou však

převládat sinusová buzení vznikající v důsledku vnitřních dutin, jak je ukázáno na obrázku 3.

- 2.7.3 U jednotek umístěných v zádi vysokorychlostních střel poháněných motorem na tuhé palivo mohou být úrovně letových vibrací nejdůležitější z těch, jimž budou jednotky vystaveny. Navíc je třeba poznamenat, že naměřená vibrační spektra budou také obsahovat reakce vznikající v důsledku turbulentního proudu vzduchu pohybujícího se kolem střely. Typické vibrační spektrum pro jednotky umístěné v zadní části střely je ukázáno na obrázku 4. Reakce zrychlení (rms g) vznikající v důsledku turbulentního proudu vzduchu jsou obvykle úměrné dynamickému tlaku ( $q$ ) a jsou popsány v části 246/2. Pro zařízení umístěná ve střední části vysokorychlostní střely nemusí být vibrační úrovně vznikající v důsledku působení motoru obzvláště závažné a nemusí se podstatně odlišovat od úrovní vznikajících působením turbulentního proudu vzduchu. Typické vibrační spektrum pro vpředu umístěná zařízení je také ukázáno na obrázku 4. Pro zařízení umístěné v zadní části střely se důležité úrovně vibrací projevují při frekvencích přibližně 5 kHz, zatímco u vpředu umístěného zařízení tlumení vyšších frekvencí účinně snížilo frekvenční rozsah na 2 kHz.

## 2.8 Manévrování za letu

- 2.8.1 Při manévrování po odpálení může být střela vystavena silným zrychlením. Takovým zatížením může být vystavena také některá inteligentní submunice. Trvání manévru je relativně dlouhé a proto se jeho maximální hodnota zrychlení může obvykle považovat za podmínky kvazistatického zatížení. Protože tyto manévry jsou specifické pro daný druh střely, nepředpokládají se pro tyto podmínky žádné nouzové úrovně zatížení.
- 2.8.2 Tam, kde se pro manévrování střely používají moderní náporová zařízení, doporučuje se budící reakce vyhodnocovat pro všechna podstatná přechodová zrychlení.

## 2.9 Let s vypnutým motorem

Pro bezmotorovou fázi letu střely nebo zásobníku je k dispozici jen velmi málo údajů o úrovni vibrace. Přesto se však předpokládá, že úrovně letových vibrací během bezmotorového letu nebudou překračovat úrovně vznikající při motorovém letu uvedené výše nebo úrovně vyskytující se během vzdušné přepravy. Tím se zabezpečí, že dynamický tlak při bezmotorovém letu nepřekročí úrovně dosahované při poháněném letu nebo při vzdušné přepravě.

## 2.10 Oddělení a vynesení

- 2.10.1 Během oddělení a vynesení střely má působení pyrotechnických zařízení, jako jsou výbušné závěry (bleskovice) nebo usměrněné táhlé nálože, často za následek závažná rázová zatížení, která mohou mít formu napěťových vln nebo oscilačních akceleračních přechodových jevů.
- 2.10.2 Materiál umístěný v blízkosti pyrotechnického zdroje může být vystaven napěťovým vlnám s vysokou amplitudou. Tato situace nastává pravděpodobně tam, kde v naměřených údajích zrychlení převládají špičkové hodnoty s nízkou frekvencí tak, jak je ukázáno na obrázku 5. V těchto případech jsou metody zkoušek, které vystavují zařízení přechodovým zrychlením, nevhodné;

v důsledku toho je obvykle nezbytné speciální zkušební zařízení. Jedním z řešení je použití plynového kanónu pro vystřelování projektilů umístěného na nosiči, na kterém je namontováno zkoušené zařízení. Úroveň náročnosti zkoušek může být kontrolována monitorováním průběhu napětí na nosiči. Preferovaným řešením je provedení řady zkušebních střebeb a kompenzace spíše na skutečné než na vypočítané zkušební úrovni analýzou zaznamenaných náročností zkoušek a funkčních charakteristik materiálu na statistickém základě.

2.10.3 Materiál umístěný v určité vzdálenosti od pyrotechnického zdroje bude vystaven působení konstrukce reagující na buzení. Tato situace je identifikovatelná z naměřených údajů, kde v těchto reakcích převládají rezonance konstrukce, jak je ukázáno na obrázku 6.

2.10.4 Podrobná informace o mnoha aspektech pyrotechnického rázu, včetně úrovní rázu, jejich měření, tlumení a simulací je uvedena v příloze A, kapitola A.2. Nicméně vzhledem k odlišné povaze rázových mechanismů souvisejících s pyrotechnickými zařízeními je nevhodné používat pro konstrukční nebo zkušební účely zobecněné úrovni náročnosti.

## 2.11 Rotace

Pro zvýšení stability jsou některé projektily nebo submunice uvedeny během uvolňování do rotace. Rychlost otáčení se výrazně mění v závislosti na výkonových požadavcích. Je tedy nevhodné doporučovat obecné zkušební metody nebo rychlosti rotace. Pro vyvolání vysokých úrovní rotace se může požadovat speciální zkušební zařízení, například takové, které používá pro vyvolání otáčení motorové zařízení.

## 2.12 Zpomalení pomocí padáku

2.12.1 Projektily zpomalované pomocí padáku jsou obvykle vystaveny během rozvinutí padáku dvěma podstatným přechodovým zrychlením. První přechodové zrychlení je trhnutí, které se projeví, když nenafouknutý vrchlík je brzděn lany v okamžiku plného rozvinutí. Druhý přechodový jev vznikne v důsledku rychlého nárůstu zpomalovacích sil během nafukování vrchlíku. Oba přechodové jevy jsou ukázány na obrázku 7 a zahrnují hlavně relativně nízkofrekvenční složky. Tyto přechodové jevy se tedy mohou často považovat za kvazistatické zátěžové podmínky.

2.12.2 Je třeba poznamenat, že příčné složky zatížení mohou vzniknout v zásobníku jak v důsledku trhnutí, tak nafukování. Vyčerpávající informace o zatíženích padáku v důsledku trhnutí a nafukování jsou uvedeny v příloze A, kapitola A.3. Vzhledem ke značnému rozsahu provozního použití padákových systémů je nevhodné používat zobecněné nouzové zkušební úrovni.

## 2.13 Vstup do vody

Tyto podmínky jsou rozebrány v části 249/2.

## 2.14 Vymrštění submunice

K dosažení požadovaného schématu rozmístění se může submunice ze svého nosného zásobníku vymršťovat pomocí výbušných zařízení. V typickém případě taková zařízení zahrnují odpalovací trubice s nábojnicí nebo pístem. Přechodná zrychlení vznikající v důsledku působení těchto zařízení mohou být vysoká, typicky

kolem 1 000 g. Trvání pulzu je řádově 10 ms, zatímco tvar pulzu má obvykle polosinusový formát. Protože tato vymršťovací zařízení jsou navrhována tak, aby splňovala specifické požadavky, je nevhodné používat zobecněné nouzové konstrukční a zkušební úrovně náročnosti. Úrovně náročnosti však mohou být obvykle odvozeny z teoretických předpokladů a tam, kde je to vhodné, podpořeny v pozdějším stupni experimentálními údaji.

## **2.15 Dopad submunice**

2.15.1 Submunice, která má odolat dopadu na zem po uvolnění z rozptylovacího zařízení, bude pravděpodobně vystavena vysokým zrychlením a rychlým průběhům takového zrychlení během dopadu. Typickým příkladem časového průběhu zrychlení pro submunici během dopadu a penetrace betonu je ukázáno na obrázku 8, kde během 0,000 1 sekundy je submunice vystavena zatížení 60 000 g.

2.15.2 Pro vytvoření vyhovujícího zásobníku může být nezbytné rozsáhlé vývojové zkoušení. Toto zkoušení může vyžadovat specificky pro daný případ vytvořený plynový kanón nebo katapultovací zařízení, která v mnoha případech poskytují velmi realistické prostředí při relativně nízkých nákladech. Proto jsou pro zkoušení zařízení na podmínky dopadu obvykle mnohem vhodnější speciální zkušební zařízení, než standardizované zkušební postupy.

## **2.16 Nové přístupy**

Není možné se v této části zabývat všemi podmínkami prostředí a obzvláště těmi, které vznikají v důsledku nových způsobů při konstrukci zbraní. Navíc je obvykle nezbytné realizovat programy získávání specifických údajů a vytvořit speciální zkušební zařízení pro zkoušení podmínek vznikajících v důsledku nových způsobů při konstrukci zbraní.

## **3 POTENCIÁLNÍ ŠKODLIVÉ ÚČINKY**

### **3.1 Všeobecná ustanovení**

3.1.1 Mechanická prostředí vznikající během postupu munice k cíli mohou vyvolávat řadu potenciálních škodlivých účinků. Nejzávažnější jsou ty, které vyvolávají velká zatížení v důsledku zrychlení nebo relativní posuny v zařízení.

3.1.2 V této části jsou zvažovány pouze ty podmínky, od nichž lze očekávat, že vytvoří kritické zatížení.

### **3.2 Odpálení z letounu/Manévrování/Zpomalení pomocí padáku**

Nejzávažnější přechodná zrychlení vznikající během vymrštění, uvolnění, letových manévrů nebo zpomalení pomocí padáku, často vytváří pro municí kritická jmenovitá zatížení. Pokud by tedy došlo k překročení těchto zatížení, je pravděpodobné, že vznikne porucha primární struktury munice.

### **3.3 Odpálení ze země/Let se zapnutým motorem**

Hlavní příčinou mechanického selhání desek PEC (zapouzdřených elektronických obvodů) a dalších malých elektrických a mechanických zařízení mohou být závažné vibrace a akustické prostředí, vznikající při odpálení ze země nebo během hnací fáze letu, i když mají obvykle relativně krátké trvání.



### **3.4 Odpálení z hlavně/Oddělení/Dopad**

Vysoké zrychlení a rychlý nárůst rázu vyvolaný při takových případech, jako je odpálení z hlavně kanónu, oddělení hnacího stupně, vymrštění submunice nebo dopadu munice, mohou mít za následek vážné strukturální poruchy vyvolané napěťovými efekty a mohou mít za následek selhání elektrických složek v důsledku nadměrných setrvačných zatížení.

## **4 VÝBĚR ZKUŠEBNÍ METODY**

### **4.1 Odpálení z letounu - přechodové jevy související s vymrštěním**

Tyto podmínky se obvykle zpracovávají pomocí kvazistatické spektrální analýzy a zkušebních metod, protože relativně dlouhé trvání pulzu obvykle zajišťuje, že nedochází k žádnému spojení pulzu s dynamikou struktury zásobníku. Je-li však nezbytné provést zkoušení na tyto přechodové jevy, pak je vhodná Metoda 403 - Ráz z „AECTP-400 (ČOS 999902)“. Dává se přednost zkušebnímu postupu s rázovým spektrem, ale v mnoha případech může být vhodný i postup se základním pulzním rázem, zejména v případech, kdy není nezbytný přesný tvar pulzu.

### **4.2 Odpálení z letounu - poruchy související s uvolněním**

Tato podmínka se obvykle zpracovává pomocí kvazistatické analýzy a zkušebních metod uvedených výše pro přechodové jevy související s vymrštěním pomocí uvolňovací jednotky.

### **4.3 Let se zapnutým motorem**

4.3.1 Při výběru vibračního testu pro simulování podmínek letu s použitím motorového pohonu je třeba dbát na to, aby nedošlo k přehnutí zkušební úrovně. S ohledem na velmi omezené množství letových zkušebních údajů, které jsou k dispozici a z nichž se odvozují úrovně vibračních zkoušek, může mít navrhovatel zkoušky snahu zabalit všechny spektrální špičkové hodnoty do zájmového a frekvenčního pásma, obvykle od 100 Hz do 2 kHz až 5 kHz. Obalové spektrální špičkové hodnoty mohou mít za následek nežádoucí nadměrné hodnoty rms g a potom nadměrná úroveň zkoušení může mít za následek selhání zkoušeného objektu. Při úpravě zkušebního spektra je tedy nutno pečlivě vyvážit úrovně  $g^2/Hz$  s hodnotami rms g, aby se pro obě veličiny vytvořily rozumné úrovně.

4.3.2 Vhodné zkušební postupy zahrnující toto vibrační prostředí lze nalézt v AECTP-400, Metoda 401 – Vibrace (ČOS 999902). Pro mnohé aplikace mohou být přijatelná plochá nebo tvarovaná širokopásmová náhodná buzení, ale v případě, že je určeno buzení podobné sinusovému buzení, je možno dát přednost pevným sinusovým pulzům na širokopásmovém náhodném pozadí.

4.3.3 Tam, kde se požadují obzvláště náročné úrovně vibrací, lze použít zkušební metodu popsanou v AECTP-400, Metoda 402 - Akustický šum (ČOS 999902) využívající trubici s progresivní vlnou pro akustické vybuzení mechanických vibračních reakcí uvnitř stěly. Tam, kde je nezbytná přesná simulace pro citlivé jednotky, lze použít test popsaný v AECTP-400, Metoda 413 (ČOS 999902) - Kombinované vibrační, akustické a teplotní prostředí. Kromě toho mohou být potřebné pro zadní části střel akustické zkoušky popsané

v AECTP-400, Metoda 402 (ČOS 999902) – Dozvuková komora nebo postup „Trubice s postupnou vlnou“, aby bylo podchyceno akustické buzení způsobené tryskou v určitých zadních částech střely.

- 4.3.4 Pokud je trvání motorové fáze letu relativně krátké, řekněme menší než 30 sekund, pak je nutno zkontrolovat statistickou náhodnou vzorkovací chybu, aby se zajistilo, že je pro účely tohoto testu přijatelná. Tato chyba nemá běžně překročit 15 %, což odpovídá poměru mezi šířkou pásma a vzorkovacím časem pro 50 nebo 100 stupňů volnosti. Toto přezkoušení je důležité pro kvalifikační a výrobní zkoušky, kde použité úrovně náročnosti musí být opakovatelné s velmi malými tolerancemi.
- 4.3.5 Konkrétní charakteristiky úrovně náročnosti vibrací a krátké trvání obecně související s poháněnou fází letu střely obvykle vylučují přízpůsobení zkoušek, které zvyšuje další nižší úrovně náročnosti pomocí výkonových zákonů za účelem výrazného snížení doby trvání zkoušek.
- 4.3.6 Vysoká letová rychlost dosahovaná střelami se zapnutým motorem může vyvolávat rychlé zvýšení teploty, obzvláště v plášti. Aby byla tedy zajištěna odpovídající simulace, může být nezbytné provést kombinované vibrační a teplotní zkoušky, kde teplotní aspekty zkoušky pokrývají požadované podmínky teplotního šoku. Pro splnění těchto požadavků je navržena Metoda 413 - Kombinované vibrační, akustické a teplotní prostředí z AECTP-400 (ČOS 999902).

#### **4.4 Oddělení a vynesení**

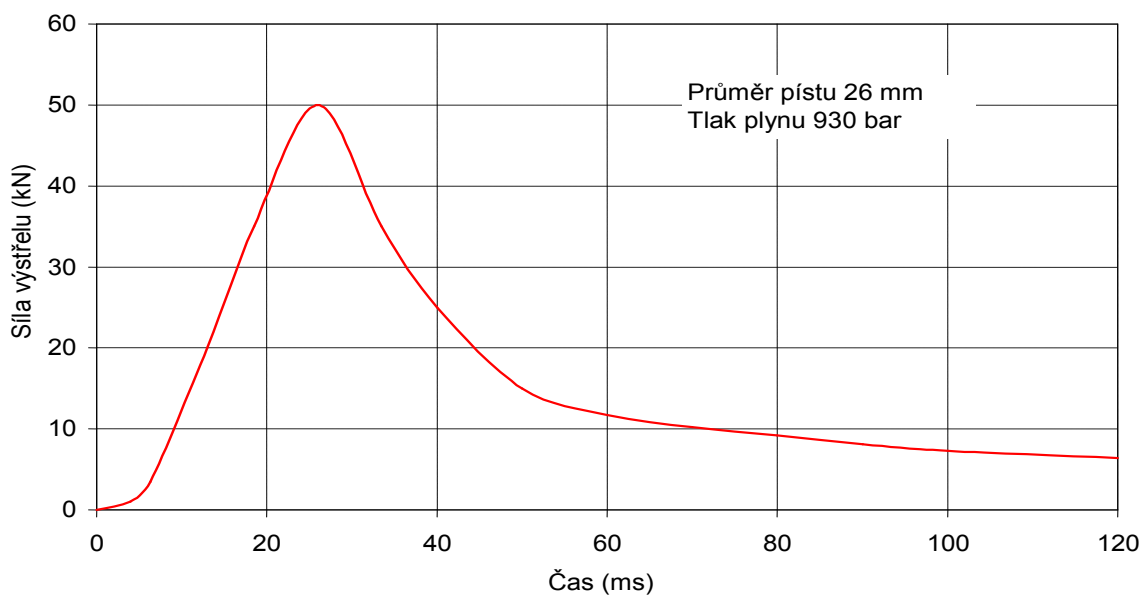
Ačkoliv pyrotechnické podmínky vyplývající z oddělení a vynesení mohou vytvářet komplikovaný průběh reakce na zrychlení, ve většině případů je možná simulace s použitím zkoušky uvedené v AECTP-400, Metoda 415 - Výbuchový ráz (ČOS 999902).

#### **4.5 Zpomalení pomocí padáku**

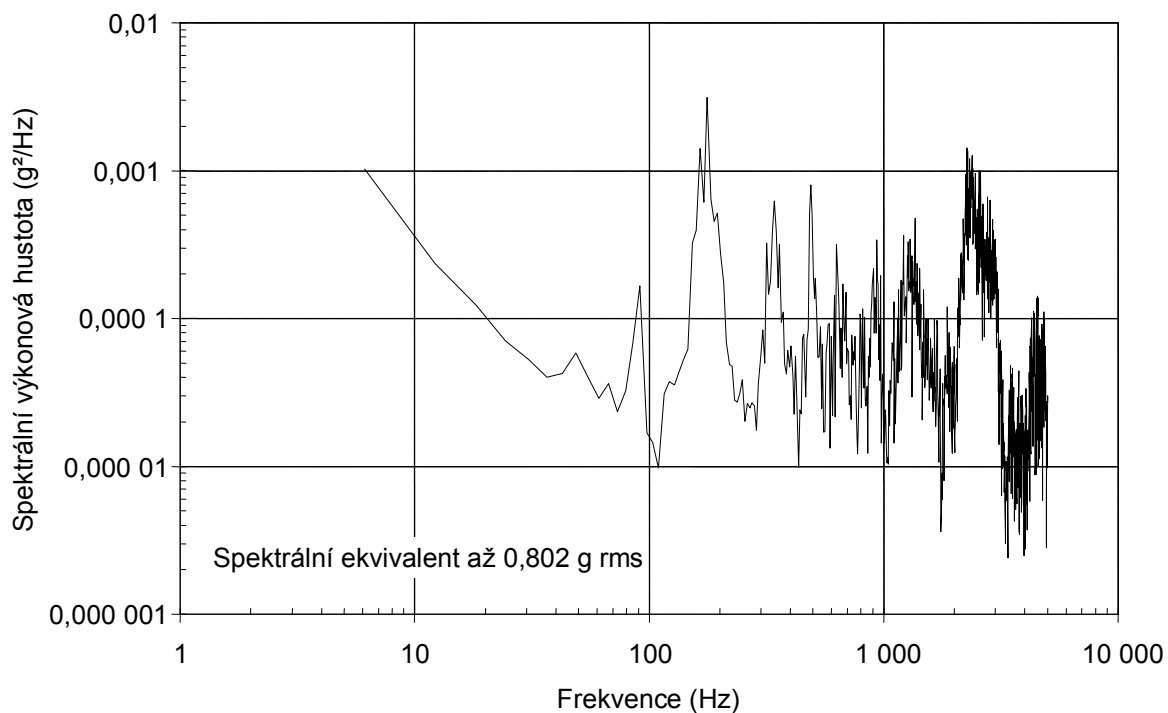
Tam, kde se v některém z přechodových jevů projeví spojení s dynamikou konstrukce, je nutno zabezpečit přesnou simulaci pulzu. Pro takový případ je použitelná Metoda 403 - Ráz z AECTP-400 (ČOS 999902). Dává se přednost postupu s rázovým spektrem, ale pro většinu případů může být odpovídající i postup využívající základního pulzu.

#### **4.6 Oddělení submunice**

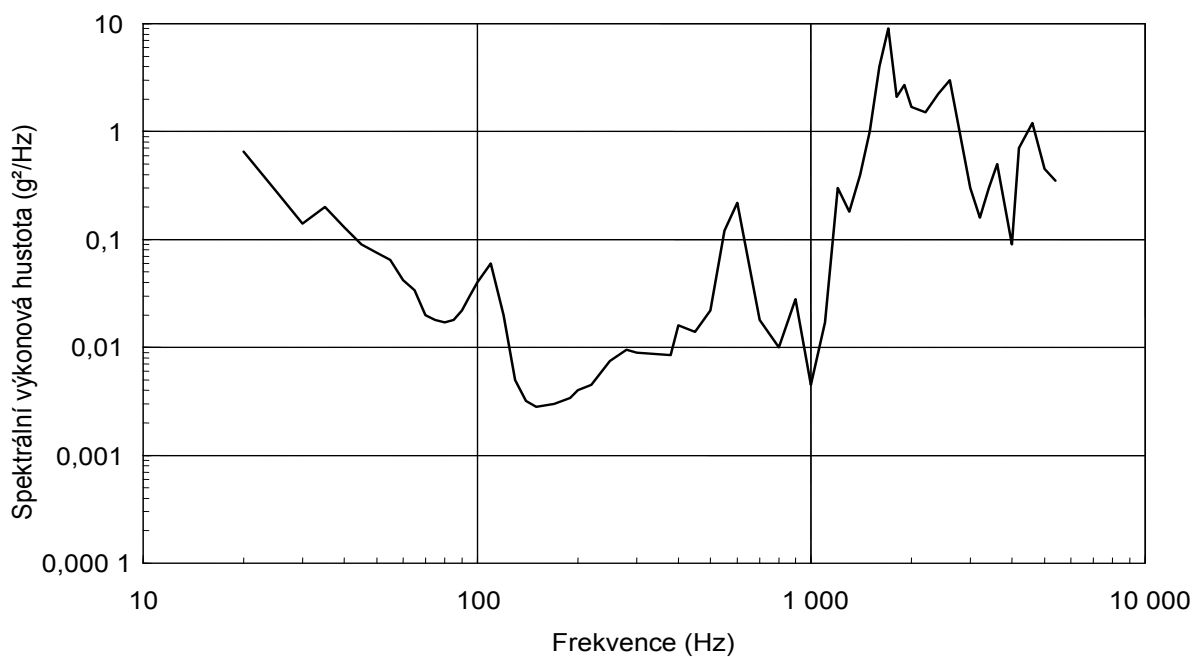
S ohledem na výběr zkušebních postupů je použitelná Metoda 403 z AECTP-400 (ČOS 999902). Postup využívající základní pulz je pro většinu aplikací vyhovující, ale v případech, kdy se vyžaduje přesnější simulace, doporučuje se postup využívající rázové spektrum.



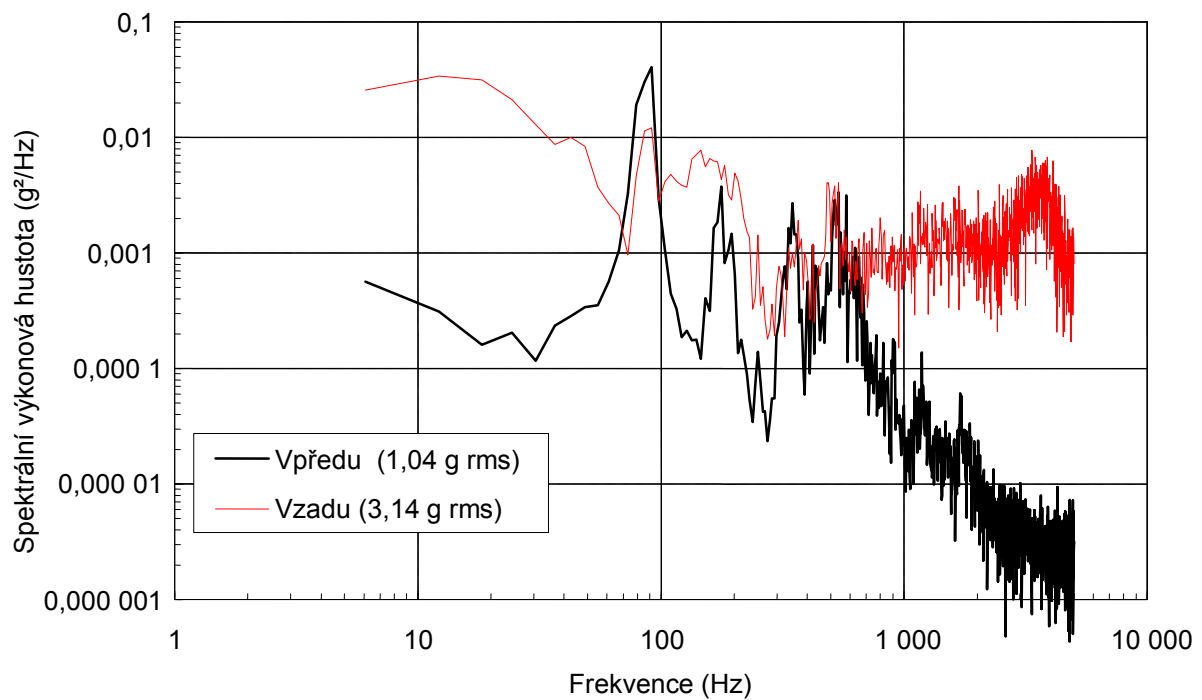
**OBRÁZEK 1 - Přechodové jevy při výstřelu ze zásobníku**



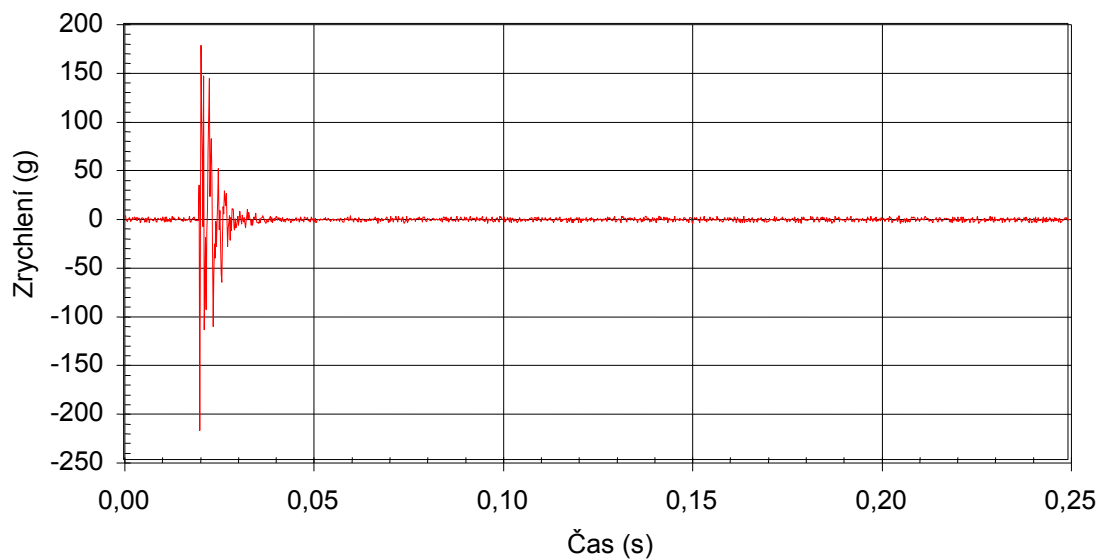
**OBRÁZEK 2 - Spektrální odezvy zařízení střely sousedícího s raketovým motorem na tuhá paliva**



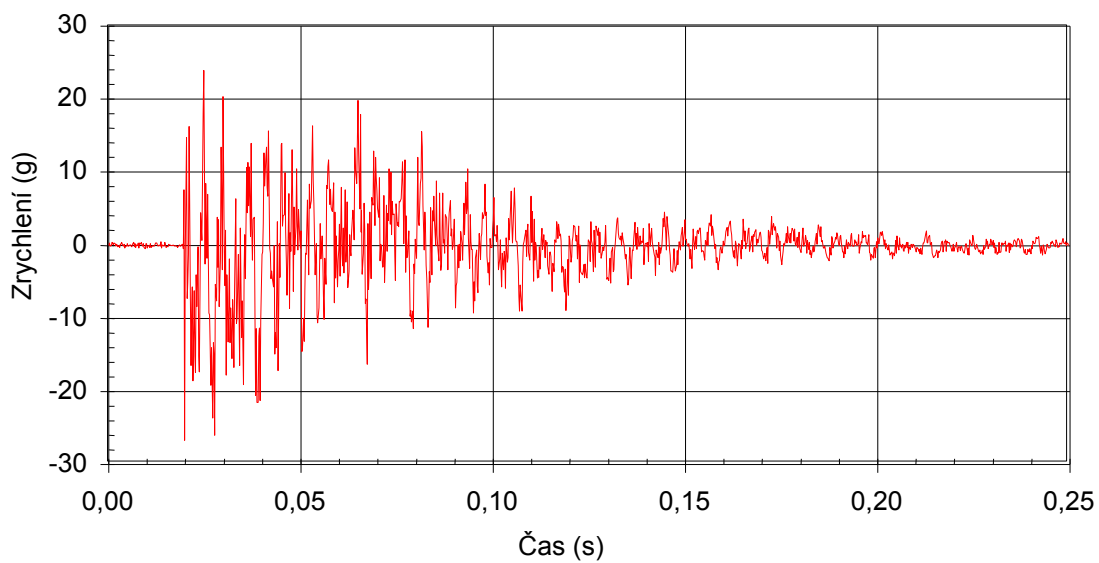
**OBRÁZEK 3 - Spektrální odezvy zařízení střely sousedícího s náporovým motorem**



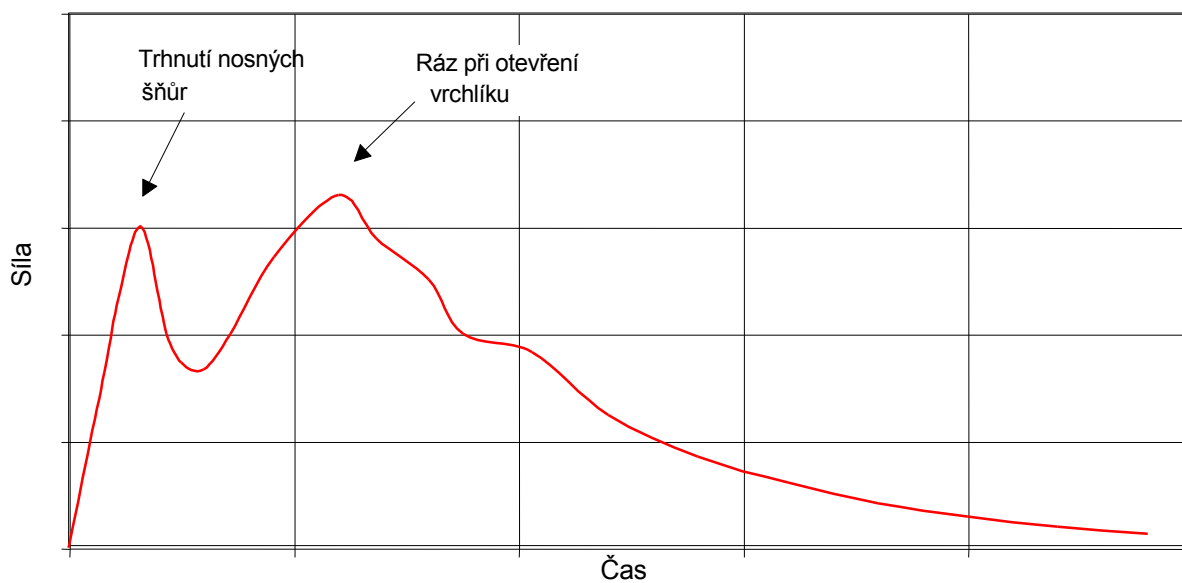
**OBRÁZEK 4 - Porovnání spektrálních odezví zařízení střely umístěného vpředu nebo vzadu na střele s motorem na tuhé palivo**



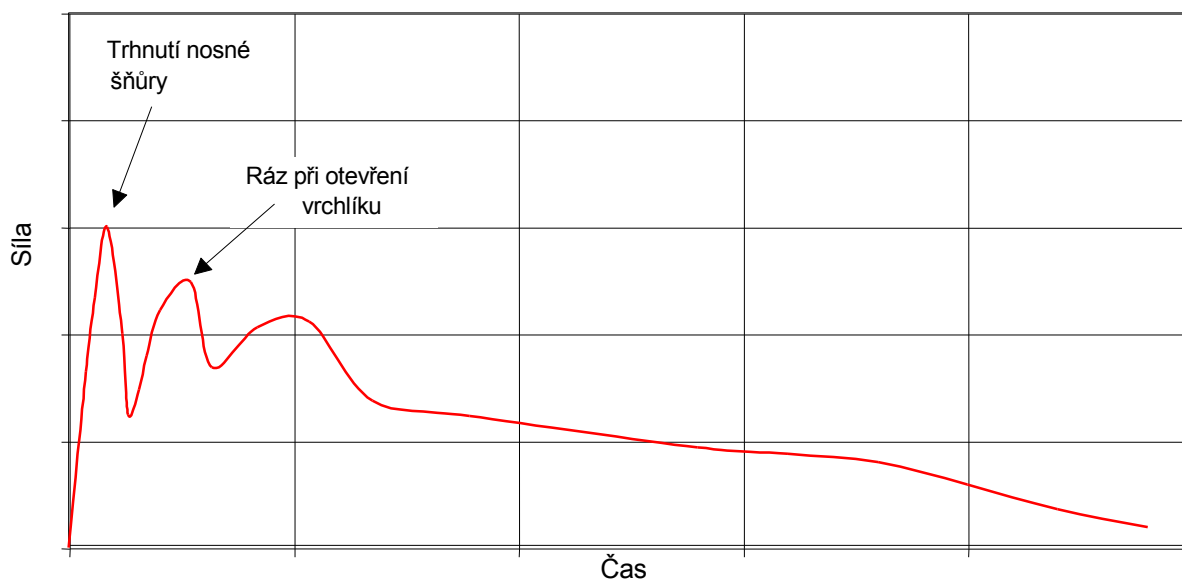
**OBRÁZEK 5 - Průběh rázových odezví z blízkosti zdroje**



**OBRÁZEK 6 - Průběh rázových odezev vzdálených od zdroje**

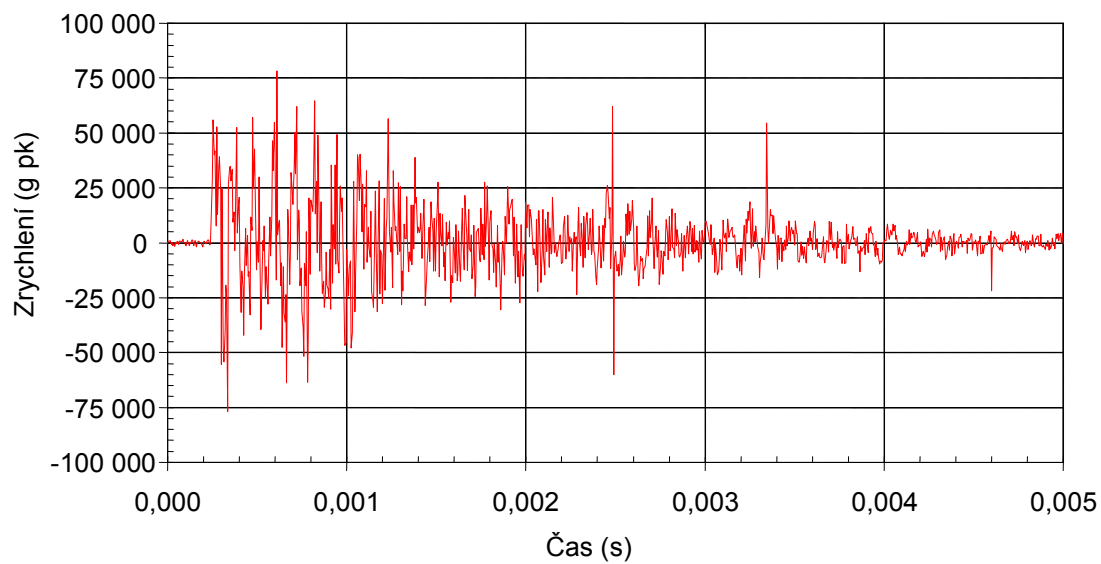


**A. VELKÝ VRCHLÍK A KRÁTKÉ ŠŇŮRY**



### B. MALÝ VRCHLÍK A DLOUHÉ ŠŇŮRY

**OBRÁZEK 7 - Průběh sil při otvírání padáku**



**OBRÁZEK 8 - Dopad munice a proniknutí do betonu**

## **PŘÍLOHA A**

### **ODKAZY**

#### **A.1 PŘECHODOVÉ JEVY SOUVISEJÍCÍ S VYMRŠTĚNÍM**

A.1.1 Název: Vyhodnocení rázového prostředí námořní ŘS Harpoon během vyvrstění pomocí odpalovacího zařízení.

Autor: AG Piersol  
Zdroj: US NWC China Lake CA  
Odkaz č.: NWC TP 5881 - ADA 037 067  
Datum: únor 1977  
Stránky: 41

A.1.2 Úkol/Nosný prostředek

Odpalovací zařízení na nosiči.

A.1.3 Souhrn technických údajů

Je uveden popis prostředí přechodových rázových jevů souvisejících s vyvrstěním v různých formátech.

Současně jsou zahrnuty informace o následujícím:

Zkušební uspořádání a postupy.  
Parametrické zhodnocení výsledků.  
Zásady konstrukce.  
Získávání údajů a analýza.

#### **A.2 PYROTECHNICKÝ RÁZ**

A.2.1 Název: Pyrotechnický ráz - výukový materiál  
Autor: Dokument obsahuje 9 jednotlivých prací  
Zdroj: US The Institute of Environmental Sciences  
Odkaz č.: ISBN 0-915414-90-2  
Datum: 1990  
Stránky: 289

A.2.2 Úkol/Nosný prostředek

Různé

A.2.3 Souhrn technických údajů

Je uvedena řada popisů prostředí se zdroji pyrotechnického rázu, převážně ve formátu rázových spekter.

Jsou uvedeny také následující důležité informace:

Způsoby selhání zařízení.  
Techniky tlumení.  
Získání údajů a analýza.



### **A.3 RÁZ PŘI POUŽITÍ PADÁKU**

#### A.3.1 Podrobnosti o dokumentu

Název: Výkonová a konstrukční kritéria pro aerodynamické zpomalovací zařízení  
Autor: Dokument je ve formě příručky  
Zdroj: US AFFDL-RTD-AFSC-WPAFB, Ohio  
Odkaz č.: ASD-TR-61-579  
Datum : 1963  
Stránek : 535

#### A.3.2 Úkol/Nosný prostředek

Různé

#### A.3.3 Souhrn technických údajů

Je uveden popis různých prostředí s rozvinutím padáku a rázy při nafouknutí, převážně ve formátech zatížení v závislosti na čase.

Jsou uvedeny důležité informace o následujícím:

- Provozní charakteristiky.
- Materiály padáku.
- Zásady konstrukce.
- Zkušební simulace.
- Teoretická analýza.

**KAPITOLA 2410**  
**ČÁST 2410/1**  
**VÝVOJ PROGRAMŮ LABORATORNÍCH VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ.....	259
2 POŽADAVKY.....	260
3 DEFINICE.....	260
4 CHARAKTER VIBRACÍ.....	262
5 ÚVAHY O KONKRÉTNÍCH NOSIČÍCH .....	263
6 SBĚR DAT, JEJICH PŘEZKOUMÁNÍ A VÝBĚR.....	266
7 VÝVOJ SCÉNÁŘE.....	266
8 ALTERNATIVY VVP.....	272
9 POSTUPY VVP.....	273
10 PROGNOZA MAXIMÁLNÍ ODEZVY.....	281
11 SHRNUÍ A ZÁVĚR.....	282
12 ODKAZY.....	282
PŘÍLOHA A PŘÍPRAVA PRO VVP – ZÍSKÁVÁNÍ DAT.....	284
PŘÍLOHA B KOMBINACE SPEKTER (STATISTICKÁ).....	288
PŘÍLOHA C KOMBINACE SPEKTER (SPEKTRA ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ)	303
PŘÍLOHA D POSTUP STANOVENÍ VIBRACÍ.....	314
PŘÍLOHA E TEORETICKÉ ASPEKTY MAXIMÁLNÍ ODEZVY.....	334

## ČÁST 2410/1

# VÝVOJ PROGRAMŮ LABORATORNÍCH VIBRAČNÍCH ZKOUŠEK

## 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Účelem této části je uvést úvahy a metody pro vývoj programů laboratorních vibračních zkoušek (PLVZ, v originálu LVTS = Laboratory Vibration Test Schedules), které se mohou využít k simulaci vibračního prostředí na vibrační stolici. Laboratorní vibrační zkoušky se často využívají místo časově daleko náročnějších a nákladnějších zkoušek v polních podmínkách. Tato část pojednává především o vibračních zkouškách řízených frekvenčních oblastí vibračního spektra a je v současné době omezena na scénáře s jedním stupněm mechanické volnosti.

Analytické úvahy a metody poněkud závisí na stanoveném použití PLVZ. PLVZ vyvinuté pouze pro provozní zkoušení bude odlišný od programu vyvinutého k indukování vibračního působení po celou dobu životnosti. Tato část se přednostně zabývá vývojem pro účely navození doby trvání vibračního působení, ale také rozebírá vývoj pro jiné účely.

Primární funkcí vývoje vibračního programu (VVP, v originálu VSD = Vibration Schedule Development) je zkombinovat vibrační měření četných případů, které souhrnně reprezentují nějaké vibrační působení na položku během její životnosti se zvládnutelným souborem PLVZ představujícím ekvivalentní působení. Nejdynamičtější přesnou metodou k reprodukování úplného působení může být metoda vibrování systému po částech ve všech jednotlivých nezkomprimovaných případech reprezentujících jeho úplný cyklus životnosti. Takový přístup ale není obecně proveditelný z obou programů a musí se udělat nějaké kompromisy, aby se zrealizovaly výhody laboratorního zkoušení. Metody časové komprese založené na rovnocennosti únavy jsou typicky využívány, takže vibrační zkoušky se mohou provést časově a ekonomicky přijatelným způsobem. Tato část uvádí směrnici pro vyvíjení přesných znázornění a problémy, které se doporučuje zvážit během procesu VVP.

Pro VVP neexistuje žádná jednoduchá „nejlepší metoda“. Několik metod bylo vypracováno v různých organizacích. Tyto metody byly ovlivněny specifickými problémy konkrétního projektu, povahou vibračního působení a zájmy dané organizace. Tato část představuje jednu metodu VVP a dvě metody kombinace spekter, které mohou být užitečné pro ověřování zkušebních programů porovnáním jednoho programu s jiným a porovnáním programu zkoušek s naměřenými údaji. Kritickým problémem všech metod také zůstává otázka zajištění přesnosti znázornění. Převzetí té které metody závisí na položce, která se má zkoušet, na působení, které se má reprodukovat, na zájmech zúčastněných stran a jiných specifických faktorech projektu. V zásadě vzato, vybraná metoda VVP musí poskytovat soubor definic vibrací a dob trvání, které v souhrnu reprodukují skutečné provozní působení anebo navozují ekvivalentní únavu.

Tato část se zaměřuje pouze na otázku vibrací a nezabývá se únavovým nebo závadovým potenciálem rázových jevů. Záležitosti rázového působení a příslušných otázek vývoje zkoušek jsou rozebrány v AECTP-400, Metoda 403. Všimněte si, že

podmínky, které vytváří vibrace, mohou také vytvářet rázy (výtluky při silniční přepravě). Rázové jevy se doporučuje identifikovat, vyjmout a podrobit je samostatné analýze a zkoušení.

## 2 POŽADAVKY

- 2.1** VVP vyžaduje důkladné znalosti dynamického prostředí, jemuž bude vystaveno zkoušené zařízení v provozu. Tyto znalosti musí zahrnovat charakterizaci úrovní působení a dob jejich trvání pro příslušné podmínky. Příloha A poskytuje směrnici a varovné poznámky vztahující se k získávání dat.
- 2.2** Vibrace nějakého předmětu může být vyvolána přepravou na daném nosiči, přemístěním blíže k jiným vibračním zařízením, vlastní indukci vibrací nebo jako důsledek působení jiných zdrojů. Tato část je relevantní pokud předpokládané podmínky působení a doby trvání jsou pochopeny a vibrační úrovně se dají měřit anebo charakterizovat.
- 2.3** Pro charakterizaci úrovní působení jsou často zkoušený objekt a nosné vozidlo (je-li použito) nainstalovány v zájmových bodech. Zkoušený objekt je potom podroben působení příslušných prostředí a získají se vibrační údaje. V případě, že zkoušené předměty, prototypy nebo nosná vozidla nejsou dostupná, předpověď vibračního prostředí se může odvodit simulačními postupy s použitím věrného modelu. Výsledky je nutné důkladně vyhodnotit a verifikovat.
- 2.4** Doba trvání vibračních prostředí se může odvodit z Profilu prostředí cyklu životnosti položky. Tento cyklus bude zahrnovat řadu rozdílných druhů indukovaných mechanických prostředí, které se mohou vyskytnout během manipulace s materiálem, jeho přepravy, nasazení a provozování. Ačkoliv všechna indukovaná mechanická prostředí nejsou kritická, pokud jde o generování potenciálních reakčních amplitud, které mohou způsobit poškození, přesto přispívají různým stupněm k únavovým poškozením materiálu. Veškeré předpokládané podmínky působení by se měly sestavit do tabulky, společně s odpovídajícími délkami trvání tak, aby se sestavil scénář technické životnosti položky. Tento scénář je klíčovou charakteristikou při tvorbě jakéhokoliv vibračního programu. Metody odvození Profilu prostředí cyklu životnosti jsou rozebrány v AECTP-100. Metody upravení scénáře pro VVP jsou představeny v této části.

## 3 DEFINICE

Pro srozumitelnost pojmů jsou uvedeny následující definice. Definice nemají obecný význam, ale poněkud specifický, přizpůsobený pojednáním v této části.

### **Program laboratorních vibračních zkoušek (PLVZ)**

#### LABORATORY VIBRATION TEST SCHEDULE (LVTS)

Veškeré informace požadované k provedení vibrační zkoušky na vibračním budiči. Informace typicky zahrnují: širokopásmová spektra (nebo profil),

sinusové nebo úzkopásmové údaje (jsou-li použity), doba průběhu zkoušky, umístění kontrolních měřičů zrychlení, metodiky řízení a tolerance a další požadované konkrétní informace o zkoušce.

### **Případ**

### **EVENT**

Jedinečná situace působení, která představuje nějakou část cyklu životnosti zkoušeného předmětu. Příklady zahrnují letové manévry (tj. přímý let při 80% VH) nebo podmínky přepravy na vozidle (tj. dlážděná vozovka při rychlosti 30 mil/hod). U mnoha případů se vyžaduje, aby při testu bylo přesně určeno vibrační působení na zkoušený předmět, ke kterému dochází při reálném provozu.

### **Skupina**

### **GROUP**

Soubor případů s podobnou vibrační charakteristikou, které se pro účely zpracování může společně seskupit.

### **Scénář**

### **SCENARIO**

Předpokládané případy působení a odpovídající doby jejich trvání, zpracované tabulkovou formou.

### **Profil**

### **PROFILE**

Širokopásmová spektra, která se mohou použít ve vibračním systému jako kontrolní a referenční. Profil je typicky poskytován ve formátu výkonové spektrální hustoty a definován řadou bodů zlomu frekvencí a amplitud.

### **Výkonová spektrální hustota (VSH) POWER SPECTRAL DENSITY (PSD)**

VSH popisuje jak je síla signálu rozložena vzhledem k frekvenci. Vibrační řídicí systémy typicky používají VSH jako kontrolní referenci. Z tohoto důvodu jsou vibrační profily obecně vyvíjeny ve formátu VSH. VSH je také zmiňována jak autospektrální hustota (ASH). Popis často používaných metod výpočtu VSH je uveden v Příloze B.

### **Okénkování**

### **WINDOWING**

Násobení časového průběhu funkcí, která je oceněna nulou mimo daný interval. Okénkování je nezbytný pro správný výpočet VSH, běžně se používají Hannova a Hammingova okna.

### **Rozptyl**

### **LEAKAGE**

Nepožadovaný výsledek okénkování, při kterém energie z jedné frekvence uniká do sousední frekvence. To může ovlivnit spektrální tvar VSH a je nezávislé na frekvenčním rozložení výpočtů VSH. Ačkoliv energie uniká do sousedních frekvencí, celkové množství energie je zachované a neovlivní se ani celkové g-rms VSH.

### **Bod zlomu**

### **BREAKPOINT**

Bod širokopásmového profilu, definovaný frekvencí (Hz) a výkonovou úrovní ( $g^2/Hz$ ). Body zlomu umožní, aby vícebodový profil byl zobrazen pomocí redukovaného souboru bodů bez přílišných ústupků v oblasti spektrálních dat.

### **Minerovo pravidlo**

### **MINER'S RULE**

Soubor matematických rovnic použitých k proměření vibračních spekter a přidružených dob trvání zkoušky při udržení ekvivalence únavy.

### **Spektrální vrchol**

### **SPECTRAL SPIKE**

Jakýkoliv úzkopásmový obsah o vysoké úrovni vibrace ve vibračním spektru. Energie spojená s úzkopásmovými jevy může být buď úzkopásmové náhodné, nebo sinusové povahy v závislosti na povaze silových funkcí zkušebního nosiče. Tato energie je často vyjmuta ze širokopásmových údajů a je v průběhu analýzy zpracovávána odděleně.

## **4 CHARAKTER VIBRACÍ**

Pro účely VVP lze vibrace obecně klasifikovat v jedné ze tří kategorií. Kategorie vibrací může mít vliv na metodu analýzy nebo na metody zkoušení.

**Sinusové** – Vibrace na jediné frekvenci, typicky se stálou amplitudou. V závislosti na zdroji vibrací může být frekvence buď konstantní, nebo se může měnit (rozmítat) přes předem definovanou šířku pásma.

**Širokopásmové náhodné** – Vibrace se vyskytují současně ve všech frekvencích přes širokou šířku pásma. Amplituda se může výrazně měnit v celé šíři pásma.

**Úzkopásmové náhodné** – Vibrace se vyskytují současně v úzkopásmovém rozsahu frekvencí. Úzkopásmové vibrace jsou typicky definovány střední frekvencí, šířkou pásma a amplitudou. Podobně jako u sinusových vibrací je frekvence úzkopásmových vibrací někdy stálá a někdy rozmítaná.

Zkoušený objekt se bude často podrobovat současně více než jedné kategorii vibrací. Většina moderních vibračních zkušebních soustav může vytvářet vibrace širokopásmové náhodné, čistě sinusové, sinusové na náhodné a úzkopásmové náhodné na náhodné. Sinusové a úzkopásmové vibrace mohou být buď konstantní, nebo rozmítané.

V provozních podmínkách je úzkopásmová energie zřídka čistě sinusová nebo čistě úzkopásmová náhodná, ale častěji je kombinací obou typů. Bohužel většina systémů řídicích vibrace může vytvářet na dané frekvenci buď úzkopásmové náhodné, nebo sinusové vibrace, ale ne oboje současně. Z tohoto důvodu je nezbytné stanovit, zda zájmové vibrace jsou svojí povahou bližší sinusovým nebo úzkopásmovým náhodným vibracím. To může být obtížné, protože rozptyl ve výpočtech VSH často způsobuje, že sinusové vibrace vypadají jako úzkopásmové náhodné. Možnou metodou odlišení sinusových a úzkopásmových náhodných údajů je šíře harmonicky spojených spektrálních vrcholů. Pokud je vibrace sinusová, šířka je výsledkem rozptylu VSH a bude se udržovat v harmonických téměř konstantní. Avšak pokud je vibrace úzkopásmová, budou šířky harmonicky spojené. Pro stanovení povahy spektrálních vrcholů mohou být užitečné také histogramy a časové průběhy pásmového filtru.

## 5 ÚVAHY O KONKRÉTNÍCH NOSIČÍCH

### 5.1 Silniční přeprava – kolové vozidlo

- 5.1.1 Zařízení upevněné pro přepravu na kolovém vozidle bude v první řadě vystaveno širokopásmovým náhodným vibracím, s většinou energie soustředěnou do nízkých frekvencí (v porovnání s pásovým vozidlem). Často se argumentuje, že předměty přepravované jak na pásových, tak na kolových vozidlech se mají zkoušet pouze na působení prostředí pásového vozidla, přitom se předpokládá, že přeprava pásovým vozidlem je náročnější. Nicméně toto není případ položek, které jsou citlivé na nízkofrekvenční vibrace vysokých úrovní nebo výsledných vysokých rychlostí a posunů charakteristických pro kolové vozidlo.
- 5.1.2 Sinusově zvlněné jízdní dráhy jsou někdy používány k simulaci skutečných expozičních při zkouškách silničních vozidel. Vibrační údaje z těchto zkušebních drah jsou často zaznamenávány a využívány pro VSH. Vibrace vyvolané na těchto drahách budou zahrnovat harmonicky spojené spektrální vrcholy superponované na širokopásmových náhodných. Při využití standardních analytických metod jako jsou histogramy, pásmové filtry a harmonické vztahy mezi spektrálními vrcholy, lze vydedukovat, že časový průběh přinášející dominantní spektrální vrcholy bývá spíše sinusové povahy než úzkopásmové, s frekvencemi závislými na rychlosti. Zkoušení rozmítaných sinusových na náhodné se typicky užívají k reprodukci zvlněných expozičních. Avšak pro určení povahy vibrací se doporučuje zhodnocení konkrétních údajů projektu.
- 5.1.3 Terén a náročnost vibračního prostředí se mění od relativně rovných asfaltových a betonových silnic přes silnice druhé třídy k polním cestám a ryzímu terénu. Polní, lesní cesty a terén poskytují nejnáročnější vibrační prostředí pro danou rychlost a dlážděné vozovky to nejméně náročné. Řada zkušebních okruhů byla postavena pro provádění zkoušek vozidel a sběr dat v kontrolovaném zkušebním prostředí. Některé z těchto okruhů byly zkonstruovány speciálně pro reprodukování skutečných nejhorších jevů prostředí a mohou být pro vývoj VSH užitečné. Jiné zkušební okruhy byly postaveny pro ověřování aspektů souvisejících s ovládním vozidel a jejich spolehlivostí a nejsou vhodné pro VSH. Zkušební dráhy často využívané pro VSH kolových vozidel zahrnují dlážděné vozovky, šterkové vozovky, belgickou dlažbu, radiálně zvlněné povrchy, zapuštěný kámen, dvoupalcovou zvlněnou vozovku a terén. Zapuštěný kámen a zvlněné povrchy reprodukuje případy nejhoršího působení. Přeprava po asfaltových a betonových vozovkách produkuje vibrační úroveň, které jsou ve srovnání s výše uvedenými nepodstatné. Z tohoto důvodu se tato část scénáře často pro účely stanovení VSH ignoruje.
- 5.1.4 Další problémy související s vibracemi při přepravě kolovými vozidly jsou rozebrány v částech 242/1, 242/5 a 245/2.

### 5.2 Silniční přeprava – pásové vozidlo

- 5.2.1 Vibrace vyvolané v zařízení upevněném v pásovém vozidle bude zahrnovat harmonicky spojené spektrální vrcholy superponované na širokopásmových náhodných. Frekvence těchto úzkopásmových vytvořených interakcí mezi

pásky a tvrdým povrchem cesty je proporcionální k rychlosti vozidla. Tato úměrnost se dá popsat takto:

$$f = 0,28 \frac{v}{p}$$

kde:  $f$  = frekvence (Hz),  $p$  = rozteč článků pásu,  $v$  = rychlost (km/h)

Při využití standardních analytických metod jako jsou histogramy, pásmové filtry a harmonické vztahy mezi spektrálními vrcholy, lze vydedukovat, že časový průběh přinášející dominantní spektrální vrcholy bývá spíše úzkopásmové náhodné povahy než sinusové, s frekvencemi závislými na rychlosti. Zkoušení rozmítaných úzkopásmových na náhodné se typicky užívají k reprodukci expozic pásového vozidla. Avšak pro určení povahy vibrací se doporučuje zhodnocení konkrétních údajů projektu.

- 5.2.2 Zkušební dráhy typicky využívané pro VSH pásových vozidel zahrnují dlážděné vozovky, šterkové vozovky a terén. Asfaltové a betonové silnice dávají nejnáročnější vibrační úrovně pro pásová vozidla vzhledem k relativně stálému nárazu článků pásu na tvrdý povrch. Zhutněné šterkové cesty a horší silnice druhé třídy vytváří úrovně téměř ekvivalentní k asfaltovým a betonovým silnicím a doporučuje se je také zvažovat při tvorbě vibračních programů.
- 5.2.3 Další otázky týkající se vibrací při přepravě pásovými vozidly jsou rozebrány v části 245/1.

### 5.3 Vzdušná přeprava - vrtulník

- 5.3.1 Vibrace vyvolané v zařízení přepravovaném na nosiči s rotujícím křídlem (upoutaném vně, instalovaném uvnitř nebo zajištěném v nákladovém prostoru) bude zahrnovat harmonicky spojené spektrální vrcholy superponované na širokopásmové náhodné. Při využití standardních analytických metod jako jsou histogramy, pásmové filtry a harmonické vztahy mezi spektrálními vrcholy, lze vydedukovat, že časový průběh přinášející dominantní spektrální vrcholy bývá spíše sinusové povahy než úzkopásmové náhodné, s frekvencemi závislými na počtu listů rotoru a na otáčkách hlavního rotoru. Dosavadní studie prokázaly, že spektrální vrcholy jsou spíše sinusové povahy než úzkopásmové náhodné. Převládající frekvence jsou vymezeny normální konstantní náhodnou frekvencí listů rotoru. Zkouška sinusové na náhodné se typicky používá k reprodukování působení nosiče (vrtulníku) s konstantně udržovanými sinusově harmonizovanými frekvencemi. Avšak pro určení povahy vibrací se doporučuje zhodnocení konkrétních údajů projektu.
- 5.3.2 Vibrační náročnost souvisí s letovými podmínkami. Vibrační prostředí v daném místě na nebo ve vrtulníku je ovlivňováno výkonem motoru, aerodynamickým třesením rotoru (rotorů) a klimatickými podmínkami. VSH by měla zahrnovat analýzu všech manévrů letounu, které představují podstatnou část plánované doby letu a které vyvolávají závažné vibrační amplitudy.
- 5.3.3 Další otázky související s vibracemi při přepravě vrtulníky jsou rozebrány v části 242/3.



## 5.4 Vzdušná přeprava - letoun

- 5.4.1 Vibrační prostředí na proudových letadlech jsou širokopásmové náhodné povahy. Největší vibrace obvykle způsobuje hluk výstupního ústrojí motoru při startu. Úrovně po startu prudce klesají k nižším úrovním za letu, které jsou mezní vrstvou generovaného hluku.
- 5.4.2 Převládající vibrační prostředí na vrtulových letadlech jsou prostředí s relativně vysokou amplitudou, s přibližně sinusovými spektrálními vrcholy ve frekvencích průchodu listů vrtule a jejich harmonických. Některé letouny mají pevný sklon listů vrtule a v těchto případech otáčky vrtule a z toho plynoucí spektrální vrcholy kolísají s otáčkami motoru v širokofrekvenčním pásmu. V tomto případě je pravděpodobně vhodná zkouška rozmítaných sinusových na náhodné. Jiné letouny mají měnitelný sklon listů vrtule a v těchto případech jsou otáčky vrtule konstruovány jako konstantní. Z toho důvodu se spektrální vrcholy související s vrtulí udržují jako konstantní. Ale dokonce i v tomto posledním případě malé změny otáček vrtule pravděpodobně vyústí ve spektrální vrcholy související s vrtulí kolísající ve frekvenci až do 1 % jmenovité frekvence. Tyto malé změny se obvykle neberou v úvahu. Navíc k sinusovým spektrálním vrcholům existuje širokopásmová vibrace nízkých úrovní napříč spektry. Tato širokopásmová vibrace je hlavně způsobena mezní vrstvou proudění kolem letounu.
- 5.4.3 Další otázky související s vibracemi při přepravě letouny jsou rozebrány v části 242/3. Vzhledem ke změnám otáček motoru se frekvence spektrálních vrcholů mění napříč šířkou pásma. Existují širokopásmové vibrace nižších úrovní napříč spektry. Tato širokopásmová vibrace je hlavně způsobena mezní vrstvou proudění kolem letounu.

## 5.5 Námořní přeprava

- 5.5.1 Námořní vibrační spektra mají náhodný prvek vyvolaný variabilitou rychlostí plavby, stavů moře, manévru atd. a periodický prvek vyvolaný rotací hřídel pohonné jednotky, rezonancemi trupu lodi a zvuky lokálních zařízení často souvisejícími s hlavním pohonem. U materiálu instalovaného na stožárech (jako jsou antény) se dá předpokládat, že obdrží vyšší vstupy než materiál instalovaný na trupu nebo na palubě. Vibrace materiálu velmi ovlivňuje celková konstrukce lodi, způsob upevnění materiálu a přenosové vlastnosti materiálu (zesílení zvuku). VSH pro lodní materiál by se měla týkat jak úrovní vstupů prostředí, tak souladu rezonancí materiálu, jeho upevnění a vstupních frekvencí. Přesto jsou vibrační amplitudy v případě námořní přepravy poměrně neškodné a mohou se často považovat za vibrace širokopásmové povahy. Často nebývá potřebné zkoušet objekt pro podmínky námořní přepravy, pokud byl objekt zkoušen pro jinou náročnější přepravu, jako je pozemní přeprava nebo přeprava proudovými letouny.
- 5.5.2 Další problémy související s vibracemi v námořní přepravě jsou rozebrány v oddílu 242/4.

## 5.6 Železniční přeprava

- 5.6.1 Vibrační úrovně pro železniční přepravu jsou obecně nízké a středně širokopásmové. Svislá osa vibrací je typicky náročnější než příčná a podélná.

Často není potřebné provádět zkoušky pro železniční přepravu, pokud byl objekt zkoušen v podmínkách nějaké náročnější přepravy, jako je přeprava v terénu.

5.6.2 Další otázky související s vibracemi v železniční přepravě jsou rozebrány v části 242/2.

## **6 SBĚR DAT, JEJICH PŘEZKOUMÁNÍ A VÝBĚR**

Soubor dat pro typický projekt VVP je obvykle poměrně rozsáhlý. Data je možné získat pro řadu schémat ložení nebo pro řadu nosičů. Pro každou konfiguraci se obecně požaduje mnoho případů, aby se dala zkompletovat charakteristika vibračního působení systému. Data se často získávají pro vícenásobné opakování každého případu. Některá data akvizičních zdrojů jsou rozebrána v příloze A. První krok každého projektu VVP je důkladně přezkoumat soubor dat z pohledu jejich ověřování, přesnosti a obsahu.

Pro přezkoumání dat se používají různé komerčně dostupné softwarové nástroje pro analýzu dat. Přezkoumání z pohledu přesnosti může zahrnovat studium časového průběhu možných chybných dat, porovnání postupu v podobných místech, srovnání historických dat s podobným vozidlem, pátrání po „ustřelených“ hodnotách a zvláštní zájmy různých zkoušek. Jakákoliv chybná data se mají zaznamenat a identifikovat. Jakmile je zajištěna integrita dat, může se zahájit proces výběru dat pro VVP.

Výběr dat bude obsahovat studium relativní náročnosti četných konfigurací a stanovení, jakou budou mít konfigurace váhu během tvorby VVP. Četné případy se posuzují pro stanovení, jak je vhodně seskupit. V důsledku několika faktorů je často nerozumné kombinovat všechny případy do jednoho vibračního programu. Doporučuje se vzít v úvahu linearitu systému. Případy se porovnají a ty s podobným tvarem a úrovní VSH se seskupí a zpracovávají společně. To často vyústí ve dva nebo více PLVZ pro reprodukování ekvivalentních únavových jevů, ale vytváří více přesných reprodukcí vibračního působení.

Také se provádí studie, které odpoví na otázku charakteru dat. Jaká šířka pásma se požaduje, aby pokryla většinu vibrační energie? Je vibrace charakterizována jako Gaussovská nebo jak dobře se dá reprodukovat řídicím systémem při generování Gaussova řídicího signálu? Je energie širokopásmová nebo obsahuje úzkopásmovou energii (např. tónová energie indukovaná hlavním rotorem vrtulníku)? Pokud je přítomna úzkopásmová energie, je spíše sinusového nebo úzkopásmové náhodné charakteru? Konkrétné projektové studie je musí často provést předtím, než se zahájí postup VVP.

## **7 VÝVOJ SCÉNÁŘE**

Předpokládané trvání vibračního působení se odvozuje ze scénáře úkolů systému a jeho životnosti, často poskytnutého v Profilu prostředí cyklu životnosti (PPŽC, v originálu Life Cycle Environmental Profile). Scénář úkolů systému a jeho životnost je klíčovým parametrem pro VVP. V některých případech se požaduje několik druhů úkolů, každý s různými poměry využitého terénu nebo použitých manévřů. Tyto úkoly se musí všechny patřičně zvažovat v závislosti na požadavcích uživatele a Popisu prostředí cyklu životnosti a použít při tvorbě vibračního programu. Scénář pro vozidlo

musí minimálně poskytnout druhy terénu a celkový proběh pro každý druh terénu. Pro letoun musí scénář zahrnovat detailní popis všech letových podmínek včetně visu, přímého letu, startu, přistání a další důležité manévry. Popis by měl zahrnovat procentuální podíl letů v jednotlivých podmínkách a počet opakování každého manévru.

## 7.1 Vozidlo

Scénář s daty ve formě požadované pro proces VVP často nebývá k dispozici. To nastává zejména u vozidel, která ještě nejsou zahrnuta do používání v rezortu obrany. Pokud nejsou žádné informace dostupné, scénář s daty se může odvodit z určeného způsobu použití. Pro položky nákladu je pozemní vzdálenost stanovena na základě přepravní vzdálenosti mezi každými ze stanovených zásobovacích míst, která se táhne od přístavu k uživateli položky. Pro položky charakteru instalovaných zařízení je pozemní vzdálenost stanovena na základě programu údržby vozidla, na němž je zařízení namontováno nebo na základě plánu oprav a záměn konkrétního instalovaného zařízení, dohodnutého mezi konstruktérem a uživatelem,

Omezené informace do scénáře lze často nalézt v PPŽC vozidla nebo v jiné dokumentaci. Tyto informace typicky obsahují procentuální podíl proběhu z celkového proběhu na všech druzích terénu a údaje o maximální anebo průměrné rychlosti. Rozsáhlé zpracování často vyžaduje rozdělení celkového proběhu na různé povrchy cest a rychlosti, které pak charakterizují použití vozidla. Tento postup je uveden v Tabulce 1.

Úroveň 1 z Tabulky 1 obsahuje minimální údaje do scénáře požadované pro VVP. Úroveň 2 je rozdělení obecných druhů terénu na různé zkušební povrchy, pro něž se obvykle údaje vyžadují. Všechny povrchy, které budou na vozidlo pravděpodobně působit v daném druhu terénu, se doporučuje zahrnout do Úrovně 2. Například jízda po silnicích druhé třídy pravděpodobně zahrne nějaký druh sinusově zvlněného povrchu. Údaje pro úroveň 2 jsou zřídka dostupné a obvykle se odvozují v rámci konzultací mezi analytikem, uživatelem a dalšími zainteresovanými stranami.

**TABULKA 1 – Příklad životního cyklu**

ÚROVEŇ 1					ÚROVEŇ 2				
Celkem mil: 1 000									
Druh terénu	procent	mil	max rychlost	průměr Rychlost	Povrch	procent	mil	max rychlost	průměr Rychlost
Hlavní silnice	70 %	700	55	35	Zpevněné cesty	100%	700	55	35
					100% 700				
Silnice 2. Třídy	20 %	200	40	22	Silnice 2. Třídy	60%	120	40	25
					Štěrkové	23%	46	45	22
					Belgická dlažba	10 %	20	25	15
					Zapuštěný kámen	1 %	2	10	7
					Radiální sinusové vlny	3 %	6	15	9
					Žpalcové sinusové vlny	3%	6	10	7
					100 % 200				
Terén*	10 %	100	25	14	Terén	85%	85	25	16,3
* Kombinace polních a lesních cest a terénu					Zapuštěný kámen	5 %	5	10	7
					Radiální sinusové vlny	5 %	5	15	9
					Žpalcové sinusové vlny	5 %	5	10	7
					100% 100				
Úroveň 1	Tuto informaci by měl poskytnout manažer programu, dodání informace se požaduje před zahájením tvorby PLVZ. Tuto informaci je možné někdy nalézt v PPŽC nebo v jiné dokumentaci systému.								
Úroveň 2	Tato úroveň má významný dopad na dobu trvání zkoušky konečného PLVZ a z tohoto důvodu se doporučuje věnovat jí náležitou pozornost. Tuto informaci je žádoucí zajistit, ale je zřídka dostupná. Tvorba programu se nemůže zahájit bez této informace. Často je analytik donucen doporučit údaje od uživatelské konkurence.								

### Rozdělení beta

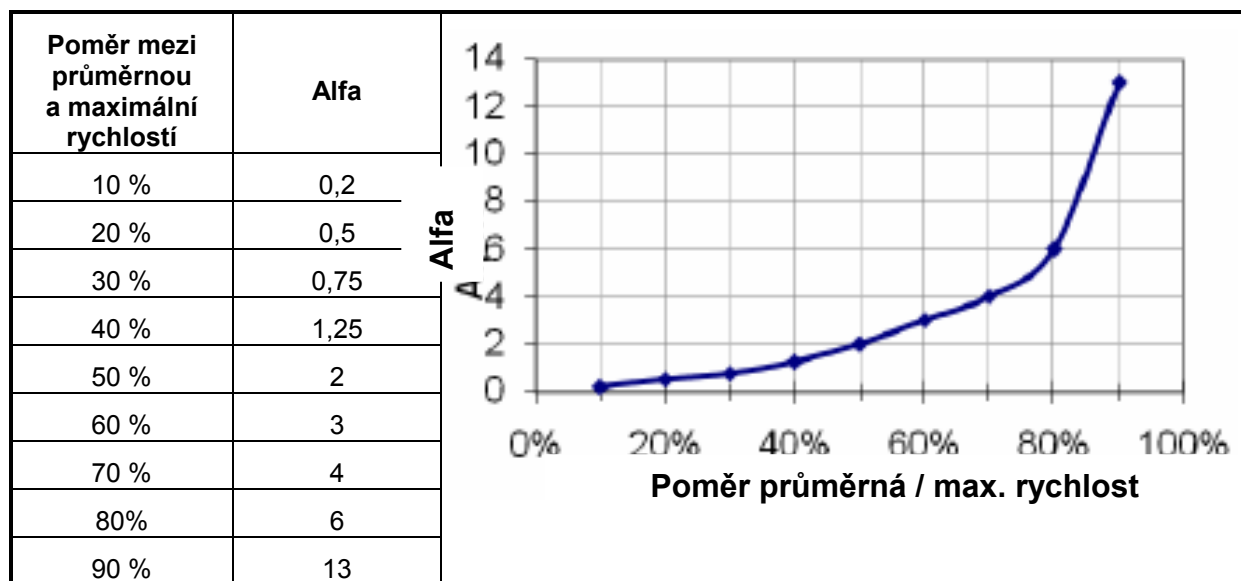
Jakmile se dosáhne konsenzus na úrovni 2, vzdálenost proběhu se musí dále rozdělit na různé rychlosti, pro které byla data získána. Tato dodatková úroveň věrnosti se provádí zřídka. Jednou z možností je uskutečnit pro rozdělení proběhu na rychlosti pro konkrétní povrch Beta rozdělení. Toto rozdělení je pravděpodobnostní rozdělení se dvěma profilovými parametry, alfa a beta, vypočtenými v rovnici 7.1, kde x je standardní distribuční rozsah.

$$F(x) = \frac{(\alpha + \beta - 1)!}{(\alpha - 1)! (\beta - 1)!} x^{\alpha - 1} (1 - x)^{\beta - 1}$$

(7.1)

Směrnice byla vytvořena, aby umožnila důsledný výběr alfa a beta, založených na poměru mezi průměrnou a maximální rychlostí. Doporučuje se Beta rozdělení využít k rozdělení proběhu do jednoho souboru rychlostních pásem spíše než do souboru diskrétních rychlostí. Alternativou k rozdělení celkového proběhu vozidla je rozdělení celkové doby jízdy, založené na celkovém proběhu a průměrné rychlosti. Beta rozdělení je vytvořeno pro každý povrch vozovky s využitím výstupních sestav z počítače. Příklad počítačové sestavy Beta rozdělení je uveden na Obrázku 1.

**TABULKA 2 – Výběr alfa pro Beta rozdělení**



Výpočty Beta rozdělení se provádí v tabulce „Beta rozdělení rychlosti“ z obrázku 1. Popis polí následuje.

- Repr rychl – reprezentativní rychlost pro tento záznam. Je to rychlost, pro níž se požadují vibrační data.
- Start rychl – začátek rozsahu rychlostí pro tento záznam.
- Konc rychl – konec rozsahu rychlostí pro tento záznam.
- Prům rozsahu – průměr rozsahu rychlostí pro tento záznam. Toto číslo by mělo být stejné jako reprezentativní rychlost pro tento záznam.
- Proc čas – Je to aktuální Beta rozdělení jako procento z celkové doby jízdy. Tento sloupec spolu se sloupcem Proc míle je zakreslený v grafu na obrázku 1.
- Čas v hod – čas v hodinách reprezentativní pro tento datový záznam, vypočtený násobením celkové doby v hodinách procenty z předchozího sloupce. Celková doba v hodinách je vypočtena z celkového proběhu v mílích a průměrné rychlosti.
- Čas v min – čas v minutách reprezentativní pro tento datový záznam. Je to finální výstup z Beta rozdělení a je postoupen do procesu VVP.
- Míle – vzdálenost v mílích reprezentativní pro tento datový záznam, vypočtená vynásobením doby v hodinách průměrnou rychlostí.
- Proc míle – procento z celkového proběhu v mílích reprezentativní pro tento záznam. Tento sloupec, spolu se sloupcem Proc čas, je zakreslený v grafu na obrázku 1.

Veďte na vědomí, že šířky (v jednotkách rychlosti) každého rozsahu rychlostí v tabulce na obrázku 1 jsou totožné s přírůstkem rychlosti, pro který jsou data požadována a jsou vystředěny kolem požadovaných rychlostí. Toto má za následek dvě nepatrné nesrovnalosti v koncových bodech Beta rozdělení. První je, že procentuální podíl vzdálenosti v mílích ve velmi nízkých rychlostech (méně než 2,5 mil/h v tomto příkladu) není zahrnut v procesu VVP. Předpokládá se, že vibrace v těchto rychlostech budou docela nízké a nebudou mít žádný vliv na výsledek PLVZ,

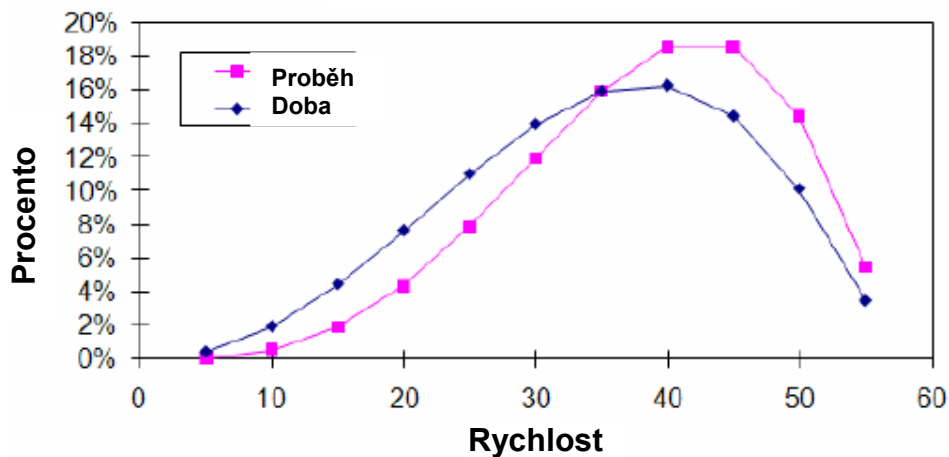
dokonce i když se do procesu začlení. Druhá je ta, že maximální rychlost z Beta rozdělení je o polovinu nárůstu rychlosti vyšší než nejvyšší rychlost požadovaná pro tato data. To bude mít také malý vliv na proces VVP, protože v této rychlosti vozidlo setrvá jen velmi krátkou dobu.

**Projekt: Vzorové Beta rozdělení**

VSTUPY PRO BETA ROZDĚLENÍ	
POVRCH	DLÁŽDĚNÝ
MIN. RYCHLOST ZE SOUBORU DAT	5
MAX. RYCHLOST ZE SOUBORU DAT	55
PRŮM. RYCHLOST ZE SCÉNÁŘE	35
NÁRŮST RYCHLOSTI ZE SOUB. DAT	5
CELKOVÝ PROBĚH ZE SCÉNÁŘE	600 mil
CELKOVÁ DOBA	17,143 h
POMĚR PRŮM./MAX. RYCHLOST	64 %

VYPOČTENÉ VÝSLEDKY	
Rozděl. Min. rychlost	0
Rozděl. Max. rychlost	57,5
ALFA	3,40
BETA	2,19
Průměrná rychlost	35,00
Celkový proběh	600,016 mil
Celková doba	17,143 h
Chyba	0,00%

**Beta rozdělení rychlosti**



BETA ROZDĚLENÍ RYCHLOSTI								
Repr rychl	Start rychl	Konc rychl	Prům rozsah	Proc čas	Čas v hod	Čas v min	Míle	Proc míle
---	0	2,5	1,25	0,012%	0,002	0,1	0,0	0,00%
5	2,5	7,5	5	0,458%	0,078	4,7	0,4	0,07%
10	7,5	12,5	10	1,965%	0,337	20,2	3,4	0,56%
15	12,5	17,5	15	4,486%	0,769	46,1	11,5	1,92%

BETA ROZDĚLENÍ RYCHLOSTI								
20	17,5	22,5	20	7,672%	1,315	78,9	26,3	4,38%
25	22,5	27,5	25	11,033%	1,891	113,5	47,3	7,88%
30	27,5	32,5	30	13,998%	2,400	144,0	72,0	12,00%
35	32,5	37,5	35	15,954%	2,735	164,1	95,7	15,95%
40	37,5	42,5	40	16,295%	2,793	167,6	111,7	18,62%
45	42,5	47,5	45	14,480%	2,482	148,9	111,7	18,62%
50	47,5	52,5	50	10,145%	1,739	104,4	87,0	14,49%
55	52,5	57,5	55	3,501%	0,600	36,0	33,0	5,50%
Celkem				100 %	17,1	1028,6	600	100 %
Celkem použito				100 %	17,1	1 028,4	600	100 %

**OBRÁZEK 1 - Vzorové Beta rozložení pro kolové vozidlo**

Koncové body Metody Beta rozdělení jsou upraveny poněkud odlišně pro širokopásmové na náhodné nebo sinusové na náhodné PLVZ. V takových případech jsou koncové body Beta distribuce rozestaveny přesně do bodů požadované minimální a maximální rychlosti. Pokud je zde uvedený příklad pro pásové vozidlo, rozsah prvního vstupu je 5 – 7,5 mil/h místo 2,5 – 7,5 mil/h. Pro pásové vozidlo úzkopásmové náhodné rozmítané ovládají únavové expozice reprezentované PLVZ. Totéž platí pro rozmítané sinusové PLVZ. Z tohoto důvodu je větší důraz položen na rozmítání pásem při výpočtu Beta rozdělení. Rozmítaná pásma jsou vázána frekvencemi spojenými s minimálními a maximálními požadovanými rychlostmi a Beta rozdělení pásem jsou vybírána tak, aby tomu odpovídala. Věnujte pozornost tomu, že rychlosti sahající z koncových bodů mají potom poloviční šířku než mezilehlé body. Toto je vysvětleno v procesu VVP při výpočtu skutečné doby jízdy představované každým případem rychlosti. Doby jízdy pro první a poslední rychlost jsou nastaveny na jednu polovinu mezilehlých rychlostí. Všimněte si také, že během zkoušení na vibrátoru jsou rozmítané úzkopásmové v rozsahu koncových bodů rychlosti pro polovinu doby každé rychlosti.

## 7.2 Letouny

Scénář pro náklady a instalovaná zařízení přepravovaná v letadlech je obecně měřen spíše v čase než vzdáleností. Čas začíná pohotovostním režimem fáze provozu motorů a postupuje přes stoupání, přímý let, manévrování a končí klesáním a přistáním. Je nevyhnutelné, aby údaje ve scénáři pro daný letoun poskytovaly dostatečné letové podmínky pro adekvátní popis nejnáročnějších vibračních prostředí. Navíc se musí stanovit počet letů tak, aby se mohla určit doba laboratorního zkoušení.

Podrobné údaje do scénáře ve formě využitelných spekter jsou obecně snadněji dostupné pro letoun než pro vozidlo. Využitelné spektrum je tabulka procentuálních poměrů letových dob spojených se všemi manévry příslušejícími ke konkrétnímu letadlu. Tyto informace se přímo převádí do tabulek požadovaných pro tvorbu VVP.

Všeobecně jediným požadovaným zpracováním je zkombinovat použití obsáhlého seznamu manévrů zahrnutých do spektra používání letounu s několika manévry, pro něž se data typicky požadují. V průběhu fáze získávání dat obvykle není možné získat údaje pro všechny manévry ve spektru používání letounu. Pro výběr reprezentativního souboru manévrů, pro něž se požadují data, se využívá odborné posouzení, ačkoliv je běžnou praxí prozkoumat hranice přípustných obálek letu letounu (výška, rychlost, úhel náběhu, změny polohy škrticích klapky, zrychlení atd.) a získat dostatek informací pro umožnění extrapolace nebo interpolace k pokrytí jiných případů. Podobně procentuální podíly letových časů všech manévrů ve spektru používání letounu se musí rozdělit na manévry, pro něž se požadují údaje. Tato analýza by se měla spoléhat na zdroje dobře informované o používání letounu, které by měly přispět k tvorbě scénáře.

### **7.3 Námořní plavidla**

Materiál instalovaný na palubě námořních lodí je vystaven proměnlivým frekvencím a amplitudám vibrací prostředí pro rozsáhlé časové etapy, během nichž se požaduje, aby plnil své běžné funkce. Základními příčinami ustálených vibrací lodí jsou buzení lopatek lodního šroubu a nevyvážené síly lodního šroubu a transmise. U zařízení instalovaných na lodi jsou vibrace také způsobovány rezonancemi upevňovacího systému, změnami rychlosti a směru plavby lodí a změnami ve stavu moře.

Zařízení integrovaná do lodí budou mít obecně delší technickou životnost než zařízení charakteru nákladu. V obou případech se dá předpokládat, že PPŽC se bude skládat z počtu hodin na moři dále rozdělených na různé stavy moře. Pokud není známo přesné rozložení stavů moře, doporučuje se, aby zkušený analytik využil výhody metody Beta rozdělení rozebrané v předchozím oddílu jako metodu pro dokončení PPŽC.

### **7.4 Železniční přeprava**

Materiál instalovaný na železničních vozech je přednostně vystaven nízkým úrovním širokopásmových vibrací způsobovaných v první řadě rychlostí jízdy. Není třeba brát v úvahu povrchy. Pokud není doloženo přesné rozdělení rychlostí, doporučuje se, aby zkušený analytik využil výhody metody Beta rozdělení rozebrané v předchozím oddílu jako metodu pro dokončení PPŽC.

## **8 ALTERNATIVY VVP**

Jak bylo rozebráno v oddílu 4, klasifikace údajů pro aktivity spojené s VVP bude spíše sinusová, náhodná nebo kombinací obojího. V případě náhodných dat existuje základní předpoklad stability a funkčních charakteristik Gaussovy hustoty pravděpodobnosti. Pro případy, kdy nejsou provozní data čistě stabilní ani Gaussovská, doporučuje se zkoumat alternativy k metodám VVP rozebraným v tomto dokumentu. Metoda jako je Opakování časového průběhu (v originálu Time Waveform Replication TWR), sestává z opakování jak měřených, tak analyticky stanovených časových křivek v laboratoři. TWR je statistická neparametrická metoda, v níž jsou zachovány jak spektrální, tak časové charakteristiky.



## 9 POSTUPY VVP

### 9.1 Úvahy o VVP

Proces VVP bude závislý na několika faktorech, včetně vibračního prostředí, úloh systému, hodnoty hardwaru, křehkosti systému, omezeních zkušebního programu, možnostech zkušební laboratoře a na dalších ohledech. Nezávisle na použitých metodách musí výsledky definovat vibrace v podmínkách přijatelných pro zkušební laboratoř a musí zahrnovat určení vibračních úrovní a expoziční doby zkoušení.

Úkolem VVP nastíněným v Příloze D, na rozdíl od jednoduché statistické kombinace spekter, je vývoj jak spektrálních odkazů, tak souvisejících dob zkoušení. Jak je stanoveno v článku 1.3, typicky se používají metody časové komprese založené na únavové ekvivalenci, takže vibrační zkoušky je možné vykonat časově i ekonomicky výhodným způsobem. Ale bez ohledu na použitou metodu VVP je třeba předpokládat, že spektrální tvar konečného produktu bude podobný tomu, který vychází z provozních dat a byl použit jako základ pro VVP. Za rozumnou kontrolu je možné považovat srovnání tvaru spektra, které je výsledkem VVP se základním statistickým součtem nezhuštěných referenčních dat. Příloha B poskytuje základní údaje na téma statistické kombinace dat, která se ukáže jako užitečná při přezkoumání spektrálních výsledků VVP. Příloha C poskytuje údaje o kombinaci dat z pohledu spektra únavových poškození.

### 9.2 Technická data obvyklá pro metody VVP

Odkaz I poskytuje mnoho metod analýzy signálů a získávání celkových dat a doporučuje se jako klíčový odkaz pro proces VVP. Několik z většiny běžných analytických definic v rámci VVP je uvedeno v příloze B.

#### 9.2.1 Miner-Palmgrenova hypotéza

V nejjednodušším vyjádření je Miner-Palmgrenova hypotéza (Minerovo pravidlo) souborem matematických rovnic používaných pro proměření úrovní vibračních spekter a s nimi spojených zkušebních dob. Poskytuje vyhovující střední hodnoty k analýze únavových poškození vznikajících následkem cyklických zatížení. Minerovo pravidlo, původně založené na empirických datech, zavádí vztah mezi poměrem počtu cyklů na dané úrovni zatížení k počtu cyklů na jiné úrovni zatížení.

Hlavní příčinou jevů, kdy položka není schopna plnit určenou funkci je únava materiálu a opotřebení akumulované po nějaký časový interval jako výsledek zatížení z indukovaných vibrací. Pro materiál se upřednostňuje zkoušení v reálném čase, protože účinky provozního prostředí se simulují nejefektivněji. Ale ve většině případů nelze zkoušení v reálném čase ospravedlnit, protože je nákladné a jsou zde i programová omezení. Tudíž je zvykem zhustit prostředí technické životnosti do ekvivalentní laboratorní zkoušky. Pro vibrační prostředí, která mění svou náročnost v průběhu technické životnosti materiálu, doba působení prostředí se často pro zkoušení může zredukovat pomocí úpravy méně náročných prvků vibračního prostředí na maximální úroveň prostředí použitím nějakého přijatelného algoritmu.

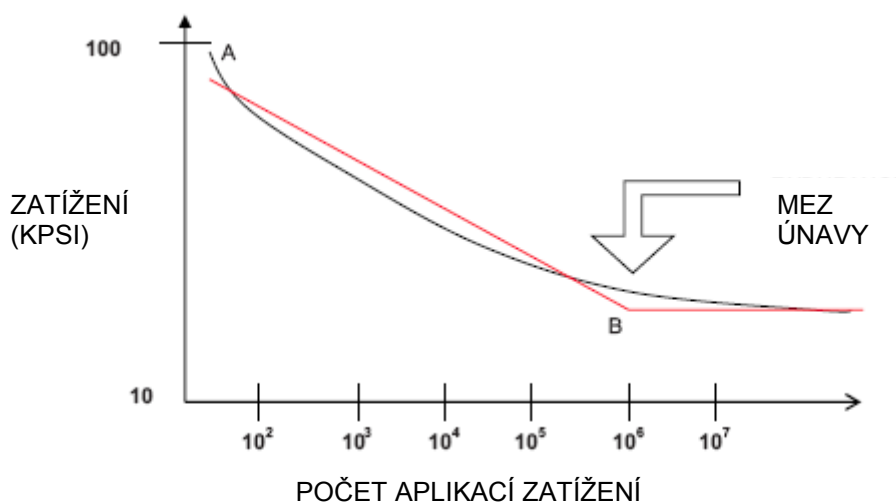
V mnoha případech může úprava méně náročných prvků na maximální úroveň přinést dobu trvání, která je stále ještě příliš dlouhá, až je to neúčelné.

V takových případech se doporučuje stejný algoritmus použít pro další redukcí doby trvání zkoušky zvýšením zkušebních amplitud. V rámci přísných mezí je přijatelné stanovit, aby únava byla podstatným kritériem potenciálních poruch zkoušeného materiálu. Především je třeba respektovat, aby zkušební amplitudy nebyly příliš nadsazovány nebo urychlovány, aby se jednoduše dosáhlo kratších dob trvání. Takové nadměrné amplitudy mohou vést ke zcela nereprezentativním poruchám a přinutí dodavatele, aby konstruoval materiál, který odolá spíše libovolné zkoušce než provozním podmínkám. Na druhé straně přílišné prodlužování doby trvání zkoušky cestou přehnaného redukování velikosti amplitud může vést k náhodnému vibračnímu zkoušení objektu v laboratoři, ale k provozním poruchám vyvolaným skutečnými vibracemi.

Zatímco použití „Minerova pravidla“ je založeno na únavovém poškození, které je základním mechanismem poruch, historicky bylo zjištěno, že doba trvání zkoušky vypočtená tímto způsobem má tendenci být poněkud konzervativní, když zvažujeme jiné mechanismy poruch jako je tření a další druhy mechanického opotřebení. Nicméně pokud uvážíme širokou škálu funkcí dynamického působení předpokládaných během cyklu životnosti většiny materiálu, prokázalo se, že doba trvání zkoušky vypočítaná podle Minerova pravidla je všeobecně přijatelná bez ohledu na uvažované mechanismy poruch.

#### 9.2.1.2 Křivka S/N

Vztah mezi zatížením a počtem cyklů se může graficky vyjádřit tak, jak uvádí obrázek 2. Obrázek 2 spojuje zatížení (S) s počty cyklů (N) a je příkladem grafu běžně zmiňovaného jak křivka S/N. Černá křivka na obrázku 2 je teoretický vztah zatížení a počtu cyklů. Červená křivka je lineární reprezentací černé křivky. Všimněte si, že počet cyklů narůstá s poklesem úrovně zatížení. V bodu A křivky je úroveň zatížení tak velká, že únavové poškození bude výsledkem jakéhokoli počtu cyklů. V bodu B na křivce, běžně nazývaného mez únavy, je úroveň zatížení tak nízká, že nekonečný počet cyklů nevyvolá žádné únavové poškození. Mezi body A a B je oblast zájmu pro výpočty pomocí Minerova pravidla.



**OBRÁZEK 2 – Křivka S/N**

### 9.2.1.3 Miner-Palmgrenovy rovnice

Nejčastěji používanou metodou pro kalkulace redukování doby trvání zkoušky je Miner-Palmgrenova hypotéza, která používá silové vztahy založené na únavových jevech ke spojování doby působení s amplitudou. Matematické vyjádření a variantní popisy této metody jsou zobrazeny níže v rovnicích (9.1) a (9.4).

$$\frac{t_2}{t_1} = \left[ \frac{S_1}{S_2} \right]^M \quad (9.1)$$

kde:

$t_1$  = ekvivalentní doba zkoušení

$t_2$  = doba provozu pro specifikované podmínky

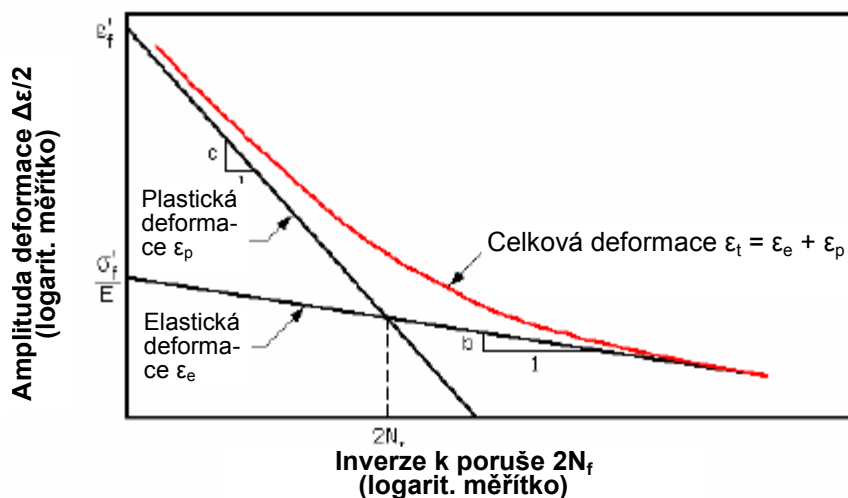
$S_1$  = náročnost (rms) v podmínkách zkoušení

$S_2$  = náročnost (rms) v provozních podmínkách

[Poměr  $S_1/S_2$  je běžně znám jak zveličovací faktor]

$M$  = hodnota založená na (ale ne totožná) sklonu křivky S/N pro příslušný materiál, kde  $S$  představuje amplitudu zatížení a  $N$  představuje střední počet aplikací stálých amplitud zatížení, pro který se předpokládá vznik poruchy.

Únavové poškození lze vypočítat s použitím buď postupu zatěžovací životnosti, nebo deformační životnosti. Ačkoliv se většina strojírenských konstrukcí projektuje tak, že nominální zatížení zůstává pružné, je důležité připustit, že koncentrace zatížení často způsobuje plastické deformace rozvíjející se v blízkosti vrubů. Obrázek 3 zobrazuje úplnou deformaci jako součet plastických a elastických prvků deformace (čl. 12 této kapitoly, odkaz o).



**OBRÁZEK 3 – Typická deformační křivka**

Pro metodu deformační životnosti (předpokládající nulové statické zatížení) se počet cyklů do poruchy  $N_f$  počítá z rovnice:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_f^1}{E} (2N_f)^b + \varepsilon_f^1 (2N_f)^c \quad (9.2)$$

kde:

$\varepsilon_a$  = amplitudy deformace (zkušební nebo provozní)

$\sigma_f$  = koeficient meze únavy (vlastnost materiálu)

$E$  = modul elasticity (vlastnost materiálu)

$N_f$  = počet cyklů do poruchy

$b$  = exponent meze únavy (vlastnost materiálu)

$\varepsilon_f$  = koeficient únavové průtažnosti (vlastnost materiálu)

$c$  = exponent únavové průtažnosti (vlastnost materiálu)

V rovnici 9.2,  $\frac{\sigma_f^1}{E} (2N_f)^b$ , představuje elastické prvky deformace, zatímco  $\varepsilon_f^1 (2N_f)^c$ , představuje plastické prvky. V případě existence nějakého statického zatížení je potřeba rovnici 9.2 eliminovat za použití metod jako je Smith-Topper-Watsonova korektura středního zatížení (čl. 12 této kapitoly, odkaz n).

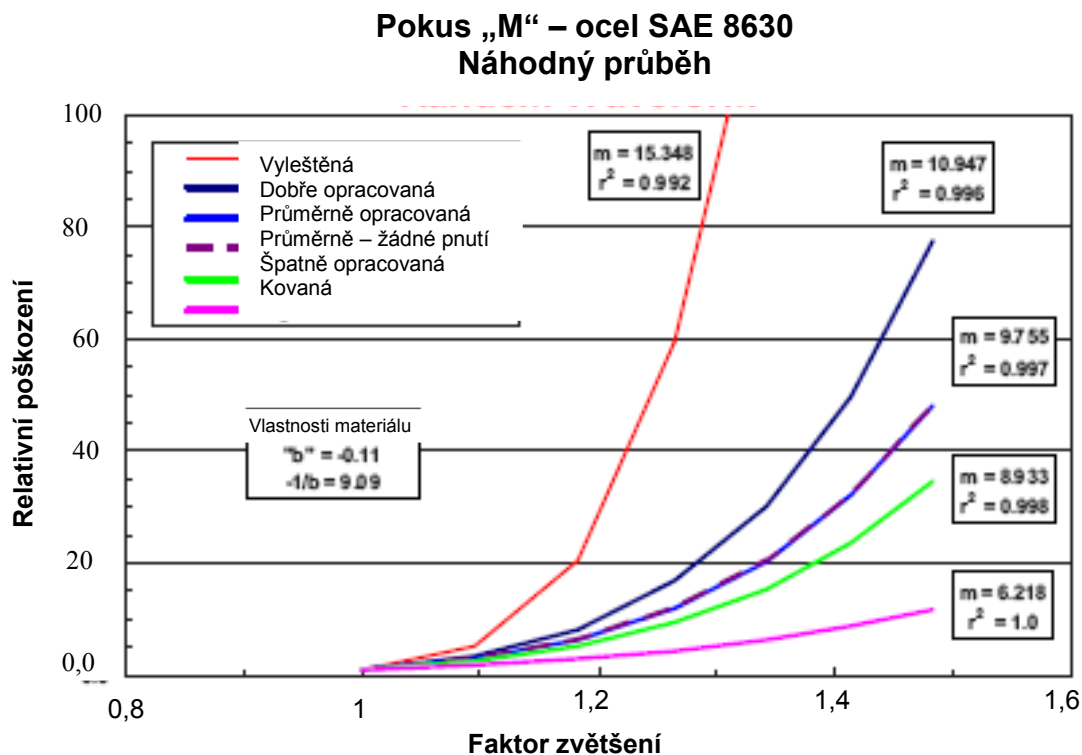
Přechodné stadium  $2N_t$  představuje etapu, v níž jsou rozsahy elastické a plastické deformace totožné. Přechodný bod těchto dvou prvků deformace se dá vypočítat jako:

$$2N_t = \left[ \varepsilon_f^1 E / \sigma_f^1 \right]^{1/(b-c)} \quad (9.3)$$

Jak ukazuje Obrázek 3, přechodné stadium poskytuje vhodné zobrazení mezi nízkocyklickou a vysokocyklickou únavou. Plastické deformace mají velký vliv v oblasti pod přechodným stadiem a elastické deformace mají větší vliv nad oblastí

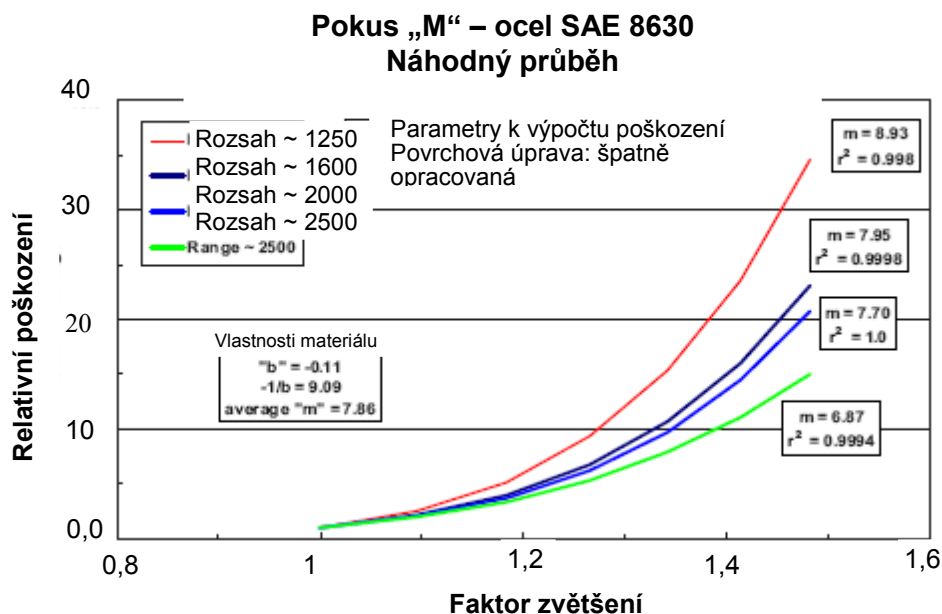
přechodného stadia. Pro dlouhé únavové stavy bude postup průběhu deformace v podstatě přibližný.

Hodnota  $M$  v rovnici 9.1 je silně ovlivněna křivkou  $S/N$ , ale únavová životnost je také ovlivněna povrchovou úpravou, technickým zpracováním a výskytem korekcí středního zatížení. Obrázek 4 graficky znázorňuje vlivy konečného výběru oceli dle SAE 8630 a ilustruje ovlivnění parametru  $M$  konečnou úpravou povrchu.



**OBRÁZEK 4 – Relativní poškození jako funkce povrchové úpravy – ocel SAE-8630**

Kombinovaný podíl elastické a plastické deformace, tvar vlny časového průběhu deformace také budou ovlivňovat hodnotu  $M$ . S využitím oceli SAE-8630 jako příkladu obrázek 5 graficky znázorňuje vliv plastických složek deformace na parametr  $M$ , jak se deformační úrovně blíží k bodu zvratu.



**OBRÁZEK 5 – Relativní poškození jako funkce rozsahu deformace – ocel SAE 8630**

Jako výsledek mnoha faktorů, jako je povrchová úprava a skutečné úrovně deformací, je hodnota  $M$  obecně jistou částí sklonu křivky S-N, známou jako exponent meze únavy a označovaný jako  $b$ . Typické hodnoty  $M$  jsou pro náhodné průběhy 80 % z  $b$  a pro sinusoidální průběhy 70 % z  $b$ .

Historicky se hodnoty  $M$  mezi 5 a 8 běžně používají při pracích v oblasti náhodných prostředí. Hodnota kolem 6 se běžně používá pro sinusové prostředí (čl. 12 této kapitoly, odkazy b a p).

Základ pro výchozí doporučení v tabulce 3 může být vysledován k historickému úspěchu výběru  $M$  v rámci rozsahu naznačeného v tabulce 3, kombinovaného s vyšetřením vlastností široké škály ocelí a hliníkových slitin, jak je rozebráno v odkazu n. Odkaz n sumarizuje deformační analýzu, která byla provedena na souboru běžně používaných ocelí a hliníkových slitin, u nichž se bral ohled na úroveň deformace blížíící se k přechodnému stavu. Úroveň deformací v analytických zkoumáních z odkazu n byly regulovány tak, aby minimální počet cyklů do závady byl obecně vyšší než 10 000. Také se zvažovaly četné postupy povrchové úpravy. Implicitní hodnoty v tabulce 3 byly rozděleny na třídy ocelí a hliníkových slitin, aby se dodala výběru  $M$  určitá přesnost. Sledujte, že historické hodnoty 5-8 spadají do rozsahu  $M$  definovaných v tabulce 3, poskytující další stupeň jistoty mezi historickými hodnotami použitými pro  $M$  a nedávnou analytickou studií z odkazu n.

**TABULKA 3 – Implicitní hodnoty  $M$**

Druh buzení	$M$ – implicitní hodnota (oceli)	$M$ – implicitní hodnota (hliníkové slitiny)
Sinusové	5,75	8,5
Náhodné	7	9

Při zpracování PLVZ pro jednoduchou zkoušku předmětu, jehož konstrukce se skládá z jediného materiálu, by někdo mohl jednoduše hodnotu  $b$  přímo vyhledat a  $M$  vypočítat jako procentuální podíl (70-80 %) z převrácené hodnoty  $b$ , jak je výše rozebráno. Obtížnost většiny úkolů tvorby PLVZ složitých systémů obvykle spočívá v tom, že konstrukce systému zahrnuje více než jeden materiál. V takových případech se doporučuje implicitní hodnoty pro parametr  $M$  převzít z tabulky 3. Pokud není přesné složení konstrukce známé, doporučuje se, aby se zvolily konzervativnější metody výběru  $M$  založené na oceli.

Předpoklad kumulativního poškození je založen na únavových vlastnostech kovů. Odkaz d (kapitola 35) doporučuje, aby se Minerova teorie kumulativního poškození nepoužívala pro kompozitní materiály. Ale „model dožití“ definovaný jako „degenerace kompozitní konstrukce až do stadia, kdy objekt už nemůže plnit stanovený účel“ je představen jako energetický model v podobě rovnice (9.1) s proměnnými exponenty závislými na druhu kompozitního systému. Doporučuje se, aby se zhuštění doby zkoušení pro kompozitní konstrukce zpracovávalo na principu případ od případu.

Protože se většina vibračních prostředí vyjadřuje pomocí funkce výkonové spektrální hustoty, může se rovnice (9.1) také formulovat jako:

$$\frac{t_2}{t_1} = \left[ \frac{W(f)_1}{W(f)_2} \right]^{\frac{M}{2}}$$

Kde:

$t_1$  = ekvivalentní doba zkoušení

$t_2$  = provozní doba pro stanovené podmínky

$W(f)_1$  = VSH v podmínkách zkoušení,  $g^2/Hz$

$W(f)_2$  = VSH v provozních podmínkách,  $g^2/Hz$

[Poměr  $W(f)_1/W(f)_2$  je běžně znám jak zveličovací faktor]

$M$  = je stanoveno v rovnici (9.1)

Poměr  $W_2$  ku  $W_1$  se stává zveličovacím faktorem. Pro faktory větší než 1 se doba laboratorního zkoušení redukuje a naopak pro faktory menší než 1 se doba zkoušení zkracuje.

Výběr exponentu  $M$  nedává úplnou volnost k použití rovnic (9.1) a (9.4) při kompresi dob zkoušení! Je třeba věnovat pozornost při používání zveličovacího faktoru. Zdá se nevhodné zkoušet komprimovat dobu zkoušení tak, že zvětšené amplitudy budou překračovat mez kluzu nebo mez pevnosti materiálu. Odkaz h naznačuje omezení zveličení úrovní zkoušení tak, že se nepřekročí poměr mezi mezí pevnosti a mezí únavy zkoušeného materiálu. Při pokusu stanovit maximální hodnotu zveličení se provedlo zkoumání mechanických vlastností 25 kovů, které se nejčastěji používaly v široké škále zkoušených objektů (čl. 12 této kapitoly, odkaz i).

Poměry lomového napětí ( $U$ ) k mezi pružnosti ( $Y$ ) a lomového napětí ( $U$ ) k mezi únavy ( $EN$ ) se vypočítávaly pro každý z kovů a vznikly průměrné hodnoty  $U/Y = 1,37$  a  $U/EN = 2,78$ . Tyto poměry byly znovu zprůměrovány a obdržela se hodnota 2,08

(viz tabulka 3). Hodnota 2 je z tohoto důvodu doporučována jako maximální hranice pro zveličovací faktory.

Tento postup je založen na kombinaci zkušeností a určitých reálných předpokladů. Zkušenosti ukazují, že zařízení je konstruováno tak, že jeho strukturální integrita leží nad mezí únavy materiálu, protože únavová poškození se vyskytují v provozu. Avšak položky nejsou konstruovány v mezích únavy materiálu, protože tato poškození se nevyskytují v prvním vibračním cyklu.

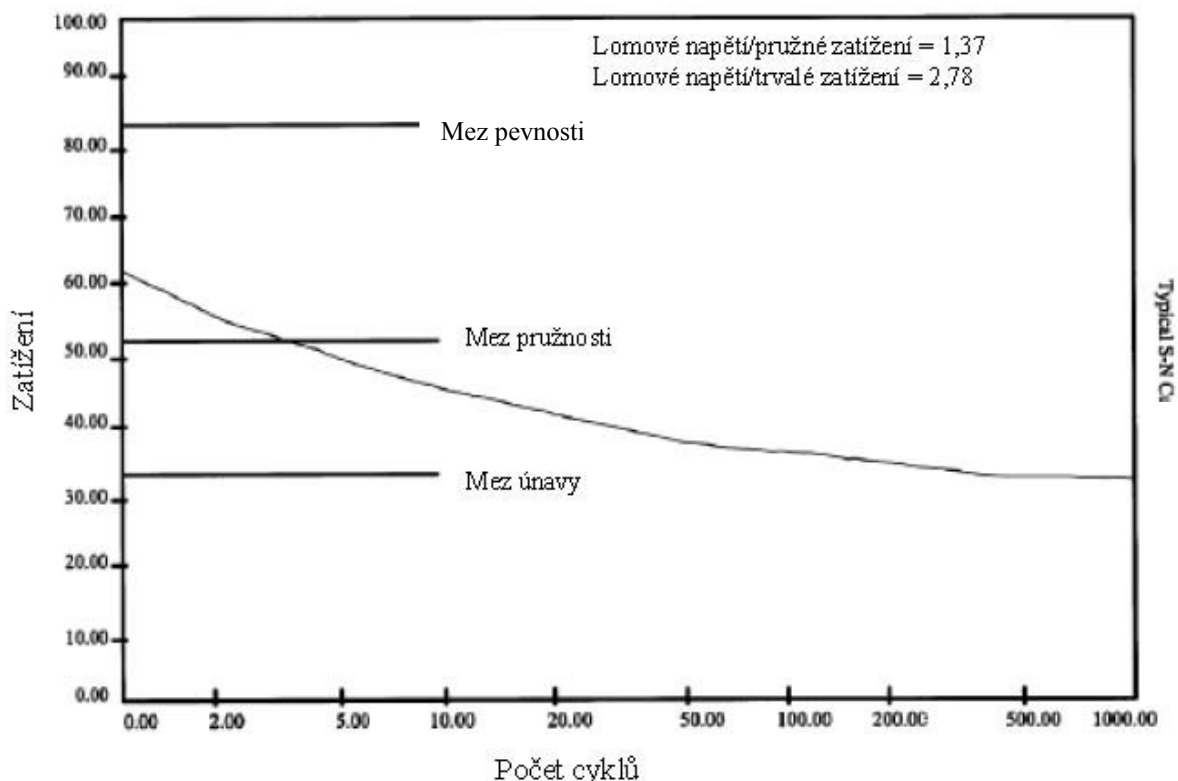
Za předpokladu, že zařízení je konstruováno tak, aby konstrukční charakteristiky ležely někde ve středu oblasti mezi mezí únavy a mezí pružnosti (viz obrázek 6), rozdělení přibližných rozdílů by měla vytvořit hodnotu 2, která tudíž poskytuje důvěru k použití hodnoty 2 jako maximální zveličovací faktor.

Zveličovací faktory pro materiály, jejichž únavové charakteristiky nejsou známy nebo se nedají vypočítat pro mechanismy závad s výjimkou únavových jevů (jako je uvolnění závitových spojů). V takových případech, kdy nejsou dostačující informace o konkrétních aplikacích, které by umožnily využití odůvodněného zveličovacího faktoru, se doporučuje použít skutečné úrovně a doby zkoušení.

**TABULKA 4 – Kovy a jejich materiálové vlastnosti**

	Mez pružnosti (Y)	Mez únavy (EN)	Mez pevnosti (U)	Poměr U/Y	Poměr U/EN
Ocel 0,4 % C, válcovaná za tepla	53	38	84	1,59	2,21
Ocel nerezová (18-8) žíhaná	36	40	85	2,36	2,13
Ocel nerezová (18-8) válcovaná za studena	165	90	190	1,15	2,11
Hliník odlitek 195T-6	24	7	36	1,33	5,14
Hliník tvářená slitina 2014-T4	41	15	62	1,51	3,44
Hliník tvářená slitina 2024-T4	48	18	68	1,42	3,78
Hliník tvářená slitina 6061-T6	40	13,5	45	1,13	3,33
Hořčík vytlačovaný AZ80X	35	19	49	1,40	2,58
Hořčík, pískový odlitek, AZ63-HT	14	14	40	1,00	2,86
Monelův kov, tvářená slitina, neválcovaná	50	40	90	1,80	2,25
Ocel 1040	60	43	90	1,50	2,09
Ocel 1340	63	59	102	1,62	1,73
Ocel 4130	63	47	97	1,54	2,06
Ocel 4140	143	66	165	1,15	2,50
Ocel 4340	200	68	222	1,11	3,27
Ocel 5140	169	82	190	1,12	2,32
Ocel HY 140	142	70	149	1,05	2,13
Ocel Karate 200	215	100	225	1,05	2,25
Ocel Karate 350	345	110	352	1,02	3,20
Hliník odlitek 113	15	9	24	1,60	2,67
Hliník odlitek 335, T61	35	10	39	1,11	3,90
Hliník odlitek 224 T7	48	12	61	1,27	1,27
Hliník odlitek A249, T7	50	11	60	1,20	5,46
Litina, kujná	33	28	58	1,76	2,07
Litina, tažná	55	30,5	80	1,46	2,62
Průměr U/Y = 1,37 Průměr U/EN = 2,78 Průměr (U/Y + U/EN)/ 2 = 2,08					





**OBRÁZEK 6 – Typická křivka S-N**

Minerovo pravidlo, použité při nějaké analytické metodě, není bez vad. Metodická příručka „Rázy a vibrace“, 4. vydání, C Hartus, 1996, identifikuje dva nedostatky. V rámci odkazu na Minerovo pravidlo příručka uvádí: „...(pravidlo) nebere v úvahu pořadí zatížení a předpokládá, že poškození v nějakém jednotlivém cyklu zatížení je nezávislé na zatížení, které předcházelo. Mimoto pravidlo předpokládá, že kumulace poškození je nezávislá na amplitudě zatížení.“ Avšak stejná příručka se o Minerově pravidlu zmiňuje jako o „nejčastěji používaném pravidlu lineárního poškození“. Přijetí tohoto pravidla odbornou veřejností zajisté podporuje Harrisův výrok. Používání Minerova pravidla pro VVP se doporučuje v řadě národních dokumentů. Přesto se doporučuje věnovat pozornost zajištění toho, aby se Minerovo pravidlo používalo správně a s pochopením jeho omezení.

## 10 PROGNOZA MAXIMÁLNÍ ODEZVY

Následně po vytvoření PLVZ je obvykle důležité analyzovat odezvy dynamiky zkoušeného objektu, a to ještě před provedením laboratorní zkoušky. Při absenci detailního mechanického modelu zkoušeného objektu je možné zvažovat využití modelu spektra maximálních odezvy. Základní koncepce analýzy spektra maximálních odezvy a matematické definování jsou stanoveny v příloze E. V případě, že úrovně maximálních odezvy překračují konstrukční zámysly,

doporučuje se ještě před zahájením laboratorních zkoušek provedení důkladného přezkoumání obojího - tedy jak PLVZ, tak detailů konstrukčních cílů.

## 11 SHRNUÍ A ZÁVĚR

Metody tvorby PLVZ se budou dále rozvíjet. Tento rozvoj by mohl být výsledkem zdokonalování řídicích systémů vibračních zkoušek, nebo výsledkem pokračujících analytických studií. Například možnost současného zkoušení ve více osách a schopnost moderních řídicích systémů objasnit negaussovské asymetrie a statistické excesy nakonec ovlivní tvorbu PLVZ. Metody a postupy ukázané v tomto dokumentu jsou určeny jako vodítko, vyžadující pochopení, že se může vyžadovat přizpůsobit je konkrétnímu projektu a že nové metody se mohou začlenit, jakmile budou dostupné.

## 12 ODKAZY

- a. MIL-STD-810D, Metody zkoušení vlivů prostředí a technická směrnice, 19.7.1983
- b. ITOP 1-1-050, Tvorba programů laboratorních vibračních zkoušek, 8.6.1997
- c. ITOP 1-2-601, Programy laboratorních vibrací, 23.4.1998
- d. Příručka Rázy a vibrace, 5. vydání, 282aras, Cyril M. a Piersol, Allan G.; nakladatelství McGraw-Hill 2002
- e. Náhodná data, 3. vydání, J. Bendat a A. Piersol, John 282ley and Sons, NY, 2000
- f. Henderson, Georgie R. a Piersol, Allan G.; „Deskriptor spojený s únavovým poškozením pro prostředí zkoušek náhodných vibrací“, Sound and Vibration, říjen 1995
- g. Piersol, Allan G., Stanovení maximálních strukturálních odezev z předpovědí nebo měření ve vybraných bodech, Jednání 65. symposia Rázy a vibrace, Díl I, SAVIAC, 1994. Informační analytické středisko Rázy a vibrace (SAVIAC), Three Chpt Rd. (Suite 110) Richmond, VA 23229
- h. Curtis, Allen J.; Tinling, Nicholas G.; Abstein, Henry T. Jr., Výběr a provádění vibračních zkoušek, Informační analytické středisko Rázy a vibrace, SVM-8, 1971
- i. Příručka Konstrukční slitiny, Středisko dat o mechanických vlastnostech, Belfour-Stulen, Inc.; Traverse City, Mi, vydání 1977
- j. Robinson, John A. a Cline, Harry T., Výzkum metodologie, Závěrečná zpráva, Uspořádání a upevňování nákladu na vojenských vozidlech, Projekt TECOM č. 7-CO-R09-AP1-002; Zpráva č. APG-MT-5319, listopad 1979
- k. Baily, Richard D. a Spectral Dynamics Research Corporation, Výzkum metodologie, Závěrečná zpráva, Stanovení účelné hmotnosti nákladu, Projekt TECOM č. 7-CO-RD9-AP1-001, Zpráva APG-MT-5572, prosinec 1981
- l. IES-RP-012.2, „Příručka pro získávání a analýzu dynamických dat“

- m. MIL-STD-810G, Metody zkoušení vlivů prostředí a technická směrnice, 31.10.2008
- n. Connon, William, „Velký M-experiment“, DTC-White Paper, listopad 2008 (bude vydáno v IEST ESTECH 2009)
- o. ETBX Modul deformační únavové analýzy, 11.5.2008
- p. DEFSTAN 00-35, Příručka prostředí pro vojenský materiál, 4. vydání, 10.7.2006

## **PŘÍLOHA A**

### **PŘÍPRAVA PRO VVP – ZÍSKÁVÁNÍ DAT**

#### **A.1 Úvod**

VVP vyžaduje úplnou charakterizaci systému vibračního působení. Charakterizace typicky zahrnuje sběr časových průběhů vibrací ze všech příslušných expozičních situací a tabulku expozičních dob pro tyto situace. Tato příloha uvádí obecné informace vztahující se k získávání a přípravě časových průběhů a tvorbě tabulky expozičních dob (systémový scénář).

##### **A.1.2 Příprava vozidla pro získávání dat - náklad**

**A.1.2.1 Předepsaný náklad:** Pokud je náklad a způsob jeho upevnění specifikován, nejsou třeba žádné další pokyny.

**A.1.2.2 Břemeno simulující všeobecný náklad:** Pokud není náklad ani způsob jeho upevnění pro všeobecné použití specifikován, vyberte typické nákladové balení, jako jsou bedny, sudy nebo krabice, konstruované k poskytnutí simulovaného břemene, pokrývajícího co největší část ložné plochy, konzistentní se způsobem upevnění a zatěžující vozidlo na přibližně 75 % jeho jmenovité užitečné hmotnosti. Toto hmotnostní omezení je náhodné číslo založené na studii (odkaz j), ve které se zjistilo, že hmotnosti nákladu se v provozu dost mění, až se stávají nepředvídatelnými, ale mají tendenci se blížit plnému užitečnému zatížení. Jiná studie odhalila, že náročnost vibračního prostředí na ložné ploše vozidla byla minimální při plném užitečném zatížení a dramaticky narůstala s poklesem hmotnosti nákladu (odkaz k). Hodnota 75 % jmenovité užitečné hmotnosti byla vybrána tak, aby poskytovala určitý stupeň konzervatismu. Analytik by měl pečlivě zvažovat scénář mise, aby se potvrdila věrohodnost přepravy lehčího nákladu. Pokud neexistuje zdůvodněná jistota, že se lehčí náklady nebudou přepravovat, doporučuje se pro VVP využít data ze všech uvažovaných podmínek ložení.

Velká tuhá tělesa, jako jsou ocelové pláty, nosníky, betonové bloky apod. by se neměla používat jako simulovaný náklad, protože jejich monolitická povaha potlačuje pružnost ložné plochy. Navíc sypký materiál jako písek nebo zeminu se také nedoporučuje ložit přímo na ložnou plochu, protože tento materiál má snahu utlumit strukturální rezonance existující v ložné ploše.

**A.1.2.3 Upevňování:** Simulovaný náklad se musí bezpečně připevnit k ložné ploše vozidla za použití ocelových pásek, stahovacími pásy anebo proložením nákladu. Upevnění musí být tak bezpečné, aby zabránilo pohybu mezi nákladem a ložnou plochou.

**A.1.2.4 Akcelerometry:** Akcelerometry se musí instalovat na konstrukční prvky ložné plochy na místa, která budou měřit vstupní akcelerační síly působící na náklad, jestliže se využívá jako strategie řízení vstupů. Pokud se plánuje i nějaká strategie kontroly odezev, potom se doporučuje akcelerometry instalovat na tuhá místa konstrukce u základny přepravovaných balení nebo položek. Počet míst musí dostačovat k tomu, aby popsal prostředí ložné

**Příloha A**  
(informativní)

plochy. Je třeba dávat pozor na to, aby nedošlo k umístění akcelerometrů na nevhodná místa, tj. na relativně tenké ocelové plechy, které má většina povrchů ložných ploch.

#### **A.1.3 Příprava vozidla pro získávání dat – instalovaná zařízení**

Akcelerometry se musí instalovat na bočnice vozidla, plošinu a střechu, stejně jako na držáky a police, které jsou integrovanou částí vozidla, co nejbližší k bodu (bodům) upevnění stávajících nebo plánovaných instalovaných předmětů. Účelem je změřit vibrační prostředí vozidla ve vstupním bodu (bodech) instalovaných předmětů, které mají stejné uspořádání jak předměty následně použité jako zkušební objekty v průběhu laboratorních zkoušek. Například pokud jeden předmět je nainstalován na držáku vozidla a tento držák se neobjevuje jako součást zařízení během následných laboratorních zkoušek, tak se předmět doporučuje měřit na držáku jako na vstupu pro tento předmět.

Jestliže existuje instalační nosič a předmět, který se má na něm instalovat není k dispozici, použije se model předmětu o totožné hmotnosti a těžišti. To zajistí, že reakce instalovaného předmětu bude správně zahrnuta do dat zaznamenaných na instalačním nosiči.

V situaci, při níž je zkoušený objekt indikován a může být integrován do řídicího schématu jako kontrola odezvy nebo možná jako mezní umístění, je rozhodující, aby jakékoli náhradní použité technické vybavení mělo výraznou dynamickou podobnost s provozním technickým zařízením. Doporučuje se, aby se úplná modální zkouška náhradního technického vybavení provedla tak, že se zajistí udržení odpovídající dynamické odezvy. V některých případech bude třeba určit kritéria přejímání podobnosti, s nimiž musí být modální parametry náhradního technického zařízení v souladu.

Doporučuje se brát ohled na odlišnosti mezi mechanickými impedancemi instalací pro zařízení instalovaná jak pro provoz, tak pro laboratorní zkoušky, zvláště pro relativně masivní zařízení. Srovnání funkcí provozních a laboratorních frekvenčních odezev je jednou z metod vyhodnocení těchto odlišností a použití metod řízení průměrných, extrémních nebo reakčních laboratorních vibrací se považuje za správný přístup k minimalizaci jakýchkoli impedančních neshod.

### **A.1.4 POSTUP ZÍSKÁVÁNÍ DAT**

#### **A.1.4.1 Získávání dat**

Existuje několik komerčně dostupných systémů pro získávání dat, které jsou schopné provádět měření a záznam vibračních dat, které mohou být vhodná pro VVP. Je zapotřebí, aby se uživatel ujistil, že úprava signálu včetně přesnosti filtru, vzorkovacího poměru a analogově-digitálního převodníku jsou přijatelné pro chystané měření. Například 8pólový (48 dB/oktáva, 160 dB/dekáda) Butterworthův filtr může pro odstranění třepání vyžadovat vzorkovací poměr přibližně čtyřikrát větší než je frekvence filtru.

**Příloha A**  
(informativní)

**A.1.4.2 Náklad**

- a. Připevněte tříosé akcelerometry ke konstrukčním prvkům ložné plochy za účelem měření vibračního prostředí ve třech vzájemně kolmých osách obvykle známých jako svislá, příčná a podélná. Běžně se tato orientace vztahuje k osám vozidla, tj. svislá je nahoru/dolů, příčná je ze strany na stranu a podélná je dopředu/dozadu. Není to povinné, ale je to nejméně matoucí.
- b. Zkontrolujte upevnění.
- c. Ujistěte se, že přístrojové vybavení pracuje správně a všechny snímače jsou kalibrovány.
- d. Vykonejte jízdu s vozidlem stanovenou rychlostí (stanovenými rychlostmi) po označeném okruhu se stálým profilem a zaznamenejte data.

**A.1.4.3 Instalované zkoušené objekty**

- a. Připevněte tříosé akcelerometry na místa skutečných nebo předpokládaných styčných ploch mezi vozidlem a zkoušeným objektem za účelem měření vstupů do objektů, které se následně objeví jako zkoušené objekty v laboratoři. Akcelerometry orientujte pro měření dat ve svislé, příčné a podélné ose, jak je popsáno výše.
- b. Ujistěte se, že přístrojové vybavení pracuje správně a všechny snímače jsou kalibrovány.
- c. Vykonejte jízdu s vozidlem stanovenou rychlostí (stanovenými rychlostmi) po označeném okruhu se stálým profilem a zaznamenejte data.

**A.1.5 POŽADOVANÁ DATA**

Při záznamu dat je třeba dát pozor na to, aby se zajistilo, že data budou mít vazbu na data získaná během předchozích zkoušek se stejným druhem vozidla. Parametry jako jsou vzorkovací poměr a filtrování budou ovlivňovat schopnost srovnávání a slučování prostředí v průběhu analýzy. Šířka pásma filtru je mimořádně důležitá a musí se zaznamenat. Srovnávání a slučování různých datových souborů se musí provádět za použití analytického filtru se stejnou šířkou pásma. Získejte následující:

- a. Přesný záznam umístění akcelerometrů a orientace os.
- b. Přesný záznam zkušební okruhu a rychlostí jízdy.
- c. Zaznamenaná data pokud jde o amplitudy zrychlení v závislosti na čase pro časové intervaly dostačující k zajištění správné analýzy.
- d. Grafické znázornění uspořádání a upevnění nákladu a instalovaných zařízení.
- e. Druh filtru, mezní frekvenci a poměry vzorkování dat.

Po získání dat je nezbytné zajistit, aby data přesně znázorňovala fyzikální jev, který se měřil. To lze zajistit vizuální kontrolou dat, provedením rozdělení

**Příloha A**  
(informativní)

amplitud a dalšími statistickými analýzami v časové a kmitočtové oblasti. Existují jisté anomálie, které je zapotřebí identifikovat a opravit ještě předtím, než budou data prohlášena za platná. Patří sem (ale ne pouze tyto) divoké body a zkreslující posuny snímačů (DC posuny).

Ve všech fázích procesu tvorby PLVZ je naprosto rozhodující dokonalá dokumentace. Při každé tvorbě PLVZ během fáze získávání dat se musí jako součást závěrečné zprávy objevit všeobecný seznam zdrojů, jako jsou výrobní čísla vozidel, identifikace všech přístrojů, snímačů, datových záznamových zařízení, filtrů a použitého software. Ke všem snímačům a zařízením pro analýzu signálů použitým ve fázi získávání dat se musí přiložit podrobný kalibrační seznam. Také se musí zaprotokolovat všechny parametry stanovené uživatelem, jako jsou frekvence vzorkování a nastavení filtrů.

## PŘÍLOHA B

### KOMBINACE SPEKTER (STATISTICKÁ)

#### B.1 Slučování spekter

Tato příloha poskytuje základní definice a čistě statistické přístupy pro slučování spekter. Metody rozebrané v této příloze ve spojení se zaměřením se na scénáře úloh a ekvivalenci únavových jevů formulují základ pro postupy VVP, které jsou rozebrány v přílohách C a D.

Po výběru scénáře a získání reprezentativních dat je obvykle nezbytné spojit příslušná data s jediným deskriptorem prostředí. Pro vibrační zkoušení s jedním stupněm volnosti je obecně takovým deskriptorem funkce autospektrální hustoty (ASH), která reprezentuje měřené vibrační amplitudy na frekvenčním základu. Pro ASH se mezi odborníky ve zkušebnictví často používá pojem výkonová spektrální hustota (VSH). Pro zkoušení vibrací s více stupni volnosti se také vyžaduje znalost vlastností vzájemné spektrální hustoty (dále jen VzSH - v originálu Cross Spectral Density CSD). Přestože budou rozebírány základní definice vzájemné spektrální hustoty, případ VVP pro více stupňů volnosti není předmětem těchto počátečních aktivit.

##### B.1.1 ASH a VzSH

Veďte v úvahu následující základní skalární definice, jak jsou uváděny v odkazu e pány Bendatem a Piersolem. Předpokládají se dva stacionární ergodické gaussovské náhodné procesy,  $\{x(t)\}$  a  $\{y(t)\}$ . Konečné Fourierovy transformace  $\{x(t)\}$  a  $\{y(t)\}$  jsou definovány takto:

$$X(f) = X(f, T) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$
$$Y(f) = Y(f, T) = \int_0^T y(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Autospektrální  $G_{xx}(f)$ ,  $G_{yy}(f)$ , a vzájemná  $G_{xy}(f)$  spektrální hustota  $x(t)$  a  $y(t)$  pro nějaký „neomezený“ časový úsek  $T$  jsou definovány v uvedeném pořadí takto:

$$G_{xx}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|X(f, T)|^2]$$
$$G_{yy}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|Y(f, T)|^2]$$
$$G_{xy}(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[X^*(f)Y(f)]$$



**Příloha B**  
(informativní)

Odhady  $G_{xx}(f)$ ,  $G_{yy}(f)$  a  $G_{xy}(f)$  provedené přes interval „konečný čas“ jsou definovány jako:

$$\begin{aligned}\check{G}_{xx}(f) &= \frac{2}{T} [|X(f, T)|^2] \\ \check{G}_{yy}(f) &= \frac{2}{T} [|Y(f, T)|^2] \\ \check{G}_{xy}(f) &= \frac{2}{T} [|X^*(f)Y(f)|]\end{aligned}$$

A bude mít diskretní spektrální rozlišení  $B_e = \Delta f = \frac{1}{T}$ . Obecně existuje nepřijatelná velká náhodná chyba spojená s tímto hrubým odhadem. V praxi nenáhodná chyba redukuje vypočítáním  $n_d$  různých průměrů délky  $T$  pro obdržení „jemného“ odhadu definovaného jako:

$$\begin{aligned}\hat{G}_{xx}(f) &= \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} [|X_i(f, T)|^2] \\ \hat{G}_{yy}(f) &= \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} [|Y_i(f, T)|^2] \\ \hat{G}_{xy}(f) &= \frac{2}{n_d T} \sum_{i=1}^{n_d} [|X_i^*(f)Y_i(f)|]\end{aligned}$$

V praxi je nutné také zvažovat účinky překrývání a volby okénkováním.

### B.1.2 Interval spolehlivosti odhadů ASH

V průběhu fáze sběru dat v rámci VVP bude veškerá snaha zaměřena na získání dostatečně rozsáhlého záznamu provozních dat, který zajistí přesný výpočet ASH a VzSH. Ve skutečnosti není vždy možné získat dostatečně dlouhý časový průběh, pokud jde o minimalizaci chyb ve spektrálních výpočtech. Vzhledem k tomu, že počet průměrů  $n_d$  není pro všechna měření konstantní, je nutné sledovat chybu spojenou se spektrálním výpočtem, protože to je základem pro postupy VVP, které jsou předmětem tohoto oddílu.

Jak dokládá odkaz e, rozdělení vzorkování pro nějaký výpočet ASH se může zapsat, pokud jde o kvadratické rozdělení, jako:

$$\frac{\hat{G}_{xx}(f)}{G_{xx}(f)} = \frac{X_n^2}{n} \quad n = 2n_d$$

Všimněte si, že počet stupňů volnosti  $n = 2n_d$  vyplývá ze skutečnosti, že každý přímý výpočet komplexního čísla  $X(f)$  se skládá ze statisticky nezávislých reálných a imaginárních prvků.

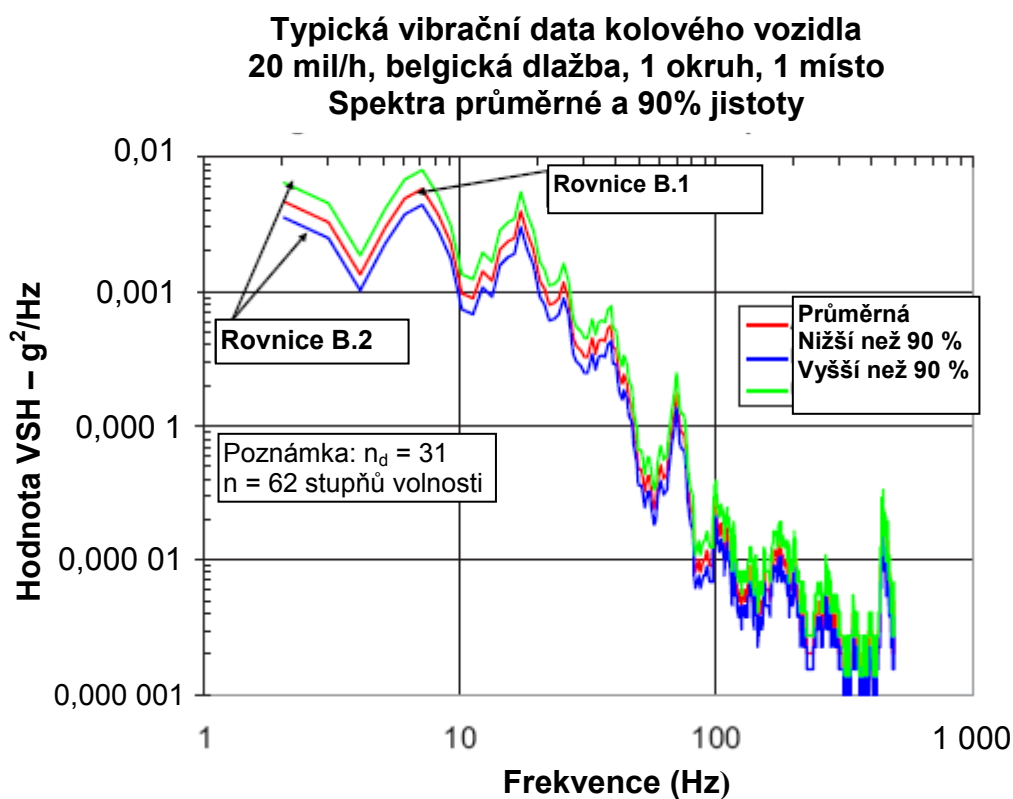
**Příloha B**  
 (informativní)

Pásma statistické jistoty mohou být rozmístěna kolem odhadu  $G_{xx}(f)$  takto:

$$\frac{n\hat{G}_{xx}(f)}{X^2_{n;\frac{\alpha}{2}}} \leq G_{xx}(f) \leq \frac{n\hat{G}_{xx}(f)}{X^2_{n;1-\frac{\alpha}{2}}}$$

kde:  $\alpha$  definuje interval statistické jistoty (tj. pro 90% jistotu je interval  $\alpha=1$ )

Všimněte si, že intervaly statistické jistoty se úzce vztahují k přesnosti výpočtu  $G_{xx}(f)$  a v žádném případě se netýkají rozptylu v rámci jednotlivých spektrálních košů průměrů používaných pro výpočet  $\hat{G}_{xx}(f)$ .



## **B.2 Statistické úvahy pro limity průběhu v souborech dat**

Tento oddíl poskytuje informace vztahující se ke statistické charakterizaci souboru dat pro účely definování horního limitu datového souboru určeného ke statistickým a pravděpodobnostním úvahám. Tento oddíl je založen na závěrech práce uvedené v odkazu g a shrnuté v Metodě 516, příloha B odkazu m.

Informace z tohoto oddílu jsou obecně použitelné pro výpočty ve frekvenční oblasti, které jsou plánovitě založené na daných informacích nebo měřeních v časové oblasti zpracovávaných ve frekvenční oblasti v souladu s nějakou vhodnou metodikou, tj. pro stacionární náhodné vibrace se doporučuje ASH, pro velmi krátké přechodné se může použít SRS, ESD nebo FS. Díky poskytnutým výpočtům ve frekvenční oblasti umožní informace v této příloze stanovit horní limity dat statisticky správným způsobem.

### **B.2.1 Předpoklady pro základní odhady**

Předpověď odhadů, měření hodnot nebo kombinace předpovědi a měření se musí zvažovat stejným způsobem. To předpokládá, že nejistota jednotlivých měření (chyba zpracování) neovlivní úvahy o limitech. Pro měřené provozní údaje zpracovávané tak, že odhady SRS, ESD, FS nebo ASH jsou získány pro záznamy o jednom vzorku, je užitečné prověřit a sumarizovat celkovou statistiku „podobných“ odhadů vybraným způsobem tak, aby neovlivnila celkovou statistiku. Pro zajištění neovlivnění odhadů by se měřicí body měly vybírat náhodně, v souladu s cíli měření. Podobné odhady se mají definovat jako (1) odhady v jednom místě na materiálu, které byly získány z opakovaného zkoušení v podstatě identických experimentálních podmínkách; (2) odhady na systému, které byly získány z jedné zkoušky, ale odhady se braly (a) v několika sousedících místech zobrazujících stupeň homogenity odezvy nebo (b) v „zónách“, tj. v různě umístěných bodech s podobnou odezvou; nebo (3) kombinace (1) a (2). V každém případě se předpokládá, že existuje určitý stupeň homogenity mezi odhady napříč zájmovým frekvenčním pásmem. Tento poslední předpoklad obecně vyžaduje, aby (1) soubor odhadů pro danou frekvenci neměl žádné podstatné „nepřesnosti“, které mohou způsobit rozsáhlé kolísání a (2) větší vstupní podnět do systému ze kterého se bere měření, obsahoval větší hodnoty odhadů.

### **B.2.2 Předběžné zpracování souhrnu základních odhadů**

Existují dva způsoby, kterými lze získat souhrny. První způsob je použít „obalující“ schéma na základní odhady, aby se dospělo ke konzervativnímu odhadu prostředí a nějaké kvalitativní odhady z rozptylu základních odhadů vztahující se k této obálce. Tento postup je závislý na posouzení analytika a obecně neposkytuje od různých analytiků shodné výsledky. Druhý způsob je nějakým statisticky vhodným způsobem spojit základní odhady a odvodit statistický význam odhadů založených na teorii rozdělení pravděpodobnosti. Odkaz g sumarizuje stávající stav znalostí vztahujících se k tomuto přístupu a jejich vztah ke stanovení horních limitů souborů dat. Obvykle se odhady

**Příloha B**  
(informativní)

vztahují a jejich statistiky souvisí se stejným frekvenčním pásmem, v němž se provádí zpracování. Bohužel pro dané frekvenční pásmo nejsou statistické údaje za celkovým souborem odhadů snadno dostupné vzhledem k neznámé funkci rozložení amplitud pro zájmové frekvenční pásmo. Ve většině případů se může funkce rozdělení považovat za normální, zajišťující, že jednotlivé odhady jsou transformovány do „normální“ formy výpočtem logaritmu se základem 10. Pro odhady ESD a FS průměrování sousedních prvků (předpokládá se, že statisticky nezávislých) zvyšuje počet stupňů volnosti v odhadech, zatímco klesá frekvenční rozlišení s možným vstupem statistického zkreslení v odhadech. Pro odhady ASH může být průměrování sousedních prvků užitečné, protože zajišťuje, že zkreslení odhadů je malé; tj. pásmo rozlišovacího filtru je velmi malou částí z celkového pásma odhadů. Pro odhady SRS, protože jsou založeny na maximální odezvě systému s jedním stupněm volnosti s měnící se přirozenou frekvencí, mají sousední odhady snahu být statisticky závislé a z toho důvodu ne příliš hladké, ledaže by SRS bylo počítáno pro velmi úzké frekvenční intervaly. V takových případech je lepší vyhlazování odhadů SRS provádět pomocí přepracování původního časového průběhu dat v intervalech nadřazených intervalům přirozených frekvencí, např. 1/6 oktáva v protikladu k 1/12 oktávě. Neexistuje žádný zjevný způsob vyhlazení závislých odhadů SRS, pokud se nemůže provést přepracování. Přijatelnou alternativou je nějaký způsob obalení odhadů. Čím větší je velikost vzorku, tím těsnější logaritmická transformace vede k normálnímu rozdělení, pokud zde neexistuje v rámci experimentu výběr zkreslujících chyb při měření. Nakonec jsou zpravidla před použitím horní limity získané podle následujících odstavců vyhlazovány pomocí částí rovné čáry protínajících se ve spektrálních „bodech zlomu“. Tato příloha neposkytuje žádnou směrnici pro postupy „vyhlazování“ nebo „obalování“, například zda odhady se mají ořezat nebo obalit a vztah mezi šířkou pásma odhadů ke stupni ořezání atd., s výjimkou, že by takové vyhlazování prováděl nějaký zkušený analytik. Další informace poskytuje odkaz g.

**B.2.3 Předpoklady pro statistický odhad parametrického horního limitu**

Ve všech vzorcích pro odhad statistického horního limitu souboru  $N$  předpokladů nebo měření

$$\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$$

se předpokládá, že (1) odhady budou logaritmicky transformovány tak, aby poskytly úplný soubor měření blíže k souboru vzorkovanému z normálního rozdělení a (2) zkreslení výběru měření je nepatrné. Protože normální a „t“ rozdělení jsou symetrická, dále uvedené vzorce se používají pro nižší mez změnou znaménka mezi středním a standardním počtem odchylek na minus. To předpokládá, že všechny odhady jsou v jedné frekvenci nebo pro jednu šířku pásma a že odhady mezi šířkami pásem jsou nezávislé tak, že každá zvažovaná šířka pásma se může zpracovávat samostatně a výsledky se dají sumarizovat v jednom grafu přes celistvou šířku pásma jako funkce frekvence. Pro

$$y_i = \log_{10}(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Střední odhad pro skutečnou střední hodnotu  $\mu_y$  je dán vztahem

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

a nezkreslený odhad

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2}{N - 1}}$$

### B.2.3.1 Horní normální jednostranný toleranční limit NTL

Horní normální jednostranný toleranční limit na poměru  $\beta$  těch hodnot ze statistického souboru, které s koeficientem jistoty  $\gamma$  přesahují, je dán hodnotou  $NTL(N, \beta, \gamma)$ , kde

$$NTL(N, \beta, \gamma) = 10^{\mu_y + \sigma_y k_{N, \beta, \gamma}}$$

Kde  $k_{N, \beta, \gamma}$  je jednostranný normální toleranční faktor daný tabulkou B1 pro vybrané hodnoty  $N$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ . NTL je odborně nazýván horní jednostranný normální toleranční interval (z původního souboru odhadů), pro který  $100\beta$  procent z hodnot bude ležet pod limitem se  $100\gamma$  procentní jistotou. Pro  $\beta = 0,95$  a  $\gamma = 0,50$  je to zmiňováno jako limit 95/50.

Následující tabulka z odkazu g obsahuje hodnotu  $k$  pro vybrané  $N$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ . Obecně se nedoporučuje tuto metodu odhadu používat pro malá  $N$  s hodnotami  $\beta$  a  $\gamma$  blížíící se 1 protože odhad normality logaritmické transformace odhadů bude narušen.

**Příloha B**  
(informativní)

**TABULKA B1 – Normální toleranční faktory pro horní toleranční limit**

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	2,76	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	2,06	2,57	3,53	2,36	2,91	3,98
12	1,32	1,69	2,40	1,97	2,45	3,37	2,21	2,74	3,75
14	1,31	1,68	2,39	1,90	2,36	3,26	2,11	2,61	3,58
16	1,31	1,68	2,38	1,84	2,30	3,17	2,03	2,52	3,46
18	1,30	1,67	2,37	1,80	2,25	3,11	1,97	2,45	3,37
20	1,30	1,67	2,37	1,76	2,21	3,05	1,93	2,40	3,30
25	1,30	1,67	2,36	1,70	2,13	2,95	1,84	2,29	3,16
30	1,29	1,66	2,35	1,66	2,08	2,88	1,78	2,22	3,06
35	1,29	1,66	2,35	1,62	2,04	2,83	1,73	2,17	2,99
40	1,29	1,66	2,35	1,60	2,01	2,79	1,70	2,13	2,94
50	1,29	1,65	2,34	1,56	1,96	2,74	1,65	2,06	2,86
∞	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33

**B.2.3.2 Horní normální předpovězený limit NPL**

Horní normální předpovězený limit je hodnota  $x$  (pro původní soubor dat), která bude překračovat následující předpovězenou nebo měřenou hodnotu s koeficientem jistoty  $\gamma$  a je dán vztahem

$$NPL(N, \gamma) = 10^{\mu_y + \sigma_y \sqrt{1 + \frac{1}{N} t_{N-1; \alpha}^2}}$$

Kde  $\alpha = 1 - \gamma$  a  $t_{N-1; \alpha}$  je studentské  $t$  rozdělení proměnné s  $N-1$  stupni volnosti v  $100\alpha = 100(1-\gamma)$  procentech bodů z rozdělení. Tento odhad z důvodu, že předpoklady jsou za svou derivací, vyžaduje pozorný výklad vztahující se k měřením provedeným v daném místě nebo v celém daném pásmu (odkaz g).

**B.2.4 Předpoklady pro neparametrický horní limit statistického odhadu**

Pokud je nějaký vážný důvod se domnívat, že data, která byla logaritmicky transformována, nebudou při aplikaci parametrických limitů definovaných výše dostatečně normálně rozdělena, musí se zvážit použití neparametrických limitů, tj. limitů, které nejsou závislé na předpokladech týkajících se rozdělení odhadovaných hodnot. V takovém případě není nutné transformovat odhady

**Příloha B**  
(informativní)

dat. Veškeré předpoklady týkající se výběru odhadů jsou použitelné pro neparametrické odhady. Při dalším zpracování se mohou vypočítat nižší vázané limity.

#### B.2.4.1 Horní limit ENV

Maximální horní limit je určován výběrem maximálních hodnot odhadů v souboru dat.

$$ENV(N) = \max\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$$

Hlavní nevýhodou tohoto odhadu je, že vlastnosti rozdělení souboru odhadů jsou opomíjeny tak, že není upřesněna žádná pravděpodobnost překročení této hodnoty. V případě „úletů“ v souboru odhadů může být  $ENV(N)$  příliš konzervativní.  $ENV(N)$  je také citlivý na šířku pásma odhadů.

#### B.2.5 Horní nerozdělovaný toleranční limit DFL

Nerozdělovaný toleranční limit, který využívá původní netransformované vzorkovací hodnoty je definován k tomu, aby byl horním limitem, pro který přinejmenším frakce  $\beta$  ze všech vzorků bude nižší než maximální předpovídaná nebo měřená hodnota s konfidenčním koeficientem „ $\gamma$ “. Tento limit je založen na příkazových statistických úvahách.

$$DFL(N, \beta, \gamma) = x_{max}; \gamma = 1 - \beta^N$$

Kde  $x_{max}$  je maximální hodnota ze souboru odhadů,  $\beta$  je frakční podíl pod  $x_{max}$  a  $\gamma$  je konfidenční koeficient.  $N$ ,  $\beta$  a  $\gamma$  jsou závisle volitelné. To je:

Je dáno  $N$  a předpokládá se hodnota  $\beta$ ,  $0 \leq \beta \leq 1$ , musí se stanovit konfidenční koeficient.

Je dáno  $N$  a  $\gamma$ , podíl  $\beta$  se může určit.

Jsou dány  $\beta$  a  $\gamma$ , počet vzorků se může stanovit tak, že se splní podíl a jistota (pro návrh statistického experimentu).

$DFL(N, \beta, \gamma)$  nesmí být významný pro malé vzorky dat  $N \leq 13$  ani pro poměrně velké  $\beta$ ,  $\beta > 0,95$ .

$DFL(N, \beta, \gamma)$  je citlivý na šířku pásma odhadů.

#### B.2.6 Horní empirický toleranční limit

Empirický toleranční limit používá původní vzorkovací hodnoty a předpokládá, že předpovězený nebo měřený soubor odhadů je složen z  $N$  bodů měření přes šířku pásma frekvenčního rozlišení  $M$  pro součet hodnot odhadů  $NM$ . 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  $j$ -tém frekvenčním pásmu přes všechny body měření  $N$

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, M$$

**Příloha B**  
(informativní)

$M_j$  se používá k vytvoření souboru odhadů normalizovaného přes šířky pásem jednotlivých frekvencí rozlišení. To je

$$\{u\} = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1M}; u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2M}; u_{N1}, u_{N2}, \dots, u_{NM}\}$$

$$\text{kde } u_{ij} = \frac{x_{ij}}{m_j} \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad j = 1, 2, \dots, M$$

Soubor normalizovaných odhadů  $\{u\}$  je seřazen od nejmenších po největší a  $u_\beta = u_{(k)}$ , kde je definováno, že  $u_{(k)}$  je  $k$ -tý člen souboru  $\{u\}$  pro  $0 < \beta = \frac{k}{MN} \leq 1$

Pro každou šířku pásma frekvencí rozlišení je potom

$$ETL(\beta) = u_\beta m_j = x_{\beta j} \quad j = 1, 2, \dots, M$$

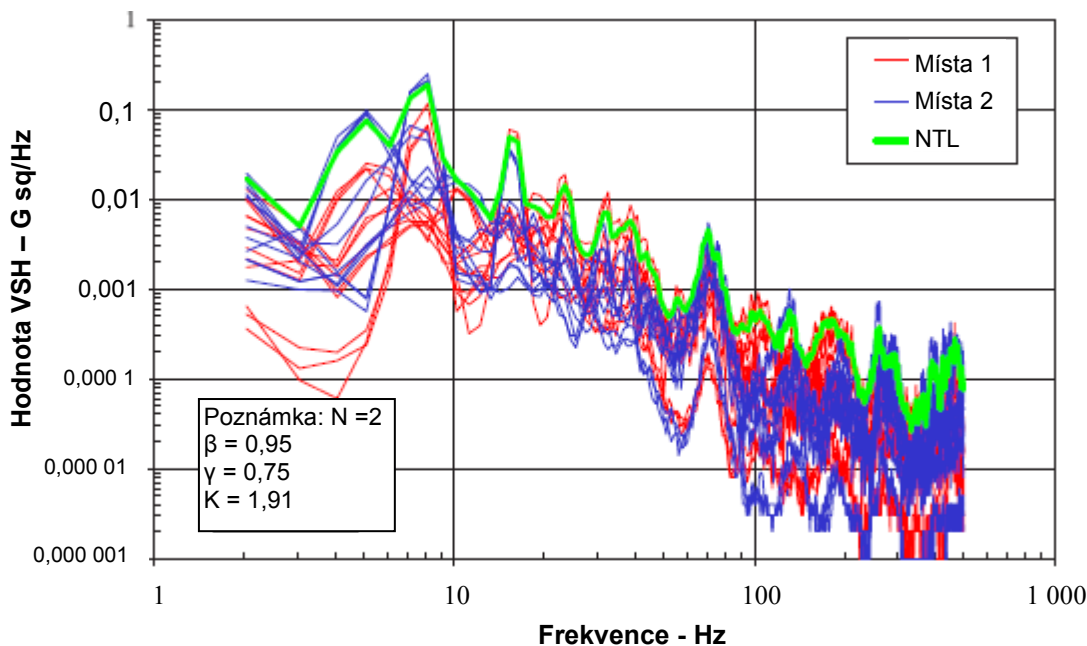
Použití  $m_j$  znamená, že hodnota  $ETL(\beta)$  v  $j$  překračuje  $\beta$  procent hodnot s 50% jistotou. Pokud se vybere hodnota jiná než  $m_j$ , úroveň jistoty může stoupat. Je důležité, aby soubor odhadů byl pro použití tohoto limitu stejnorodý, tj. aby odhady měly ve všech frekvenčních pásmech stejný rozptyl. Obecně platí, že aplikace tohoto limitu je povolena pouze, když je počet bodů měření  $N$  větší než 10.

### B.2.7 Příklad pro měřená data

Příklad se skládá z údajů z typického kolového vozidla (4 zkušební okruhy, 3 sledy dat, 2 místa). Soubor obsahuje celkem 24 měření průměrné výkonové spektrální hustoty. Normální toleranční limit (NTL) ze souboru 24 položek (bez toho, aby byl logaritmičsky transformován) byl vypočítán jak  $NTL(N, \beta, \gamma) = \mu + k\sigma$ , jak je uvedeno v oddílu B.2.4, a je zobrazen na obrázku B2. Pro tento příklad byly zvoleny  $\beta = 0,95$  a  $\gamma = 0,75$ , hodnota  $k = 1,91$  byla získána interpolací z tabulky B1.



**Vibrační data typického kolového vozidla  
4 zkušební okruhy, 3 sledy dat, 2 místa  
Obě místa VSH jsou zprůměrovaná  
Křivka normálního tolerančního limitu je odvozena z průměrných VSH**



**OBRÁZEK B2 – Příklad normálního tolerančního limitu aplikovaného na data typického kolového vozidla**

### B.3 Úkoly běžné analýzy a statistické definice datových souborů VVP

Při přípravě na tvorbu vibračního programu se časový průběh vibrací zaznamenává pro řadu podmínek zkoušení (definovaných v oddílu 3 jako „případy“), také zmiňované jako „sledy“. Případ je definován (pro vozidla) jako provoz na relativně homogenním terénu pro konkrétní uspořádání zkoušeného objektu (náklad, tlak v pneumatikách apod.) při stálé rychlosti jízdy. Pro letouny se doporučuje mít seznam případů definovaných, pokud jde o různé letové režimy (přímý let, manévr klopení atd.) prováděné v různých letových rychlostech. Běžná forma analýzy zahrnuje převedení úplného časového průběhu (z jednotlivého postupu) do formátu zhuštěné frekvenční oblasti funkce ASH pomocí rozdělování časového průběhu do datových bloků shodné délky a vypočítáním ASH pro každý z datových bloků samostatně. Při kombinování spekter se předpokládá, že spektra určená ke slučování představují homogenní soubor (tj. celkové spektrální úrovně jsou srovnatelné a spektra mají stejný obecný tvar). Pokud se nejedná o takový případ, kombinování spekter je třeba vyloučit a doporučuje se dodat jinou „spektrální kategorii“, která by reprezentovala podmínky zkoušení. Pokud počítáte odhady těchto funkcí ASH, je žádoucí vypočítat lineární průměr (za předpokladu, že počet vzorků je dostatečně velký,  $n_d > 30$ ), standardní odchylku a vrchol, vše jako funkci frekvence, přes délku zkušebního sledu. Standardní odchylka

## Příloha B

(informativní)

představuje určitý výkyv ve spektrálních datech jako funkce frekvence v daném místě na vozidle následkem náhodnosti procesu zkoušení. Ačkoliv jsou data stacionární, výchyly od střední hodnoty se objevují jak v časové, tak ve frekvenční oblasti.

Kromě počítání střední ASH konkrétního případu jsou často v oblasti zájmu také standardní odchylka a vrcholové varianty ASH. Pro snadnější ilustrování budeme užívat následující symbolickou strukturu:

$$G_m(f) = \text{ASH}(\text{střední}) = \hat{G}_{xx}(f) \quad \text{B.3}$$

$$G_i(f) = \text{ASH}(\text{okamžitá}) \text{ „ASH počítaná přes jednoduchý časový interval } T\text{“}$$

$$G_d(f) = \text{ASH}(\text{standardní odchylka})$$

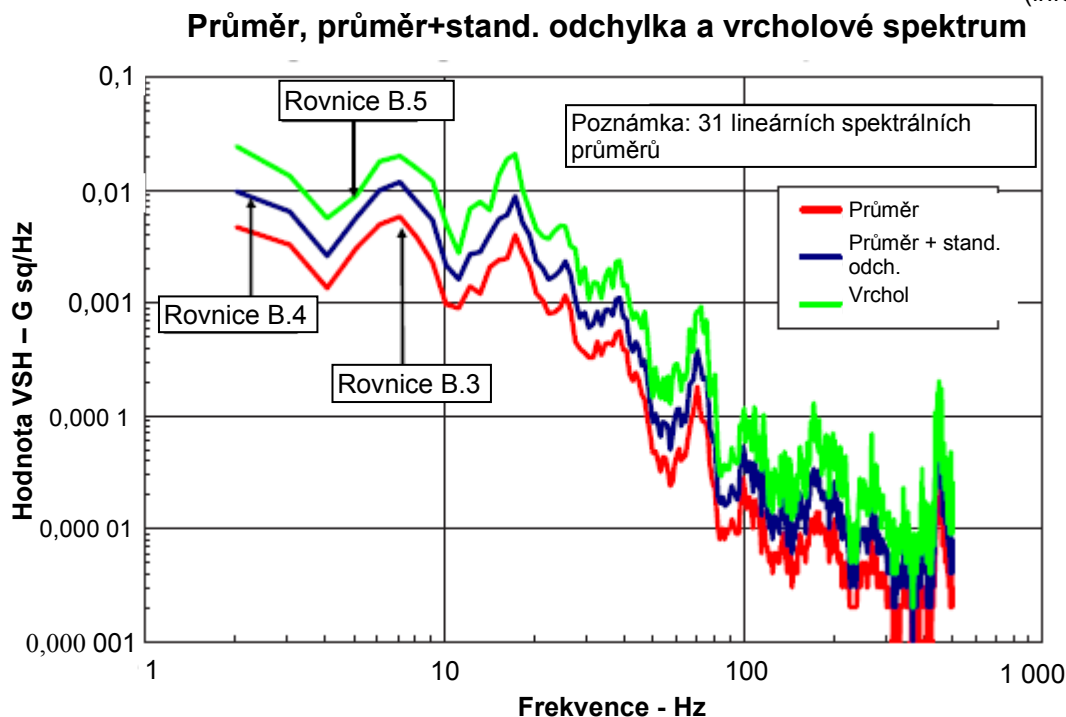
$$G_d(f) = \left[ \frac{1}{n_d - 1} \sum_{i=1}^{n_d} (G_i(f) - G_m(f))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$G_s(f) = \text{ASH}(\text{celková}) = G_m(f) + G_d(f) \quad \text{B.4}$$

$$G_p(f) = \text{ASH}(\text{vrchol}) = \text{MAX}_{i=1}^{i=n_d} [G_i(f)] \quad \text{B.5}$$

Všimněte si, že, statisticky řečeno, normalizovaná chyba pro (vrcholové) spektrum by mohla být velmi vysoká kvůli omezenému počtu stupňů volnosti dostupných z vrcholových hodnot  $G_i(f)$ . Toto spektrum je odhad maxima ASH a doporučuje se ho používat opatrně (pokud vůbec). Příklad vzorové tvorby spektra rozebraný výše, vypočítaný z dat získaných z dat typického kolového vozidla je ukázán na obrázku B3.

**Vibrační data typického kolového vozidla 20 mil/h, Belgická dlažba, 1 zkušební okruh, 1 místo**



**OBRÁZEK B3 – Průměrná, průměrná + standardní odchylka a vrcholová spektra**

Během procesu VVP se často klasická statistika používá způsobem poněkud na vyžádání, aby se zaměřila na neznámé a omezení velikosti vzorku. Data z mnoha míst a mnoho zkušebních případů lze kombinovat (po ose) s využitím různých metod, aby se získala reprezentativní složená spektra. První metodou je jednoduchý lineární průměr ze všech průměrných spekter ze všech postupů a všech případů, aby se získalo celkové průměrné spektrum. Pokud je střední hodnota a median rozdělení tentýž, představuje to přibližně 50. percentil ze spektrálních dat. Druhou metodou je „standardní“ konzervativní přístup často zahrnovaný do procesu tvorby vibračních programů, v němž se kombinují průměr a jedna standardní odchylka spektra z každého postupu a z každého sledu za použití průměru těchto spekter s přidáním jedné standardní odchylky. Standardní odchylka počítaná během tohoto procesu představuje úvahy, jako jsou spektrální rozdíly následkem místa; odlišnosti zkušebních okruhů a okruhy se neuvažují a nejsou stejné jako  $G_d(f)$ . Matematicky je spektrální průměr zobrazen jako:

$$G_a(f) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M G_{s_i}(f)$$

Kde M představuje počet „případů“ zvažovaných při výpočtu průměrného spektra.

Standardní odchylka hodnot ASH jako důsledek různosti zkušebních okruhů a umístění přístrojů tj. funkce frekvence je definována vztahem:

**Příloha B**  
(informativní)

$$G_e(f) = \left[ \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M [G_{s_i}(f) - G_a(f)]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

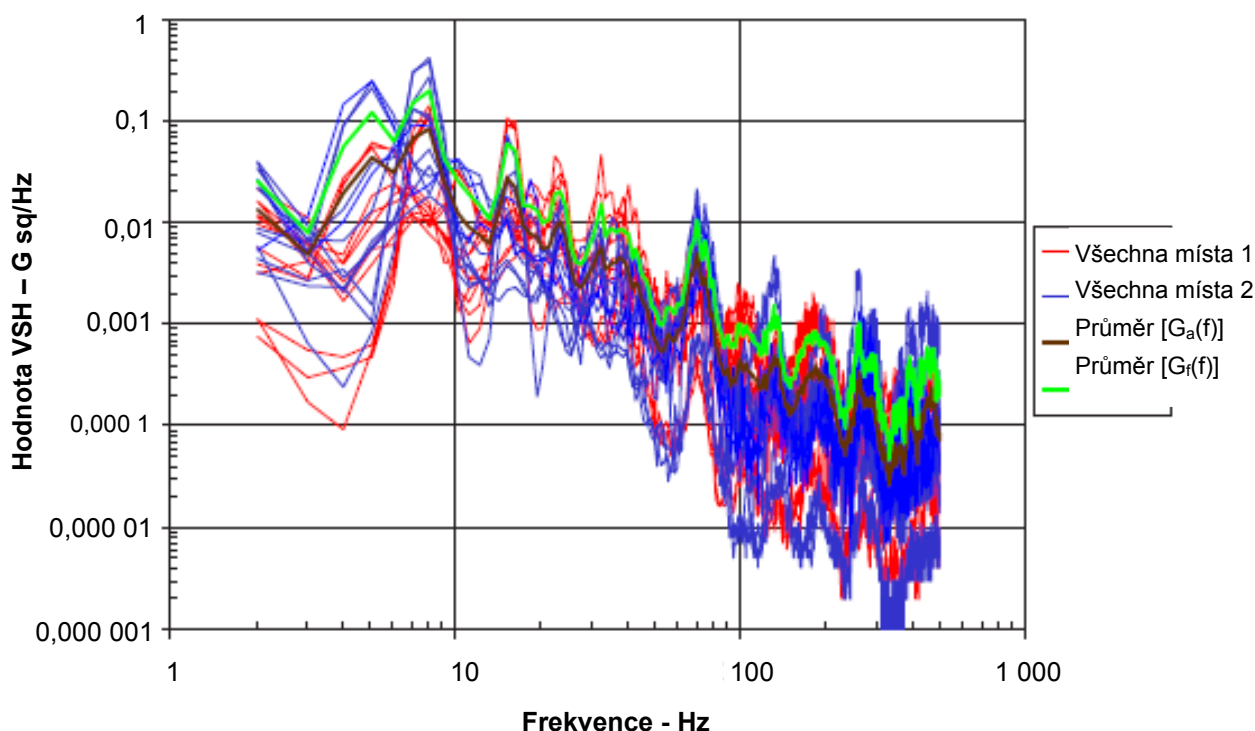
Konečné spektrální měření je definováno:

$$G_f(f) = G_a(f) + G_e(f) \quad \text{B.6}$$

Výpočet  $G_f(f)$  je klíčový prvek používaný v rámci metod VVP objasněných v příloze D.

Vezměte v úvahu stejný soubor dat, který je rozebrán v oddílu B.2.7 (data typického kolového vozidla, 4 zkušební okruhy, 3 sledy dat, 2 umístění). Obrázek B.4 zahrnuje překrytí všech 24 spekter s průměrem ze souboru spektra  $G_s(f)$  /hnědá barva/ a konečné reprezentativní spektrum  $G_f(f)$  /zelené/.

**Vibrační data typického kolového vozidla 4 zkušební okruhy, 3 sledy dat, 2 místa**  
**Obě místa VSH jsou ASH(Sum) „ $G_s(f)$ “**



**OBRÁZEK B4 – Kombinace 24 jednotlivých spekter**

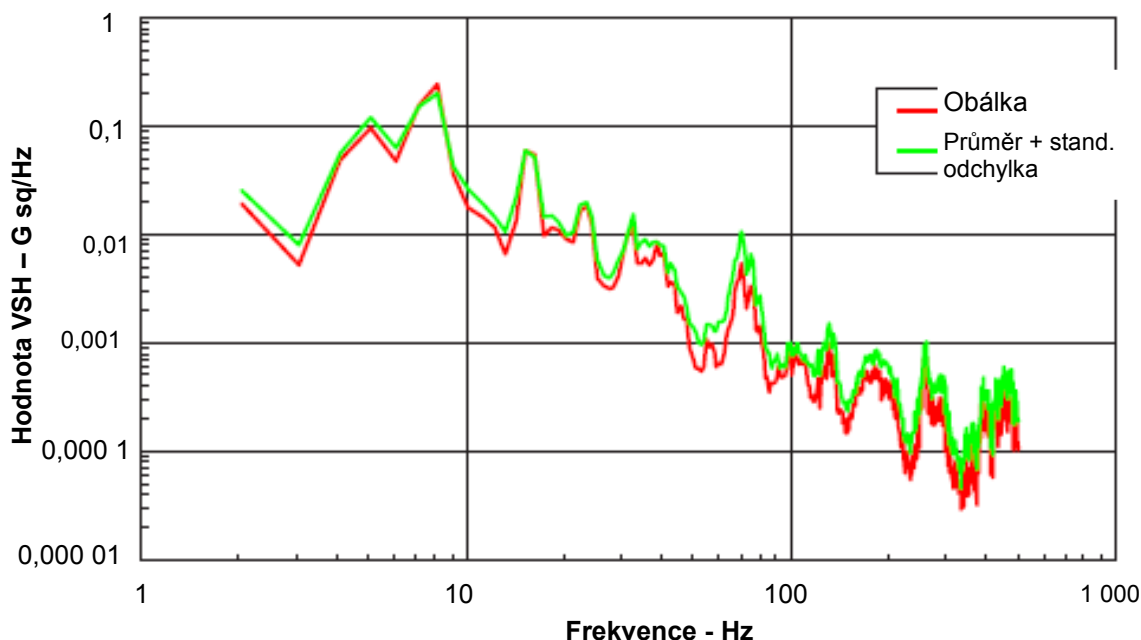
Pro vibrační program je žádoucí, aby byl konzervativním odhadem skutečného prostředí v rámci nějakých věrohodných mezí. Konzervativní odhad se požaduje ze dvou důvodů. Za prvé, velikost zkušebního vzorku je omezená (obvykle je to jedno vozidlo) a je třeba vytvořit nějaké tolerance kvůli rozdílům uvnitř kategorie vozidel. Za druhé, vibrační řídicí systémy přejímají zkušební

**Příloha B**  
(informativní)

specifikaci ve formě VSH a vytváří časový průběh (řídí budič kmitů) za předpokladu Gaussova rozdělení amplitud v časové oblasti. Vibrační data kolového vozidla jsou spíše gaussovská, ale obecně mají větší „dokmity“ (tj. více dat ve vyšších úrovních a s vyššími špičkovými úrovněmi) než Gaussovo rozdělení se stejnými středními a standardními odchylkami. Protože se poškození objevují v dokmitech rozdělení (a ne kolem středních hodnot), je nezbytné rozšířit celkovou úroveň tak, aby Gaussův proces vytvářel vyšší úroveň přiměřené k naměřeným údajům. Konzervativní výsledky poskytuje pouze obalení vrcholového spektra, ale má za následek nadměrné zkoušení, protože zkušební úroveň rms je obecně mnohem větší než nejvyšší jednotlivá měřená úroveň. Aby se zajistilo, že konečný odhad spektra je při nejmenším tak velký jako skutečně měřená data je možné toto spektrum upravit (rozšířit nebo zmenšit) tak, aby jeho úroveň rms byla v rozumné shodě s úrovní největších rms měřených v jakémkoli místě během jakéhokoli datového sledu, přitom se musí zajistit, aby odpovídající spektra byla tvarově podobná.

Výsledné spektrum uvedené na obrázku B5 je porovnáno s obálkou všech průměrných spekter ze souboru dat (v tomto případě 24 spekter). Všimněte si, že výsledné zkušební spektrum je přibližně obálkou jednotlivých spekter.

**Vibrační data typického kolového vozidla 4 zkušební okruhy, 3 sledy dat, 2 místa**  
**Obálka VSH je obálkou průměrných VSH**



**OBRÁZEK B5 – Porovnání výsledného zkušebního spektra (zelená křivka) s obálkou jednotlivých spekter (červená křivka)**

Je důležité poznamenat, že spektrum popsané výše může být složené z různých provozních podmínek, které neexistují pro dobu trvání určenou pro celkové prostředí. Například, pokud se určité frekvenční prvky objevily při

**Příloha B**

(informativní)

provozu v konkrétním zkušebním okruhu, měly by se použít pro zkoušku, jako by se tyto prvky objevily v celém zkušebním okruhu, ne jenom jako prvek reprezentující provoz v jednom zkušebním okruhu. V tomto případě doba trvání zkoušky by také měla vložit do procesu nějaký konzervatismus, který může nebo nemusí být žádoucí. Problémy této povahy jsou rozebrány dále v příloze VVP, která následuje.

## PŘÍLOHA C

### KOMBINACE SPEKTER (SPEKTRA ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ)

#### C.1 METODA KOMBINOVÁNÍ SPEKTER – SPEKTRUM ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ

V roce 1995 Henderson a Piersol uvedli koncepci spektra únavového poškození ke srovnání potenciálního poškození se zkoušeným objektem vystaveným různým zkouškám, které měly přibližně normální amplitudové rozdělení (viz odkaz f). Spektrum únavového poškození je spektrální reprezentace indexu únavového poškození jako funkce nějaké přirozené frekvence systému. Toto spektrum se počítá přímo z funkce výkonové spektrální hustoty (VSH), představující zkušební stav nebo provozní prostředí a poskytuje odhad relativního únavového poškození založeného na úrovni zrychlení a době působení. Na rozdíl od čistě statistických metod rozebraných v příloze B, činí uvažování doby působení stejně jako spektrálních a únavových charakteristik spektrum únavového poškození přitažlivou metodou při tvorbě PLVZ.

Spektrum únavového poškození se počítá z:

$$DP(f_n) = f_n T \left( \frac{G(f_n)}{f_n \zeta} \right)^{\frac{b}{2}} \quad \text{C-1}$$

kde:

$DP(f_n)$  = index poškození jako funkce přirozené frekvence systému

$f_n$  = přirozená frekvence systému (nestálá), Hz

$T$  = doba působení prostředí, s

$G(f_n)$  = VSH pro dané prostředí  $g^2/\text{Hz}$

$\zeta$  = poměr tlumení systému v dominantní přirozené frekvenci vyjádřený jako desetinný

$b$  = hodnota sklonu únavové křivky, když se počítá jako lineární v oblasti log-log stupnice.

Jak je rozebráno v odstavci 9.2.1.3, parametr  $M$  použitý v rovnici (9.1) není totožný s  $b$ . Hodnota  $M$  je silně ovlivněna materiálovou křivkou S-N, ale únavová životnost je také ovlivněna povrchovou úpravou, opracováním, účinkem střední korekce zatížení, podílem elastické a plastické deformace, tvarem časového průběhu deformace atd. Historicky se hodnota  $M = 7,5$  používala pro náhodná prostředí, ale hodnoty mezi 5 a 8 se také běžně používají (všimněte si, že v rovnici 9.3 je při zaměření se na hodnoty ASH exponent  $M/2$ ). Je možné vzít v úvahu podobnou náhradu  $M$  za  $b$  při využití rovnice C-1.

**Příloha C**  
 (informativní)

Vzhledem k tomu, že je únavové poškození založeno na kumulativním účinku různých prostředí nebo podmínek, může se kumulativní index únavového poškození vypočítat jako součet spekter únavových poškození pro jednotlivá prostředí. Tudíž

$$DP_t(f_n) = \sum_{i=1}^N DP_i(f_n) \quad \text{C-2}$$

kde:

$DP_t(f_n)$  = spektrum indexů úplného poškození

$DP_i(f_n)$  = spektra poškození jednotlivými prostředími, jak je definuje rovnice B-1

**C.2 PŘÍKLAD POUŽITÍ SPEKTRA ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ**

Pro generování dat vibrační směrnice pro kolová vozidla se používají ve zkušebním středisku v Aberdeenu (USA) čtyři konkrétní zkušební okruhy. Je nepravděpodobné, že by se podařilo zahrnout všechny tyto povrchy do nějaké reálného scénáře (např. stanovit do jaké míry se belgická dlažba a vozidlo budou vyskytovat v konkrétním scénáři), avšak je možné vypočítat doby působení pro provoz ve zkušebním středisku Aberdeen a využít tyto informace pro výpočet spektra únavového poškození po zkušebním okruhu. Existuje značná priorita pro použití těchto okruhů a rychlostí pro úplné zkoušení vozidel (Velká přepravní zkouška z MIL-STD-810B, červen 1967 – odkaz 5), tak je jen logické, že se využijí jako základ pro simulaci. Každý okruh má změřenou délku a je projížděn jmenovitou rychlostí po stanovenou dobu působení. Tyto informace jsou uvedeny v tabulce C1.

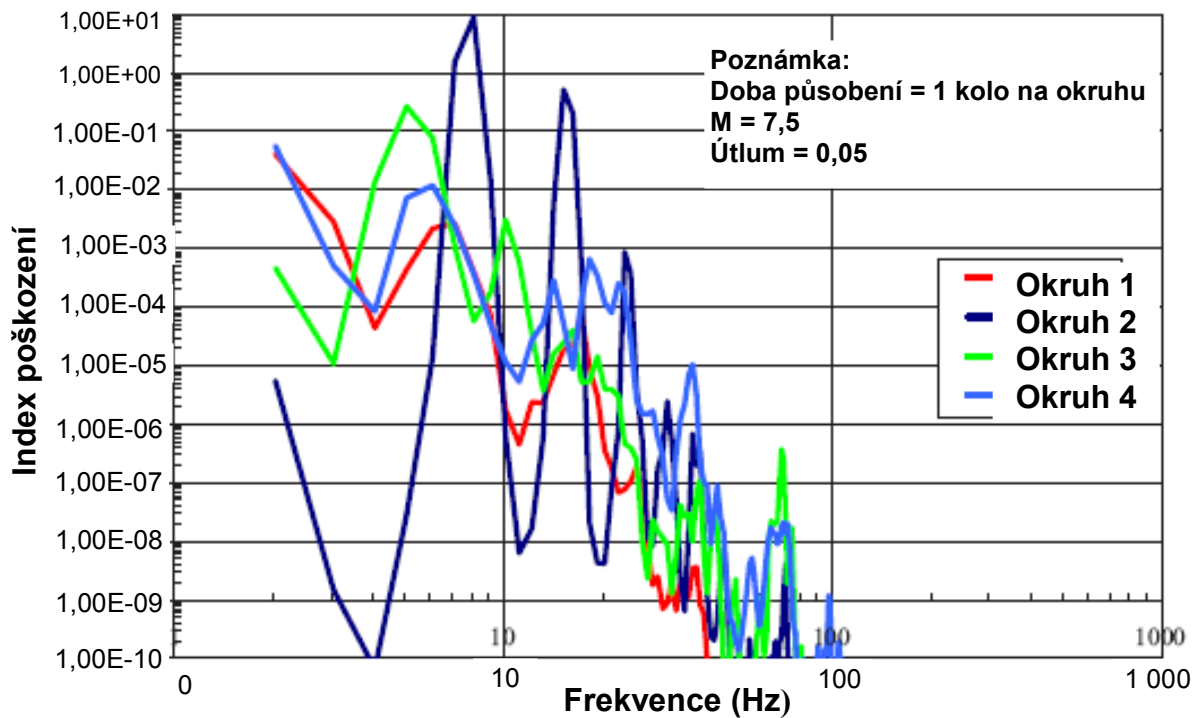
**TABULKA C1 – Délky, rychlosti a doby trvání zkušebních jízd**

Zkušební povrch	Délka m (stop)	Jmenovitá rychlost km/h (mil/h)	Doba jízdy s
Belgická dlažba	1 200 (3940)	32,2 (20)	134
2palcový	250 (822)	16,2 (10)	56
Radiální	74 (243)	24,1 (15)	11
Hrboly	233 (764)	32,2 (20)	26
Celkem	1 757 (5769)		227

Pro vytvoření spektra únavového poškození pro každou zkušební jízdu lze použít doby jízdy s rovnicí C-1 a VSH z příslušného zkušebního okruhu. Při využití stejného souboru dat typického kolového vozidla jako dříve, jsou únavová spektra uvedena na obrázku C1. Pro tento příklad je  $\zeta$  zvoleno 0,05 (5 % kritického útlumu) a exponent  $M$  byl nahrazen  $b$  a jeho hodnota byla stanovena na 7,5.



**Vibrační data typického kolového vozidla  
Spektra únavového poškození  
4 zkušební jízdy, 1 okruh, 1 místo**

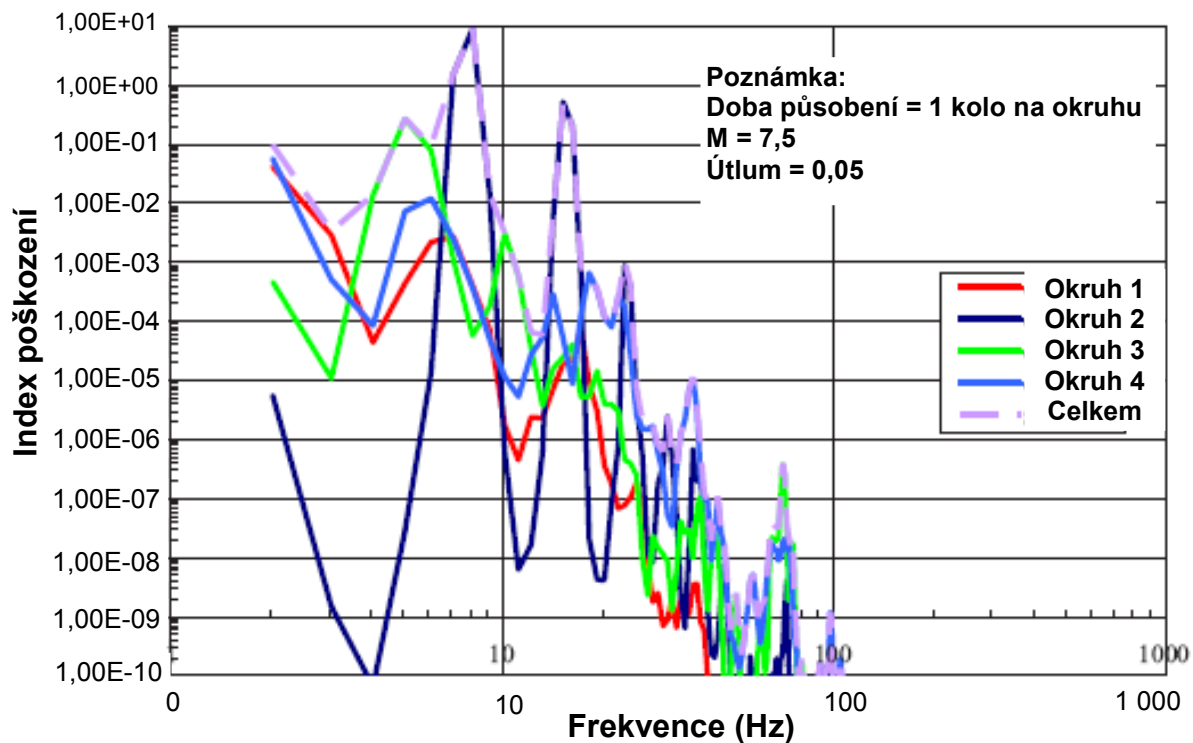


**OBRÁZEK C1 – Spektrum únavového poškození pro konkrétní zkušební okruhy**

Kumulativní spektrum únavového poškození (rovnice C-2) je uvedena na obrázku C2 jako modrá čára a představuje index únavového poškození odvozený z úplného kola ze čtyř stanovených zkušebních okruhů.

**Příloha C**  
(informativní)

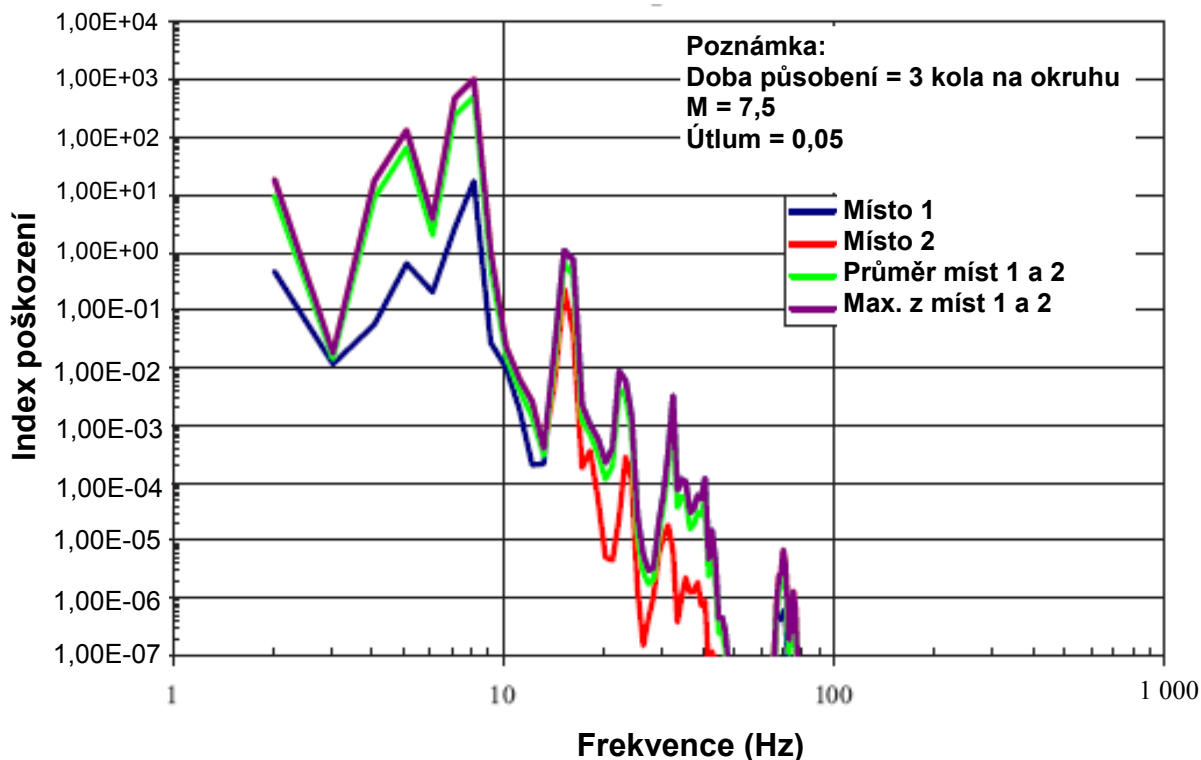
**Vibrační data typického kolového vozidla  
Spektra únavového poškození  
4 zkušební jízdy, 1 okruh, 1 místo**



**OBRÁZEK C2 – Kumulativní únavové spektrum (modrá čára)**

Tentýž postup byl proveden nezávisle pro 2 měřená místa za použití kumulovaných dat pro tři kola. Kumulativní spektra pro každé místo se potom zprůměrovala a pro srovnání obalila; jsou uvedena na obrázku C3.

**Vibrační data typického kolového vozidla  
Spektra únavového poškození  
4 zkušební jízdy, 3 okruhy, 2 místa**



**OBRÁZEK C3 – Kumulativní únavové spektrum z míst 1 a 2**

Jestliže je vybrána doba působení, může se rovnice C-1 přepracovat, aby poskytovala úroveň výkonového spektra zrychlení založenou na únavovém spektru vypočítaném z rovnice C-2.

$$G(f_n) = f_n \zeta \left( \frac{DP(f_n)}{f_n T} \right)^{\frac{2}{b}} \quad \text{C-3}$$

Kde:

$DP(f_n)$  = index kumulativního poškození jako funkce přirozené frekvence systému

$f_n$  = přirozená frekvence systému (nestálá), Hz

$T$  = celková doba působení prostředí, s

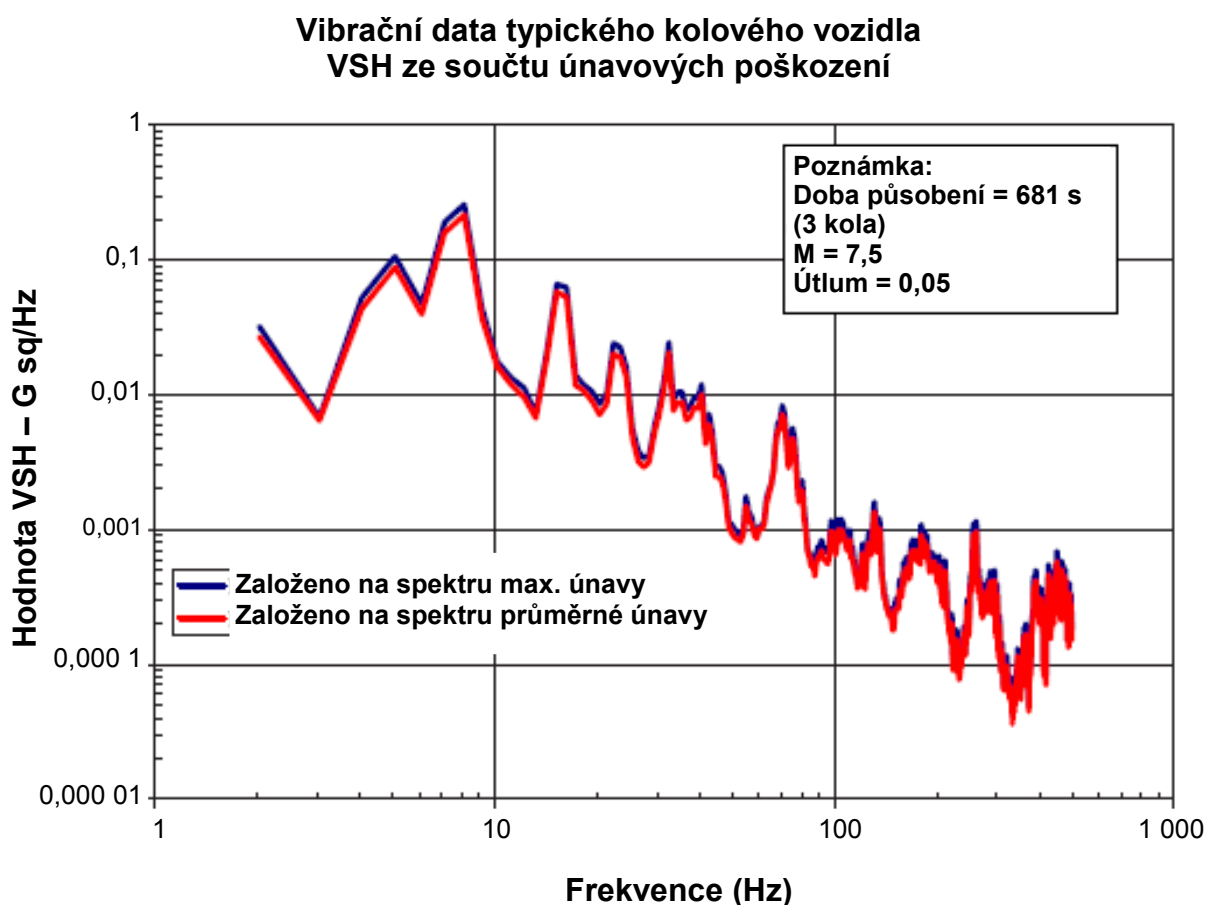
$G(f_n)$  = Ekvivalent VSH pro dané  $DP(f_n)$ ,  $T$ ,  $g^2/\text{Hz}$

$\zeta$  = útlumový poměr systému v dominantní přirozené frekvenci vyjádřený jako desetinný

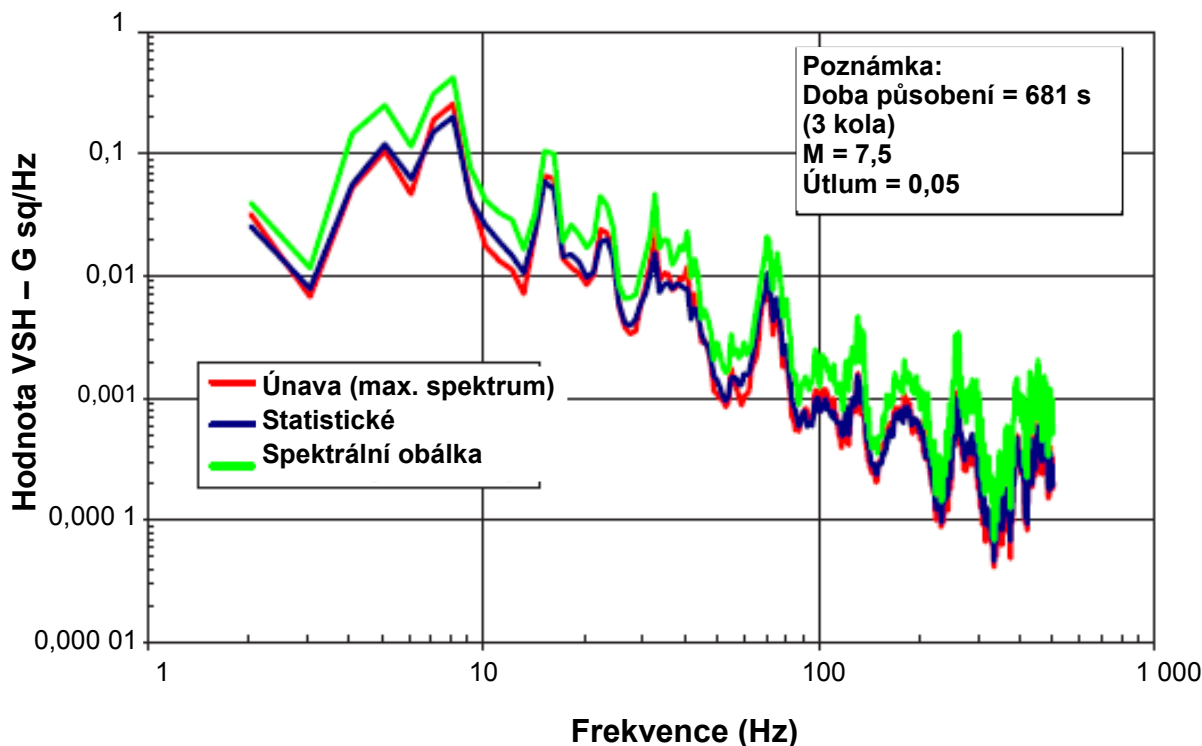
$b$  = hodnota sklonu únavové křivky, když se počítá jako lineární v oblasti log-log stupnice.

**Příloha C**  
(informativní)

Při využití doby působení rovné trojnásobku celkové hodnoty uvedené v tabulce C1 (pro 3 kola) a spekter únavového poškození (průměrných a maximálních) uvedených na obrázku 3 bylo z rovnice C-3 vypočítáno ekvivalentní reprezentativní výkonové spektrum. Spektra odvozená z průměrných a maximálních spekter únavového poškození jsou uvedena na obrázku C4. Pro tento soubor dat byla spektra únavového poškození pro místa 1 a 2 téměř shodná s průměrným spektrem, které je asi stejné jako obalové spektrum. Obalové nebo maximální spektrum vypočítané ze statistických postupů a ze spektra odvozeného z obálky všech původních spekter je uvedeno na obrázku C5.



**Vibrační data typického kolového vozidla  
VSH ze součtu únavových poškození  
porovnaná se statisticky vytvořenou VSH**



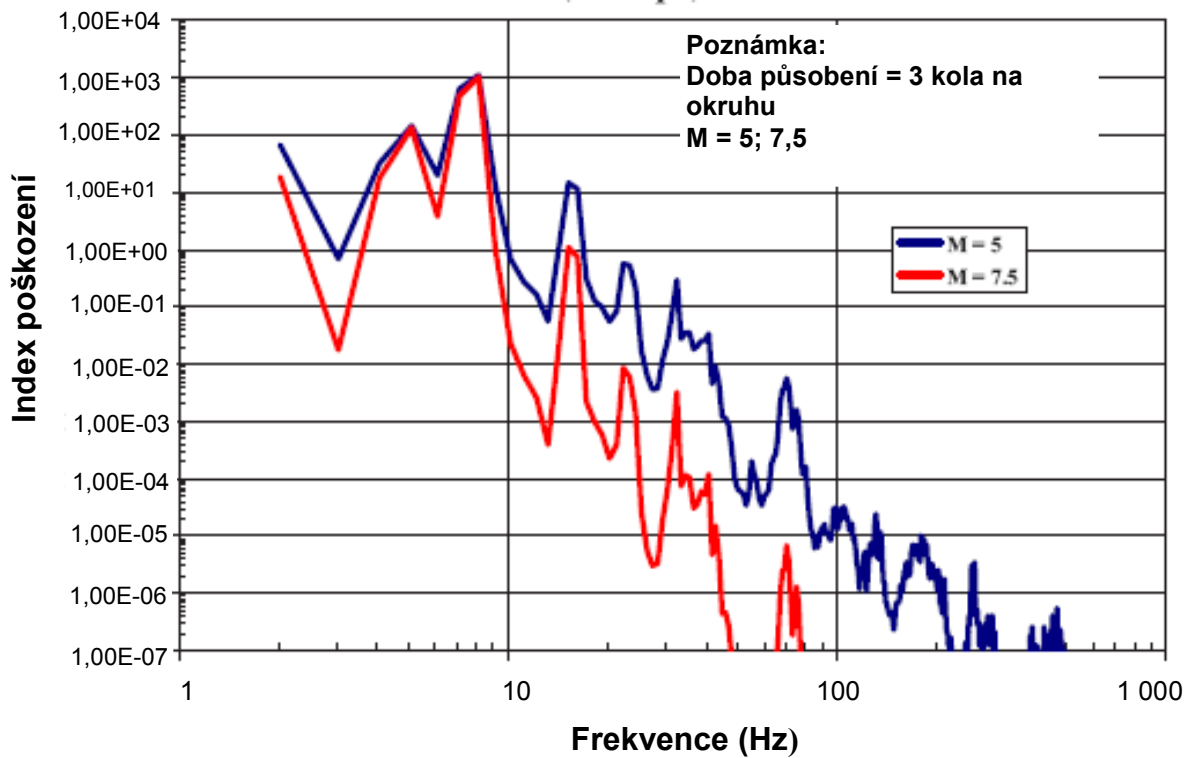
**OBRÁZEK C5 – Srovnání kombinovaného vibračního výkonového spektra vytvořeného ze spektra únavového poškození se spektrem vytvořeným statistickým postupem a obalováním**

Tyto tři postupy (únavové spektrum, statistický a obalování) vytváří popisy, které jsou zhruba stejného tvaru. Popis odvozený metodou spektra únavového poškození má nižší úroveň než spektrum vytvořené metodou vyvinutou v příloze C. Statistická metoda obsahuje implicitní předpoklad, že každé prostředí má stejné doby působení a váhy spektrálních hodnot vůči nejnáročnějšímu spektru díky započítání spektrálních odchylek (přídavek standardní odchylky) v procesu. Tudíž je pravděpodobné, že statistická metoda bude vytvářet vyšší úroveň než metoda únavového poškození, leč nejnáročnější spektra také mají nejdelší doby působení.

Postup byl pro porovnání opakován pro exponent hodnoty  $M = 5$ . Porovnání spekter únavového poškození (maximálních) pro dva exponenty jsou uvedeny na obrázku C6; srovnání výkonových vibračních spekter z každého exponentu poskytuje obrázek C7.

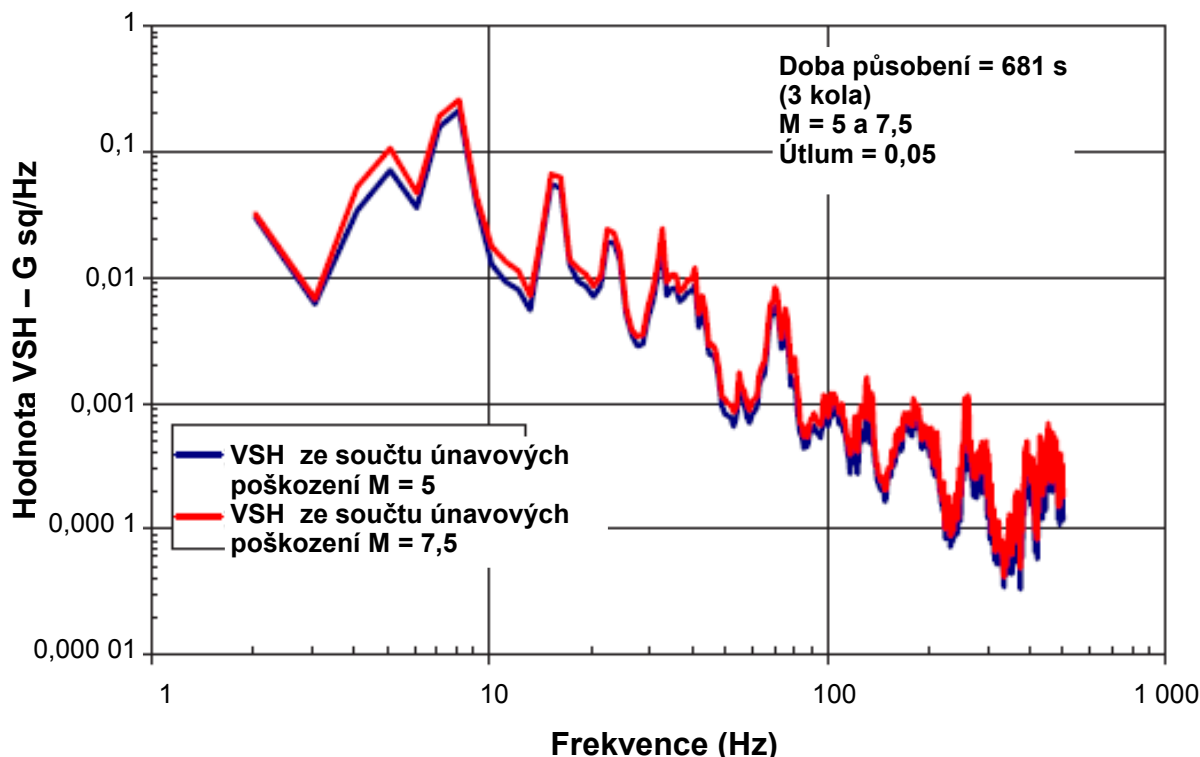
**Příloha C**  
(informativní)

**Vibrační data typického kolového vozidla  
Součet spekter únavových poškození  
4 zkušební okruhy, 3 kola, 2 místa**



**OBRÁZEK C6 – Spektra únavového poškození pro dva exponenty**

**Vibrační data typického kolového vozidla  
VSH ze součtu únavových poškození (maximum z míst 1 a 2)  
Hodnoty  $M = 5$  a  $M = 7,5$**



**OBRÁZEK C7 - Porovnání kombinovaných vibračních výkonových spekter vytvořených ze dvou exponentů**

Pro tento soubor měřených prostředí (spektra zrychlení) a související doby působení je konečné kombinované spektrum poněkud nezávislé na zvolené hodnotě exponentu. 40 % spektrálních amplitud pro tyto dva exponenty bylo v rozmezí 1 dB (založeno na  $M=7,5$  jako referenci), 80 % bylo v rozmezí 2 dB a všechny byly v rozmezí 2,4 dB.

Dokumentace procesu kombinování spekter včetně úvah (např. hodnota  $b$ ), je užitečná. Konečné kombinované spektrum se doporučuje porovnat s původními vstupními spektry, aby se zajistilo, že výsledné spektrum je odůvodněnou reprezentací měřeného prostředí.

### **C.3 TVORBA PLVZ S VYUŽITÍM SPEKTER ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ**

Při sumarizaci příkladu uvedeného v předchozím oddílu byla vypočítána jedna autospektrální hustota, představitel souboru dat získaných ze tří jízd na čtyřech konkrétních zkušebních okruzích. ASH odvozená z inverze kumulativního spektra únavového poškození je porovnána s obálkou datového souboru ukázaného na obrázku C5. Z obrázku C7 je jasné, že tvary spekter a amplitud jsou velmi podobné pro ASH odvozené na příkladech v předchozím oddílu pro oba výběry  $M$  ( $M=5$  a  $M=7,5$ ). Z obrázku C5 je také zřejmé, že ASH vypočítaná z inverze kumulativního spektra únavového poškození klesá

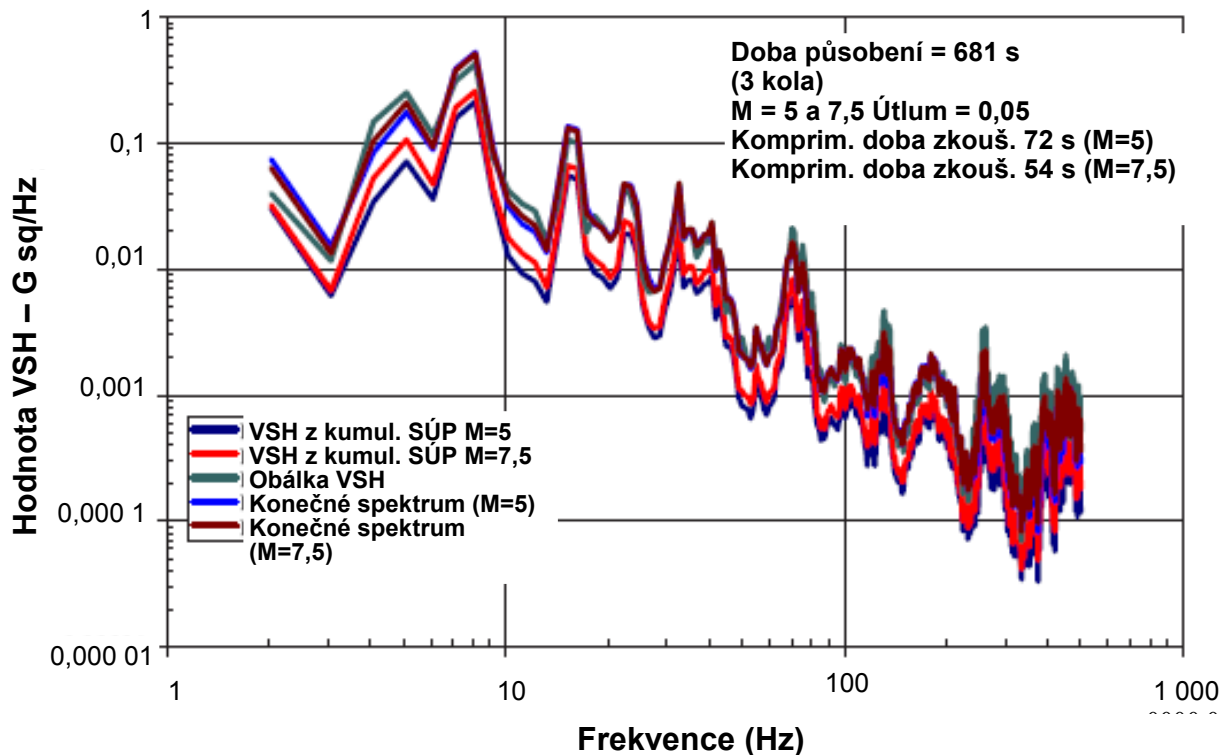
**Příloha C**  
(informativní)

výrazně pod obálku souboru dat. Při využití rovnice 9.4 je možné snadněji komprimovat dobu zkoušení zvětšením hodnoty ASH. Toto je možné provést změnou parametru  $T$  z rovnice C-3. Jako předtím v oddílu 9, je třeba při využívání metod komprimace doby zkoušení vždy dávat pozor. Když se zabýváme daty z podobných spektrálních charakteristik, měl by se uplatnit konzervativní přístup, a to omezit konečný komprimovaný tvar spektra na tvar obálky spektra původních souborů dat. Po přezkoumání tvarů spekter autospektrálních hustot počítaných z inverze kumulativního spektra únavového poškození a z obálky původních datových souborů je jasné, že poměr mezi dvěma křivkami není v každé spektrální linii totožný. Tudíž bude třeba stanovit nějaká kritéria, která budou často specifická pro konkrétní zkoušku, pro počet použitých komprimací dob zkoušení. V příkladu rozebíraném v této příloze byl průměrný poměr mezi 2 a 100 Hz určen jako poměr komprimace. Toto spektrální pásmo má pro tento příklad elementární důležitost, protože soubor dat je z kolového vozidla a hlavní složkou spektra je energie menší než 100 Hz. Obrázek C8 zobrazuje účinek časové komprimace založené na poměru výše popsaném. Za použití spektrálního tvaru časové komprimace se doba zkoušení sníží ze 681 sekund (skutečná doba strávená na okruhu) na 72 sekund (při  $M=5$ ) nebo 54 sekund (při  $M=7,5$ ). Jako poslední krok bude analytik obvykle redukovat počet bodů zlomu (vyhlazovat tvar spektra) zatímco bude udržovat celkovou úroveň  $g$ -rms.

Příklad poskytnutý v této příloze je poměrně jednoduchý, ale metody se dají snadno rozšířit tak, aby zahrnovaly více komplexních souborů dat zahrnujících spektra s úzkopásmovými nebo tónovými prvky.



**Vibrační data typického kolového vozidla**  
**VSH ze součtu únavových poškození (maximum z míst 1 a 2)**  
**Hodnoty M = 5 a M = 7,5**



Poznámka: SÚP = spektrum únavového poškození

**OBRÁZEK C8 – Komprimace doby zkoušení VSH počítané z inverze kumulativního spektra únavového poškození**

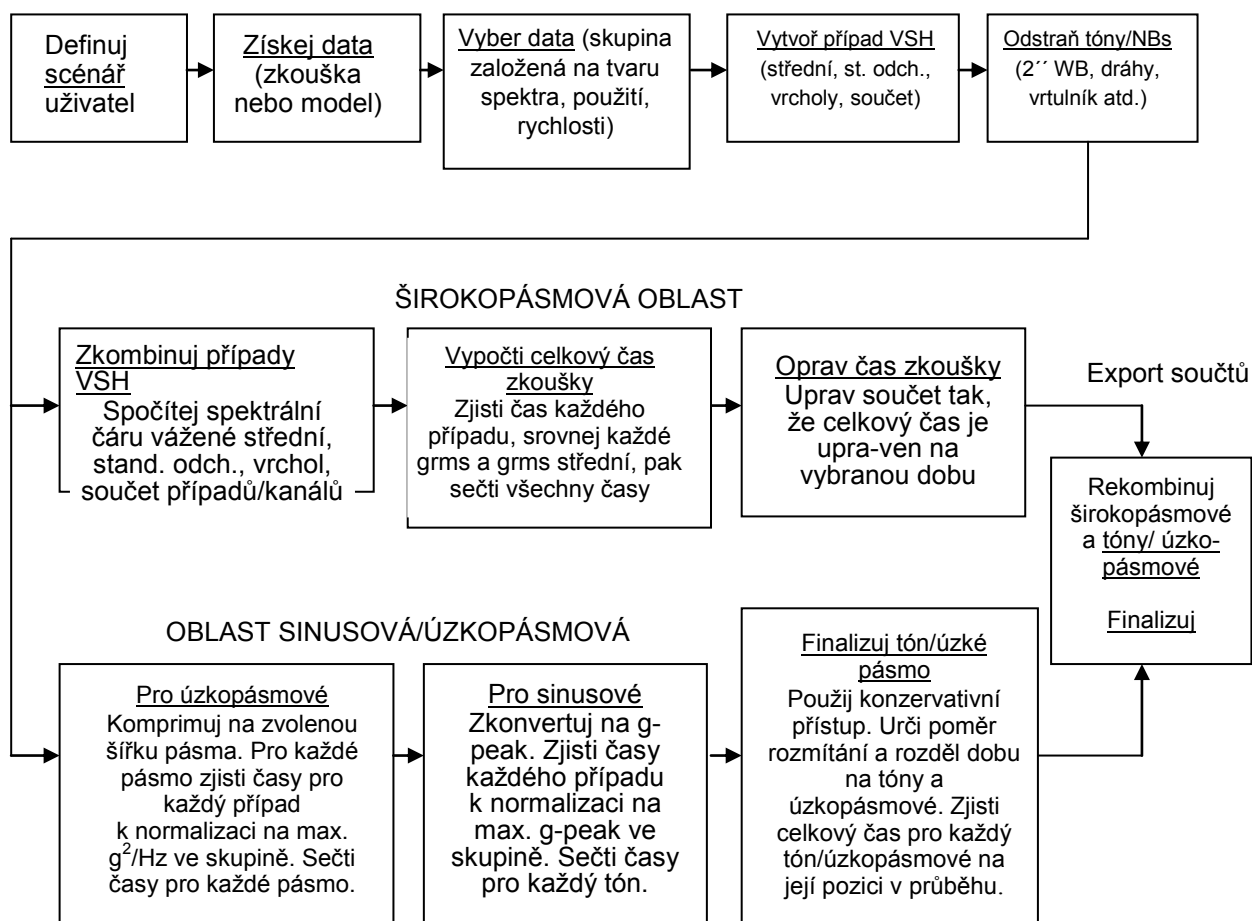
**Příloha D**  
 (informativní)

## PŘÍLOHA D

### POSTUP STANOVENÍ VIBRACÍ

#### D.1 Úvod

Tato příloha dává návod na postup vývoje vibračního programu (dále VVP) navrženého ke kombinování souboru vibračních případů a souvisejících dob působení do menších souborů vibračních profilů a přiřazených dob působení. Vibrační případy jsou ve formě řady digitálních datových souborů, jenž společně představují úplné únavové působení na zkoušený objekt. Cílem je vytvořit malý soubor laboratorních vibračních zkušebních programů, který dokáže indukovat ekvivalentní únavovou expozici pomocí vibračního budiče. Postup lze použít na tvorbu PLVZ širokopásmových náhodných, sinusových na náhodných nebo úzkopásmových náhodných na náhodné. Obrázek D1 zobrazuje postup VVP ve formátu zkráceného blokového diagramu.



**OBRÁZEK D1 – Vývojový diagram VVP**

Data se typicky zpracovávají ve vícekanálových souborech, protože je často žádoucí, aby se konkrétní kanály zpracovávaly s běžným frekvenčním rozlišením nebo se redukovaly na běžné doby zkoušení pro umožnění tvorby programů založených

**Příloha D**  
(informativní)

na více místech. Postup je nejlépe zaveden ve zvlášť vytvořeném software. Softwarové nástroje se doporučuje vyvíjet tak, aby zavedly následující:

- a. Analýzu signálů všeobecného určení používaných jako nástroj předběžného zpracování před vlastní tvorbou programu. Rutinní nástroje předběžného zpracování obsahují: časové průběhy, rms v závislosti na čase, min/max, exces, histogramy, asymetrie a stálost.
- b. Speciální postupy pro spravování zkušební databáze a zpracování zkušebních dat, jak je vyžaduje postup VVP. Postupy se mohou seskupit do jednoduchých softwarových balíčků pro usnadnění realizace. Doporučuje se, aby balíček zpracoval soubory případů a výstup pracovního PLVZ ve formátu ASCII nebo výstupní počítačové sestavy.
- c. Výstupní sestavy rozpracované proto, aby se vytvořily finální PLVZ využívající soubory vygenerované speciálním software. Výstupní sestavy poskytují vhodnou metodu pro aktivity, jako jsou kombinované vícekanálové profily do jednotlivých PLVZ, zpracování úzkopásmových anebo sinusových tónů, kombinování úzkopásmových a širokopásmových prvků, zahrnutí faktorů náročnosti a upravených dob zkoušení do uživatelem vybraných hodnot.
- d. Dílčí program pro sběr řady bodů zlomu k reprezentování širokopásmového profilu generovaného procesem. Body se doporučuje sbírat tak, aby tvar a úroveň rms vibračního profilu byly zachovány s minimálním počtem bodů zlomu.

Následující definice se uvádí, aby pomohla diskuzi. Dále může být užitečný přehled definic v oddílu 3.

Součtový soubor – Matice VSH použitá jako organizační nástroj pro proces realizace. Existují dva druhy součtových souborů, Jednoduchý součtový soubor VSH a skupinový součtový soubor VSH. Tyto dva soubory budou definovány podle požadavků v této příloze.

Před zahájením procesu VSH je potřeba definovat několik parametrů. Tabulka D1 uvádí některé parametry důležité pro proces. Další parametry budou rozebrány podle potřeby v následujících oddílech tohoto dokumentu.

Proces lze realizovat způsobem rozebraným v následujících oddílech.

**Příloha D**  
(informativní)

**TABULKA D1 – Požadované parametry**

Velikost bloku	Počet datových vzorků k zahrnutí do výpočtu VSH. Velikost bloku je typicky soubor totožný s četností vzorků za 1 s a při rozlišení VSH 1 Hz.
Druh okna	Druh okna pro použití pro výpočet VSH, typicky Hann.
Minimální limit grms	Použitý k zajištění nízké úrovně případů nebude tvar PLVZ VSH příliš ovlivňovat. Limit je soubor jako g-rms poměr (předvolený 50 %) z maximálních VSH ve skupině.
Činitel výkmitu - limit	Tyto limity lze používat jako výstrahu pro analytika, jestliže je oddíl dat neodpovídá Gaussovým metodám. Analytik se potom může rozhodnout, zda by se data neměla vyřadit z procesu vývoje.
Limit asymetrie	
Limit strmosti	
Počáteční frekvence	Je to počáteční frekvence pro širokopásmovou část PLVZ. Typicky se jedná o soubor do 5 Hz nebo o frekvenci nejnižšího tónového prvku.
Koncová frekvence	Je to horní limit šířky pásma PLVZ. Doporučuje se ho vytvořit zpracováním dat. Typicky používané hodnoty zahrnují 200 Hz, 500 Hz nebo 2 000 Hz.
$N_e, N_g$	Analytikem definované faktory stanovující počet standardních odchylek použitých v procesu (implicitně 1). $N_e$ je pro jednotlivý případ a $N_g$ je pro kombinaci více případů.
$M_e, M_g$	Analytikem definované faktory k omezení konzervatismu v procesu. $M_e$ je pro jednotlivý případ a $M_g$ je pro kombinaci více případů.
Odstraň DC	Někdy je žádoucí před výpočtem VSH odstranit prvky DC z dat časové oblasti. Prvek DC je často výsledkem kompenzace signálu a lze ho odstranit bez vlivu na tvorbu PLVZ.

## D.2 Tvorba širokopásmového profilu

### D.2.1 Sestavování souboru (Krok 1)

Krok 1 Je definování zájmových zkušebních dat výběrem z datových souborů dostupných na disku. Vybrané případy by měly společně představovat předpokládané vibrační působení na zkoušený objekt. Může se ukázat jako nezbytné rozdělit případy na skupiny s podobným tvarem a úrovní VSH a vytvářet PLVZ odděleně pro každou skupinu.

### D.2.2 Výběr času zahájení a ukončení případu (Krok 2)

Krok 2 Během sběru neupravených provozních dat je běžnou praxí zahájit získávání dat předtím, než se dosáhne požadované rychlosti nebo než nastane konkrétní jízdní povrch nebo manévr. Z tohoto důvodu může analytik vybrat pouze část z digitalizovaného souboru dat poskytnutého ke konkrétnímu případu. Je užitečné definovat v čase zahájení a konec datového souboru, který se převede do procesu VVP.

### D.2.3 Vynechání časového bloku (Krok 3)

Krok 3 Jsou-li dány čas zahájení a ukončení, velikost datového bloku, procento přesahu, jsou počet a pořadí datových bloků také stálé. Existuje možnost, že v rámci identifikovaných datových segmentů jsou narušená data nebo vadné

**Příloha D**  
(informativní)

bloky (tj. přechodná telemetrická ztráta informací, mimorychlostní oddíly, rázový případ atd.). Analytik musí být schopen identifikovat zvláštní datové bloky pro jejich vyloučení z následných spektrálních výpočtů. Aby se zabránilo nespojitostem v datech, bloky se nedoporučuje odstranit z časových dat, ale jednoduše je vyloučit v průběhu výpočtu VSH. V případě, že je množství naměřených dat omezeno, může se od analytika požadovat, aby zachránil dostupná data prostřednictvím opatrného odstranění omezených ztrát v datových souborech, u nichž se dá dokázat, že mají nemechanickou povahu (tj. telemetrické ztráty informací). Takové zpracování je vždy poslední východisko a doporučuje se provádět nějakým zkušeným analytikem.

Moderní vibrační řídicí systémy vytváří řídicí signály odpovídající Gaussovým metodám s amplitudovým rozdělením. Z toho důvodu se doporučuje program redukce bloků provést proto, aby upozornil analytika, že konkrétní povaha bloku výrazně neodpovídá Gaussovým metodám. Možným postupem je vypočítat činitel výkmitu, asymetrii a strmost u každého bloku a upozornit analytika na překročení uživatelem stanovených limitů. Analytik má potom možnost tento blok buď akceptovat, nebo vyřadit. Pokud je datový soubor vysoce nestacionární nebo jeho povaha neodpovídá Gaussovým metodám, je možné doporučit opakovanou zkoušku místo klasické vibrační zkoušky založené na spektru.

Počet středních hodnot zahrnující dané VSH může kolísat jako funkce doby trvání případu. Pro statistickou platnost se doporučuje pro výpočet VSH použít minimálně 32 správných datových bloků. Pro každý případ, zahrnující méně než 32 středních hodnot po redukci bloků, se může využít pro faktické zdvojení počtu dostupných bloků 50 procent přesahů.

#### D.2.4 Výpočet průměru VSH (Krok 4)

Krok 4 Jakmile jsou datové bloky vybrány pro zpracování, pro každý kanál a každý případ se vygeneruje součtový soubor jednoho případu VSH. Součtový soubor jednoho případu VSH zahrnuje pět VSH, průměr, vrchol, standardní odchylku, součet a odstraněnou spektrální špičku, jak je definováno v tabulce D2. První čtyři VSH ze součtového souboru se počítají během kroku 4. Průměr, označený jako VSH (Avg), je standardní n průměr VSH, kde n je počet datových bloků, vybraných pro zpracování v průběhu redukce bloků. Konkrétní VSH jsou vypočteny pro každý datový blok a potom se průměrují na bázi spektrální čáry, aby se obdržela VSH(Avg). VSH(Sum) se počítá přidáním standardní odchylky  $N_e$  k VSH(Avg), kde  $N_e$  je uživatelem vybraná hodnota typicky určená v hodnotě 1. VSH(Sum) se stává pracovní VSH a je postoupena do dalšího kroku. Použití VSH(Sum) je určeno k zjištění rozdílů v náročnosti v parku vozidel, která jsou předmětem zájmu. K minimalizaci příliš vysokých úrovní VSH(Sum) se VSH(Sum) omezuje tak, že nemá být vyšší než  $M_e * VSH(Avg)$ , kde  $M_e$  je uživatelem definovaný parametr typicky stanovený 2. VSH(Sum) je také omezena na úroveň VSH(Peak) v každé spektrální linii. Ve výjimečném scénáři, v němž existují zvláštní informace jak

**Příloha D**  
(informativní)

využít vozidlo k získání zkušebních dat srovnatelných s vozovým parkem, se doporučuje parametr  $N_e$  adekvátně upravit.

**TABULKA D2 – Součtový soubor VSH pro jednotlivý případ**

Název	Definice
VSH(Avg)	Standardní $n_d$ průměr VSH. /Viz $G_m(f)$ definované v Příloze B/
VSH(Peak)	Vypočítaná zachováním maximálních amplitud každé spektrální linie přes $n_d$ průměry. /Viz $G_p(f)$ definované v příloze B/
VSH(Stdv)	Vypočítaná stanovením standardní odchylky každé spektrální linie přes $n$ průměrů. /Viz $G_d(f)$ definované v Příloze B/
VSH(Sum)	Vypočítaná přidáním $N_e$ standardních odchylek k průměru každé spektrální linie. $VSH(Sum) = N_e * VSH(Stdv) + VSH(Avg)$ $N_e$ je uživatelem definovaná proměnná, typicky 1. VSH(Sum) je omezená VSH(Peak) a $M_e * VSH(Avg)$ , kde $M_e$ je uživatelem definovaná proměnná, typicky 2. /Viz $G_s(f)$ definované v Příloze B/
VSH(SpkRmvd)	VSH(Sum) po odstranění frekvenčních spektrálních špiček.

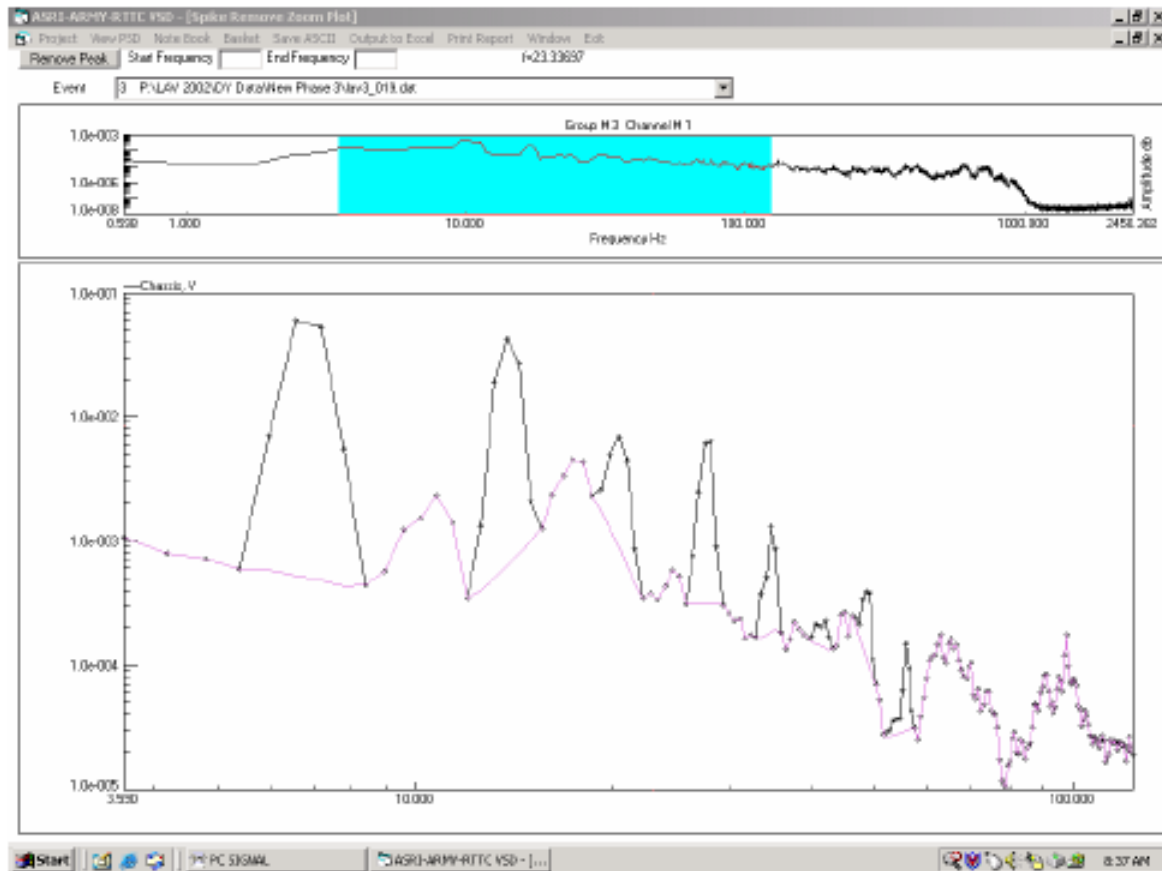
**D.2.5 Odstranění spektrálních špiček (Krok 5)**

Krok 5 Pro kombinované prostředí sinusové na náhodné nebo úzkopásmové náhodné na náhodné se sinusová a úzkopásmová oblast musí zpracovávat odděleně od širokopásmové náhodné oblasti. Krok 5 nabízí metodu odstranění sinusových tónů nebo úzkopásmových ze spektra VSH(Sum), pokud se to požaduje.

Pro zajištění přesnosti a pro izolování neočekávaných rozporností v datech se spektrální špičky vybírají a odstraňují analytikem, který interaktivně působí na programový cyklus za využití grafického rozhraní, jak je uvedené na obrázku D2. Analytik vybírá počáteční a koncové frekvence ze všech spektrálních špiček, pro něž je vyžadováno odstranění. Mezilehlé body se potom přemístí s logaritmickou interpolací dvou koncových bodů tak, aby se vytvořila VSH (SpkRmvd), uvedená na obrázku D2. To je pátá VSH ze součtového souboru jednopřípadových VSH a stává se pracovní VSH pro tvorbu širokopásmového profilu.

Všimněte se, že šířka odstraněných spektrálních špiček bude záviset na řadě faktorů, včetně (ale nejen na nich) povahy dat a frekvenčním rozlišení výpočtů VSH. Typicky se doporučuje data předběžně zpracovat, aby se stanovilo, zda jsou data svou povahou více úzkopásmové náhodné nebo spíše sinusová. Tato informace vymezuje způsob, jak se bude zpracovávat úzkopásmová energie.

**Příloha D**  
(informativní)



**OBRÁZEK D2 – Okno k odstraňování spektrálních špiček**

Charakter vibrací závisí na vozidle a provozních prostředích. Například nějaké zařízení nainstalované na kolovém vozidle a přepravované po silnici první třídy (dlážděné) bude vystaveno širokopásmovému náhodnému působení. Kolové vozidlo, které jede po zvlněném povrchu vozovky, bude typicky vytvářet kombinované vibrační prostředí sinusové na náhodné, podobně jako vrtulník. Pásové vozidlo obvykle vytváří kombinované vibrace náhodné na náhodné. Způsob jak odlišit sinusová data od úzkopásmových náhodných dat je šířka harmonicky spojených spektrálních špiček. Šířka se bude udržovat konstantní, pokud jsou data sinusová, ale budou harmonicky svázaná, pokud jsou data úzkopásmová náhodná. Při stanovení charakteru spektrálních špiček jsou také prospěšné histogramy a časové průběhy pásmového filtru. Jev kalkulace VSH je případ, kdy nějaká energie na jedné frekvenci může „zašpinit“ nebo prosáknout do sousedních frekvencí. To může ovlivnit šířku spektrální špičky a závisí na frekvenčním rozlišení výpočtu VSH a použitým oknem. Ačkoliv je energie „zašpiněná“, je uchována a celkové g-rms není ovlivněno. Přestože frekvenční rozlišení vybrané pro výpočet VSH bude ovlivňovat šířku a amplitudu spektrálních špiček, nebude to mít vliv na celkové g-rms odstraněných spektrálních špiček. Z tohoto důvodu se doporučuje pro zpracování úzkopásmových informací používat spíše g-rms spektrálních špiček než amplitudu VSH.

**Příloha D**  
(informativní)

Energie odpovídající odstraněným spektrálním špičkám se může exportovat ve formě, která podporuje počítačovou analýzu. To umožní vnější zpracování úzkopásmové energie. Doporučuje se vytvořit dvě výstupní sestavy. Jedna má obsahovat střední frekvenci, šířku a celkové g-rms ze všech spektrálních špiček odstraněných ze všech VSH (Sum); druhá má obsahovat stejné informace ze všech VSH (Avg). Průměrná čísla se používají pro tvorbu sinusové na náhodné, zatímco součtová čísla se používají pro tvorbu úzkopásmové náhodné na náhodné. Postupy používané ke zpracování úzkopásmových dat jsou uvedeny v oddílu D.3 v této příloze.

Příklad výstupní sestavy k odstraňování spektrálních špiček poskytuje tabulka D3. Obsahuje energie odstraněné z VSH (Avg). Tabulka VSH (Sum) je identická s výjimkou úrovně g-rms, které jsou odvozeny z VSH(Sum) místo VSH(Avg). Tento konkrétní příklad je z kolového vozidla na dvoupalcové zvlněné dráze. Všimněte si, že základní a dvě následné harmonické byly odstraněny z každého ze tří případů (5; 7,5 ; 10 mil/h, dvoupalcová zvlněná dráha).

**TABULKA D3 – Tabulka odstraněných spektrálních špiček, průměrná hustota**

Projekt:	Příklad kolového vozidla						
Mil celkem:	1 000	Velikost bloku:	4 096	Poč.frekv.: 3		Neuprav. VSH	W-U Col VSH
Datum: 16.9.2002		Druh okna:	Hann	Kon.frekv. 500	N:	1	2
Čas: 6:37:44		Min. grms:	0,5	Odstran. DC: Y	M:	1	2
						Celkové grms odstraněných spektrálních špiček	
Kanál					1	2	3
Popis					Chnl 1	Chnl 2	Chnl 3
Druh					VSH(Avg)	VSH(Avg)	VSH(Avg)
Doba zkoušky					30	30	30
	Případ	Beta dist. čas	Stř. frekv.	Vybraná šířka pásma	grms	grms	grms
1.harmon.	5 mil/h 2WB	8,31	3,67	6	0,1534	2,79E-02	5,31E-02
	7,5mil/h 2WB	21,28	5,50	5	0,2691	3,41E-02	0,134565
	10 mil/h 2WB	7,47	7,33	7	0,5755	8,74E-02	0,5730498
2.harmon.	5 mil/h 2WB	8,31	7,33	6	0,1118	3,49E-02	7,37E-02
	7,5mil/h 2WB	21,28	11,00	7	8,72E-02	3,22E-02	5,18E-02
	10 mil/h 2WB	7,47	14,67	6	8,98E-02	2,67E-02	0,211421



**Příloha D**  
(informativní)

3.harmon.	5 mil/h 2WB	8,31	11,00	6	0,06546	4,01E-02	9,12E-02
	7,5mil/h 2WB	21,28	16,50	9	2,63E-02	2,94E-02	0,05846
	10 mil/h 2WB	7,47	22,00	8	3,08E-02	3,75E-02	0,07558

**D.2.6 Tabulka scénáře (Krok 6)**

Krok 6 VVP vyžaduje znalost expozičních dob pro konkrétní případy. Pro vozidlo se mohou tyto doby odvodit z rozdělení scénáře úloh systému na jednotlivé případy prostřednictvím použití beta rozdělení. Pro vrtulník se doby scénáře typicky odvozují ze spektra použití letounu. Další údaje o tvorbě scénáře a beta rozdělení lze nalézt v článku 7.4.

Doby trvání případů se mohou dodat ve formě tabulek scénářů vyplněných v rámci kroku 6 postupu. Příklad tabulky scénáře poskytuje tabulka D4. Rozhodující faktory budou rozebrány později v článku D.2.7. Příklad tabulky scénáře také zahrnuje oblast uživatelských vstupů pro strmost, která se využívá pro výpočet časové komprimace. Zbývající pole se doporučuje vypočítat pomocí software a má obsahovat úplné g-rms úrovně VSH(SpkRmvd), přes uživatelem definovanou šířku zájmového pásma pro každý kanál a každý případ. Například sloupec „1 GRMS“ obsahuje úroveň g-rms pro kanál 1 pro všechny případy.

**TABULKA D4 – Vstupní tabulka scénáře**

The screenshot shows a software window titled "Scenario Table" with a "Print Form" button. The window contains a table with the following data:

Event No	Event Name	Scenario Time	Weighted Factor Col	Weighted Factor Un-Col	1 GRMS	2 GRMS	3 GRMS
1	Radial Washboard 5 MPH	6.62	1	6.62	0.0327	0.0639	0.06
2	Radial Washboard 10 MPH	9.76	1	9.76	0.0686	0.1309	0.19
3	Radial Washboard 15 MPH	3.51	1	3.51	0.1289	0.2524	0.30
4	Embedded Rock 5 MPH	9.01	1	9.01	0.0532	0.1201	0.12
5	Embedded Rock 7.5 MPH	11.04	1	11.04	0.0858	0.1839	0.18
6	Embedded Rock 10 MPH	4.74	1	4.74	0.1246	0.2647	0.22
7	Belgian Block 5 MPH	1.05	1	1.05	0.0238	0.0512	0.04
8	Belgian Block 10 MPH	3.24	1	3.24	0.0443	0.0862	0.08
9	Belgian Block 15 MPH	5.18	1	5.18	0.0616	0.1077	0.12
10	Belgian Block 20 MPH	5.02	1	5.02	0.0825	0.1542	0.16
11	Belgian Block 25 MPH	1.88	1	1.88	0.1238	0.2285	0.23
Col Sum-Set GRMS					0.1289	0.2647	0.30

At the bottom of the window, there is a text prompt: "Double Click to Change value".

**Příloha D**  
(informativní)

Od tohoto bodu dopředu se budou zpracovávat pouze případy s g-rms převyšujícím limit vybraným analytikem. Limit byl uveden v tabulce D1 (minimální GRMS) a je určen jako poměr z maxima g-rms, typicky 0,5. Protože vyšší úrovně vibrací jsou hlavní složkou únavového působení, bude mít vyloučení případů s nižší úrovní malý vliv na konečnou dobu zkoušení. Pokud vybírá limit pro započtení případu, musí analytik zvažovat jak zachování spektrálních dat o případech nižší úrovně, tak vliv, jaký bude mít jejich tvar na dominantnější případy s vyšší úrovní. Případy s r-rms nad limitem budou považovány za „započítané případy“.

Pro každý kanál by měl software vypočítat vrchol a průměr g-rms započítaných případů. Průměr se stává základem úrovně g-rms, použité pro zpracování. Základ úrovně g-rms bude g-rms vibračních profilů před provedením konečné úpravy zkušebních dob.

Hlavním posláním Kroku 6 (Tabulka scénáře) je vypočítat dobu působení vibrací spojených s každým případem. Výpočty se provádí s využitím rovnice 9.1, která je standardní metodou založenou na Minor-Palmgrenově hypotéze pro úpravu dob působení a úrovní vibračních spekter. Sklon (M) je typicky pro výpočty širokopásmových náhodných stanoven na hodnotu 7,5. Další údaje o Minerově pravidle lze nalézt v článku 9.0.

Vzorová tabulka doby působení je poskytnuta v Tabulce D5. Jednotlivé případy (1-11) jsou psány v řádcích a jednotlivé kanály (1-7) jsou ve sloupcích. Tabulka D5 byla vyplněna pomocí software využívajícího rovnici 9.1 a vstup poskytnutý Tabulkou D4. Všimněte si, že případy, pro které bylo g-rms (dané Tabulkou D4) menší než 50 procent z maximálního g-rms (pro tentýž kanál), je stanovena hodnota 0. Například maximální g-rms pro kanál 1 v Tabulce D4 je 0,1298 grms. Šest z jedenácti případů má grms větší než 0,0644 ( $0,5 \times 0,1298$ ), jak ukazují vstupy v tabulce D5. Průměrné grms ze šesti započítaných případů pro kanál 1 je 0,10237 grms. Použití rovnice 9.1 pro případ 2 kanálu 1 s  $G_1=0,0686$  (z tabulky D4),  $G_2=0,10237$  (průměrné grms),  $T_1=9,76$  minuty (doba ve scénáři pro případ 2) dává pro kanál 1 a událost 2 dobu působení  $T_2=1,0839$ , která se odráží ve vstupu tabulky D5. Protože všechny započítané případy pro daný kanál jsou fakticky normalizovány na stejnou úroveň grms, mohou být příslušné doby působení jednoduše sečteny, aby poskytly celkovou dobu působení pro ten kanál a toto grms. Doby působení jednotlivých případů jsou v tabulce D5 sečteny v řádku s největším TF. Tato celková doba je doba působení požadovaná k poskytnutí ekvivalentního širokopásmového únavového působení na systém, za předpokladu, že širokopásmový profil je také založen na průměru VSH téže skupiny. Odvození z průměrné VSH je rozebráno v článku D.2.7.

**TABULKA D5 – Výpočet doby působení**

The screenshot shows a software window titled "Scenario Table" with a menu bar containing "Print Form". Below the menu bar are three tabs: "Scenario Table", "Scenario Time For Collapsed PSD", and "Scenario Time for UnCol PSD". The main area is titled "Scenario Time After UnCollapsed PSD" and contains a table with 11 rows of event data. Below the table are buttons for "Save", "Open TFA", and "Excel". At the bottom, there is a text input field with "60", an "Update" button, and a label "TFa=TF".

Event No	Event Name	Scenario Time	1 (Min)	2 (Min)	3 (Min)	4 (Min)	5 (Min)	6 (Min)	7 (Min)
1	Radial Washboard 5 MPH	6.62	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Radial Washboard 10 MPH	9.76	1.0839	0.0000	7.5042	1.4266	0.0000	5.0242	0.0000
3	Radial Washboard 15 MPH	3.51	44.0730	16.5723	67.7850	42.9182	31.0571	17.1557	33.4000
4	Embedded Rock 5 MPH	9.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6400
5	Embedded Rock 7.5 MPH	11.04	6.5395	4.8474	4.7421	6.0680	3.1819	0.0000	21.3700
6	Embedded Rock 10 MPH	4.74	46.1231	31.9828	10.4189	34.8946	6.6298	0.0000	38.8000
7	Belgian Block 5 MPH	1.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	Belgian Block 10 MPH	3.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	Belgian Block 15 MPH	5.18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8400
10	Belgian Block 20 MPH	5.02	2.2310	0.5887	0.9003	2.5947	3.1033	0.0000	2.8900
11	Belgian Block 25 MPH	1.88	17.4201	4.2217	6.0418	16.9478	14.9296	0.0000	6.8100
	TF		117.4706	58.2131	97.3924	104.8499	58.9017	22.1799	104.7910
	TFA		60	30	60	30	30	15	

### D.2.7 Výpočet vážených VSH (Krok 7)

Kroky 7 a 8 Se používají k dokončení procesu tvorby PLVZ. V tomto bodu procesu tvorby je generován součtový soubor jednopřípadových VSH, který se skládá ze součtových souborů pro každý kanál a každý případ. Pátá VSH ze součtového souboru, tj. VSH s odstraněnými spektrálními špičkami, je pracovním souborem pro proces VVP. Složené VSH (SpkRmvd) daného kanálu (jedna pro každý případ) se musí zkombinovat, aby se vytvořil širokopásmový profil pro tento kanál. VSH se kombinují s použitím metody rozebrané v následujících odstavcích tak, aby se vytvořil „skupinový součtový soubor“. Skupinový součtový soubor podobný součtovému souboru jednopřípadových VSH, zahrnuje řadu VSH, jak je uvedeno v tabulce D6.

**Příloha D**  
(informativní)

**TABULKA D6 – Definování skupinového součtového souboru**

<b>VSH(Avg_g)</b>	Vážený průměr skupiny VSH. Viz rovnice D.2.1. (Viz $G_a(f)$ definované v příloze B)
<b>VSH(Peak_g)</b>	Vypočítaná udržováním maximální amplitudy každé spektrální linie přes všechny případy.
<b>VSH(Stdv_g)</b>	Vážená standardní odchylka skupiny VSH. Viz rovnice D.2.2-3. (Viz $G_e(f)$ definované v příloze B).
<b>VSH(Sum_g)</b>	Vypočítaná přidáním $N_g$ standardních odchylek k průměru pro každou spektrální linii. $VSH(Sum\_g) = N_g \times VSH(Stdv\_g) + VSH(Avg\_g)$ Vypočítaná přidáním $N_g$ standardních odchylek k průměru pro každou spektrální linii. $VSH(Sum) = N_g \times VSH(Stdv) + VSH(Avg)$ $N_g$ je uživatelem definovaná proměnná typicky určená 1. VSH(Sum) je limitována VSH(Peak) a $M_g \times VSH(Avg)$ , kde $M_g$ je uživatelem definovaná proměnná typicky stanovená 2. (Viz $G_i(f)$ jak je definováno v příloze B „pro $N=1$ “)
<b>VSH(konečná)</b>	VSH(Sum_g) upravená na uživatelem vybraný konečný čas.

VSH ze skupinového součtového souboru stejně jako jednopřípadové VSH součtového souboru, se vypočítávají na základě spektrální linie. VSH (Avg\_G) je průměr z VSH (SpkRmvd) pro všechny případy ve skupině (s výjimkou těch, pro které je g-rms nižší než uživatelem stanovený limit). Na rozdíl od VSH (Avg) ze součtového souboru jednopřípadových VSH, není VSH (Avg\_g) žádnou normou n průměrů VSH. Místo toho jsou jednotlivé VSH vážené k faktorům definovaným v tabulce scénáře (viz tabulka D4). Typicky jsou vážené faktory určeny shodně k dobám ze scénáře jednotlivých případů. Cílem váženého přístupu je vytvořit výpočet založený na času místo výpočtu založeného na případech. Prakticky vážení dob ve scénáři vytváří oddělenou VSH pro každou minutu cyklu životnosti namísto VSH pro každý případ. Každá minuta z cyklu životnosti systému by se pak měla vážit stejně ve stanovení průměru. Podobná metoda se používá k výpočtu standardní odchylky skupiny VSH (Stdv\_g).

Za předpokladu, že existuje n případů, které překračují minimální g-rms, že  $W_i$  je faktor vážení každého případu a že  $G_i$  je úroveň  $g^2/Hz$  každého případu, potom pro každou spektrální linii platí:

$$VSH(Avg\_g) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i G_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad D.2.1$$

$$VSH(Stdv\_g) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i * [G_i - VSH(Avg\_g)]^2}{\sum_{i=1}^n W_i}} \quad D.2.2$$

VSH (Sum\_g) se počítá přidáním  $N_g$  standardních odchylek k průměru, kde  $N_g$  je uživatelem definovaná proměnná typicky určená 1. Použití VSH (Sum\_g) je určeno k vysvětlení faktorů, jako jsou rozdíly k povrchu vozovky, změny řidiče a zvažování jízdních povrchů, které nejsou zahrnuty ve fázi získávání dat a další důležité proměnné. VSH (Sum\_g) se omezuje tak, aby nebyla vyšší než  $M_g * VSH (Avg_g)$ , kde  $M_g$  je uživatelem definovaný parametr s předem danou hodnotou 2.0. VSH (Sum\_g) je také limitována na úroveň VSH (Peak\_g) v každé spektrální linii. Ačkoliv se může požadovat nějaké dodatečné zpracování, VSH (Sum\_g) spojená s dobou působení vypočtenou v předchozím kroku nyní představují ekvivalentní únavovou životnost položky nainstalované v daném místě. Připomeňte si, že každý kanál představuje vibrační osu pro dané místo. VSH (Sum\_g) se stává pracovní VSH a je uvolněna k postoupení do dalšího kroku.

V některých případech se složené kanály (nebo místa) musí kombinovat do jednotlivého PLVZ. Toho lze docílit jednoduchým zabalením kanálů později v procesu VVP. Ale je možné zkombinovat složené kanály současně s kombinováním případů. Za předpokladu, že je seznam m kanálů ke kombinaci, pak pro každou spektrální linii platí:

$$VSH(Avg_g) = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij} G_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij}} \quad D.2.3$$

$$VSH(Stdvg) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij} * [G_{ij} - VSH(Avg_g)]^2}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij}}} \quad D.2.4$$

#### D.2.8 Výpočet váženého intervalového PLVZ (Krok 8)

Krok 8 Následující krok při tvorbě širokopásmového vibračního profilu je upravit dobu běhu programu. Software by měl analytikovi umožnit vybrat dobu běhu pro každý kanál. Na příkladu v tabulce D5 je doba běhu uvedena v poli TFA. Doby běhu jsou typicky nastavovány k zaokrouhlení časů vypočítaných pomocí software a k vyrovnání přírůstků času nebo k nadsazování programu zkoušek, pokud se to požaduje. Je třeba dávat pozor na zajištění, aby úrovně konečného PLVZ příliš nepřekročily maximální úrovně měřené při provozu a aby zveličením (je-li použito) nebylo přehnané. Pro řešení limitních zveličením viz odstavec 9.2.1.3. Krok 8 jednoduše aplikuje rovnici D.2.1 na měřítko VSH (Sum\_g) a uživatelem vybranou dobu běhu, vytvářející konečné širokopásmové VSH, VSH (Konečné).

V závislosti na použitých metodách řízení se mohou požadovat další zpracování. Pro sinusové na náhodné se musí širokopásmový profil

**Příloha D**  
(informativní)

zkombinovat s daty sinusových tónů. Také může být nezbytné kombinovat profily několika kanálů do jednotlivého PLVZ. V tom případě je užitečné exportovat VSH (Konečné) ve formě která ulehčí počítačovou analýzu. To usnadní zpracování pro vícekanálové kombinace, nové kombinování s úzkopásmovými a sinusovými tóny, změny v době běhu programu nebo jiné zvláštní zpracování.

Všimněte si, že alternativní způsob kombinování širokopásmových profilů rozmanitých případů do reprezentativního PLVZ je rozebrán v oddílu D.7. Tato alternativní metoda by měla začínat s VSH (SpkRmvd) a končit s alternativní VSH (Konečná).

### **D.3 Postup tvorby úzkopásmové náhodné specifikace**

Pro umožnění větší pružnosti v přizpůsobení se specifickým požadavkům projektu, mohou se úzkopásmové nebo sinusové tóny zpracovávat v počítačových sestavách. Vzor úzkopásmové náhodné výpočetní sestavy je uveden v tabulce D7. Vzor je kolové vozidlo na dráze s dvoupalcovým zvlněným povrchem. Tři tóny byly z každého ze tří případů odstraněny (5; 7,5 a 10 mil/h, dvoupalcový zvlněný povrch). Všimněte si, že pro kolové vozidlo na dvoupalcové zvlněné vozovce bude sinusové zpracování vhodnější než úzkopásmové náhodné. Příklad se použil výhradně pro usnadnění řešení a nemá žádný vliv na popis procesu.

Následující definice poskytují sloupcový popis postupů zpracování úzkopásmových náhodných jevů.

#### **D.3.1 Případ (Sloupec A) EVENT**

Tento sloupec vyjmenovává případy a tóny (nebo harmonické) odstraněné z pásma.

#### **D.3.2 Rychlost na dvoupalcovém zvlněném povrchu (Sloupec B) SPEED ON 2\* WB**

Tento sloupec obsahuje jízdní rychlost d pro daný případ.

#### **D.3.3 Vybraná střední frekvence (Sloupec C) CENTER FREQUENCY SELECTED**

Střední frekvence zájmových úzkopásmových se mohou převést na střední frekvence úzkopásmových odstraněných během odstraňování spektrálních špiček. Avšak může být žádoucí vypočítat střední frekvenci. Například střední frekvence kolového vozidla na pravidelné jízdě může být ovlivněna nepatrnými změnami v rychlosti vozidla nebo frekvenčním rozlišením výpočtů VSH. Pro správné řízení na vibračním stole musí být tóny harmonicky spojené a převedené na frekvence, které by mohly poskytnout ideální podmínky. Pro kolové vozidlo se frekvence mohou vypočítat za použití rychlosti vozidla a přemístěním periodického vstupu (tj. vozovkové vlny rozložené na 0,5 m od sebe). Pro vrtulník se mohou frekvence převést na známou frekvenci listů rotoru. Je třeba dávat pozor na zajištění toho, aby se vypočítaná střední frekvence podstatně nelišila od skutečně naměřené střední frekvence.

**Příloha D**  
(informativní)

**D.3.4 Doba zkoušení z upraveného beta rozdělení (Sloupec D)**  
TEST TIME FROM ADJUSTED BETA DISTRIBUTION

Obecně tento sloupec obsahuje časy vypočítané během tvorby scénáře (viz článek 7.4). Ale pole je nazváno „Upravené“ proto, že je někdy nezbytné zkombinovat úzkopásmové z více případů. Například u vrtulníku jsou tóny pro všechny případy obecně na stejné frekvenci (řízené hlavním rotorem). Podobný případ vyplývá pro úzkopásmové spojené s pásovými vozidly jedoucími po různých druzích terénu stejnou rychlostí. Během zpracování se musí zkombinovat všechny úzkopásmové z této frekvence do jedné úzkopásmové, která obsahuje kombinovanou energii skupiny. Rovnice D.2.1 se může použít k úpravě dob ve scénáři tak, že g-rms z jednotlivých úzkopásmových se normalizují na nějaké běžné g-rms, typicky na maximální g-rms ze skupiny. Upravené zkušební doby jednotlivých tónů (nyní všechny na téže úrovni g-rms) se potom sečtou. Tento čas se pak vloží do sloupce D úzkopásmové tabulky.

**D.3.5 Skutečná doba zkoušení (Sloupec E) ACTUAL TEST TIME**

Je to část doby běhu programu, po kterou bude daná úzkopásmová v rámci daného frekvenčního pásma. V závislosti na charakteru zdroje vibrací se budou úzkopásmové buď držet na jediné frekvenci (tj. vrtulník) nebo budou rozmítané přes řadu frekvencí (tj. pásové vozidlo). V případě rozmítaných úzkopásmových se musí celková doba běhu programu vybraná analytikem rozdělit napříč rozmítanou šířkou pásma nebo četné úzkopásmové body zlomu. Doba se obvykle rozděluje rovnoměrně mezi řadu zkušebních bodů tak, že polovina doby patří ke dvěma koncovým bodům a polovina ostatním bodům. Pro vysvětlení proč se koncové body upravují rozdílně - viz článek 7.4.

**TABULKA D7 – Výpočty úzkopásmových náhodných**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Data o tónech				Úzkopásmové výpočty							
Případ	Rychlost na 2'' WB	Vybraná střední frekv.	Doba zkoušení z uprav. $\beta$ rozdělení	Skutečná doba zkoušení	Vybraná úzkopásm. šíře pásma	Celk. grms z VSH(Sum) tónu	Normaliz. grms (VSH)	VSH upravená na dobu zkoušení	Náhodná úroveň zkoušení	Poměr upravený na normalizov.	Kontrola poměru
<b>Tón 1 info</b>											
5 mil/h 2'' WB	5	3,67	55,41	30	2,5	2,67E-01	2,84E-02	3,35E-02	4,69E-02	1,18	
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	5,50	141,88	60	2,5	2,92E-01	3,42E-02	4,30E-02	6,02E-02	1,26	
10 mil/h 2'' WB	10	7,33	49,80	30	2,5	4,77E-01	9,12E-02	1,04E-01	1,46E-01	1,14	
<b>Tón 2 info</b>											
5 mil/h 2'' WB	5	7,33	55,41	30	5	1,13E-01	2,57E-03	3,03E-03	4,24E-03	1,18	
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	11,00	141,88	60	5	3,45E-01	2,38E-02	3,00E-02	4,20E-02	1,26	
10 mil/h 2'' WB	10	14,67	49,80	30	5	3,72E-01	2,77E-02	3,18E-02	4,45E-02	1,14	
<b>Tón 3 info</b>											
5 mil/h 2'' WB	5	11,00	55,41	30	7,5	2,67E-01	9,50E-03	1,12E-02	1,57E-02	1,18	
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	16,50	141,88	60	7,5	1,69E-01	3,80E-03	4,78E-03	6,69E-03	1,26	
10 mil/h 2'' WB	10	22,00	49,80	30	7,5	2,41 E-01	7,77E-03	8,89E-03	1,25E-02	1,14	

#### **Příloha D**

(informativní)

Poznámka: 2" WB = dvoupalcová zvlněná dráha

#### **D.3.6 Vybraná úzkopásmová šířka pásma (Sloupec F)**

NARROWBAND BANDWIDTH SELECTED

Toto pole poskytuje šířku každé úzkopásmové pro řízení vibrací. Všimněte si, že šířky pásem harmonicky spojených tónů také musí být harmonicky spojené. Šířku pásma lze stanovit prostřednictvím studia jednotlivých případů s využitím software pro předběžné zpracování dat.

#### **D.3.7 Celkové grms z VSH(Sum) tónu (Sloupec G) TOTAL GRMS OF TONE PSD**

Toto pole obsahuje g-rms úzkopásmové energie odstraněné z VSH (Sum). V případě kdy se musí kombinovat řada úzkopásmových, jak je rozebráno v článku D.3.4, toto číslo je normalizované g-rms použití ke kombinování skupiny.

#### **D.3.8 Šířka pásma normalizovaného grms (VSH) (Sloupec H)**

BANDWIDTH NORMALIZED GRMS (PSD)

Moderní řídicí systémy obecně ovládají spektrum VSH. Z toho důvodu se musí hodnoty g-rms tónů převést na formát VSH. To se provádí pomocí kvadratury g-rms ze sloupce G a dělením šířkou pásma ze sloupce F – výsledkem je úroveň  $g^2/\text{Hz}$  ve sloupci H. Tato úroveň  $g^2/\text{Hz}$  představuje zkušební úroveň před konzervativní úpravou, spojenou s dobami zkoušení ze sloupce D.

#### **D.3.9 VSH upravená na dobu zkoušení (Sloupec I) PSD ADJUSTED TO TEST TIME**

Úroveň  $g^2/\text{Hz}$  ze sloupce H je upravena použitím rovnice 9.1, aby se zdůvodnil rozdíl v době ze scénáře (sloupec D) a skutečnou dobou zkoušení (sloupec E). Obvykle se používá strmost  $M = 3,75$ , pokud jsou technickými jednotkami  $g^2/\text{Hz}$ .

#### **D.3.10 Náhodná úroveň zkoušení (Sloupec J) RANDOM TEST LEVEL**

Úrovně  $g^2/\text{Hz}$  ze sloupce I jsou upraveny pomocí konzervativního faktoru, zpravidla 1,4; výsledkem jsou úzkopásmové náhodné zkušební úrovně ze sloupce J. Konzervativní faktor je určen k vysvětlení změn v úrovni způsobených rozdílností jízdních podmínek, neuvažováním stavu vozovky, rozdíly v řidičích, pilotech, klimatických podmínkách a jinými významnými proměnnými. Sloupec J určuje konečné úzkopásmové úrovně zkoušení, které se zahrnou do PLVZ.

#### **D.3.11 Poměr upravený na normální (Sloupec K)**

RATIO ADJUSTED TO NORMALIZED

Tento sloupec obsahuje poměr „VSH upraveného k době zkoušení“ k „šířce pásma normalizovaných úrovní VSH“ (Sloupec I /Sloupec H). Poměr zajišťuje, aby se nemuselo použít nadměrné zveličení. Všimněte si, že komerčně dostupné vibrační řídicí systémy v současné době omezují intenzitu rozmítání tak, aby byla buď lineární, nebo logaritmická, ale to bohužel není obecně typické pro většinu scénářů nasazení techniky (tj. týká se to tvaru rozložení



**Příloha D**  
(informativní)

rychlosti vytvořeného pomocí beta rozdělení). Přinutit úzkopásmové k rozmítání buď lineárním, nebo logaritmickým způsobem bude vyžadovat hodnoty modifikované přes rovnici 9.1, jak je rozebráno v oddílu 9. Analytik bude muset být při provádění řady časových komprimací během tohoto procesu opatrný. Sloupec K v příkladu výpočetní sestavy poskytuje rychlou vizuální kontrolu komprimace použité při tvorbě úzkopásmové části spektra.

#### D.3.12 **Kontrola poměru** (Sloupec L)

#### RATIO CHECK

Pokud poměr ve sloupci K překračuje uživatelem vybraný faktor, příznak ve sloupci L na to upozorní analytika. Oddíl 9 doporučuje limitní faktor 2,0 při uvažování úrovní VSH ( $g^2/Hz$ ). V případě, že kontrola poměru indikuje přílišnou úpravu, může být prospěšné rozdělit PLVZ na více PLVZ, které se pak rozmítají přes nějakou část celého pásma. To umožní upravit rozdělení času na oddělená pásma, ale zvýší se počet PLVZ, které budou představovat zájmový profil prostředí cyklu životnosti. Obecně se bude požadovat provést v této fázi tvorby PLVZ jistý stupeň odborného posouzení. Například následující postup nerostoucích úrovní VSH pomocí metod komprimace času více než 2:1 je ještě životaschopný pro vyšší úroveň úzkopásmových nebo na nějaké frekvenci, o níž se ví, že je kritická k nákladu nebo nosnému vozidlu. Ale jestliže harmonická s nízkou amplitudou nespojená s kritickou frekvencí překročí kritérium 2:1 pro omezenou část rozmítání, doporučuje se uvažovat o výjimce. V případech, v nichž postupy časové komprimace úzkopásmových mají za následek výraznou odchylku z kritéria 2:1, je třeba požádat analytika o rozložení tvorby PLVZ na více PLVZ, v níž se zaměří na lepší body zlomu ze scénáře nasazení (tj. rozpracovat nízkou, střední a vysokou rychlost PLVZ na ose). Doporučuje se také dávat pozor na to, aby se zajistilo, že poměr není menší než 1:1 pro vyšší úroveň úzkopásmových nebo v nějaké frekvenci, která je známa jako kritická k nákladu nebo nosnému vozidlu.

#### D.3.13 **Úvahy ve vztahu k pásovému vozidlu**

#### TRACKED VEHICLE CONSIDERATIONS

Dělení na více PLVZ, rozebrané v předchozím odstavci, se může ukázat jako obzvláště užitečné v případě pásových vozidel. Pro pásová vozidla je úzkopásmová střední frekvence funkcí rychlosti vozidla. Může se stát, že budeme mít jednu širokopásmovou, která představuje všechny rychlosti a rozmítanou úzkopásmovou, která obsahuje všechny významné rychlosti. Avšak jestliže se širokopásmová úroveň jako funkce rychlosti podstatným způsobem mění, může být vhodné rozdělit rychlosti na dva nebo více PLVZ tak, aby každý zahrnoval daný rozsah rychlostí.

#### D.4 **Postup tvorby specifikace sinusového tónu**

Postupy pro tvorbu sinusového tónu jsou podobné těm, které se používají pro úzkopásmové náhodné. Příklad počítačové sestavy sinusového tónu je uveden v tabulce D8. Příklad je ze stejného kolového vozidla na dvouhaldové zvlněné zkušební dráze jako u příkladu úzkopásmových náhodných. Tři tuny nákladu se přemísťovaly v každém ze tří případů (5; 7,5 a 10 mil/h,

## **Příloha D**

(informativní)

dvoupalcová zvlněná vozovka). Následující odstavce poskytují sloupcový popis postupů zpracování sinusového tónu.

- D.4.1 Případ (Sloupec A) – Stejně jako v článku D.3.1.
- D.4.2 Rychlost na 2palcové zvlněné vozovce (Sloupec B) – Stejně jako v článku D.3.2
- D.4.3 Vybraná frekvence sinusového tónu (Sloupec C) – Totéž jako v článku D.3.3, s výjimkou toho, že místo střední frekvence úzkopásmového tónu je zde izolovaná frekvence sinusového tónu.
- D.4.4 Doba zkoušení z upraveného beta rozdělení (Sloupec D) – Totéž jako v článku D.3.4.
- D.4.5 Skutečná doba zkoušení (Sloupec E) – Totéž jako v článku D.3.5.
- D.4.6 Celkové grms z VSH(Avg) tónu – Totéž jako článek D.3.7, s výjimkou toho, že g-rms přicházejí z VSH (Avg). Průměrná VSH se používá pro sinusová data pro zabránění tomu, aby uměle vysoké standardní odchylky ovlivnily konečné zkušební úrovně. Pokud je spektrální vrchol skutečně sinusový, měla by být standardní odchylka na frekvenci spektrálního vrcholu poblíž nuly. Ale pro vozidla platí, že výkyvy v rychlosti vozidla mohou způsobit chyby ve výpočtech standardní odchylky, protože spektrální vrcholy se přesunují s rychlostí vozidla.
- D.4.7 Sinusový G-vrchol (Sloupec G) – Pro sinusová data jsou hodnoty g-rms ze sloupce F jednoduše připočítatelné na úrovně g-vrcholů.
- D.4.8 Sinusový vrchol upravený na dobu zkoušení (Sloupec H) – Úroveň g-vrcholu ze sloupce G se upravuje využitím rovnice D.2.1, aby se zdůvodnily rozdíly mezi dobou ze scénáře (sloupec D) a skutečnou dobou zkoušení (sloupec E). Strmost  $M=6,29$  se obecně používá tehdy, jsou-li jednotky g-peak.
- D.4.9 Úroveň sinusové zkoušky (Sloupec I) – Úrovně g-peak ze sloupce H jsou upravovány pomocí konzervativního faktoru, obecně 1,2 – výstupem jsou úrovně sinusové zkoušky ze sloupce I. Konzervativní faktor je určen k tomu, aby zohlednil změny v úrovni vznikající následkem rozdílů v jízdních podmínkách, řidičích, pilotech, klimatických podmínkách, nejsou-li jízdní povrchy uvažovány a dalších významných proměnných. Jde o konečné úrovně sinusové zkoušky, které se zahrnou do PLVZ.
- D.4.10 Maximální posun (inch Pk-Pk) (Sloupec J) – Je to posun v palcích, od vrcholu k vrcholu, pro sinusové tóny s frekvencí ze sloupce C a s úrovní ze sloupce I.
- D.4.11 Výstraha posunu (Sloupec K) – Pokud posun vypočítaný ve sloupci J překročí uživatelem definovanou úroveň, typicky 1,5 palce, je analytik upozorněn tímto sloupcem.
- D.4.12 Maximální rychlost /in/s (Sloupec L) – Je to maximální rychlost vyplývající pro danou úroveň zkoušky. Je nutné dávat pozor, aby se zajistilo, že úrovně rychlosti nepřekročí možnosti hardwaru.

**Příloha D**  
(informativní)

**D.4.13 Rychlost neupravených dat (Sloupec M)** – Je to rychlost založená na neupravených datech měřených v provozu. Poskytuje se analytikovi jako porovnávací bod ke konečné rychlosti.

**D.4.14 Upravený poměr vrchol-vrchol (Sloupec N)**  
RATIO ADJUSTED PEAK TO PEAK

Tento sloupec je poměr „sinusového vrcholu upraveného na dobu zkoušení“ k sinusovému G-vrcholu“ (sloupec H/sloupec G). Poměr zajišťuje, aby se nemuselo použít nadměrné zveličení. Všimněte si, že komerčně dostupné vibrační řídicí systémy v současné době omezují intenzitu rozmítání tak, aby byla buď lineární, nebo logaritmická, ale to bohužel není obecně typické pro většinu scénářů nasazení techniky (tj. týká se to tvaru rozložení rychlosti vytvořeného pomocí beta rozdělení). Přinutit úzkopásmové k rozmítání buď lineárním, nebo logaritmickým způsobem bude vyžadovat hodnoty modifikované přes rovnici 9.1, jak je rozebráno v oddílu 9. Analytik bude muset být při provádění řady časových komprimací během tohoto procesu opatrný. Sloupec O v příkladu výpočetní sestavy poskytuje rychlou vizuální kontrolu komprimace použité při tvorbě úzkopásmové části spektra.

**D.4.15 Kontrola poměru (Sloupec O)** RATIO CHECK

Pokud poměr ve sloupci N překračuje uživatelem vybraný faktor, příznak ve sloupci O na to upozorní analytika. Hranice zveličení jsou rozebrány v oddílu 9. V případě, že kontrola poměru indikuje přílišnou úpravu, může být prospěšné rozdělit PLVZ na více PLVZ, které se pak rozmítají přes nějakou část celého pásma. To umožní upravit rozdělení času na oddělená pásma, ale zvýší se počet PLVZ, které budou představovat zájmový profil prostředí cyklu životnosti. Další informace o této problematice můžete nalézt v článku D.3.12.

**TABULKA D8 – Výpočty sinusových tónů**

Data o tónech						Výpočet sinusového tónu									
Případ	Rychlost na 2'' WB	Vybraná frekv. sinusového tónu	Doba zkoušení z uprav. β rozdělení	Skut. doba zkoušení	Celk. gms z VSH (Avg)	Sinusový g-vrchol	Sinusový vrchol upravený na dobu zkoušení	Úroveň sinusové zkoušky	Max. posun (inč vrchol-vrchol)	Posun varování	Max. rychlost in/s	Rychlost neupravených dat	Poměr upravený vrchol-vrchol	Kontrola poměru	
<b>Tón 1 info</b>															
5 mil/h 2'' WB	5	3,67	55,41	30	0,218	3,09E-01	3,40E-01	4,08E-01	0,59		6,8	5,17	1,10		
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	5,50	141,88	60	0,245	3,47E-01	3,98E-01	4,78E-01	0,31		5,3	3,88	1,15		
10 mil/h 2'' WB	10	7,33	49,80	30	0,406	5,74E-01	6,22E-01	7,47E-01	0,27		6,3	4,81	1,08		
<b>Tón 2 info</b>															
5 mil/h 2'' WB	5	7,33	55,41	30	0,089	1,25E-01	1,38E-01	1,66E-01	0,06		1,4	1,05	1,10		
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	11,00	141,88	60	0,244	3,45E-01	3,96E-01	4,75E-01	0,08		2,7	1,93	1,15		
10 mil/h 2'' WB	10	14,67	49,80	30	0,294	4,16E-01	4,51E-01	5,42E-01	0,05		2,3	1,74	1,08		
<b>Tón 3 info</b>															
5 mil/h 2'' WB	5	11,00	55,41	30	0,192	2,72E-01	3,00E-01	3,60E-01	0,06		2,0	1,52	1,10		
7,5 mil/h 2'' WB	7,5	16,50	141,88	60	0,121	1,71E-01	1,96E-01	2,35E-01	0,02		0,9	0,64	1,15		
10 mil/h 2'' WB	10	22,00	49,80	30	0,173	2,44 E-01	2,65E-01	3,17E-01	0,01		0,9	0,68	1,08		

Poznámka: 2'' WB = dvoupalcová zvlněná dráha

**Příloha D**  
(informativní)

## **D.5 Alternativní širokopásmová tvorba založení na spektru únavového poškození**

Jedna z metod tvorby PLVZ VSH (konečná) a související doby běhu programu byly prezentovány v článcích D.2.6 až D.2.8. Alternativní přístup lze odvodit z metod z oblasti spekter únavového poškození rozebraných v příloze C.

## **D.6 Postupy závěrečných etap tvorby**

Konečné etapy procesu VVP je možné dokončit v počítačových souborech. Většina postupů požadovaných pro dokončení procesu VVP včetně úzkopásmových výpočtů představených v předchozích oddílech, lze zahrnout do balíčku výpočetních sestav. Výhody využití výstupních sestav pro předběžné zpracování dat, které byly velmi pečlivě zkoumány, jsou: eliminace chyb, které se mohou objevit během počítačového zpracování, výrazná redukce doby na tvorbu, standardizace procesu VVP a pružnost umožňující zpracovat specifické modifikace projektu.

Základní funkce výpočetního zpracování by měla být v kombinování vedle sebe umístěných kanálů do jednoho PLVZ. Typicky se to realizuje obalením více širokopásmových profilů k vytvoření jednoho maxi-profilu. Podobně se obalují sinusové nebo širokopásmové úrovně složených kanálů. Protože maximální úrovně četných akcelerometrických kanálů se stávají konečnými PLVZ, obecně se doporučuje provádět kontrolu řídicích akcelerometrů, umístěných podobně u odpovídajících vývojových kanálů.

Výpočetní sestavy nebo podpůrný software by měly umožnit analytikovi vybrat body zlomu. Původní vibrační profil zahrnuje bod pro všechny spektrální linie přes celou šíři pásma. Body zlomu umožňují, aby tvar a energie vibračního profilu byly reprezentovány s minimálním počtem bodů. Body zlomu by měly tvořit tvar a úroveň originálního profilu tak úzce, jak je možné, zejména ve frekvencích poblíž rezonance systému. Je žádoucí upravit body zlomu tak, aby g-rms bodů zlomu se rovnalo g-rms původního profilu. Také je třeba zajistit, aby úprava neměla přílišný vliv na úrovně VSH v zájmových frekvencích.

Další funkce, které by se měly zahrnout do počítačového zpracování, jsou: schopnost upravovat dobu běhu PLVZ, kontroly přesnosti dat a redukce vývojových chyb, výpočty širokopásmových, úzkopásmových a sinusových tónových parametrů jako je g-rms, posun, rychlost a intenzita rozmítání, kombinace širokopásmových profilů s úzkopásmovými nebo sinusovými profily a prezentace dat pro přezkoumání nebo pro konečné zveřejnění.

Jak již bylo zmíněno, konečný PLVZ by měl zahrnovat všechny informace nezbytné k realizaci laboratorní zkoušky. Doporučuje se, aby tyto informace zahrnovaly metodiku řízení, širokopásmové body zlomu, úzkopásmové nebo sinusové body zlomu (pokud je to třeba), řídicí místa, řídicí tolerance, dobu běhu programu, intenzitu rozmítání, režim rozmítání (logaritmický nebo lineární) a jakékoliv další požadované informace.

**Příloha D**  
(informativní)

Konečné PLVZ se doporučuje zevrubně přezkoumat, aby se zajistila přesnost vývojového procesu. Užitečným nástrojem pro přezkoumání je překrytí konečného profilu PLVZ jednopřípadovými VSH z naměřených provozních dat. Velké chyby v procesu vývoje jsou pomocí překrytí snadněji identifikovatelné. Jiné metody používané v rámci přezkoumání zahrnují srovnávání podobných kanálů, porovnání PLVZ podobných vozidel, porovnání vstupu a odezvy PLVZ, vyhledávání podezřelých hodnot a kontrola celého procesu krok za krokem.

### D.7 Kombinování PLVZ

Někdy je nezbytné zkombinovat více PLVZ do jednoho. Může to být díky potřebě kombinovat působení z více než jednoho vozidla nebo požadavku zkombinovat více PLVZ vyvinutých pro jedno vozidlo. Pro ASH s podobnými tvary spekter se doporučuje použít pro kombinaci širokopásmových částí dvou nebo více PLVZ následující metodu. Příklad výpočtu pro kombinování dvou PLVZ, a to PLVZ01 a PLVZ02, uvádí tabulka 09. Všimněte si, že každý PLVZ sestává z VSH a přidružených dob běhu. Pro tento příklad předpokládejme dobu běhu PLVZ01 = 30 minut, PLVZ02 = 15 minut a Konečná doba běhu = 20 minut. Nejprve se využije Minerovo pravidlo k provedení spektrální linie pomocí úpravy spektrální linie každého PLVZ na nějakou normalizovanou úroveň. V našem příkladu je každá spektrální linie normalizovaná na hodnotu PLVZ02. Tento proces přiřazuje ke každé spektrální linii každého PLVZ novou dobu zkoušení. Jakmile jsou silové úrovně PLVZ totožné, jednotlivé doby se jednoduše sečtou na základě spektrální linie. V tomto momentě se vytvoří nové kombinované PLVZ, označené PLVZ-C. U každé spektrální linie se ale mění přidružená doba zkoušení. Pro konečný krok se úrovně každé spektrální linie upraví s využitím rovnice 9-1 tak, aby se všechny spektrální linie normalizovaly na konečnou dobu běhu vybranou analytikem. Podobný přístup je možné uplatnit pro kombinování úzkopásmových nebo sinusových tónů.

**TABULKA D9 – Příklad kombinování PLVZ**

Frekvence (Hz)	PLVZ01 (g <sup>2</sup> /Hz)	PLVZ02 (g <sup>2</sup> /Hz)	Norm. úroveň (g <sup>2</sup> /Hz)	PLVZ01 nová doba (min)	PLVZ02 nová doba (min)	Celkem nová doba (min)	Konečná doba běhu (min)	PLVZ-C (g <sup>2</sup> /Hz)
5	0,100	0,200	0,200	2,23	15,00	17,23	20,00	0,208
6	0,200	0,400	0,400	2,23	15,00	17,23	20,00	0,415
7	0,300	0,400	0,400	10,20	15,00	25,20	20,00	0,459
8	0,400	0,400	0,400	30,00	15,00	45,00	20,00	0,536
9	0,400	0,300	0,300	88,24	15,00	103,23	20,00	0,501

Tato metoda se dá také použít pro kombinování četných případů do širokopásmového PLVZ, a to záměnou kroků uvedených v člancích D.2.6 až D.2.8 výše. Je třeba nalézt alternativní způsob, jak dodat konzervatismus a dávat pozor na to, aby se zabezpečilo, že metoda nebude narušovat celkový tvar souboru VSH.

## PŘÍLOHA E

### TEORETICKÉ ASPEKTY MAXIMÁLNÍ ODEZVY

#### E1 Úvod

Jestliže se vibrační buzení aplikuje na mechanický systém s jedním stupněm volnosti, lze vypočítat maximální hodnotu odezvy tohoto systému pro deterministický signál nebo pravděpodobnost maximální hodnoty pro náhodný signál. Tato hodnota se nazývá „maximální“ nebo „extrémní“ hodnota. Maximální spektrum odezvy je křivka, představující kolísání hodnoty „maximální“ odezvy jako funkci přirozené frekvence systému s jedním stupněm volnosti pro daný faktor útlumu  $\zeta$ .

#### E2 Sinusové buzení

Je dáno sinusové buzení s tvarem:

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}_m \sin(2\pi ft)$$

Relativní posun odezvy  $z(t)$  lineárního systému s jedním stupněm volnosti je vyjádřen:

$$z(t) = \frac{-\ddot{x}(t)}{\omega_0^2 \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right]^2 + 4\zeta^2 \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Pro dané hodnoty pro  $f$  a  $f_0$ ,  $z(t)$  je maximum, pokud  $\ddot{x}(t) = \ddot{x}(m)$ :

$$MRS = \omega_0^2 z_m = \frac{-\ddot{x}(m)}{\left\{ \left[ 1 - \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right]^2 + 4\zeta^2 \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

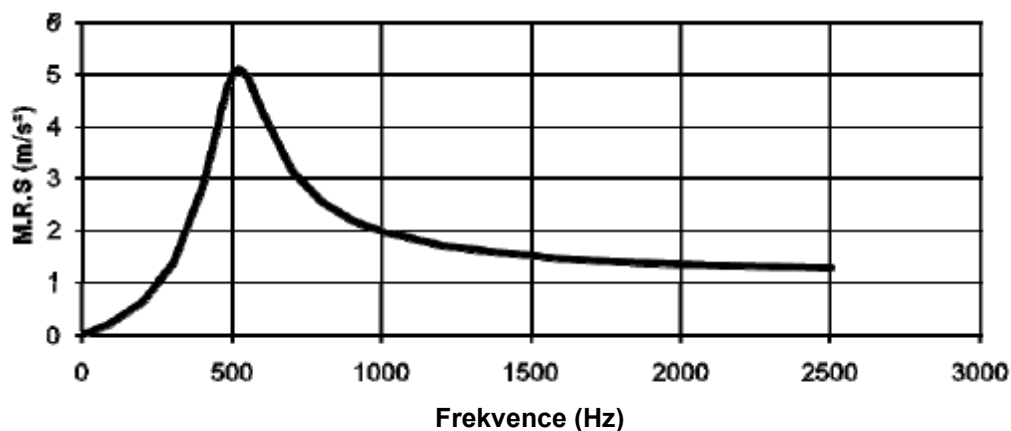
MRS je křivka znázorňující změny  $\omega_0^2 z_m$  proti  $f_0$  pro danou hodnotu  $\zeta$ . Pozitivní a negativní spektra jsou symetrická. Pozitivní spektrum prochází maximem, pokud jmenovatel prochází minimem, tj.:

$$MRS = \frac{\ddot{x}(m)}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Za výchozí aproximaci lze považovat výraz:

$$MRS = Q\ddot{x}(m)$$

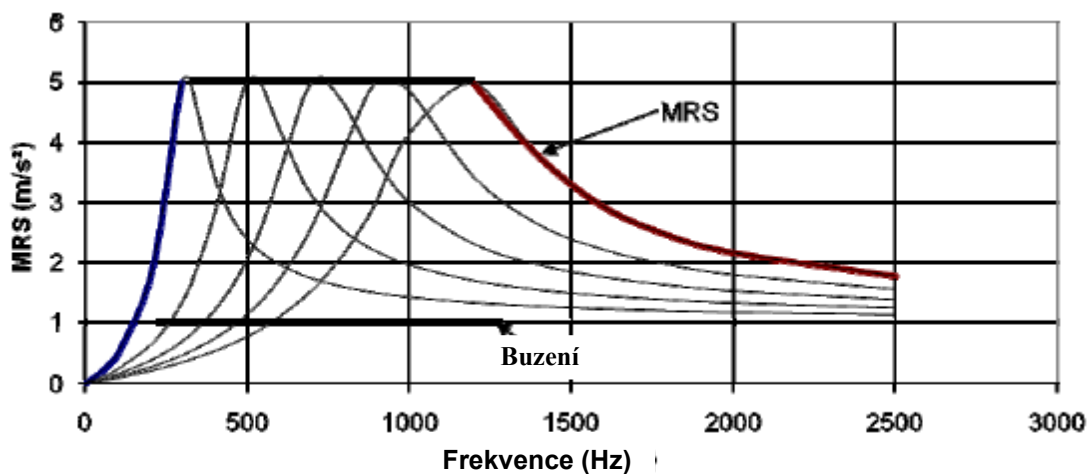
Příklad: MRS pro stálé sinusové buzení při 500 Hz s Q=5



### E3 Rozmítané sinusové buzení

MRS je extrapolované z MRS ze stálých sinusových signálů na frekvencích odpovídajících limitům oblasti rozmítání.

Příklad: MRS pro rozmítané sinusové od 300 Hz do 1 200 Hz



### E4 Náhodné vibrační buzení

MRS se počítá s uvažováním průměrného počtu časů limitu odezvy  $z = a$  překračujících s pozitivním sklonem čas  $T$ . Tento počet je dán pro Gaussovy vibrace následující rovnicí:

$$N_a^+ = n_a^+ T = T e^{\frac{a^2}{2\pi_{eff}^2}}$$

Když uvažujeme limity, které jsou překročeny v průměru pouze jednou a dáme  $N_a^+ = 1$ , pak:

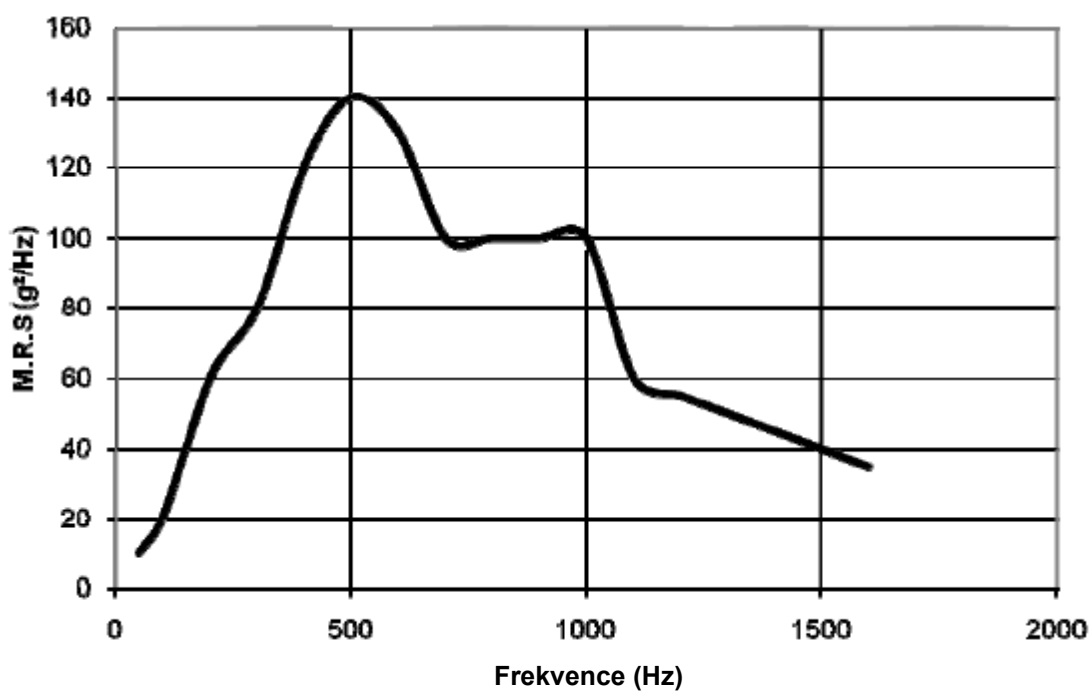
$$a = z_{eff} \sqrt{2 \ln(n_0^+ T)}$$

což poskytuje:

$$R = 4\pi_2 f_0^2 z_s = 4\pi_2 f_0^2 z_{eff} \sqrt{2 \ln(n_0^+ T)}$$

Příklad: MRS pro náhodnou vibraci definované takto:

100 - 300 Hz	0,5 g <sup>2</sup> /HZ
300 - 600 Hz	1 g <sup>2</sup> /HZ
600 - 1 200 Hz	0,2 g <sup>2</sup> /HZ





**KAPITOLA 2411**  
**ČÁST 2411/1**  
**ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ / PŘÍPRAVKY / UPÍNAČE A ŘÍZENÍ ZKOUŠKY**

OBSAH

	STRANA
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ .....	338
2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ .....	338
3 USPOŘÁDÁNÍ A UPEVNĚOVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU (ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ) .....	338
4 ZDROJE A SLUŽBY .....	339
5 TEPLOTNÍ KONDICIONOVÁNÍ A STABILIZACE .....	339
6 ŘÍZENÍ VIBRACÍ A RÁZŮ .....	339
PŘÍLOHA A UPÍNAČE PRO ZKOUŠKY VLIVU PROSTŘEDÍ .....	340
PŘÍLOHA B ŘÍZENÍ VIBRACÍ A RÁZŮ .....	359

## ČÁST 2411/1

### ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ / PŘÍPRAVKY / UPÍNAČE A ŘÍZENÍ ZKOUŠKY

#### 1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ

Tato část poskytuje obecnou směrnici o požadavcích na řízení a provádění zkoušek vlivu prostředí.

#### 2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Zkušební zařízení musí být schopno poskytovat podmínky požadované v rámci jejich pracovního prostoru a musí mít takový objem, aby zkušební vzorek neovlivňoval nepříznivě ovládání komory mimo požadované tolerance. Doporučuje se, aby pracovní prostor zkušební komory měl pro zkušební vzorek dostatečný profil.

Tam, kde je to vhodné, se zdroj tepla zkušební komory musí umístit tak, aby zkušební vzorek nebyl vystaven přímému působení sálajícího tepla.

Není-li určeno jinak, rychlost vzduchu přiléhajícího ke zkušebnímu vzorku nesmí překročit 1 m/s. Nadměrný proud vzduchu může způsobit výrazné snížení teploty, které je vystaven zkušební vzorek.

Schopnost zkušebního zařízení simulovat podmínky prostředí v rámci stanovených tolerancí a přesnost připojených přístrojů se musí periodicky kontrolovat (doporučuje se kalibrace minimálně jednou ročně), aby se uspokojily požadavky nezávislého orgánu pro ověřování jakosti. U rozhodujících zkoušek se doporučuje provést kalibraci před i po zkoušce.

#### 3 USPOŘÁDÁNÍ A UPEVNĚOVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU (ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ)

Vždy, když je to možné, se doporučuje materiál zkoušet jako kompletní prostředek. Pokud je nezbytné z důvodu rozměrů zkušebního zařízení, manipulačních možností, nákladů apod. zkoušet systémy, subsystémy nebo rozměrnější vzorky odděleně, musí úroveň poruch odsouhlasit specifikátor zkoušky a musí se to uvést v protokolu o zkoušce.

Pokud se zkoušení provádí na úrovni subsystému nebo komponent, musí výběr podmínek zkoušení vzít v úvahu změny prostředí, kterému je takový materiál vystaven, způsobené jeho umístěním a funkcí v rámci celého systému.

Instalace zkušebního vzorku ve zkušebním zařízení musí simulovat tak věrně, jak je to proveditelné, instalační uspořádání, které existuje nebo bude existovat v běžném provozním použití. Je nutné minimalizovat takové vlivy, jako jsou nereprezentativní orientace, teplotní stínění, směšování nekompatibilního materiálu atd., které mohou

ovlivnit výstupy zkoušení. Příloha A uvádí směrnici pro použití přípravků a upínačů pro zkoušení vlivů mechanických prostředí.

#### **4 ZDROJE A SLUŽBY**

Zdroje a služby (elektrická energie, vzduch, hydraulika atd.) vyžadované pro provoz zkušební vzorku musí (je-li to možné) pocházet od nebo být simulovány zdroji identickými těm, které se používají v provozu. Během provádění zkoušení se musí zdroje a vstupní parametry nastavit tak, jak stanovují technické podmínky zařízení, obvykle na mezní hodnoty jejich tolerančních limitů.

#### **5 TEPLOTNÍ KONDICIONOVÁNÍ A STABILIZACE**

Během teplotního kondicionování, není-li stanoveno jinak, nesmí být změna teploty větší než nebo rovna 3 °C za minutu.

Pokud není stanoveno jinak, teplotní stabilizace se pokládá za dosaženou, když ta část zkušební vzorku, která má největší teplotní prodlevu:

- a. Pro vzorky s únikem tepla není změna teploty větší než 2 °C za hodinu;
- b. Pro vzorky bez disipačních vlastností je jmenovitá zkušební teplota v rámci stanovených teplotních tolerancí. Konkrétní specifikace zkoušky může určit přísnější tolerance.

Pro snížení doby potřebné na teplotní stabilizaci během zkoušení se může teplota ve zkušební komoře nastavit nad určené zkušební limity, ale pouze tehdy, když takové překročení teploty nebude nepříznivě ovlivňovat rozhodující komponenty nebo části zkušební vzorku nebo nebude způsobovat u vzorku překročení teplotních zkušebních limitů.

#### **6 ŘÍZENÍ VIBRACÍ A RÁZŮ**

Vibrační a rázové zkoušky musí být řízené, aby se zajistilo, že provedená zkouška adekvátním způsobem kopíruje určenou zkoušku. Mohou se použít různé strategie řízení; vhodná strategie bude záviset na řadě faktorů včetně dynamických charakteristik zkoušeného objektu a na způsobu odvození specifikace zkoušky. Příloha B poskytuje směrnici pro řízení vibrací a rázů a uvádí rozsah strategií řízení.

## **PŘÍLOHA A**

### **UPÍNAČE PRO ZKOUŠKY VLIVU PROSTŘEDÍ**

#### **A.1 ÚVOD**

- A.1.1 Tato příloha rozebírá problematiku spojenou s použitím upínacích přípravků k provádění zkoušek simulace vlivů prostředí v laboratorních podmínkách. Podává informace vztahující se k upevňování vzorků, ať už balených nebo přímo vystavených vibračnímu, rázovému či akustickému buzení nebo působení zrychlení. Další informace se poskytují pro případy, kdy se některé z těchto mechanických prostředí používá v kombinaci s klimatickými podmínkami. Tato příloha určuje a rozebírá klíčové charakteristiky, které jsou důležité pro to, aby se dosáhlo dobrého odzkoušení. Není určena pro rozbor detailů konstrukce zkušební výbavy a upínačů.
- A.1.2 Zkoušení vyžaduje zkušební zařízení nebo zkušební výstroj, které dokážou aplikovat zatížení nebo vibrace na zkoušený vzorek za účelem reprodukování jejich provozních charakteristik. Zatížení nebo vibrace se aplikují řízeným způsobem pomocí elektrodynamických vibrátorů nebo servohydraulických mechanismů.
- A.1.3 Výběr zkušební výbavy je pro úspěch zkoušky rozhodující. Vhodná zkušební výbava se liší velikostí a složitostí v závislosti na zkoušeném vzorku. Ve většině případů půjde o předem určený výběr založený na dostupnosti a dřívějších zkušenostech. Jestliže je zkušební výbava dostupná, což může být u jednoduchých zkoušek, je možné ji snadno přizpůsobit pro danou zkoušku. Jinak by se měla zkušební výbava sestavit podle nějaké stávající vyzkoušené konstrukce. Jestliže nejsou zkušební výbava nebo upínače dostupné, bude potřebné je zkonstruovat. Avšak za všech okolností je nevyhnutelné, aby se konstrukce upínačů pečlivě zvažovala. Při komplexní konstrukci upínačů se doporučuje realizovat model konečných prvků, aby se identifikovaly klíčové modální znaky.
- A.1.4 Před konstruováním upínačů se doporučuje provést tyto základní nezbytné úvahy:

Co se má zkoušet? – Jedná se o celý vzorek nebo o jeho komponentu? Pokud je to komponenta, dají se zatěžovací podmínky styčné plochy adekvátně reprodukovat? Měla by se komponenta zkoušet nezávisle nebo jako součást kompletního vzorku? Jsou dynamické odezvy zkušebního vzorku nebo komponenty, reprodukováné zkušebním upínačem adekvátní provoznímu působení?

Kde se má mechanické zatížení aplikovat? – Pokud je vzorek komponentou nesoucí hlavní zatížení, pak je nejlepší upevnit přímo vzorek a přímé zatížení aplikovat na něj. Pokud na vzorek působí pohyby nebo vibrace/rázy, je nezbytné zvažovat, zda se to předává nebo zda reaguje na vibrace a rázy. Pokud je to to první, pak se doporučuje zatížení aplikovat přímo na vzorek prostřednictvím jeho běžných upevňovacích bodů. Pokud je to to druhé, pak se požaduje mnohem sofistikovanější uspořádání upevnění.

**Příloha A**  
(informativní)

Kolik zatěžovacích bodů a os? – Je nutné určit počet a umístění bodů, v nichž se na zkušební vzorek aplikuje rozhodující zatížení. Ve většině vibračních a rázových aplikací to pravděpodobně bude jediný připojovací bod. Avšak při provádění víceosového a vícebodového zkoušení to již není nevyhnutelný předpoklad.

Jaké je zatížení a velikost pohybu? – Je nezbytné stanovit maximální zatížení anebo maximální pohyb požadovaný pro každou zatěžovanou komponentu nebo osu pohybu. Budicí zařízení musí mít dostatečnou zatěžovací kapacitu, posun a rychlost, aby vytvářelo požadovaný pohyb. Doporučuje se určit tolerance pro deformace vzorku pod zatížením a pro vlivy setrvačnosti na zkoušení.

## **A.2 ZKUŠEBNÍ VÝBAVA**

### **A.2.1 Jedna osa – jeden bod**

Zatěžovací rám – Jedno z nejjednodušších zkušebních zařízení je jednoosý zkušební stroj, kde se zatížení aplikuje na zkušební vzorek zpětným působením zatěžovacího rámu. Ačkoliv se normálně využívá pro zkoušení sinusového druhu, může se použít pro simulační zkoušení komponent, kde existuje pouze jeden zatěžovací prvek. Zkušební stroje mohou využívat pro udílení axiálního nebo ohybového zatížení lineární vibrační zařízení nebo pro torzní zatížení mohou využívat torzní vibrační zařízení.

Vibrační stolice – Vibrační stolice se skládá z tuhé horní desky podepřené nějakým uspořádáním uložení a vibračních zařízení, které mohou stolicí pohybovat v jedné nebo více osách. Vibrační stolice se používají k simulaci pohybu vzorku v situacích, kdy vstup je v jednom bodu, ale mohou se používat ve více než jedné ose. Některé stolice aplikují lineární pohyb v jedné, dvou nebo třech osách a některé stolice také dokážou aplikovat rotační pohyb kolem všech tří os, tudíž poskytují 6 stupňů volnosti. Vibrační stoly mohou být poháněny elektromagnetickými nebo servohydraulickými vibrátory.

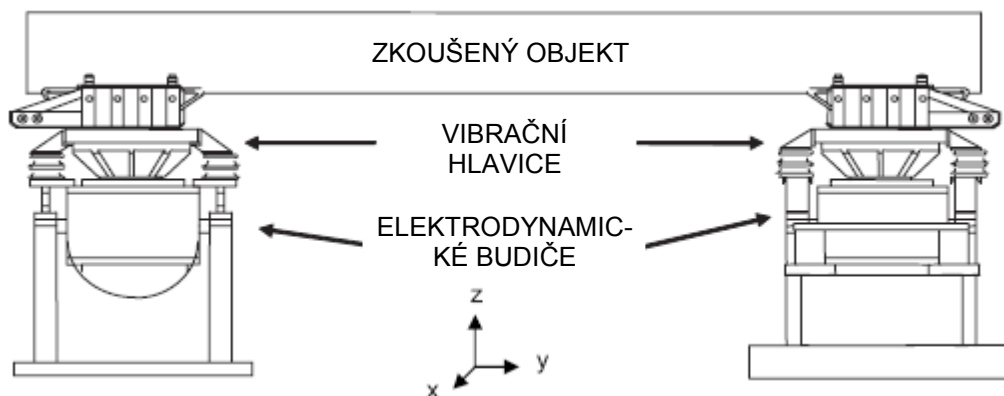
Bodové zatěžování přes pružné připojení – Mechanické zatěžování pro vibrace nebo rázy lze aplikovat na zkušební vzorek přes jednobodové pružné připojení připevněné k vibračnímu zařízení. Pružné připojení zajišťuje, že bodové zatěžování se aplikuje v jedné ose s odstraněním všech rotačních vlivů a minimalizací křížových vazeb s dalšími osami. Vzorek je zde podepřen uvnitř rámu buď prostřednictvím svých provozních připojovacích bodů, tuhého upevnění nebo pružných konzol.

### **A.2.2 Více budičů/Jedna osa (MESA)**

Aplikace více budičů poskytujících dynamický vstup do zkoušeného objektu v jednom vektorovém směru. Například dosti dlouhý materiál může vyžadovat buzení na předním a zadním konci v jedné vektorové ose, jak je znázorněno na obrázku A1. V případě, že dva budiče jsou řízeny podle běžných norem, pokud jde o fázi a amplitudu, výstup se může popsat v podstatě v jedné ose buzení. Pro případ, kdy jsou dva budiče řízeny k nezávislé velikosti anebo fázovým požadavkům, může být potřebné výstupy popsat, pokud jde o přední a zadní osu a možná i rotační osu kolem těžiště zkoušeného objektu.

**Příloha A**  
(informativní)

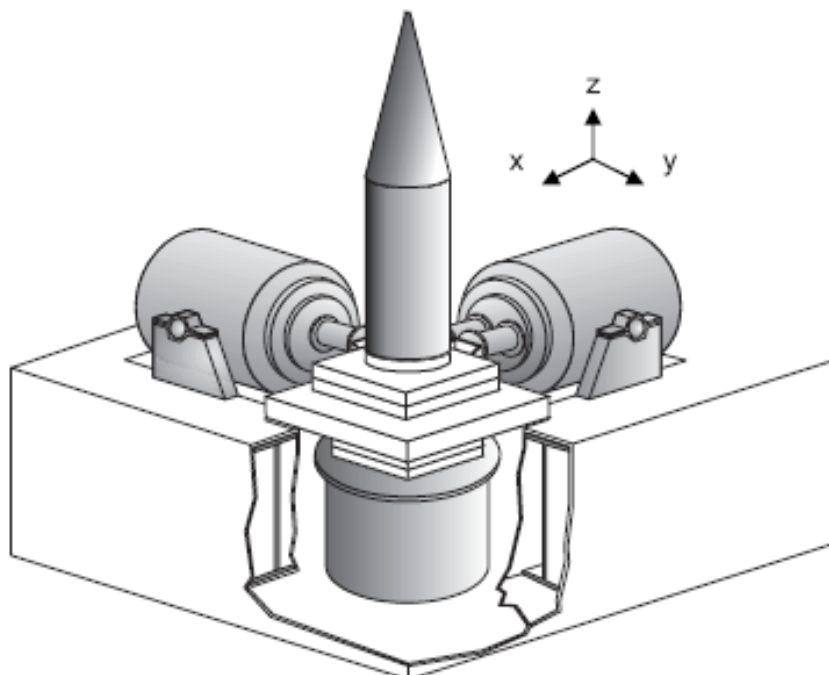
Obrázek 1 zobrazuje aplikaci se dvěma budiči. Všimněte si, že systém bude vyžadovat vhodné podpěry, které umožní čistě rotační nebo kombinovaný lineární a rotační pohyb.



**OBRÁZEK A1 – MESA – Zkušební zařízení se dvěma budiči**

**A.2.3 Více budičů/více os (MEMA)**

Aplikace s více budiči poskytuje dynamický vstup do zkoušeného objektu způsobem, který pro kompletní popis buzení a měření požaduje více než jeden vektor. Obrázek A2 ukazuje tři budiče ve třech osách zkoušení. Pro popis zkoušky se požadují tři osy: svislá, podélná a příčná. Všimněte si, že mnoho víceosých zkušebních platform bylo postaveno v nedávných letech. Běžně se šestibudičové typy nazývají „šestinožec“ (Stewardův nosič), MAST a Team Cube. Existují také buzené systémy skládající se z více než 6 budičů. V každém případě se dynamické vlastnosti mění v závislosti na konstrukci a musí se brát v úvahu při navrhování zkoušení s více budiči.



**OBRÁZEK A2 – MEMA – zkušební zařízení se třemi budiči (translační stupně volnosti)**

### **A.3 UPÍNAČE**

#### **A.3.1 Všeobecné požadavky**

A.3.1.1 Upínače připojují budičí zařízení ke vzorku a mohou zajišťovat reakční body pro vzorek. Trvale budou zkušební upínače potřebné pro upevnění a orientační účely a některý upínač by měl věrně přenášet pohyby z budiče do upevňovacích bodů zkušebního vzorku.

A.3.1.2 Ideálně se doporučuje zpracovávat návrhy vibračních upínačů tak, aby se při zatěžování vzorku a jeho připojení k budiči neobjevovaly žádné rezonance v rámci stanoveného frekvenčního rozsahu. Pokud to není možné, pak je ovlivněna věrnost přenosu pohybu z budiče na zkoušený objekt a k redukci rezonančních amplitud v upínačích se doporučuje použít tlumiče. Avšak toho se obvykle těžko dosáhne a potom je nezbytné spolehnout se na řídicí systém, které musí minimalizovat vliv rezonancí z upínačů a zkušebního zařízení. Je snaha spolehnout se na schopnost řídicího systému kompenzovat nedostatky v konstrukci zkušebního zařízení. Ale tato strategie se nedoporučuje, mohla by se použít pouze v případě, že všechny cesty ke zlepšení konstrukce upínačů byly prozkoumány a realizovány.

#### **A.3.2 Materiály a vlastnosti**

A.3.2.1 Při konstruování zkušebních upínačů se výběr materiálu bude v první řadě řídit hledisky hmotnosti a tuhosti. Tuhost materiálu je funkcí jeho fyzikálních vlastností a mění se v širokém rozsahu kovů a kompozitů dostupných

**Příloha A**  
(informativní)

k využití. Jisté materiály mají výhodnější poměr tuhosti k hmotnosti, a to umožní, aby upínač byl tužší při takové hmotnosti, která se obvykle požaduje. Běžně se používají materiály jako je hořčík a hliník vzhledem k jejich optimálnímu poměru hmotnosti a tuhosti. Dalším charakteristickým rysem materiálu jsou jeho útlumové vlastnosti, např. hysterezní útlum hliníku je přibližně čtyřikrát větší než u oceli, zatímco hysterezní útlum kompozitů je dokonce větší než u hliníku.

A.3.2.2 Při navrhování upínačů se doporučuje zvažovat následující vlastnosti:

Pevnost – Upínače musí být dostatečně masivní, aby přenášely zatížení z budících zařízení na zkušební vzorek.

Tuhost – Tam, kde se upínače využívají k reakčnímu zatížení, musí být dostatečně tuhé, aby se nedeformovaly a neměnily svou povahu v důsledku zatížení, kterému je vystaven vzorek. Pokud mají upínače při stejné hmotnosti vyšší tuhost, zvyšuje to první přirozenou frekvenci, která by mohla být mimo pásmo buzení.

Hmotnost – Hmotnost upínače se doporučuje udržet co nejmenší v souladu s požadavky na tuhost. Upínače se spojenými prvky budou vytvářet setrvačné zatížení, které se musí vzít v úvahu při posuzování požadavků na budící zařízení. Zkušební vzorek by se neměl vystavit setrvačnému zatížení, protože by to mohlo ovlivnit jeho dynamické chování. Výběr materiálů se musí pečlivě zvažovat. Materiály, které pro splnění požadavků na tuhost vyžadují změnu rozměrů, jako jsou kompozity, mohou podstatně změnit dynamickou charakteristiku upínače.

Přirozené frekvence – V situaci, kdy první přirozená frekvence upínače leží uvnitř zkušebního pásma, mělo by to být nejméně jednu oktávu nad první přirozenou frekvencí zkušebního vzorku. Jinak to může změnit dynamické chování zkušebního vzorku a zabránit uspokojivé simulaci.

Útlum – Může být potřebné modifikovat útlum, jestliže má upínač v rámci určeného frekvenčního rozsahu vysoké „Q“ rezonance. Útlum od většiny běžných kovů bude mít malý celkový vliv na dynamické chování upínače. Útlum ve spojích je podstatně větší a má větší vliv. Další útlum lze začlenit do konstrukce upínače lepením tlumícího materiálu na rezonanční člen nebo je možné duté upínače vyplnit polyuretanovou pěnou nebo jiným vhodným materiálem. Další způsoby zahrnují nespojitě seřizovatelné tlumiče, vrstvené tlumiče, metody rozptylu energie třením atd.

Upevnění – Upínač by měl upevňovat vzorek stejným způsobem jako při provozu. To je obzvláště důležité ve víceosých aplikacích, kde se může vzorek pohybovat komplikovaným způsobem a to je třeba vzít v úvahu při navrhování upevnění.

Dynamická odezva vzorku – Upínač by neměl měnit dynamickou odezvu vzorku, která se projevuje v provozních podmínkách, aby do vzorku nevstupovaly nerealistické poruchové režimy. To není vždycky možné, ale konstrukce upínače by měla minimalizovat jakékoliv změny dynamické odezvy vzorku.



**Příloha A**  
(informativní)

Životnost – Upínače musí mít dostatečnou únavovou pevnost nebo odolnost proti opotřebení, aby nedošlo k jejich závadě ještě před ukončením zkoušky.

**A.3.3 Projektování a konstrukce**

A.3.3.1 Je nezbytné zvažovat možné oblasti problémů spojených s projektováním upínačů, které by mohly ohrozit splnění požadavků na zkoušku a nepříznivě ovlivnit opakovatelnost zkoušky. Základním účelem zkušebních upínačů je přenášet předepsané prostředí na vzorek a zajistit, aby požadavky specifikace byly v řídicích bodech splněny.

A.3.3.2 Fyzikální tvar a hmotnost vzorku, náročnost požadavků na zkoušení a možnosti zkušebního zařízení budou určovat konstrukci zkušebních upínačů. Poslední dva parametry závisí na uvažované zkoušce. Navíc pro rázové zkoušky a zkoušky ustáleného zrychlení může být konstrukce upínačů poněkud složitější, protože existuje potřeba zkoušet v obou směrech každé osy zkoušení.

A.3.3.3 Projektování upínačů může zahrnovat využití modelování metodou konečných prvků. U jednodušších upínačů se modelování může provést s využitím hmotnostních, pružných a tlumicích prvků v simulaci celkové hmotnosti.

A.3.3.4 Nepostradatelné je předběžné zkoušení na nějakém budicím nebo vibračním zařízení, přednostně s dynamicky reprezentativním zkušebním vzorkem. Pro složitější upínače se může vyžadovat modální analýza ke zhodnocení přijatelnosti konstrukce.

A.3.3.5 Hlavním parametrem limitujícím celkovou hmotnost vzorku a jeho zkušební upevnění je energetická kapacita vibračního zařízení. Výrobce budicího zařízení běžně stanovuje celkovou hmotnost a maximální náročnost povolenou pro budicí zařízení v daném frekvenčním pásmu. Pro danou hmotnost vzorku bude návrh zkušebního upínače záviset na kapacitě budicího (budicích) zařízení a specifikaci zkoušky.

A.3.3.6 Pokud jde o náročnost, nejdůležitější znaky jsou frekvenční rozsah, požadovaná rychlost posunu a zrychlení. Avšak pokud jde o výkon budicího zařízení, mohou být větší energie a širší frekvenční rozsah neslučitelné. Tudíž nemusí být vždy vhodné použít největší dostupné budicí zařízení. Následkem toho jsou zkušební upínače pro vibrační a rázové zkoušky běžně složitější než upínače požadované pro jiné zkoušky, jako jsou zkoušky pevnosti. Pro dosažení uspokojivých výsledků je zapotřebí mít rozsáhlé konstruktérské zkušenosti. Pokud jsou upínače a vzorek připevněny k vibračnímu zařízení, lze frekvenční odezvu dobře ovlivnit. Je třeba poznamenat, že dynamická hmotnost může mít větší význam než statická hmotnost.

A.3.3.7 Existují různé konstrukce dostupné pro projektování upínačů. Tyto zahrnují šroubování, nýtování, svařování, odlévání, použití lepidel atd. Výběr závisí na splnění požadavků na zkoušky vlivu prostředí, použitém materiálu atd. Zkušební upínač by měl být co nejjednodušší; například monolitní blok může zcela naplňovat potřebu. Ale je třeba poznamenat, že nýtované

**Příloha A**  
(informativní)

a šroubované konstrukce běžně nedosahují tuhosti svařovaných nebo odlévaných konstrukcí. Nýtované konstrukce by se neměly používat a konstrukce spojované šrouby by se měly vyloučit tam, kde se požaduje velká frekvenční odezva. Často se využívají hliníkové slitiny, a to pro svou přijatelnost, technologickou nenáročnost a poměrně vysoký vnitřní útlum.

A.3.3.8 Veškeré styčné plochy by měly být čtvercové a ploché, protože je nezbytné, aby zajistily dobrý mechanický kontakt, především při provádění zkoušek na frekvencích nad 500 Hz. Maximální počet upevňovacích otvorů by měl respektovat dosažení dostatečné tuhosti a splnění požadavků na kontaktní styk. Jestliže se použijí otvory se závitem a materiál má malou pevnost nebo je vystaven tření a otěru, potom se doporučuje použít ocelové vložky, pokud je matečný materiál měkčí, například hliník nebo kompozit.

A.3.3.9 Při montáži se musí vyloučit deformace upínačů nebo zkušební vzorku. Všechny šrouby se doporučuje utáhnout na jejich maximální povolený krouticí moment v předepsaném pořadí. V průběhu dlouhotrvajících zkoušek se doporučuje pravidelně kontrolovat utahovací momenty upevnění k budiči a vzorku k přípravku a v případě potřeby dotahovat.

A.3.3.10 Pro vibrační zkoušení by se těžiště kombinace upínače/vzorek mělo vyrovnat s osou pohyblivého prvku vibračního zařízení. Také se doporučuje, aby upínač byl kolmý na povrch pohyblivého prvku. V některých případech nebude možné zajistit, aby těžiště upínačů a vzorku bylo v řadě s rázovou osou vibračního generátoru. To může způsobovat klopné momenty, které je třeba minimalizovat nebo tomu přizpůsobit konstrukci upínačů. Kluzné stolice se zpravidla používají ve spojení s vibračními zařízeními, pokud se požaduje kolmá osa zkoušení. Tam, kde se používají kluzné stolice, je třeba mít těžiště upínačů a vzorku co nejnižší.

A.3.3.11 Konstrukce zkušebních upínačů by měla vzít v úvahu požadavek, aby se měřiče zrychlení daly upevnit v poloze, která je požadovaná pro příslušnou zkoušku. Upevnění lze zhotovit řadou způsobů, třebaže se doporučuje mechanické upevnění technikou lepení. V případě vibračních zkoušek někdy může být výhodné počítat s připojením dalších měřičů zrychlení za účelem prozkoumání dynamického chování upevnění a vzorku, především během výchozího zkoušení.

**A.3.4 Pomocné upevnění velkých objektů**

A.3.4.1 Při zkoušení těžkých zkušebních vzorků mohou vibrační zařízení vyžadovat podepřít statické břemeno nějakým pomocným přípravkem. Ve svislé ose je tato podpěra obvykle zajištěna pomocí nekalené pružiny v řadě s pohyblivou částí budiče. Tato pružina může být buď vzduchová pružina umístěná mezi zemí a volným koncem pohyblivé části budiče, nebo odpružení zkoušeného objektu zavěšením (jeřáb) na pružná lana. Ve vodorovné ose může být podepření kluznou stolicí, vzduchovými pružinami, zavěšením shora nebo výkyvným spojením.

A.3.4.2 Žádný systém zavěšení nebo zapojení nesmí indukovat nadměrný rotační nebo lineární pohyb v osách kolmých na osu buzení. Pro vyloučení rušivého

**Příloha A**  
(informativní)

nadměrného pohybu v jiných osách, než je osa působení budiče, se požaduje, aby všechny nosné systémy s výjimkou kluzných stolů, měly těžiště v souladu s osou působení zdroje vibrací. Nadměrný pohyb v jiných osách, než je osa budiče může znamenat nesplnění požadavků na zkoušku a mimořádně může vyvolat škodlivé zatížení na vibračním zařízení.

A.3.4.3 Použití vzduchového pérování a pružných rázových lan pro upevnění nákladu zavádí rezonance tuhého tělesa vzorku v nízkých frekvencích (typicky méně než 5 Hz). Z tohoto důvodu se musí obzvláště dbát na to, aby se v těchto nízkých frekvencích nevybuzoval nadměrný pohyb, jak v požadované ose, tak v jiných osách. Pro zkoušky zahrnující velmi nízké frekvence se musí dát pozor na to, aby se nevybuzovaly rezonance budičeho/vibračního systému, například systému vzduchového pérování nebo zkušebního zařízení, protože tyto rezonance:

- a) způsobují, že pohyby při zkoušení neodpovídají specifikaci zkoušky;
- b) způsobují, že není možné splnit požadavky na zkoušku díky tomu, že pohlcují příliš velkou část rázů z vibračního zařízení;
- c) vyvolávají nepřijatelné síly na vibrační budič.

#### **A.4 HODNOCENÍ ZKUŠEBNÍCH UPÍNAČŮ**

A.4.1 Před provedením zkoušky je nezbytné zkontrolovat, zda upevnění a vzorek se dají adekvátně řídit a plní požadavky specifikace zkoušek vlivu prostředí. Toho lze dosáhnout využitím jedné nebo více z následujících možností:

- a. Výchozí zkouška, u níž je upevnění vystaveno stanovenému zkušebnímu zatížení v zatíženém i nezatíženém stavu. To je možné docílit použitím dynamicky reprezentativního vzorku, nebo když použijete skutečný zkušební vzorek.
- b. Zkouška s nižší úrovní, pokud je upevnění zatěžováno společně se zkoušeným vzorkem.
- c. Zkouška s vyšší úrovní, pokud je upevnění zatěžováno společně se zkoušeným vzorkem.
- d. Experimentální anebo teoretická modální analýza, případně analýza metodou konečných prvků zkušebního upevnění zatěžovaného se zkušebním vzorkem a matematická aplikace specifikace zkoušky na modální model nebo model z metody konečných prvků. Jestliže byl model vyroben na jedno ověření zkušebního upevnění, pak je běžně potřebné potvrdit platnost výsledků.

A.4.2 Tyto výchozí zkoušky by měly prokázat, že buď upínače nemají žádné rezonance v určeném frekvenčním pásmu, nebo že dokonce s rezonancemi v určeném frekvenčním pásmu je možné stanovený pohyb v kontrolních bodech aplikovat a řídit. Výchozí zkoušky by také měly prokázat, že upevnění dokáže přesně bez zkreslení reprodukovat požadované pohyby a minimalizovat výskyt buzení v příčné ose. Je nutné prokázat, že potenciální režimy poškození vyskytující se nebo očekávané v provozu jsou odpovídajícím způsobem během zkoušky reprodukovatelné bez zavádění nereprezentativních způsobů poškození od upevnění. Většinou se toho

**Příloha A**  
(informativní)

dosáhne porovnáním chování vzorku při zkoušce s dynamickým provozním chováním a celkovými vibračními/rázovými úrovněmi.

- A.4.3 Pro složité vzorky může být také nezbytné ověřit, že dynamické odezvy vzorku na zkušební upevnění dostatečně reprodukuje odezvy vyskytující se v provozu. To může vyžadovat srovnání měření frekvenční odezvy, provedených v řadě míst jak v provozu, tak při zkoušení.
- A.4.4 Výchozí zkoušení je nepostradatelné tam, kde se uvažuje použití více budičů. V této etapě bude potřebné opakovat nějaké přijatelné řešení řízení za účelem optimalizace řídicích spekter v rámci předepsaných mezí. To bude vyžadovat dobrou základní znalost strukturální odezvy materiálu a upevnění, kterou je možné získat z modální analýzy. Považuje se za podstatné provést on-line modální analýzu na zkušebním uspořádání, protože to umožní vyhodnotit nelineární účinky způsobené stanovenými vibračními a rázovými provozními úrovněmi. Tímto způsobem je možné provést přesné vyhodnocení dynamického chování materiálu a upevnění.

## **A.5 MOŽNÉ PROBLÉMY S UPEVNĚNÍM**

### **A.5.1 Vychýlení**

- A.5.1.1 Tento problém se často objevuje, když se budicí zařízení používají k buzení objektů během zkoušek vlivu prostředí. Jestliže je budicí zařízení připojeno k upevnění nebo vzorku přímo, potom pohyb upínačů anebo vzorku může způsobit ohybové momenty a boční zatížení na armaturu budiče a jeho cívku, které má za následek vychýlení. Pokud se to zanedbá, může to způsobit závažné škody na cívce budicího zařízení, mající za následek snížení kvality řízení vibrací anebo případně poškození budiče. Aby se tyto následky minimalizovaly, doporučuje se mezi budič a zkoušený objekt použít pružné spojení.
- A.5.1.2 Další zdroj vychýlení může vzniknout tam, kde je vzorek zavěšen na pružných laněch a připojen k budiči. Takové závěsné materiály trpí elastickým prodlužováním, které se zvýrazní, když se objeví nárůst teploty prostředí. Například lano „bungee“ nesoucí vzorek se může snadno při běžné pokojové teplotě během krátké doby natáhnout o několik milimetrů.

### **A.5.2 Uvolnění**

- A.5.2.1 Uvolnění je běžně spojené se vzorkem, zkušebním upevněním nebo se zkušebními držáky. Proto je důležité před zahájením zkoušky zkontrolovat všechny upevňovací prvky, aby se ověřilo, že jsou bezpečné. Pojem „upevňovací prvek“ zahrnuje všechna spojení, jako jsou: šrouby, třmeny, matice, svařované spoje, šrouby s hlavou, elektrické konektory atd. Častým zdrojem uvolnění a z toho plynoucí špatné kvality údajů o odezvách je připojení vibračního budiče k upínači nebo zkoušenému objektu. V některých případech mohou spojení mezi budičem a upínačem pracovat uvolněné, což může způsobit úbytek účinné vstupní síly a generování rušivých frekvencí do vzorku. Jestliže se během zkoušky zjistí znehodnocení řízení, doporučuje se zkontrolovat budič, upínače a připevnění vzorku.

### A.5.3 Předpětí

A.5.3.1 Neúmyslné předpětí (přímé anebo příčné) může působit na vzorek nebo na vibrační budič, jestliže se druhotně objeví vychýlení nebo je nereprezentativní nějaké připojení ke zkušebnímu vzorku. To může způsobit vychýlení vibračního zařízení, jak je popsáno výše. Předpětí se také může objevit s prouděním v hydraulickém budiči. Je důležité nezapomenout, že předpětí může mít podstatný vliv na dynamickou charakteristiku odezvy, stejně jako může způsobit poškození zařízení. Předpětí může být také vyvoláno nereprezentativním příslušenstvím, jako jsou vodiče, potrubí a konektory.

### A.5.4 Vodičový šum

A.5.4.1 Tento problém je obzvláště důležitý tam, kde se používají piezoelektrické snímače a mikrotečkové vodiče a narůstá, když přístrojová kabeláž není správně zajištěná, především v místech, kde vodiče „opouští“ zkušební vzorek nebo upínač. Tento stav může vytvářet chyby v důsledku pohybu vodičů vůči vzorku, elektrickou interferenci (často nazývaná odezva) nebo triboelektrické jevy v uspořádání vodičů.

### A.5.5 Přebuzení signálu a překmit

A.5.5.1 Přebuzení signálu je obvykle spojené s cloněním, nasycením nebo harmonickým zkreslením vstupních a výstupních časových signálů v měřicí soustavě. Nejlepším způsobem, jak zabránit přebuzení je sledovat výstupy ze všech zařízení v měřicí soustavě na nějakém osciloskopu a sledovat nějaké indikátory přebuzení, které jsou často součástí dynamických zkušebních zařízení.

A.5.5.2 Překmit vibračního budiče může mít za následek mechanický náraz vedoucí k potlačení a harmonickému zkreslení aplikovaných pohybů. V takových případech obvykle indikátory přetížení na zesilovači budiče dávají výstrahu.

### A.5.6 Teplotní působení

A.5.6.1 Teplotní změny zpravidla vyvolávají druhotné účinky, jako jsou vychýlení nebo přetížení. Jestliže se teplotní změny očekávají, je rozumné zajistit, aby zkoušený objekt vyhovoval podmínkám zkoušení a aby se sledovala teplota za účelem provádění korekcí v případě potřeby. Teplotní vlivy mohou také ovlivnit dynamické charakteristiky zkušebního vzorku, jeho upevnění a pomocné uspořádání, tj. tuhost nebo tlumení. Například pokud je pro simulování provozních podmínek použito kovové zkušební zařízení, zatímco je vzorek v provozu připevněn pomocí kompozitních materiálů, může být nutné zajistit, aby všechny vůle se reprodukovaly jak pro horké, tak pro studené podmínky stejně jako pro venkovní teploty. Mezi zkušební upevnění a budicí systém se doporučuje použít tepelné bariéry.

### A.5.7 Špatná instalace snímačů

A.5.7.1 Špatná instalace snímačů se často projevuje příznaky uvolnění, clonění, vysokých úrovní šumu a citlivosti v příčné ose, což se vše jeví jako harmonické zkreslení snímaného signálu. Připevnění ve správné poloze

**Příloha A**  
(informativní)

a orientaci je nezbytné. Dodržování pokynů výrobce obvykle minimalizuje problémy s instalací snímačů.

## **A.6 INSTALACE JEDNODUCHÝCH VZORKŮ**

A.6.1 Tento oddíl poskytuje doporučení na instalaci jednoduchých zkušebních vzorků, jako jsou „černé skříňky“ a vzorků, které jsou dynamicky poměrně inertní. V takových případech je zkušební upevnění obecně minimální – vzorek je buď připevněn na desku budiče, nebo na blok pro umožnění zkoušení v další ose. Při upevňování jednoduchých vzorků pro vibrační a rázové zkoušení se musí zvažovat následující problémy:

Způsob instalace by měl odpovídat specifikaci zkoušek vlivu prostředí. Třebaže není stanoven, musí být způsob instalace zřejmý. Tam, kde není zřejmý, se doporučuje, aby způsob instalace začleňoval konstrukční principy vytyčené zde a výše. Běžně je vzorek připevněn způsobem, který simuluje provozní připevnění. Pokud je vzorek konstruován pro více způsobů upevnění, musí se všechny vzít v úvahu. Jestliže je účelné použít část skutečné montážní konstrukce jako upínač, doporučuje se to využít, protože to představuje provozní podmínky. Specifikace zkoušky vlivu prostředí by měla stanovit, zda použít montážní konstrukci, a která upevňovací místa použít jako kontrolní body pro řízení zkoušky.

Specifikace zkoušky vlivu prostředí by měla stanovit, zda je vliv gravitačních sil významný. Pokud ano, doporučuje se vzorek instalovat takovým způsobem, aby gravitační síly působily v témže směru jako v provozu. Pokud nejsou gravitační síly důležité, může se vzorek instalovat v libovolné poloze. Typická zařízení citlivá na gravitaci zahrnují řídicí jednotku, kde gravitace je podstatnou částí aplikovaného zatížení (typicky kde je gravitace 10 % špičkového zatížení) a kde gravitační síly ovlivňují asymetrické struktury.

Je třeba vyloučit jakékoliv přídavné vzpěry nebo pásy. Jakákoliv propojení ke zkušebnímu vzorku, jako jsou vodiče, potrubí atd. by se měla uspořádat tak, aby vyvolávala podobné síly a hmotnost jako u vzorku instalovaného v provozní poloze. Aby se toho dosáhlo, může být nezbytné vodiče, potrubí apod. připevnit k upínačům. Případná poškození mohou způsobit nerealistické poruchy připevnění, jako jsou zástrčky, zásuvky, přívodní kabely atd.

Ve všech případech se doporučuje vzorek připevnit ke zkušebním upínačům způsobem, který bude typický pro provozní upevnění. V mnoha případech bude připojení formou tuhého upevnění k montážnímu povrchu budiče. Avšak tam, kde vibrační zatížení nevzniká přes upevnění nebo kde neexistuje očividné připojení (např. u obalů) se budou muset vzít v úvahu i jiná připevnění (jako jsou popruhy).

Specifikace zkoušky vlivu prostředí by měla stanovit zkušební zařízení, které se má použít, a postupy pro instalaci zkušebního zařízení a budičů stejně jako pro připevnění vzorku k upínačům.

Zařízení určené pro použití se systémem pro tlumení vibrací se doporučuje zkoušet s tímto systémem. Je to proto, že je obtížné přesně reprodukovat dynamické chování vibračních tlumičů, které může podstatně ovlivnit teplota.

**Příloha A**  
(informativní)

Jestliže není praktické provádět vibrační zkoušku s příslušnými tlumiči, je možné zkoušku provést bez tlumičů s upravenou náročností, odvozenou z měření charakteristiky dynamické odezvy tlumičů, stanoveného ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí. Tam, kde je známo, že se náročnost mění se směrem aplikovaného buzení, tam se doporučuje vzít toto v úvahu.

V případě, kdy souvislá vibrační zkouška může způsobit nerealistické zahřátí vzorku anebo tlumičů, doporučuje se buzení přerušit na dobu stanovenou ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí a provádět teplotní měření vzorku a upevnění. Doba přerušování zkoušky by měla odpovídat profilu provozního použití.

## **A.7 INSTALACE BALENÝCH VZORKŮ**

- A.7.1 Účelem tohoto oddílu je načrtnout problémy spojené s vibračním zkoušením balených vzorků a doporučit návrhy a shodnou filosofii, kterou je možné si osvojit k jejich překonání. Je třeba si uvědomit, že se požaduje odborné posouzení jak autorem specifikace, tak zkušebním specialistou.
- A.7.2 Obecně se doporučuje, aby za účelem reprodukování vlivů z přepravní fáze byl vzorek zkoušen ve svém balení, pokud je v této fázi běžně zabalený. Pokud je znám způsob upevňování baleného vzorku k přepravnímu vozidlu, měl by se tento způsob reprodukovat (pokud je to účelné) a podrobnosti se doporučuje stanovit ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí a zaznamenat v protokolu ze zkoušky.
- A.7.3 Tam, kde konstrukce balení definuje jeho polohu během přepravy, je také známa poloha vzorku uvnitř obalu. Obal se doporučuje upevnit k instalačnímu povrchu zkušebního zařízení způsobem, který reprezentuje tuto polohu. Pokud je poloha balení během přepravy variabilní a z toho plyne, že poloha vzorku se může měnit, zkoušku se doporučuje provádět v poloze určené jako reprezentující nejhorší případ nebo případy.
- A.7.4 Jestliže může být vzorek upevněn k přepravnímu vozidlu řadou známých způsobů nebo pokud se způsob upevnění mění předem nestanoveným způsobem, potom se nejhorší případ (případy) doporučuje vybírat na základě odborného posouzení dynamického chování vzorku a jeho balení tak, aby se závady projevíly s největší pravděpodobností.
- A.7.5 Jestliže je vzorek určen nebo pravděpodobně bude přepravován na přepravním vozidle bez upevnění směrem dolů nebo s nějakým stupněm volnosti, historicky se přejímalo zkoušení svislého kmitání. Ale doporučuje se, aby tato zkouška se brala v úvahu pouze u malých typicky zabalených předmětů a nikdy u velkých nebo paletovaných předmětů. V takových případech bude také nutné provádět zkoušení vibrací a rázů opatrně za použití vhodné metody, která bude reprodukovat provozní prostředí. Vzorek se doporučuje připevnit k budicímu zařízení odpovídajícím způsobem.
- A.7.6 Pokud je výrobek běžně balen, ale obal není dostupný, obvykle není možné nainstalovat výrobek na zkušební zařízení nebo upevnění opravdu reprezentativním způsobem a zkouška nabývá empirické povahy. Avšak je

**Příloha A**  
(informativní)

možné nastavit náročnost zkoušky tak, aby ochranné prvky poskytovaly stejnou ochranu, jako by byl vzorek v obalu. Také konstrukce upínačů bude vyžadovat respektování způsobu upevnění vzorku v obalu, aby se zajistilo reprezentativní zkoušení, které používá příslušné způsoby závad. Existují dva stavy – první, kde je provedení obalu známé a druhý, kde to není známo. Těmito stavy se odděleně zabývá následující text:

- a. Pokud je provedení obalu známé nebo se dá vypočítat, bude často možné modifikovat aplikovanou náročnost. Schopnost upravit vibrační nebo rázové úrovně zkoušení je poskytována díky znalostem funkcí přenosu nebo stupňů přenosu obalu.
- b. Jestliže neznáme provedení obalu, potom bude nezbytné stanovit přenosové funkce vhodným zkoušením.

A.7.7 Berme v úvahu případ, kdy je obal dostupný. Tuhost vnějšího obalu představuje základní problém pro ty metody zkoušení, které vyžadují, aby se obal připevnil ke zkušebnímu zařízení nebo k upínačům. Pokud je obal dostatečně tuhý a způsobuje pouze malé deformace připojovací plochy, potom je připevnění ke zkušebnímu zařízení a upínačů obvykle poměrně jednoduché. Pokud je obal relativně pružný, pak bude potřebné, aby připevnění bylo plně reprezentativní k omezujícím provozním podmínkám. Doporučuje se udržovat instalační povrch obalu v kontaktu se zkušebním zařízením a upínači po celou dobu nějakými popruhy. Je důležité, aby neexistovalo svislé kmitání, ledaže by se prováděla zkouška svislého kmitání a může být potřebné použít přístrojové vybavení, aby se to ověřilo. Jestliže se objeví nechtěné svislé kmitání, pak může být potřebné znovu zvážit uspořádání popruhů, konstrukci upínačů (je-li to vhodné) a náročnost zkoušení, která může zahrnovat použití koeficientů.

A.7.8 Při zkouškách s obalem je možné použít dynamicky reprezentativní atrapu vzorku, zvláště v případě, kdy je skutečný vzorek křehký, nákladný nebo potenciálně nebezpečný. Může to být užitečné pro výchozí zkoušení a pro zjišťování charakteristiky obalu jako součásti vývojových zkoušek obalu. Doporučuje se výchozí zkoušení materiálu. Pokud je materiál přepravován jako volný náklad, potom může být nezbytné provést dodatečné rázové zkoušky nebo zkoušky svislého kmitání.

## **A.8 UPEVNĚNÍ PŘI VIBRAČNÍ ZKOUŠCE (TYPICKÝ PROBLÉM U MUNICE)**

Zkoušení mechanického prostředí podvěsů, střel a raket nesených na vnějších závěsech letounů, nebo pokud při volném letu požadují zvláštní pozornost při aplikaci dynamického buzení a podepření vzorku ve zkušebním uspořádání. Tento oddíl se zabývá různými metodami dynamického buzení pro různé druhy přepravních letounů stejně jako různými metodami simulace rozmanitých mechanismů provozního buzení.



### A.8.1 Letouny

A.8.1.1 Pro vnější podvěsy nesené letouny aerodynamické účinky povrchu podvěsu převážně vyvolávají vibrace. U vrtulových letounů se vibrace mohou mechanicky přenášet z nosného letounu.

A.8.1.2 Simulace prostředí pomocí mechanického buzení se může nejlépe dosáhnout aplikováním vibrací přes vnější povrchy nebo běžné upevňovací držáky podvěsu. Existují převážně čtyři strategie zkoušení, které se mohou využít, a sice:

- a. Nainstalovat podvěs pomocí jeho běžného upevnění na podpěru s nízkou přirozenou frekvencí. Buzení se dosahuje prostřednictvím pružného spojení připevněného k vnějšímu povrchu podvěsu.
- b. Nainstalovat podvěs na třmeny v normálním místě upevnění.
- c. Nainstalovat podvěs s jeho normálním upevněním na velmi tuhý upínač, přes který je podvěs buzen. Toto je hlavně vhodné pro malé a střední podvěsy a vyžaduje to tuhý způsob upevnění.
- d. Podepřít podvěs buď na několik vibračních budičů, nebo na rám. V obou uspořádáních se vícebodové buzení obvykle přebírá použitím několika vibračních zařízení připevněných v téže rovině.

### A.8.2 Vrtulníky

Pro vnější podvěsy nesené na vrtulnicích se vibrace mechanicky přenáší z konstrukce vrtulníku, ale může také zahrnovat buzení z aerodynamického toku spojeného s přímým letem a s prouděním od rotoru dolů. Zkoušení mechanických vibrací se může provádět aplikací buzení přes normální upevnění podvěsu. Pro účely zkoušení se doporučuje, aby instalační uspořádání bylo co nejrealističtější. Je to proto, že přirozené frekvence provozní instalace podvěsu na vrtulníku mají tendenci být poměrně blízko k převládající frekvenci buzení listy rotoru. Tento vztah mezi těmito dvěma frekvencemi má podstatný vliv na vibrační pohyby podvěsu. Dobré výsledky dynamické zkoušky se mohou dosáhnout při demontáži podvěsu a v některých případech při použití prostředků pro jeho provozní upevnění. Ve většině případů se kvůli výhodnosti zkoušení montážní prostředky pro změnu připevní k relativně tuhému upínači, jako je typ „doghouse“.

### A.8.3 Výběr zkušebního uspořádání

Výběr nejvhodnějšího uspořádání dynamické zkoušky bude záviset na konstrukci podvěsu, dostupných zkušebních zařízeních a požadovanému stupni věrnosti. Použití uspořádání s nízkofrekvenčním upevněním umožní výběr bodů buzení provést tak, aby se rozdělení vibrací dalo přizpůsobit, aby bylo podobné provozním vibracím. Uspořádání s tuhým uložením umožní použít stávající připojovací body nebo třmeny, které už tak snadno neumožní přizpůsobit rozdělení vibrací. Pro rozměrné nebo složité konstrukce se nejrepresentativnější uložení a způsob zkušebního buzení dosáhne použitím více budičů.

**Příloha A**  
(informativní)

**A.8.4 Pružné uspořádání**

Vzorek a jeho běžné držáky se doporučuje odpružit od nosné konstrukce pomocí nízkofrekvenčních držáků. Vibrace se doporučuje aplikovat na vzorek pomocí vzpěry nebo jiným vhodným zařízením tak, aby se přenášely ze zdroje (zdrojů) vibrací na relativně pevný, konstrukčně podepřený bod na vzorku nebo prostřednictvím obruče či třmenu umístěného na vhodném místě podvěsu. Zkušební uspořádání má být takové, aby režimy vibrací tuhého tělesa (posun a rotace) pro systém (vzorek/rám/odpružení/vibrátor) byly menší než 10 Hz.

**A.8.5 Tuhé uspořádání**

Zkušební vzorek se doporučuje připevnit ke zdroji vibrací použitím běžného provozního upevnění nebo reprezentativního modelu. Tuhost montážního upevnění, přes něž se vzorec budí, by měla být taková, aby jeho přirozené rezonanční frekvence byly tak vysoké, jak je to proveditelné a nebyly shodné s žádnou frekvencí listů rotoru a jejich harmonických. Rezananční frekvence upínačů v rámci zkušebního pásma se doporučuje tlumit, pokud je to možné.

**A.8.6 Vícebodové buzení**

A.8.6.1 Systém s více budiči je v první řadě určen pro použití s dynamicky složitým, dlouhým a štíhlým materiálem s vysokým poměrem délka/průměr, ačkoliv se bude používat ke zkoušení materiálu, u něhož je důležité udržet v rovnováze rozdělení energie podél struktury nebo kde se požadují velké tlakové síly.

A.8.6.2 Použití systému s více budiči umožňuje provádět vibrační a rázové zkoušky s celou škálou objektů. Více nezávislých budičů se dá naprogramovat tak, aby měly relativní pohyb, který je plně spojitý a ve fázi, částečně spojitý nebo plně nespojitý.

A.8.6.3 Zvažování konstrukce upínačů je nevyhnutelné v nejranějších etapách definování požadavků na zkoušky s více budiči. Je nutné, aby upevnění odpovídalo co nejdříve provoznímu upevnění pro reprodukování provozních dynamických zatížení a charakteristikám strukturální dynamické odezvy.

A.8.6.4 Obecně mají upínače různé tvary a velikosti v závislosti na uvažovaném zkoušeném objektu a druhu zkoušky. Upínače lze používat s pevným nebo pružným připevněním, a sice:

- a. přímé připojení (buď prostřednictvím třmenů, nebo přímým připojením ke konstrukci),
- b. přímé připojení (prostřednictvím pružných řídicích tyčí a kloubů),
- c. přímé připojení (prostřednictvím otočných čepů, kulových kloubů apod. závislejších na počtu omezujících stupňů volnosti),
- d. kluzné stolice využívající výše uvedené prvky.

**Příloha A**  
(informativní)

A.8.6.5 Na podporu hodnocení upevnění se doporučuje vzít v úvahu následující kategorie výzbroje, protože odpovídající upevnění při vibrační zkoušce závisí na dynamické složitosti a velikosti výzbroje:

- a. Dynamicky pružné symetrické konstrukce s proměnným poměrem délka/průměr, např. střely vzduch-vzduch, torpéda atd.
- b. Dynamicky tuhé konstrukce s pružnými konci, např. laserem řízené pumy.
- c. Dlouhá tuhá výzbroj, kde dostatečná síla je problém, např. silné pumy.
- d. Kontejnerová munice všech výše uvedených kategorií.

A.8.6.6 Musí se vzít v úvahu uspořádání základního upevnění pro zkoušený materiál. V zásadě by měla konstrukce upínačů umožnit adekvátní upevnění materiálu při minimalizaci účinků křížové vazby a zajištění přímého buzení v řadě s osou kotvy budiče. Je nezbytné, aby se minimalizovaly nechtěné pohyby v příčné ose. Režimy tuhého tělesa jsou podrobně zvažovány při konstrukci upínačů, ale při aplikaci vylepšených postupů řízení lze tento problém dnes minimalizovat. Také je nutné vzít v úvahu účinky, jako jsou diferenční posuny ve zkoušeném materiálu a jak ovlivní kotvu elektromagnetického budiče. Řídicí systém nemusí být vždy schopný eliminovat špatnou konstrukci upínačů.

A.8.6.7 Není-li stanoveno jinak, provádí se zkoušení postupně ve třech na sebe kolmých osách se zkoušeným objektem orientovaným jako během normálního provozu. Doporučuje se zkoušený objekt instalovat přímo proti budičům a tam, kde je to možné, použít běžný způsob jeho připevnění a vhodné upínače. Tuhost upínačů by měla být taková, aby jejich indukované přirozené frekvence byly co nejvyšší a nerušily odezvu zkoušeného objektu.

A.8.6.8 Alternativně je možné u větších složitých objektů zkoušený objekt pružně uložit na konstrukční rám. V tomto případě musí být zkušební sestava taková, aby její režimy tuhého tělesa (posun a rotace) byly nižší než nejnižší zkušební frekvence. Vibrace se musí aplikovat prostřednictvím táhla nebo vhodného instalačního přípravku a přenáší se z vibrátorů do poměrně pevných, strukturálně podepřených bodů na povrchu zkoušeného objektu, jak je stanoveno pro výchozí zkoušení. Doporučuje se, aby upínače aplikovaly buzení do zkoušeného objektu způsobem, který simuluje tak přesně, jak je to možné, vibrace přenášené v provozu.

A.8.7 Obecné úvahy o upevnění

A.8.7.1 Doporučuje se, aby se zkoušená výzbroj upevnila způsobem, reprezentujícím jeho provozní přepravní prostředek. Použití přidavných popruhů nebo podpěr se doporučuje vyloučit, ledaže by byly součástí provozního přepravního upevnění. Jakákoliv připojení ke zkušebnímu vzorku, jako jsou vodiče, potrubí atd. by se měly uspořádat tak, aby vyvolávaly podobná dynamická omezení a hmotnostní zatížení vzorku, jako když je podvěs nainstalován ve svých normálních provozních podmínkách.

## **Příloha A**

(informativní)

A.8.7.2 Pozornost konstrukci upínačů je nezbytné věnovat už v raných etapách tvorby programu zkoušek a mělo by to být integrovanou součástí specifikace kvalifikačních zkoušek výzbroje.

A.8.7.3 Problémy uvedené v článku A.8.6 spojené s připevněním budicího zařízení a s kategoriemi munice stejnou měrou uplatněte v obecných požadavcích na upevnění.

### **A.8.8 Zkoušení konstrukčních prvků podvěsů**

A.8.8.1 Pokud se mají zkoušet konstrukční prvky munice jednotlivě, musí se to provádět reprezentativním způsobem, který bude simulovat skutečná omezení provozního upevnění a vstupy, kterým je vystavena celá sestava. Tam, kde se zkoušky konstrukčních prvků realizují, je nezbytné vzít v úvahu:

- a. zahrnutí jakýchkoliv vibračních tlumičů, pokud jsou součástí konkrétní konstrukce;
- b. dynamický účinek lokalizované nosné struktury, který může vyžadovat úpravu vstupu ve specifikaci zkoušky a upínače s reprezentativním dynamickým omezením;
- c. dynamickou odezvu ze všech bodů, která má odzkoušet dynamické chování všech konstrukčních prvků, poněvadž režimy poškození prvků se musí reprezentativně reprodukovat během zkoušky;
- d. Použití zkoušení „all-up-round“, protože to může poskytnout nejrealističtější zkušební metodu konstrukčních prvků.

A.8.8.2 Tam, kde je konstrukční prvek skryt uvnitř konstrukce střely, je problém konstrukce upínačů zredukován, protože je potřebné pouze reprodukovat charakteristiku lokalizované strukturální dynamické odezvy. To umožní použití lokalizované struktury zkušebních upínačů, reprezentativně instalovaných bodů se znalostí vibračního zkušebního spektra v připojovacích bodech (generovaného buď v provozu, nebo v laboratoři).

A.8.8.3 Tam, kde konstrukční prvek tvoří integrální součást konstrukce, jako je například proudový motor v řízené střele vzduch-vzduch, potom je nezbytné uvažovat o zkoušení „all-up-round“ nebo o využití dodatečně připojených složek pro simulaci celkové strukturální odezvy střely.

## **A.9 TYPICKÉ PROBLÉMY RÁZOVÝCH ZKOUŠEK**

A.9.1 Instalační problémy spojené s obalem vystaveným rázové zkoušce jsou v podstatě tytéž jako u vibrační zkoušky, ačkoliv zde existuje dodatečná složitost v připuštění rázů (pokud jsou stanovené klasické rázy) aplikovaných v obou směrech v každé ze tří os.

A.9.2 Klíčovým faktorem, který je třeba zvažovat při konstruování upevnění při rázové zkoušce je hmotnost zkoušeného vzorku ve vztahu k hmotnosti dílů zkušebního zařízení. V případě rázové zkoušky s velmi reagujícím vzorkem může být nutné omezit hmotnost, která se může zkoušet na konkrétním rázovém zkušebním zařízení, aby se zajistilo, že bude možné splnit cíle zkoušky.

**Příloha A**  
(informativní)

- A.9.3 Nárazová zkouška je v podstatě zkouškou odolnosti prováděnou za účelem změřit stupeň jistoty, se kterým je vzorek schopen přežít přepravu (je to také zkouška křehkosti balení). Stejně jako u rázové zkoušky se doporučuje nárazovou zkoušku provádět vždy s balením pevně připojeným k upínačům nebo ke stolici zkušebního stroje.
- A.9.4 Je třeba poznamenat, že rázové a nárazové zkoušky prováděné se vzorky ve svých obalech vytváří konkrétní dynamické účinky na vzorek. Vzorek bude mít při nárazu snahu opustit povrch zkušebního zařízení nebo upínače. Navíc vysoký frekvenční obsah pulzu nárazu, toleranční úrovně a řídicí metody stanovené ve specifikaci zkoušky vlivu prostředí mohou způsobit, že požadavky bude obtížné splnit.
- A.9.5 Zkouška svislého kmitání plní podobnou funkci jako nárazová zkouška, ale protože vzorek není připevněn ke zkušebnímu nosiči, velmi přesně simuluje zatížení, které je výsledkem nárazu na vzorek přepravovaný jako volný náklad nebo s několika stupni volnosti na přepravním vozidle. V takovém případě zde nevzniká potřeba upevnění. Požadavky na zkoušku svislého kmitání viz AECTP-400, Metoda 406 (ČOS 999902).

## **A.10 SPECIFICKÉ PROBLÉMY AKUSTICKÉHO ZKOUŠENÍ**

- A.10.1 Druh a konstrukce zkušebních upínačů k instalaci vzorků pro vibrační zkoušky, při nichž jsou vibrace indukovány akusticky, závisí velmi výrazně na velikosti a hmotnosti zkušebních vzorků. V těch nejjednodušších případech, kdy se skříňka s elektronikou zkouší v dozvukové komoře, se doporučuje vzorek pružně upevnit ve střední části komory. Zavěšovací zařízení, jako jsou pryžové pásy, by se měly upevnit tam, kde je to možné, k upevňovacím bodům vzorku. Pro větší zkušební vzorky se doporučuje vždy, když je to možné, použít provozní upevňovací ústrojí.
- A.10.2 Je vhodné, aby zkušební upínače byly tak dynamicky transparentní při respektování akustického prostředí, jak je to možné. Avšak ve zvláštních případech může být žádoucí simulovat stínění nebo odraz, kterým je zkoušený objekt vystaven ve svém provozním prostředí. Takové případy zahrnují střely připevněné k letadlu ve výklencích. Velmi rozměrné vzorky obecně využívají své skutečné provozní upevňovací prvky jako zkušební upínače. V každém případě se doporučuje celkovou sestavu izolovat proti vibracím od podlahy nebo stropu dozvukové komory. Frekvence zavěšení by měla být menší než 25 % z nejnižší zájmové frekvence vzorku.

## **A.11 SPECIFICKÉ PROBLÉMY PŘI ZKOUŠENÍ USTÁLENÉHO ZRYCHLENÍ**

- A.11.1 Pro ustálené zrychlení je konstrukce upínačů poměrně jednoduchá, protože se zrychlení aplikuje postupně a dynamické chování upevnění a vzorku lze zanedbat. Tudiž upevnění vyžaduje pouze dostatečnou tuhost, aby odolalo složitým setrvačným silám, a musí být přiměřeně univerzální, aby se přizpůsobilo orientaci vzorku. Nemělo by se přehlédnout, že poměr mezi poloměrem vzorku a centrifugy je důležitý vzhledem ke gradientu zrychlení napříč vzorkem. Pozornost přitahují konkrétní úvahy vyplývající ze zkoušení vzorků ve velmi vysokých úrovních zrychlení.

## **Příloha A**

(informativní)

A.11.2 Pro zkoušení ustáleného zrychlení se běžně používají centrifugy a je nezbytné staticky i dynamicky vyvážit upínače a vzorek ve vztahu ke zkušebnímu zařízení, aby se předešlo poškození jeho ložisek. Výrobce centrifugy běžně stanovuje povolený stupeň nevyváženosti. Pro vyloučení nutnosti opakovaného vyvažování je výhodné udržovat těžiště vzorku na témže místě ve všech zkušebních orientacích.

A.11.3 Je nutné poznamenat, že při zkoušce ustáleného zrychlení se za jistých okolností může objevit bezpečnostní riziko, pokud je vzorek zkoušen se svými tlumiči vibrací. V takových případech se doporučuje zvážit použití kotevních lan nebo popruhů. Je obzvláště důležité, aby se vypočítala zatížení, kterému jsou vystaveny upevňovací šrouby.

A.11.4 Pro vyšší úrovně zrychlení se musí použít sáňková dráha. V takových případech musí být zkušební upínače dostatečně pevné, aby odolaly zrychlení a zpomalení sáňek. Upevnění musí být dostatečně tuhé, aby odolalo aerodynamickým zatížením s minimální pružnou deformací.

## **A.12 SPECIFICKÉ PROBLÉMY U KOMBINOVANÝCH MECHANICKÝCH A KLIMATICKÝCH ZKOUŠEK**

A.12.1 Některé dynamické zkoušky vyžadují, aby se klimatické podmínky aplikovaly ve spojení s mechanickým zatížením. Tyto klimatické podmínky simulují provozní prostředí, pokud jde o teplotu, vlhkost atd. Existují tři dostupné základní volby, konkrétně:

- a. Umístěte vzorek do vhodného uzavřeného prostoru, vzorek i prostor jsou připojeny k budiči.
- b. Umístěte vzorek a upínače do nějakého uzavřeného prostoru s budičem umístěným mimo tento prostor.
- c. Umístěte vzorek, upínače a budič do nějakého uzavřeného prostoru.

A.12.2 Metoda a) se dá použít pro malé vzorky. Uzavřený prostor je integrovanou částí zkušebního zařízení. Při stanovování výkonu budičího zařízení se musí stanovit tolerance pro jeho hmotnost a charakteristiky dynamické odezvy. Metoda b) je preferovaná a nejčastěji používaná pro poměrně rozměrné vzorky s malým průměrem. Zde se musí budičí zařízení izolovat od prostředí a upínače se musí konstruovat tak, aby se přizpůsobily působícím klimatickým podmínkám bez vlivu na jejich dynamickou odezvu. Metoda c) se obvykle používá pro velmi rozměrné vzorky. V tomto případě se upínače a budičí zařízení musí navrhnut tak, aby se přizpůsobily působícím klimatickým podmínkám bez vlivu na jejich dynamickou odezvu nebo schopnosti budičího zařízení.

## **PŘÍLOHA B**

### **ŘÍZENÍ VIBRACÍ A RÁZŮ**

#### **B.1 ÚVOD**

##### **B.1.1 Komentář**

B.1.1.1 Základní složky jakékoliv vibrační zkoušky se redukuje do tří prvků: budicí síly, zkoušené konstrukce a jejich odezvy:

- a. Vstupní buzení se může měřit několika způsoby. Ačkoliv je neobvyklé uvažovat sílu jako vstupní množství, stává se to teď dosti populární jako řídicí metoda pro lehké nebo křehké konstrukce. Další parametry jako jsou zrychlení, a rychlost se obvykle změřívají v praxi. Historicky zkušební laboratoř zjednodušuje znaky skutečného vstupu a využívá sinusové nebo náhodné buzení. Avšak moderní systémy dokážou dnes lépe simulovat skutečné vnější prostředí a běžně využívají kombinace sinusové na náhodné, úzkopásmové náhodné na náhodné, reprodukování časového průběhu atd.
- b. Dynamické vlastnosti vzorku a jeho upevnění během zkoušky bude určovat jeho odezvu na vstupní buzení. Typicky všechny vlivy, na které bude vzorek dynamicky reagovat, budou rezonanční frekvence, tlumení, modální odezva, způsob a umístění upevnění, těžiště, nelineární chování atd.
- c. V závislosti na požadavcích na zkoušku se mohou výstupní odezvy měřit, pokud jde o zrychlení, rychlost, posun nebo o nějaké druhotné jevy jako je deformace.

##### **B.1.2 Základní řídicí systém**

Posláním vibračního řídicího systému je zajistit, aby požadované buzení se aplikovalo na zkoušený vzorek a přitom se udržela dynamická stabilita. Řídicí soustavy jak pro elektrodynamické, tak pro servodynamické vibrační budiče jsou principiálně stejné; hlavní prvky základního řídicího systému jsou uvedeny na obrázku B1. Výjimkou je, že hydraulické vibrační budiče mohou vyžadovat dodatečné zpětnovazební smyčky pro udržení střední nulové polohy/síly a k linearizaci odezvy z budiče.

##### **B.1.3 Řízení otevřenými a uzavřenými obvody**

Z historického pohledu se obvykle používaly dva druhy řízení: manuální řízení (otevřený obvod) nebo automatické řízení (uzavřený obvod).

- a. Při manuálním řízení (otevřený obvod) je obvod zpětné vazby manuální, signál odezvy se pouze měří a požadovaná odezva se získává pomocí regulace řídicího signálu systémem „pokus-omyl“. Historicky je to nejstarší používaný způsob řízení, ale nyní je zcela nahrazena automatickým řízením uzavřenými obvody.

**Příloha B**  
(informativní)

- b. Pro uzavřené obvody nebo automatické řízení se dynamická odezva měří použitím řídicích čidel; toto měření je dodáváno zpět do řídicího systému, který vypočítává nejlepší příkazové signály k získání požadované odezvy. Moderní digitální řídicí systémy v současné době umožňují provádět automatické řízení rázového a vibračního zkoušení na sinusové, sinusové rozmítané/s prodlevou, náhodné, úzkopásmové náhodné a reprodukováním časového průběhu.

**B.1.4 Druhy vibračních a rázových zkoušek**

B.1.4.1 Sinusové zkušební metody byly historicky jedinou metodou používanou pro vibrační zkoušení. Avšak dnes se obecně používají k znázornění strojově indukovaných vibrací vždycky, když jsou vibrace důsledkem rotačních frekvencí a jejich harmonické odezvy. Také se používají, pokud vibrace díky své harmonické odezvě způsobené pružností vzorku nebo konstrukce nebo pokud se opakované jevy objevují v konkrétních frekvencích, které také generují harmonické. Sinusové zkoušení využívá pevnou frekvenci, rozmítané nebo krokové prvky v závislosti na aplikaci.

B.1.4.2 Širokopásmové náhodné zkoušení lze aplikovat na zařízení, které musí fungovat nebo přežít v nějakém prostředí, v němž nejsou vibrace deterministické. Takovým podmínkám bude pravděpodobně vystavena většina vojenského materiálu po nějakou dobu během své životnosti. Vibrační zkoušení používající širokopásmový náhodný vstupní pohyb se obecně používá pro výzbroj, která je vystavena četným vibračním zdrojům s frekvenčními prvky (všechny druhy přepravy a provozní používání). Řídicí signály širokopásmových náhodných vibrací generované vibračními řídicími systémy má nominálně Gaussovo rozdělení (nebo možná modifikované Gaussovo rozdělení). Spektrální úroveň může být přes frekvenční pásmo konstantní nebo se může měnit s frekvencí. Náhodné vibrace jsou vibrace, jejichž okamžitá hodnota není pro žádný časový okamžik stanovena. Pro vibrační zkoušení se náhodný signál může využívat buď jako širokopásmový nebo jak úzkopásmový.

B.1.4.3 Smíšený režim vibračního zkoušení (zkouška kombinovaných vibrací) používá širokopásmové náhodné superponované s buď úzkopásmovou náhodnou, nebo sinusovou, aby se simulovala provozní prostředí, zahrnující rozdílné prvky buzení (pásová vozidla, vrtulníky, přepravu na letadlech atd.).

B.1.4.4 Metody rázového zkoušení umožňují aplikovat dynamické přechodné odezvy na vzorek. Aplikované přechodné dynamické odezvy mohou být buď určené časové průběhy, nebo se dají odvodit z rázového spektra odezvy (SRS). Typické příklady zahrnují rázy při přepravě vozidly, rázy při střelbě, rázy při nárazech a odpalování střel atd. Zpětný signál je založen na odhadu dynamické odezvy z upevnění a ze vzorku, která se aktualizuje s každým následujícím rázovým jevem.



## **B.2 STRATEGIE ŘÍZENÍ**

### **B.2.1 Řízení vstupu**

Řízení vstupu je historicky postup používaný pro vibrační zkoušení. Běžně se používá, když nejsou dostupné žádné údaje o odezvách nebo když složitost řízení činí zkoušení řízenou odezvou nepraktickým. Řídicí měřiče zrychlení se instalují na upínače v místech připojovacích bodů zkoušeného objektu. Budicí pohyb se řídí se zpětnou vazbou z řídicích měřičů zrychlení, aby se zajistily stanovené vibrační úrovně na rozhraní upínač/zkoušený objekt. To představuje vstup z nosiče do vzorku a předpokládá, že vzorek nebude ovlivňovat vibrace nosiče.

### **B.2.2 Řízení s jedním vstupním bodem**

Při použití řízení s jedním vstupním bodem je cílem identifikovat řídicí místo, které nejlépe zajistí, aby vibrace aplikované na každý z připevňovacích bodů vzorku byly tak podobné, jak je to možné. Historicky byl tento způsob nezbytný tam, kde vibrační regulátory byly schopné využít pouze jedno měření jako řídicí kanál. Jednobodové řízení se stále ještě široce používá tehdy, když jsou vzorky připevněny k budiči prostřednictvím jednoho upevňovacího bodu. Zde se doporučuje, aby řídicí bod přiléhá k upevňovacímu bodu. Dá se také použít tam, kde má vzorek více než jeden upevňovací bod, ale vibrační náročnost v upevňovacích bodech je podobná. V tomto případě se doporučuje jako řídicí bod vybrat ten bod, který vytváří náročnost nejbližší specifikaci zkoušky.

### **B.2.3 Vícebodové řízení**

B.2.3.1 Pro vzorky s více než jedním upevňovacím bodem a tam, kde změny odezev mezi každým z upevňovacích bodů jsou z důvodu modifikace zkušebních upínačů nepřijatelné, je použití vícebodového řízení nezbytné. Tato strategie řízení se také doporučuje pro rozměrné konstrukce. Vícebodového řízení se dosáhne využitím měření z více snímačů umístěných v řídicích referenčních bodech. Signály se kombinují a zpracovávají jednou z následujících metod včetně:

- a. aritmetického průměru několika míst odezev - pro řízení pomocí průměrné odezvy;
- b. maximální hodnoty z těchto odezev – pro řízení pomocí maximální odezvy;
- c. minimální hodnoty z těchto odezev – pro řízení pomocí minimální odezvy;
- d. vážené kombinace odezev.

B.2.3.2 Hlava budiče kmitů, kluzné stoly a upínače mají všechny své vlastní charakteristiky dynamických odezev, které se po připojení ke vzorku změní. Z tohoto důvodu je vzorek vystaven rozdílným dynamickým odezvám v každém bodě připojení jako důsledku charakteristických uzlů upínač/hlava budiče/kluzný stůl. To vytváří problém pro jednobodové řízení, a proto se

**Příloha B**  
(informativní)

k minimalizaci změn dynamické odezvy může použít vícebodové řízení. Při použití vícebodového řízení je třeba postupovat opatrně, abyste se vyvarovali výrazného překročení úrovně zkoušení nebo nedostatečného zkoušení, zejména u krajních konců vzorku. Řídicí strategie anebo řídicí místa se doporučuje optimalizovat tak, aby se zajistilo, že se nadměrné zkoušení nebo nedostatečné zkoušení neobjeví.

B.2.3.3 Ať už se použije jakákoliv metoda vícebodového řízení, všechny kontrolní snímače potenciálně přispívají do celkového vibračního řídicího spektra. Obecně je možné při použití této souhrnné formy řízení docílit těsných řídicích mezí, ale každé jednotlivé řídicí místo bude mít svou vlastní dynamickou odezvu, která může být zjevně odlišná od specifikace zkoušky. Vždy je nevyhnutelné kvantifikovat stupeň odchylky mezi umístěními řídicích kanálů, protože to bude ovlivňovat místní buzení vzorku. To může být obzvláště důležité, jestliže konkrétní místo je důležité, jako je například bojová hlavice. Toto místo by při aplikaci této strategie zkoušení bylo buď nadměrně, nebo nedostatečně zkoušené.

B.2.3.4 Pokud upevnění anebo vzorek projevuje podstatné dynamické chování, úrovně vibrační odezvy mohou být větší než dynamický rozsah kapacity regulátoru. V takovém případě regulátor může ztratit schopnost přenášet dynamickou odezvu v rámci tolerancí požadovaných ve specifikaci zkoušky. Za těchto okolností je většinou nejúčinnějším řešením upravit připojení upínačů a vzorku. Další problémy se mohou objevit u vzorků, které projevují nelineární odezvu. To zahrnuje drnčení, připojovací instalace, pružnost upínačů atd., což může způsobit ztrátu nebo zhoršení kontroly a nestabilitu v řídicím zpětnovazebním okruhu. Je tomu tak proto, že velká většina vibračních regulátorů předpokládá lineární charakteristiku odezev.

B.2.3.5 Použití strategie zkoušky s řízeným vstupem může v některých případech vést k tomu, že vzorek bude vystaven nereprezentativnímu zatížení, pro které nebyl konstruován. Takový režim může způsobit závažné nereprezentativní poškození vzorku a je třeba mu předejít. V takových případech se doporučuje použít nouzové řízení nebo poměrové řízení vstupů.

B.2.3.6 Nelinearity uvnitř vzorku a dynamicky nereprezentativní upevnění mohou způsobit nerealistické odezvy vzorku, dokonce i když se zdá, že vstupy splňují požadavky specifikace. Pokud se objeví problémy tohoto druhu, je nezbytné uvažovat o strategii odezvového řízení.

**B.2.4 Odezvové řízení**

B.2.4.1 Komplexnějším a všeobecnějším druhem řízení je odezvové řízení. Je vhodné tam, kde stanovené náročnosti představují odezvy zařízení v provozu. Zkoušení s řízenou odezvou zkouší porovnávat odezvu vzorku v jednom nebo více bodech se stanovenými nebo změřenými vibračními daty ve stejném místě. Tento způsob řízení lze uvažovat tehdy, když jsou dynamické charakteristiky zařízení a instalačního upevnění již známy nebo byly vyhodnoceny specifikačním zkoušením. Je třeba zajistit, aby rezonanční

**Příloha B**  
(informativní)

odezvy nebyly neodůvodněně potlačené nebo aby antirezonance nebyly nerealisticky zesíleny. Toto řízení se upřednostňuje tam, kde nejsou dynamická buzení zařízení přenášena pouze přes upevňovací body nebo kde nelze adekvátní dynamickou odezvu reprodukovat řízením v připojovacích bodech.

B.2.4.2 Tato strategie řízení může využívat buď jednobodovou, nebo vícebodovou strategii řízení a může používat různé algoritmy řízení. Ať už se použije jakákoliv metoda, je odezvové řízení obecně daleko více náročné na regulaci než zkoušení metodou řízení vstupů.

B.2.5 Jednobodové odezvové řízení

Jednobodové odezvové řízení bude účinné pouze u jednoduchých konstrukcí. Při použití jednobodového řízení je cílem identifikovat řídicí místo na vzorku, které integruje odezvy ze všech dynamických odezvoových režimů v rámci frekvenčního rozsahu vibrační nebo rázové zkoušky.

B.2.6 Vícebodové odezvové řízení

B.2.6.1 Tam, kde se jednobodové řízení nedá pro řízení všech režimů vzorku v rámci zkušebního frekvenčního rozsahu přiměřeně použít, tam se doporučuje použít vícebodové řízení. Například střela s vysokým poměrem délka/průměr se nemůže při použití jednobodové strategie řízení adekvátně řídit ve svých krajních částech. Zde může být nutné řídit v místě bojové hlavice a proudového motoru. Kde se použije více míst řízení, tam bude nezbytné provést analýzu vhodné strategie řízení, jako jsou průměrové nebo extrémální řízení. Vícebodově řízená odezva může také přijmout strategii mezního řízení, aby se vzorek uchránil před účinky nelineárního chování, nereprezentativního upevnění a režimů, které byly řízené neadekvátně.

B.2.6.2 Pokud se použije mezní řízení, zvažuje se každá spektrální linie a použije se nejvyšší úroveň, dosažená v kterémkoliv řídicím místě. Výsledkem tohoto druhu analýzy je snížit celkovou vibrační úroveň, které je vystaven vzorek, což může vyvolat nedostatečné zkoušení. Tudíž je nezbytné vzít v úvahu odezvu v každém řídicím místě a srovnat ji s vibrační odezvou měřenou během provozního použití, aby se zajistilo, že připravované zkoušení bude přiměřené.

B.2.6.3 Pokud se použije průměrové řízení, budou řídicí regulátory přímo ovlivňovat celkové vibrační úrovně, kterým je vystaven vzorek. Například jestliže se měl regulátor umístit v uzlu, mohou se celkové úrovně snížit. Mimoto pokud se při zkoušce projeví nelineární vlivy, jako je drnčení (v důsledku použití úrovní zrychlené zkoušky), potom celková vibrační úroveň, které je vystaven vzorek, bude opět přímo ovlivněna. Pokud se použije strategie průměrového řízení, je nutné porovnat dynamickou odezvu v každém řídicím bodu s odezvou naměřenou při provozním použití.

B.2.6.4 Použití mezního řízení ve spojení s extrémálním a průměrovým řízením je v podstatě bezpečný způsob, jak zabezpečit, aby vzorek nebyl vystaven výrazně nadměrnému zkoušení nebo vlivům nekontrolovaných režimů. Obecně budou čidla pro mezní řízení umístěna na místech, kde se objevuje

**Příloha B**  
(informativní)

největší odezva vzorku. Je to často na krajních koncích vzorku. Ale při využívání mezního řízení se nedoporučuje řídicí meze stanovovat tak, aby se překročila celková řídicí charakteristika.

- B.2.6.5 Vážené řízení lze použít jak v případě extrémního, tak průměrového řízení.
- B.2.6.6 Vyrůstající využívání metod vícebodového odezvového řízení může znamenat, že za jistých okolností se může vzorek odzkoušet reprezentativněji, než v případě zkoušení řízením vstupů.
- B.2.6.7 Takové uspořádání může věrněji reprodukovat provozní upevnění a tudíž i dynamickou odezvu vzorku. Použití upravených dat shromážděných v provozních podmínkách v řídicích bodech zabrání aplikaci nereprezentativních vibračních úrovní a nevhodnému rozdělení energie uvnitř vzorku. Avšak odvozování náročnosti zkoušení je třeba provádět opatrně, aby se zajistilo, že bezpečnostní faktory a úrovně zrychlených zkoušek se udržují v rozumných mezích, které zabrání nadměrnému zkoušení a vstupu nelineárních okrajových efektů.

### **B.3 TERMINOLOGIE ŘÍZENÍ**

Pro účely tohoto oddílu jsou vhodné následující pojmy:

- B.3.1 **Přizpůsobivé řízení** ADAPTIVE CONTROL  
Většina zkušebních regulátorů obsahuje adaptivní regulaci. Vlastnosti okruhů servořízení se mění během zkoušky tak, aby se přizpůsobily změnám v odezvě vzorku. Typicky se to využívá pro zkvalitnění řízení s potenciálně nelineárními vzorky.
- B.3.2 **Signalizační a přerušovací úrovně** ALARM & ABORT LEVELS  
Signalizační a přerušovací úrovně se běžně stanovují k tomu, aby ochránily vzorek před poškozením. Signalizační úrovně se používají k vydávání varování v případě, že zkouška je mimo určené toleranční úrovně.
- B.3.3 **Kombinované řízení** COMBINATION CONTROL  
Druh řízení vibračního systému, který kombinuje více druhů zpětné vazby (např. odezvové řízení kombinované s řízením pomocí silových mezí), aby se zajistilo, že naměřené a stanovené úrovně zkušebních spekter jsou optimalizovány bez vstupů, které způsobují podstatné nadměrné zkoušení nebo výrazné nedostatečné zkoušení.
- B.3.4 **Strategie řízení** CONTROL STRATEGY  
Strategie řízení bude vyžadovat dodávání stanovených vibrací v požadovaném místě (v požadovaných místech) v nebo na zkoušeném objektu. Tento výběr může být založen na parametrech generovaných vibrací a na interakci nosič/vzorek. Pro vibrační zkoušení se běžně berou v úvahu následující strategie vibračního řízení:
- B.3.4.1 **Řízení vstupů zrychlení** ACCELERATION INPUT CONTROL

**Příloha B**  
(informativní)

Vstupní řízení je tradiční přístup k vibračnímu zkoušení. Řídicí měřiče zrychlení se instalují na upínače v místech připevnění zkoušeného objektu. Pohyby budiče se řídí zpětnou vazbou z řídicích měřičů zrychlení, aby se poskytly definované úrovně vibrací na styku upínač/zkoušený objekt. Tam, kde je to vhodné, řídicí signál může být průměrem nebo maximem ze signálů z více než jednoho měřiče zrychlení. To představuje vstup odezvy nosiče do zkoušeného vzorku a předpokládá to, že vzorek není ovlivněn vibracemi nosiče.

**B.3.4.2      Řízení odezvou zrychlení      ACCELERATION**  
**RESPONSE CONTROL**

- a. Kritéria řízení vibrací se stanovují pro konkrétní body na nebo uvnitř zkoušeného objektu. Měřiče zrychlení jsou umístěny v těchto bodech a používají se pro kontrolní účely.
- b. Vibrační kritéria se stanovují pro konkrétní body na nebo uvnitř zkoušeného objektu. Řídicí měřiče zrychlení se instalují na styku vibrační budič/upínač. Snímací měřiče zrychlení se instalují ve stanovených bodech na nebo uvnitř zkoušeného objektu. Vstupem do zkoušeného objektu jsou nízké úrovně vibrací, řízené zpětnou vazbou z řídicích měřičů zrychlení. Vstupní vibrační úroveň se nastavuje experimentálně, dokud se na snímacích měřičích zrychlení nedosáhne stanovených úrovní. Tato strategie se běžně používá u zkompletovaných leteckých podvěsů, kde se odezva podvěsu na dynamické prostředí měří nebo odhaduje. Je také vhodná pro jiné vzorky, u nichž jsou dostupná data měřená v provozu.
- c. Strategie mezních zrychlení: Limity vibrační odezvy v konkrétních bodech na vzorku jsou definovány (typicky se zakládají na provozních měřeních). Snímací měřiče zrychlení se umísťují do těchto bodů. Zkoušený objekt je buzen. Kritéria pro vstupy se pokusně upravují tak, aby mezní odezvy ve snímacích měřičích zrychlení odpovídaly předem definovaným limitům. Změny na stanovená vstupní kritéria jsou omezeny ve frekvenčním rozsahu a úrovni potřebnou k dosažení požadovaných mezí.
- d. Silové řízení: Snímače dynamické síly se instalují mezi budič/upínač a zkoušený objekt. Pohyb budiče je řízen se zpětnou vazbou ze silových snímačů tak, aby reprodukoval síly naměřené v provozních podmínkách na styku. Tato strategie se používá tam, kde je provozní dynamická interakce nosič/vzorek výrazně odlišná od laboratorní dynamické interakce budič/zkoušený objekt. Tato forma řízení aplikuje na styku mezi laboratorní vibračním budičem a zkoušeným objektem správné síly naměřené v provozu. Tato strategie se používá k tomu, aby zabránila nadměrnému zkoušení nebo nedostatečnému zkoušení vzorku v nejnižších strukturálních rezonancích, které se jinak mohou vyskytnout i v jiných druzích řízení.

**Příloha B**  
(informativní)

- e. Řízení reprodukováním časového průběhu: Řídicí měřiče zrychlení jsou instalovány na místech na nebo ve zkoušeném objektu, pro něž jsou měřená data k dispozici. Budič se řídí pomocí nějakého vhodně vyváženého časového nebo napěťového průběhu získaného přímo z dat naměřených v provozu, nebo pomocí specifikovaného digitalizovaného průběhu a měří se odezvy ze snímacích měřičů zrychlení. První odhad vyváženého průběhu napětí se stanoví tradičním způsobem systémové identifikace (funkce posunu), tj. ze spirály z požadovaného průběhu odezvy s funkcí systémového posunu. Následující odhady jsou založeny na spektru chybových funkcí ze zpětné vazby z řídicích bodů vztahující se k časové oblasti. Tato strategie je obzvláště užitečná pro řízení přechodových nebo krátkých, časově proměnných náhodných vibrací.

**B.3.4.3 Extremální řízení nebo maxi-max** (vhodné pro náhodné nebo sinusové):  
EXTREMAL CONTROL OR MAXI-MAX

Extremální řízení je vícekanálová řídicí strategie, která vybírá v kontrolních bodech z měřeného referenčního spektra největší odezvy v každé frekvenci, aby se generovalo kombinované spektrum použitelné v řídicím okruhu. Metoda zajišťuje, že nedojde k žádnému nadměrnému zkoušení v žádné frekvenci ze žádného řídicího kanálu. Jedná se o velmi opatrnou formu řízení, která se běžně používá pro vyloučení nadměrného zkoušení v kterémkoli zájmovém bodu konstrukce.

**B.3.4.4 Průměrové řízení:** AVERAGE CONTROL:

Konvenční průměrové řízení vypočítává aritmetický průměr z každé spektrální linie ze všech kontrolních měřících míst.

**B.3.4.5 Průměrové řízení RMS** RMS AVERAGE CONTROL

Průměrové řízení RMS vypočítává střední kvadratickou hodnotu každé spektrální čáry ze všech kontrolních měřících míst. Průměrný RMS účinně připisuje větší vážnost kanálům s větší úrovní odezvy a nechá proběhnout test popsany na spodní úrovni budiče kmitů.

**B.3.5 Rezonanční vyhledávání:**

Rezonanční vyhledávání anebo modální analýzy se provádí jako součást výchozího zkoušení pro stanovení rezonančních frekvencí a útlumu nebo pro stanovení kritických frekvencí, v nichž se projeví buď funkční porucha anebo zhoršení výkonu, případně se vyskytnou mechanické rezonance a jiné odezvové jevy, které mají vliv na schopnost kontrolovat údaje. Vyhledávání se může provádět s využitím sinusového, náhodného nebo přechodového buzení. Buzení se obvykle aplikuje odděleně v každé ose kolmé ke vzorku. Nelineární jevy lze odhadnout prováděním vyhledávání v různých úrovních buzení. Přechodové buzení se obecně aplikuje nárazem kladiva do zkoušeného objektu. Útlum se dá měřit využitím metody bodů s poloviční energií, metodou tlumicí plochy nebo metodou logaritmického úbytku. U objektů, které mají rezonance ve frekvencích, které jsou jedna blízko druhé, se útlumové hodnoty hledají pomocí metod aproximace křivky.

## **B.4 METODOLOGIE ŘÍZENÍ**

### **B.4.1 Širokopásmové náhodné řízení**

B.4.1.1 Pro běžné použití existují dvě metody řízení zkoušky širokopásmových náhodných vibrací. Tradičnější metodou je metoda založená na rychlé Fourierově transformaci (FFT), popsaná v dalším textu. Druhá metoda je metoda spojitě spirály, která je v současné době pro reprodukování časového průběhu častěji využívána. Tato druhá metoda je popsána v části týkající se rázového zkoušení.

B.4.1.2 Strategie řízených vstupů i odezvovalá strategie popsané výše poskytují signál z dynamické strukturální odezvy. Snímače přijímají tento signál prostřednictvím převodníku z analogového na digitální.

B.4.1.3 Je potřeba, aby řídicí proces byl iniciován tak, aby regulátor vytvářel dobrý „model“ frekvenční charakteristiky zesilovače/vibrátoru/upínače/vzorku. Tento model má podobu funkce frekvenční odezvy. Běžně se vytváří za využití nízkourovňových širokopásmových náhodných signálů pokrývajících pásmo zkušebních frekvencí. Nízká úroveň stoupá nahoru na plnou úroveň, aby vzala v úvahu kompenzaci jakýchkoli nelinearit.

B.4.1.4 Signál odezvy z převodníku analog-digitál se převádí na VSH prostřednictvím nějaké rychlé Fourierovy transformace. Tato VSH se porovná s požadovaným zkušebním spektrem a s nějakým vypočítaným chybovým spektrem. S využitím chybového spektra a funkce frekvenční odezvy pro zesilovač/vibrátor/upínač/vzorek se odvodí řídicí spektrum. Řídicí spektrum se vypočítá jako náhodné a inverzní k rychlé Fourierově transformaci. To vytváří časový průběh řídicího napěťového signálu, který se aplikuje na vibrační zesilovač prostřednictvím převodníku analog-digitál. Tento postup se potom opakuje, dokud se nezíská přijatelné referenční spektrum. Tento řídicí proces je zobrazen na obrázku B1.

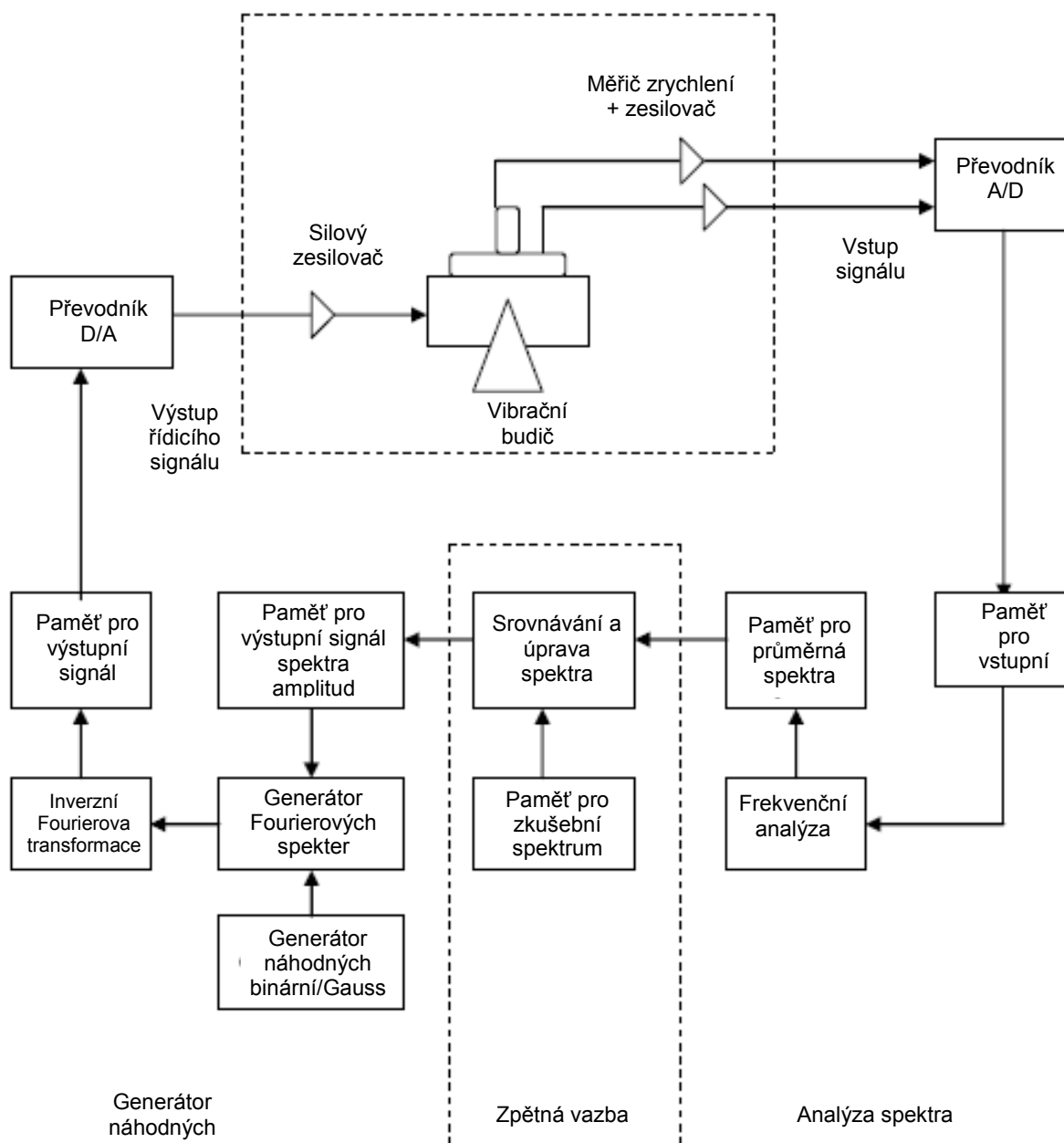
B.4.1.5 Pokud regulátor využívá vícebodovou strategii řízení (průměrovou, extrémální atd.), požadované zpracování signálu se provádí před odvozením řídicího signálu ve fázi spektrální analýzy. Specifické problémy spojené s vícebodovým řízením byly rozebrány výše a platí pro všechny postupy dále uváděné.

B.4.1.6 Výše popsaný řídicí proces má řadu oblastí, z nichž může vyplývat špatné zkoušení:

- a. Řídicí proces je velmi citlivý na kvalitu kontrolního zpětnovazebního signálu ze zkoušeného vzorku. Je proto nezbytné zajistit, aby šlo o kvalitní údaje s minimem rušivých signálů a šumové kontaminace (např. hroty, potlačené signály a elektromagnetická kontaminace). Je také důležité, aby kalibrace tohoto signálu byla správná, protože regulátor využívá výhradně tento signál ke kvantifikaci náročnosti zkoušky. Z téhož důvodu je třeba pečlivě zajistit, aby snímač nebyl vadný nebo nepříjemně připevněný (např. aby neodpadával ze vzorku).

**Příloha B**  
(informativní)

- b. Nejmodernější regulátory náhodných vibrací zajišťují, že intenzita a rozsah převodníku analog-digitál jsou nastaveny tak, aby splňovaly požadavky specifikace zkoušky. Přesto však chyby v dávkování a potlačení signálů mohou vzniknout kvůli špatně nastavenému rozsahu převodníku.



**OBRÁZEK B1 – ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO ZKOUŠENÍ NÁHODNÝCH VIBRACÍ**

- c. Běžné úvahy spojené s výpočty VSH jsou všeobecně předvoleny ve frekvenčním analyzátoru, který je prvkem regulátoru. Většina regulátorů dovolí uživateli nastavit si způsob okénkování stejně jako druh a počet průměrů. Počet průměrů je kompromisem mezi časy



**Příloha B**  
(informativní)

delšího okruhu a zvýšenou přesností. Pro nelineární systémy může být zvýšená přesnost důležitější než zvýšený čas okruhu, aby se zajistila stabilita řídicího okruhu.

- d. Při porovnávání spektra z odezvového signálu s požadovaným zkušebním spektrem většina regulátorů provádí řadu bezpečnostních kontrol. Je to proto, aby se spektrum drasticky neměnilo z okruhu do okruhu. Tyto kontroly by mohly způsobit okamžité vypnutí systému, pokud dojde ke ztrátě odezvového signálu, k překročení mezních spektrálních limitů nebo limitu RMS atd. V této etapě regulátor zobrazí rozdíl mezi zkušební specifikací a dosaženým odezvoovým spektrem. To umožňuje uživateli provést manuální zásah pro zlepšení řízení nebo pro ochranu vzorku. Jestliže se rozdíl mezi stanovenými a měřenými VSH výrazně mění z okruhu do okruhu, pak by to mohlo indikovat podstatné nelineární chování. Většina regulátorů také nabízí zvláštní chybovou funkci na pomoc se srovnáním mezi stanovenými a naměřenými VSH.
- e. Většina regulátorů zajišťuje, že odvozené řídicí spektrum je v rozsahu schopností zesilovače a vibrátoru. Avšak je možné, že řídicí spektrum spadne na nulu přes konkrétní frekvenční pásma. Pokud se toto objeví, regulátor neřídí účinně frekvenční pásmo. Takové chování je rozpoznatelné lehce tlumenými rezonancemi nebo nelineárním chováním.
- f. Protože časy okruhů běžně překračují trvání jednoduché náhodné vibrace historického bloku, je nutné zaplnit rozdíl opakováním prvků z původního bloku. Toho lze dosáhnout několika způsoby tak, aby se zajistilo, že se vytváří řádný náhodný výstupní signál. Většina regulátorů se pokusí překonat tento problém pomocí znárodnění výstupu. Ale metody se mění od regulátoru k regulátoru. Protože moderní počítače jsou v současné době velmi rychlé, je to nyní mnohem menší problém než dříve.
- g. Převodník digitál-analog, přes nějž se výstupní signál posílá do zesilovače, může být slabým článkem řídicího okruhu. Je tomu tak proto, že výstupní signál se může zkreslit nebo potlačit díky nesprávnému nastavení převodníku. Potlačený signál bude způsobovat zúžení rozsahu Gaussova rozdělení spojeného s výstupním signálem. Běžně se hřebenový faktor, což je poměr mezi průměrnou a špičkovou úrovní, nastavuje pro omezení tohoto problému na hodnotu 3. Ale pokud tato hodnota spadne pod 2,7, může to způsobit nepříjemnost zkoušky. Důsledek zkresleného signálu se obvykle projeví jako nárůst odezvy zkušebního frekvenčního pásma, která normálně bývá velmi malá nebo nulová. Další vlastností zkreslených signálů je generování velkého počtu harmonických v řídicím spektru.

#### B.4.2 Sinusové a sinusové rozmítané řízení

- B.4.2.1 Jak analogové, tak digitální sinusové a rozmítané sinusové regulátory se stále ještě běžně používají. Proces a problémy spojené s použitím digitálních

**Příloha B**  
(informativní)

regulátorů se častěji týkaly náhodného řízení. Zde se bude hovořit pouze o dalších specifických problémech.

B.4.2.2 Zatímco analogové systémy jsou nyní nahrazovány digitálními regulátory, princip fungování je u obou dost podobný. Sinusový signál z analogového regulátoru je obvykle generován sinusovým nebo sinusovým rozmítaným oscilátorem. Ten se upravuje pomocí okruhu servořízení. Následkem je použití komprese proměnných amplitud do signálu. Za normálních okolností servo přivádí do signálu stupeň amplitudového útlumu do signálu. Když se vyvolá výstup ze zpětného signálu, komprese se zvyšuje. Jakmile se zpětný signál zvyšuje, komprese je odstraněna. Bohužel jakýkoli šum přítomný ve zpětném signálu bude působit na řízení jednotky servořízení. Takový šum může zahrnovat síťový bzukot, přístrojový šum nebo šum vznikající z nelineárních strukturálních jevů. Kromě toho, pokud řídicí frekvence obsahuje harmonické, které se kryjí se strukturální rezonancí, zvětší se vliv harmonických. Toto zkreslení bude také přidávat k sinusové vlně řízení servojednotky. Takové harmonické zkreslení se může objevit v rozmítacím oscilátoru, jednotce servořízení, výkonovém zesilovači, měřiči zrychlení nebo v úpravě signálu. Za účelem kontroly tohoto potenciálně významného zdroje chyb se obvykle jako součást regulátoru dodává souběhový filtr. Analogové systémy vyžadují pečlivé zvažování časů relativní odezvy souběhového filtru a servoregulátoru, aby se zabránilo nestabilitě systému.

B.4.2.3 Pro aplikace sinusových rozmítaných může být rychlost rozmítání lineární poskytující homogenní frekvenční změny (křížující všechny frekvence stejnou rychlostí) nebo logaritmická, kde nižší frekvence křížují pomaleji než vyšší frekvence. Principem logaritmické rychlosti rozmítání je zachovat počet cyklů zatížení za jednotku času, zatímco frekvence narůstá. Logaritmická rychlost rozmítání se běžně stanovuje v oktávách za minutu.

B.4.2.4 Použití sinusových vln vyžaduje určitý čas na vytvoření maximální amplitudy. Pro rozmítané buzení nejsou frekvenční rezonance nikdy schopné dosáhnout svých maximálních hodnot. Tato odchylka se dá minimalizovat použitím pomalejší změny rychlosti rozmítání umožňující minimální počet cyklů na každé frekvenci. Specifikace některých zkoušek vyžadují více sinusových rozmítaných s postupně rostoucími a klesajícími frekvencemi. Za těchto okolností může přílišná rychlost rozmítání mít za následek pozitivní následované negativním frekvenčním zkreslením, které je známé jako chyba obrácené frekvence. Následkem toho je rozetření zkušebního spektra.

B.4.2.5 Pokud je rychlost servomechanismu příliš malá, existuje možnost, že vysoká „Q“ rezonance anebo vysoká rychlost rozmítání neposkytnou dostatek času na dosažení kontroly nad systémem. Jestliže je rychlost serva příliš velká, bude snaha to kompenzovat pro vrcholové a nejnižší hodnoty nízkofrekvenčních sinusových vln, což povede ke kmitání a nestabilitě. Tudíž se často stanovuje pozvolné zvyšování rychlosti odezvy servopohonu s frekvencí.

**Příloha B**  
(informativní)

B.4.2.6 V praxi může být rychlost komprese stálá, proměnná (kde rychlost narůstá s frekvencí) nebo adaptivní (kde je dostupný rozsah křivek s automatickou volbou závislou na předpokládané frekvenci „Q“).

B.4.2.7 Rychlost servopohonu musí být menší než doba odezvy souběžového filtru, aby servo nereagovalo na změny probíhající během doby odezvy souběžového filtru. Moderní digitální souběžové filtry generují pásmovou propust vystředěnou na frekvenci rozmítání. Doba odezvy souběžového filtru je nepřímo úměrná k šířce pásma filtru. Tudíž pro logaritmické rozmítání, kde rychlost serva narůstá s frekvencí, musí souběžový filtr také růst s frekvencí. Toho se docílí zvětšováním šířky pásma filtru. Digitální zpracování umožňuje poměrně snadno jak konstantní tak poměrnou šířkou pásma.

### B.4.3 Řízení rázů

B.4.3.1 Postup používaný k řízení rázových jevů se také používá pro reprodukování přechodných časových průběhů a rozšířených časových průběhů. Postup řízení je velmi podobný postupu dříve popsanému pro náhodné vibrace s tou výjimkou, že z největší části pracuje v časové oblasti spíše než ve frekvenční oblasti.

B.4.3.2 Řídicí odezvoový signál je vzorkován pomocí převodníku analog-digitál stejným způsobem, jak je výše popsáno. Časový průběh se sloučí s funkcí impulzní odezvy pro zesilovač/vibrátor/upínač/vzorek. Výsledkem je řídicí signál, který lze aplikovat pomocí převodníku digitál-analog na vibrační zesilovač. Funkce impulzní odezvy je nepřetržitě aktualizována s využitím signálu měřené odezvy a předchozích výstupních řídicích signálů. Pro vyloučení vlivů nelinearit je možné sem navíc zahrnout algoritmy na korekci chyb.

B.4.3.3 V tomto případě je funkce impulzní odezvy využívána k popisu charakteristik zesilovače/vibrátoru/upínače/vzorku. Je to ekvivalent funkce frekvenční odezvy v časové oblasti a používá se podobným způsobem. Měření jmenovitého vstupního řídicího signálu  $d(t)$  a výstupního řídicího signálu  $c(t)$  dovolí vypočítat funkci impulzní odezvy  $h(t)$  pomocí konvolučního integrálu:

$$c(t) = h(t) * d(t)$$

B.4.3.4 Protože požadavkem řízení je poskytovat vstupní řídicí signál  $d_{new}(t)$ , který bude vytvářet stanovený referenční kontrolní výstup  $r(t)$ , potom:

$$r(t) = h(t) * d_{new}(t)$$

B.4.3.5 Tudíž požadovaný vstupní řídicí signál je dán takto:

$$d_{new}(t) = h(t)^{-1} * r(t)$$

B.4.3.6 Řídicí proces popsaný výše má řadu oblastí, z nichž může vyplývat nesprávné zkoušení. Konkrétní oblasti jsou rozebrány dále, ale mnoho problémů se může vyskytnout při řízení náhodných vibrací.

- a. Protože tento druh regulátoru využívá jako zkušební požadavky určitý časový průběh, je výsledek závislý na kvalitě dat časového průběhu.

**Příloha B**  
(informativní)

Špatná data se musí odstranit nebo odfiltrovat. Tam, kde zkušební zařízení nedokáže reprodukovat buď nízké anebo vysoké frekvence, musí se taková data odstranit. Pro vyloučení nespojitostí v časových datech se doporučuje využít metodu okénkování. Podobně se doporučuje verifikovat rychlost a posun, aby se zajistilo, že časový průběh zůstane v rozmezí možností zkušebního zařízení.

- b. Konvoluční proces je velmi citlivý na kvalitu impulzu odezvové funkce. Zejména chyby následkem nelinearit se šíří do řídicího signálu. Proto je důležité, aby se k získání dobré funkce impulzní odezvy provedly výchozí zkoušky s přiměřeně nízkou úrovní. Toho se dosáhne měřením od nízkých po plné úrovně amplitud rázové zkoušky. Pro rázové zkoušení si to může vynutit použití reprezentativního vzorku, aby se zabránilo jeho poškození v průběhu výchozího zkoušení.
- c. Možnost poškození vzorku je zde podstatně větší než u náhodných zkušebních metod. Je potřebné pečlivě stanovit výstražné a vypínací úrovně, aby se předešlo poškození vzorku. Doporučuje se provést kompenzaci zkoušky k minimalizaci pravděpodobnosti poškození následkem nelinearit a nesprávně definované funkce impulzní odezvy.
- d. Potvrdit to, že požadovaný zkušební časový průběh byl docílen, je u této metody zvláště obtížné a nejprve se spoléhá na vizuální porovnání. Ale kvantifikace může být nesnadná a někdy bude nutné využít alternativní metody, jako jsou spektra rázové odezvy, spektrum energií, přechodné okamžiky atd.

#### B.4.4 Řízení smíšeným režimem

B.4.4.1 Řízení smíšeným režimem zahrnuje řadu druhů zkoušek včetně:

- a. Pevná frekvence úzkopásmová náhodná na širokopásmové náhodné.
- b. Rozmítaná úzkopásmová náhodná na širokopásmové náhodné.
- c. Pevná sinusová na širokopásmové náhodné.
- d. Rozmítaná sinusová na širokopásmové náhodné.

B.4.4.2 K provádění těchto zkoušek se využívají historicky odlišné druhy řídicího software. Ale v občasné době je už obvykle možné pro všechny výše uvedené kombinace použít tentýž software. Základní řídicí sestava obsahuje regulátor širokopásmových náhodných, ale upravený tak, aby umožňoval přidat úzkopásmové a sinusové prvky.

B.4.4.3 Úzkopásmové prvky ať už pevné nebo rozmítané jsou obecně zahrnuty v náhodném řídicím procesu pomocí úpravy požadovaného spektra. V takových případech řídicí okruh zůstává z velké části beze změny. Přidávání sinusových prvků je problematictější a obvykle se přidávají mimo náhodný řídicí proces v podstatě s využitím souběžného řídicího postupu. Ale některé druhy regulátorů využívají k dosažení tohoto typu řízení konvoluční proces.

**Příloha B**  
(informativní)

B.4.4.4 Konkrétní problémové oblasti jsou určeny níže, ačkoliv se také může projevit řada problémů spojených s řízením náhodných vibrací.

- a. Šířku pásma úzkopásmových prvků je nutné vybrat tak, aby zahrnovala dostatečné spektrální čáry, aby regulátor dokázal přiměřeně definovat úzké pásmo. To vychází z praktických omezení analýzy rychlou Fourierovou transformací, která stanovuje hranici poměru změn spektrální amplitudy, která se má dosáhnout.
- b. Doba okruhu náhodného regulátoru bude limitovat rychlost rozmítání úzkopásmových. Z toho důvodu se obvykle nemůže dosáhnout vysokých rychlostí rozmítání. Navíc rychlé rozmítání má za následek vysoké zkreslení úzkopásmových amplitud. To je důvodem, proč je potřebné, aby toleranční meze úzkopásmových prvků byly větší než meze stanovené pro širokopásmové náhodné.
- c. Moderní regulátory umožňují, aby každý úzkopásmový prvek měl vlastní amplitudový frekvenční profil. To může způsobit, že verifikace splnění specifikace zkoušky bude obtížná. Může být nezbytné použít oddělený analyzátor schopný zpracovávat úplné trvání zkoušky jako součást verifikačního procesu. Běžné regulátory jsou schopné pro tyto účely vzorkovat jen krátkou dobu trvání zkoušky.
- d. Sinusový prvek, ať už rozmítané nebo pevné frekvence, se kombinuje s širokopásmovou náhodnou jako součet nebo maximum ze dvou signálů pro konkrétní spektrální čáru. Která z těchto dvou kombinačních metod se použije pro stanovení úrovně zkoušení se doporučuje založit na tom, jak byla původní zkušební spektra analyzována. To má přímý vliv na limit, který lze aplikovat na sinusový prvek, protože náhodný proces má větší odchylky než sinusový prvek. Operátorovi řídicího systému se doporučuje, aby se snažil obezřetně zcela porozumět způsobu, jakým dodavatelé různých systémů řízení definují úzkopásmová a rozmítaná pásma, aby se zajistilo splnění požadavků na zkoušku.

## **B.5 VERIFIKACE**

### **B.5.1 Principy verifikace**

B.5.1.1 Verifikační proces je nezbytná součást řídicího procesu pro vibrace a rázy. Provádí se k tomu, aby se potvrdilo, že byly dosaženy požadované úrovně zkoušení v rámci stanovených zkušebních tolerančních pásem. Doporučuje se výsledek verifikačního procesu zahrnout do protokolu ze zkoušky. Verifikace se musí u vibrací provádět přes celý zkušební frekvenční rozsah a u rázů přes požadovaný rozsah frekvenčních odezev. Tam, kde jsou do náročnosti zkoušky zahrnuty rozmítané vibrační prvky, musí verifikace obsahovat úplné rozmítání. U vibračních zkoušek zahrnujících rozmítané prvky a u rázových zkoušek může být nutné použít oddělený analyzátor signálů k tomu, který se použil k řízení zkoušky.

B.5.1.2 Formát použití pro prezentaci výsledků verifikačního procesu musí být stejný jako formát použitý v konkrétní zkoušce, pokud není stanoveno jinak. To

**Příloha B**  
(informativní)

znamená, pokud je náročnost zkoušky definovaná na základě náhodných vibrací, potom musí být verifikace také ve formátu VSH. Na druhé straně pokud jsou definovány sinusové prvky, musí se verifikovat jako sinusové amplitudy.

B.5.1.3 Různé stránky verifikačního procesu se provádí před zkouškou, během zkoušky a po zkoušce. Verifikace v průběhu zkoušky má tu výhodu, že umožňuje vykonávat automatickou kontrolu, která pravděpodobně odhalí jakékoliv změny v chování nebo poruchy zkušebního zařízení nebo vzorku a pro možnost prozkoumání nějakým bezpečným způsobem zastaví zkoušku. Varianty provádění automatické online kontroly zahrnují:

- a. Hardwarové řídicí meze - Většina regulátorů umožňuje nastavit mezní vypnutí. Limity se dají nastavit na posun, zatížení a chybu v řídicím okruhu pro každý budič a na hlavní parametry, jako jsou proud, napětí a tlak oleje, úroveň a teplota.
- b. Meze odezvového signálu - Maximální mezní vypnutí lze nastavit na signály obdržené ze vzorku, po překročení mezního signálu dojde k vypnutí podobným způsobem, jako u hardwarových řídicích mezí. Poskytuje to ochranu vzorku před poškozením.
- c. Sledování tendencí odezvového signálu - Některé regulátory umožňují monitorování a kontrolu tendence vývoje odezvového signálu tím, že sledují hodnoty střední a standardní odchylky tohoto signálu. Je to určeno ke kontrole znehodnocení vzorku.
- d. Simulační kontrola - V některých případech se mohou porovnat měřené odezvové signály s naměřenými údaji. Pokud jsou k dispozici provozní data z místa upevnění snímače a jde o data, která se nepoužila jako součást opakovacího řídicího okruhu, doporučuje se odezvy tohoto snímače monitorovat, aby se zajistilo, že nebudou podstatně vyšší než naměřené úrovně.
- e. Sledování vzorku - Doporučuje se zkoušku čas od času zastavit ke kontrole potenciálního poškození. To by mělo zahrnovat i zkontrolování připevnění nebo teploty izolátorů.
- f. Měkké limity zesilovače - Většina výkonových zesilovačů dovoluje nastavit napěťové nebo proudové meze k zabránění poškození kompletního systému.

B.5.2 Verifikace před zkouškou

B.5.2.1 Verifikace před zkouškou se principiálně provádí k ověření, že parametry nastavení zkoušky jsou správné a že zpětnovazební signál, podle nějž bude zkouška řízena, je kvalitní a kvantitativně správný. Verifikace před zkouškou zahrnuje:

- a. Zajištění toho, aby parametry zpracování signálu byly správně nastaveny a splňovaly charakteristiky zkušebního signálu.

**Příloha B**  
(informativní)

- b. Zajištění toho, aby statistické parametry nastavené k dosažení požadované specifikace zkoušky byly odpovídající k dosažení požadované stability zkoušky a přesnosti.
- c. Kontrolu signálů, která má zajistit, že odezvový signál existuje, je správně kalibrován a zbavený šumového znečištění. Také je třeba ověřit, zda vstupní a výstupní signály jsou rozumně fázově spojené.
- d. Doporučují se kontroly, zajišťující, že vzorek se chová podle předpokladů. To znamená - připevnění je správně udržováno, snímače jsou připevněné, pohyby vodičů regulátoru nejsou nadměrné atd.
- e. Ověření, že požadovaná kritéria zkreslení byla splněna a (je-li to vhodné) že se může dosáhnout korektní Gaussovo rozdělení. Zvláště u náhodných vibrací také ověření mimotolerančních jevů frekvenčních odezev.
- f. Vyrovnání před zkouškou, které potvrdí, že byla vygenerována konzistentní funkce frekvenčních odezev. To má zajistit, že se neobjeví žádné vysoké „Q“ odezvy zařízení, které by mohly ohrozit přesnost zkoušení, že se dosáhlo požadovaného stupně přesnosti, že neexistují žádné závažné nelineární odezvy atd.
- g. Zajištění toho, aby veškerá data pro nastavení byla přesně vložena do počítače.

### B.5.3 Verifikace během zkoušky

B.5.3.1 Verifikace během zkoušky se principiálně provádí k ověření toho, že specifikace zkoušky se plní a k zajištění toho, aby vzorek nebyl nadměrně zkoušen nebo nedostatečně zkoušen. Verifikace během zkoušky zahrnuje:

- a. Během vyrovnávání kontroly, zda byl požadovaný tvar spektra přesně vytvořen v porovnání se specifikací zkoušky. V této etapě se od analytika očekává, že zabrání jakémukoli pravděpodobně vážnému nadměrnému zkoušení a že vzorek se bude patřičně dynamicky chovat.
- b. Ověření, že vypočítaný řídicí signál je v rozmezí schopností vibračního generátoru, tj. zrychlení, rychlost a posun. Problémy se mohou objevit tam, kde byly stanoveny přílišné úrovně zrychlené zkoušky buď cestou zkrácení doby zkoušení nebo zahrnutím nadměrných zkušebních faktorů.
- c. Srovnávání mezi zpětnovazebním signálem a specifikací zkoušky ve frekvenční a časové oblasti. Ve frekvenční oblasti to má obsahovat kontroly kvality signálu, rms, VSH a zda jsou v mezích tolerancí, limity pro výstrahu a zastavení zkoušky atd. V časové oblasti to má zahrnovat kvalitu signálu, porovnání tvaru průběhu, úrovně, počtu zlomů, úrovně rozpadu atd.
- d. Ověření, že řídicí signál je v rámci rozsahu citlivosti a že v řídicím spektru neexistují žádné body s nulovými daty.

**Příloha B**  
(informativní)

- e. Doporučují se kontroly chybových signálů, aby se zajistilo, že jsou minimalizovány. V případě rázů je chybový signál založen na prostých měřeních a z toho důvodu se provádí přímé měření chyb. Kontroly by měly zajistit jejich minimalizaci. V případě, že se jak u vibrací, tak u rázů nepodaří minimalizovat chyby na přijatelnou úroveň, doporučuje se zvažovat následující:
- Redukce doby okruhu.
  - Kontrola vadných snímačů.
  - Kontrola výkonu zkušebního zařízení včetně jakýchkoli rezonancí zařízení.
  - Kontrola uspořádání zkušebního zařízení.
  - Kontrola nastavení snímačů.
  - Porovnání požadovaného a dosaženého spektra a rozhodnutí, zda se jisté problematické frekvenční pásma nedají odstranit.
- f. V celé etapě kontrol během zkoušení se doporučuje prokazovat, že řízení zůstane stabilní a konzistentní. Změny v řízení v průběhu zkoušky mohou vzniknout v důsledku poškození vzorku, nelineárního chování a jevů, které způsobí, že řízení ztratí stabilitu. Posledně zmíněné může také narůst, jestliže se pro klouzavý a vážený průměr použily nevhodné úpravy.
- g. Verifikace se běžně může uplatnit na začátku, v průběhu a na konci zkoušky.

**B.5.4** Verifikace po zkoušce

**B.5.4.1** Většina verifikací, prováděných po zkoušce, využívá odvozené analytické funkce k tomu, aby se ověřilo, že zkouška byla realizována podle stanovených požadavků. Ale v některých případech, zvláště pro časový průběh složeného rázu, může být také potřebné použít pragmatické subjektivní porovnávání.

- a. U vibrací typické odvození analytické funkce zahrnují VSH (spektrální, tvar a úroveň), rms, úzkopásmové amplitudy přes plné rozmítání, spektrum únavového poškození, metodu načítání „Rainflow“ atd.
- b. U rázů to zahrnuje funkce časové oblasti (tvar, úroveň, zlomy), spektrum rázových odezev, časové momenty, spektrum únavového poškození, metodu načítání „Rainflow“ atd. Subjektivní porovnávání může obsahovat překrytí příslušného časového průběhu a přechod na odborné posouzení podobností založených na celkovém tvaru, zlomech, špičkových úrovních a útlumových vlastnostech.
- c. Další kontroly zahrnují ve skutečnosti obdržené odezvy mimo frekvenční rozsah, kontroly Gaussova rozdělení, kontroly zkreslení atd.



**Příloha B**  
(informativní)

- d. Kontroly se doporučuje provádět tak, aby zajistily, že upevnění vzorku bylo v průběhu zkoušky správně udržováno, aby snímače zůstaly připevněné a aby vzorek zůstal nepoškozený.

ČOS 999936  
1. vydání  
Změna 2

(VOLNÁ STRANA)

(VOLNÁ STRANA)

Účinnost českého obranného standardu od: **8. ledna 2016**

Změny:

Změna číslo	Účinnost od	Změnu zapracoval	Datum zapracování	Poznámka
1	11. 3. 2019	odbor obranné standardizace	14. 3. 2019	
2	25. 5. 2022	odbor obranné standardizace	16. 6. 2022	

**U p o z o r n ě n í :** 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 190 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

---