



## ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

<b>139807</b> 1. vydání	<b>APLIKACE ANALÝZY RIZIK PŘI SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVĚ VOJENSKÉ MUNICE</b>
----------------------------	---

ZAVÁDÍ	STANAG 4442, Ed. 1 APPLICATION OF RISK ANALYSIS TO THE STORAGE AND TRANSPORT OF MILITARY AMMUNITION AND EXPLOSIVES – AASTP-4 Aplikace analýzy rizik (ohrožení) při skladování a přepravě munice a výbušnin – AASTP-4, Ed. 1 MANUALS ON EXPLOSIVES SAFETY RISK ANALYSIS Příručka analýzy rizik vztahujících se k bezpečnosti výbušnin
NAHRAZUJE	Nenahrazuje žádný ČOS

(VOLNÁ STRANA)

**ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD**  
**APLIKACE ANALÝZY RIZIK PŘI SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVĚ**  
**VOJENSKÉ MUNICE**

**Základem pro tvorbu tohoto standardu byly originály následujících dokumentů:**

STANAG 4442, Ed. 1	APPLICATION OF RISK ANALYSIS TO THE STORAGE AND TRANSPORT OF MILITARY AMMUNITION AND EXPLOSIVES – AASTP-4 Aplikace analýzy rizik (ohrožení) při skladování a přepravě vojenské munice a výbušnin – AASTP-4
AASTP-4, Ed. 1	MANUAL ON EXPLOSIVES SAFETY RISK ANALYSIS Příručka analýzy rizik vztahujících se k bezpečnosti výbušnin

© Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti

Praha 2019

## OBSAH

	Strana
1 Předmět standardu.....	5
2 Nahrazení standardů (norem) .....	5
3 Související dokumenty .....	5
4 Zpracovatel ČOS.....	5
5 Použité zkratky, značky a definice.....	5
5.1 Zkratky a značky.....	5
5.2 Definice.....	6
6 Všeobecná ustanovení.....	7
7 Rozhodování na základě hodnocení rizik.....	8
7.1 Vytvoření koncepcí založených na hodnocení rizik .....	9
7.2 Použití prostředků pro rozhodování na základě hodnocení rizik.....	16
7.3 Používané metody hodnocení rizik .....	19
8. Analýza rizik vztahujících se k bezpečnosti výbušnin.....	41
8.1 Stanovení četnosti nežádoucích událostí .....	41
8.3 Modelování následků výbuchů.....	118
8.4 Vystavení účinkům výbuchu (ohrožení výbuchem).....	183
8.5 Hodnocení rizika .....	186
 Přílohy	
Příloha A Probit funkce.....	192

## 1 Předmět standardu

ČOS 139807, 1. vydání, zavádí STANAG 4442, Ed. 1 do prostředí ČR. Standard stanovuje zásady pro aplikaci analýzy rizik při skladování a přepravě vojenské munice (dále jen munice) a výbušnin.

## 2 Nahrazení standardů (norem)

Tento standard nenahrazuje žádnou normu nebo standard.

## 3 Související dokumenty

- AAP-6 – NATO GLOSSARY OF TERMS AND DEFINITIONS (ENGLISH AND FRENCH)  
Slovník termínů a definic NATO (anglicky a francouzsky)
- AASTP-1 – MANUAL OF NATO SAFETY PRINCIPLES FOR THE STORAGE OF MILITARY AMMUNITION AND EXPLOSIVES  
Příručka bezpečnostních zásad NATO pro skladování vojenské munice a výbušnin
- AOP-38 – SPECIALIST GLOSSARY OF TERMS AND DEFINITIONS ON AMMUNITION SAFETY  
Specializovaný slovník termínů a definic pro oblast bezpečnosti munice

## 4 Zpracovatel ČOS

VOP-026 Šternberk, s. p., divize VTÚVM Slavičín, Ing. Lumír Kučera

## 5 Použité zkratky, značky a definice

### 5.1 Zkratky a značky

Zkratka	Název v originálu	Český název
AAP	Allied Administrative Publication	Spojenecká administrativní publikace
AASTP	Allied Storage and Transportation of Ammunition and Explosives Publication	Spojenecká publikace pro skladování a přepravu munice a výbušnin (zabývající se skladováním a přepravou munice)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	V nejnižší rozumně dosažitelné míře, nejnižší rozumně dosažitelná úroveň
AOP	Allied Ordnance Publication	Spojenecká publikace o munici (výzbrojní publikace)
EMI	Ernst-Mach-Institut	Institut Ernsta Macha (SRN)
ES	Exposed Site	Místo vystavené účinkům výbuchu, místo ohrožené výbuchem
HD	Hazard Division	Třída nebezpečnosti

<b>Zkratka</b>	<b>Název v originálu</b>	<b>Český název</b>
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ISO	International Standardization Organization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
KE	Kinetic Energy	Kinetická energie
NEQ	Net Explosive Quantity	Čistá hmotnost výbušiny
NEW	Net Explosive Weight	Čistá hmotnost výbušiny
NEWQD	Net Explosive Weight for Quantity-Distance	Čistá hmotnost výbušiny pro stanovení bezpečnostních vzdáleností
PES	Potential Explosion Site	Místo potenciálního výbuchu
Q-D	Quantity – Distance	Bezpečnostní vzdálenost
QD	Scaled Quantity - Distance	Korigovaná vzdálenost ( $m/kg^{1/3}$ )
QRA	Quantitative Risk Assessment	Kvantitativní hodnocení rizik
RMR	Rock Mass Rating	Hodnocení horninového masivu
RQD	Rock Quality Designation	Index kvality horniny
STANAG	NATO Standardization Agreement	Standardizační dohoda NATO
TNT	Trinitrotoluene	Trinitrotoluen, tritol

Použité značky (a některé zkratky) jsou vesměs vysvětleny v samotném místě jejich použití, protože i ve výchozí publikaci AASTP-4, Ed. 1 není jejich užití jednotné. Důvodem je, že jednotlivé části kapitol byly téměř doslovně převzaty z příslušných zemí, které příspěvek zpracovaly, a to včetně příslušné terminologie, zkratk a značek. Takže se ve standardu může vyskytnout i více druhů značek pro jednu veličinu, nebo naopak jedna značka může označovat více veličin.

## 5.2 Definice

Níže uvedené termíny a jejich definice vesměs převzaté z výchozí publikace AASTP-4 jsou specifické pro tento standard a jsou zařazeny k usnadnění jeho použití. Další lze nalézt v AAP-6, AOP-38 a ostatních souvisejících dokumentech.

Riziko (ohrožení)	Kombinace pravděpodobnosti a následků (matematicky vyjádřeno: riziko = pravděpodobnost × následky). Pokud nejsou numerická stanovení rizika spojena s jednotkami, nemají praktický význam. Riziko pro osobu nebo skupinu osob, jsou-li vystaveny nebezpečí, může být stanoveno z pravděpodobnosti nebezpečné události a pravděpodobnosti, že by následkem byla konkrétní úroveň poškození zdravých osob.
Hodnocení rizik	Proces stanovení velikosti rizik.
Analýza rizik	Proces vyhodnocení informací z hodnocení rizik pro využití v rozhodovacím procesu.

Řízení rizik	Termín zahrnující kompletní rozhodovací proces založený na hodnocení rizik.
Účinky (fyzikální)	Bezprostřední fyzikální důsledky výbuchů vyjádřené fyzikálně měřitelnými parametry jako maximálním působícím tlakem, množstvím fragmentů (střepin a trosek) s potenciálně smrtícími účinky na čtvereční metr, tepelným zářením dopadající na čtvereční metr za sekundu nebo otřesy země.
Následky	Nežádoucí důsledky, které mají svůj původ přímo v události nebo pramení z fyzikálních účinků události a jsou vyjádřeny pravděpodobností stanovené úrovně poškození, např. smrti, nebo nutností předčasně ukončit bojový úkol.
Četnost	Pravděpodobnost, že událost nastane ve stanoveném čase, často vyjádřená formou matematického zápisu (např. $1 \times 10^{-6}$ za rok).
Pravděpodobnost	Pravděpodobnost, že dojde k výskytu události. Termín je podobný termínu četnost, bývá však používán v obecnějším kontextu, který nemusí zahrnovat jednotky (tj. pravděpodobnost 1 ze 100).
Probit funkce	Pravděpodobnostní funkce odvozená z experimentálních údajů a uvádějící do vzájemného vztahu pravděpodobnost jevu a jednu proměnnou, která spojuje příslušné přispěvatele (AOP-38). Výsledná hodnota funkce bývá označována jako „probit“ (z anglického výrazu „probability unit“).
Vystavení účinkům výbuchu (ohrožení výbuchem)	Délka doby, po kterou jsou osoby, budovy nebo jiný majetek zranitelné fyzikálními účinky nečekaných reakcí výbušnin. Vystavení účinkům může být vyjádřeno jako část delšího časového období. Např. jeden měsíc za rok představuje 8,3 % ročního vystavení účinkům.
Nežádoucí událost	Výbušná reakce nebo požár vedoucí k nežádoucím účinkům a následkům.
Agregace	Matematický postup spojování všech jednotlivých prvků v rovnici rizika za účelem stanovení celkových rizik.

## 6 Všeobecná ustanovení

Povaha výbušnin s jejich schopností nečekaně a prudce reagovat na fyzikální či chemický podnět vede k nutnosti vypracovat pravidla pro bezpečné zacházení a minimalizaci souvisejících rizik.

Jestliže se bere v úvahu pravděpodobnost havarijního chování výbušnin a jeho následky (koncepte založená na hodnocení rizik), rozhodnutí přijímaná státními nebo služebními orgány mohou vycházet z mnohem komplexnějších znalostí problematiky.

Základem tohoto ČOS jsou kapitoly 7 a 8. Kapitola 7 je souhrnným přehledem určeným především zpracovatelům koncepcí a směrnic, profesionálům v oblasti bezpečnosti a analytikům. Má napomáhat stálému rozvoji postupů založených na hodnocení rizik a jejich využití. Zároveň uvádí příklady postupů pro hodnocení rizik aktuálně

používaných v některých zemích. Kapitola 8 je určena zejména rizikovým analytikům a obsahuje vybrané algoritmy pro koordinaci hodnocení rizik.

Při určení hodnoty rizika jako parametru hodnocení poskytuje pak kvantitativní hodnocení rizik oproti subjektivnějším metodám výhodu spočívající ve využití ucelenějšího souboru dostupných informací. Tato kvantifikace zajišťuje konzistenci a opakovatelnost jednotlivých rozhodnutí. Hlavní omezení u těchto metod spočívá ve vlastní nejistotě kalkulovaných parametrů. Přesnost má být diskutována prostřednictvím logaritmického prostoru. Na druhé straně může spolehlivost (věrnost), užitečná při výběru z možností, dosahovat dobrých hodnot tam, kde lze relativní volby porovnat v lineárním prostoru.

## 7 Rozhodování na základě hodnocení rizik

Rozhodování na základě hodnocení rizik jsou běžně prováděna jako součást našeho každodenního života. Obsahem některých rozhodnutí je řešení otázky, zda přijmout, či nepřijmout riziko. Další vyžadují volbu mezi možnostmi; všechna přitom znamenají přijetí různých rizik, přičemž mohou vyvolat různé náklady. Státní (služební) orgány mohou činit i taková rozhodnutí a potřebují znát způsoby, jak zajistit, aby jejich koncepce byly logické a konzistentní.

Při stanovení (výpočtu) rizik je běžnou praxí brát v úvahu následující parametry:

- četnost,
- fyzikální účinky,
- následky,
- vystavení účinkům (ohrožení).

Pomocí těchto parametrů mohou být počítány různé druhy rizik jako:

- individuální,
- skupinová nebo kolektivní,
- vnímaná.

Jednotlivé země mohou stanovovat rizika pro různé skupiny osob nebo pro jejich kombinaci, jako jsou:

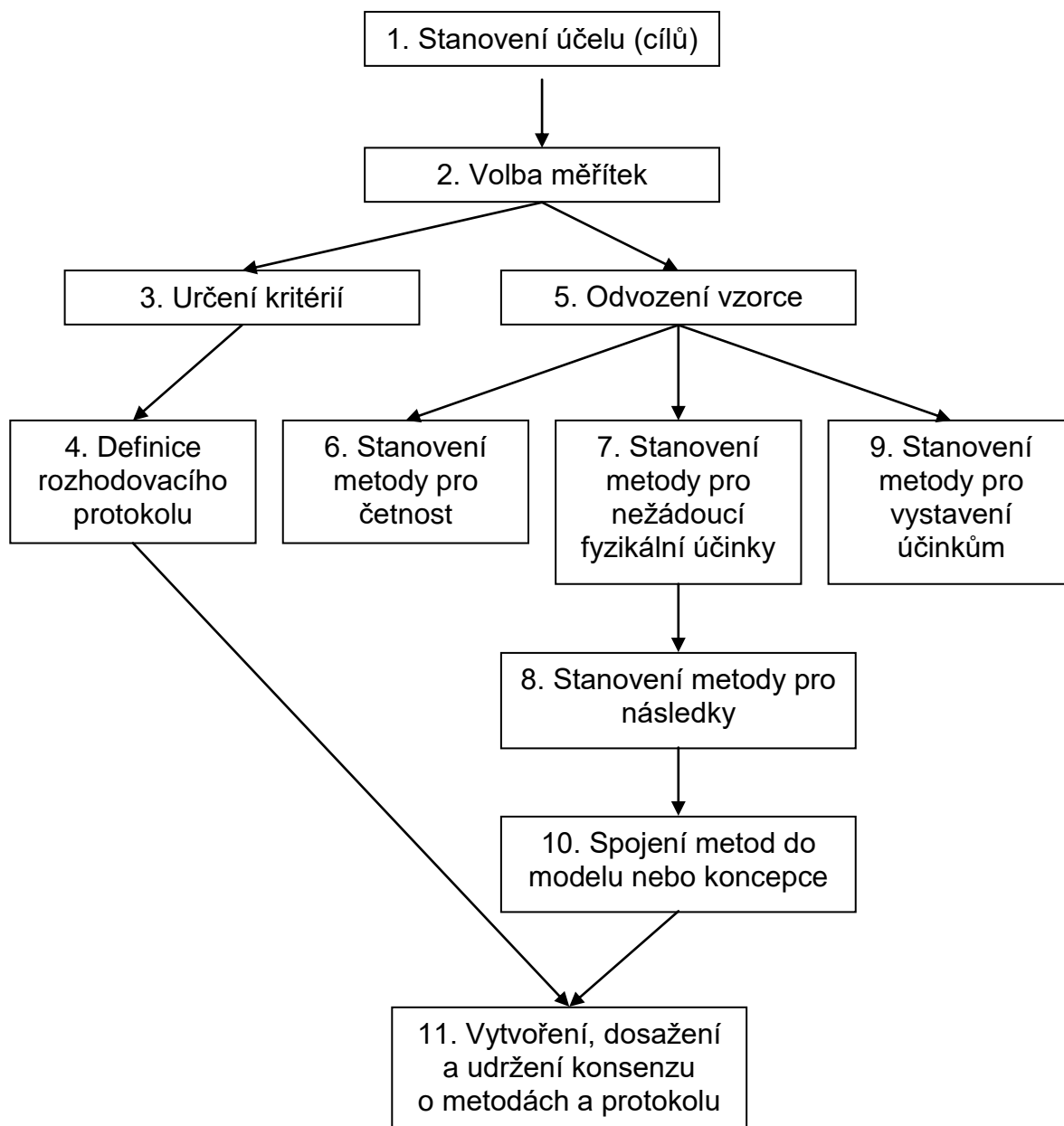
- zaměstnanci (přímo zúčastněné osoby),
- zaměstnanci (nepřímo zúčastněné osoby),
- obyvatelstvo (nezúčastněné cizí osoby),
- příslušníci ozbrojených sil (vojáci).

Stanovení rizik závisí na účelu a kritériích přijatelnosti. V praxi osvědčené postupy vyžadují hodnocení jak individuálních, tak kolektivních rizik. Při hodnocení rizik je důležité mít zaprvé určitou konzistenci v použité koncepci a zadruhé konzistenci v aplikaci této koncepce. Proto je tato kapitola rozdělena do dvou hlavních částí nazvaných Vytvoření koncepcí založených na hodnocení rizik (popisuje systematický proces tvorby rozhodovacích prostředků vycházejících z hodnocení rizik) a Použití rozhodovacích prostředků založených na hodnocení rizik (popisuje způsob použití zpracovaných rozhodovacích prostředků).



## 7.1 Vytvoření koncepcí založených na hodnocení rizik

Pro vypracování koncepcí založených na hodnocení rizik je doporučován proces skládající se z jedenácti kroků, který je znázorněn na obrázku 1. Jednotlivé kroky jsou rozvedeny v článcích 7.1.1 až 7.1.11.



**OBRÁZEK 1 – Tvorba koncepce rozhodování založené na hodnocení rizik**

Výsledkem výše popsaného uspořádaného procesu bude rozhodovací postup založený na hodnocení rizik. Kromě toho se využije při rozpracování těchto hodnocení následující soubor obecných pravidel:

- model má výslovně korelovat s předpokládaným užitím;
- má být definován a konzistentně používán stručný soubor výkladu důležitých termínů. Terminologie spojená s hodnocením rizik bývá často zdrojem špatné komunikace;
- o riziku se nejlépe vyměňují informace, použije-li se logaritmické měřítko;

- d) zvolené metody mají být snadno vysvětlitelné. Vzhledem ke skepsi vztahující se k oblasti hodnocení rizik má smysl zpracovat vysvětlení, která jsou lehce pochopitelná. To ale neznamená, že se mají zvolit metody, které jsou v důsledku své jednoduchosti nepřesné. Pokud metoda není řádně vysvětlena, pak nemůže být přijata jako konsenzus a neexistuje-li takový konsenzus, potom nemůže metoda obstát jako důkaz;
- e) obecně mají modely kvantitativního hodnocení rizik použité v rozhodovacím procesu stanovit „předpokládanou hodnotu“. Pokud jsou požadovány informace o „nejnepříznivějším případě“, pak to má být jasně uvedeno předem;
- f) modely mají udržet v rovnováze přesnost, jednoduchost a spolehlivost (věrnost). Přesnost zajišťuje důvěryhodnost, jednoduchost umožňuje pochopení a spolehlivost (věrnost) je potřebná při přímém srovnávání;
- g) nejistota existuje a lze ji modelovat. Kvůli nejistotě nemá hodnotu nominálního odhadu ovlivňovat konzervatismus, ten by měl být spíše brán v úvahu při stanovení hodnoty nejistého odhadu;
- h) při modelování nejistoty má být dodržováno náležité zacházení s kumulovanou nejistotou a použit správný agregační protokol;
- i) i nadále dochází k událostem se zanedbatelnou pravděpodobností. Pokud takové ojedinělé události mají závažné následky, vyžaduje se pro ně zpracování havarijních plánů.

### 7.1.1 Stanovení účelu (cílů)

Prvním krokem metody založené na hodnocení rizik je jasné a stručné stanovení jejího předpokládaného užití. Metody tohoto typu slouží jako podklad pro rozhodovací proces. Proto má být jasné definování druhu rozhodnutí, které bude učiněno s použitím informací o rizicích, prvním krokem celého procesu.

Účel může být metodologicky určen jako „zajištění přiměřeného stupně bezpečnosti osob“, „zabezpečení vojenských schopností“ nebo „zachování podpory veřejnosti“.

Je důležité zaměřit pozornost na účel metody a způsob jejího použití. Všechny následující kroky mají přímý vztah ke stanovenému účelu.

### 7.1.2 Volba měřítek

Pro hodnocení rizik se běžně používá mnoho měřítek. Měřítka má přímo odrážet stanovený účel. Pro ochranu osob mohou být potenciálními měřítka např. úmrtnost, zranění (celkově) nebo lehká zranění. Volba měřítka je složitým a subjektivním procesem zahrnujícím společenská hlediska, a proto se v různých zemích zpravidla liší. Ve většině států je shodným cílem ochrana lidského života a zdraví. Využitelným měřítkem pro přímé srovnání mezi jednotlivými národními modely tak může být pravděpodobnost usmrcení. Volba alternativních měřítek obvykle jen málo změní výsledné rozhodnutí založené na hodnocení rizik. Pokud se např. pro hodnocení určité nežádoucí události použijí jako měřítka úmrtnost a počet zraněných, využití každého z nich samostatně by v mnoha případech vedlo ke stejným rozhodnutím jako při jejich současném použití. Důvodem je, že tyto dva následky bývají od události k události s vysokým stupněm korelované. Volba vícenásobných měřítek může tedy přidat jen málo ve smyslu vyšší kvality rozhodnutí, ale zato může zvýšit analytickou zátěž při samostatném výpočtu rizik. V průběhu procesu volby měřítek mohou být pro stanovení, které měřítka nejlépe dosáhne cílů konkrétního použití, provedeny srovnávací studie. Kromě toho mohou osoby v riziku spadat do skupin nebo kategorií vyžadujících samostatná hodnocení, protože se na ně vztahují rozdílné požadavky na ochranu.

Např. přímo zúčastnění zaměstnanci budou vystaveni větším rizikům než nezúčastněné osoby.

### 7.1.3 Určení kritérií

Kritéria jsou přímým rozšířením volby měřítek a stanoví meze nebo pásma přijatelnosti rizik. Přijetí kritérií daného rizika je záležitostí konkrétní země. V obecném případě by pro každé dané měřítko rizika mohla existovat na stupnici rizika dvě nebo tři taková pásma:

Nepřijatelné. Riziko nad určitou úrovní vedoucí k závěru, že stav je nepřijatelný.

Tolerovatelné s podmínkou. V některých případech je riziko, které lze za určitých okolností tolerovat, za jiných podmínek už nepřijatelné. Toto pásmo vede k potřebě řídit a snižovat rizika nebo změnit okolnosti, aby se rizika stala přijatelnými. Často je jako jedna z podmínek použit princip ALARP.

Přijatelné. Pro každý druh rizika existuje určitá úroveň, pod kterou je toto riziko přijatelné. Tato mez se široce mění od následku k následku a od situace k situaci.

Tato pásma vyznačují rámec pro volbu konkrétních mezí. V některých případech jsou používána pouze pásma „přijatelné“ a „nepřijatelné“.

Pro stanovení přijatelnosti se používá numerických metod, které zpravidla obsahují:

- a) porovnání s podobnými rizikovými standardy;
- b) porovnání s aktuálními každodenními riziky;
- c) porovnání s předpisy a vydanými standardy;
- d) řešení kompromisu mezi cenou a rizikem (ochota platit);
- e) řešení kompromisu mezi přínosem a rizikem (vzájemný vztah mezi rizikem a užitečností určité aktivity).

Kombinace různých metod může poskytnout pevný a srozumitelný základ pro volbu kritérií.

### 7.1.4 Rozhodovací protokol

Rozhodovací protokol definuje postup použitý pro dosažení rozhodnutí po ukončení analýzy. Rozhodnutí státních (služebních) orgánů jsou činěna v kontextu zavedených úředních procesů a jsou k nim zapotřebí důkladné analýzy. Pro rozhodnutí založená na hodnocení rizik je zvláště důležité mít k dispozici jasně doložený kontrolní záznam průběhu zpracování sloužící ke standardizaci rozhodovacího procesu. Jakmile by událost vedla k nežádoucím následkům, byl by tento protokol důkladně prověřen.

Takový protokol slouží rovněž k ochraně právního principu tzv. informovaného rozhodnutí. Ten stanoví, že orgán, který rozhoduje, nenese odpovědnost za správnost rozhodnutí v rozsahu své pravomoci, jestliže bylo rozhodnutí učiněno s „náležitou péčí“ a obsahuje posouzení rizik vycházející z nejlepších informací dostupných v okamžiku rozhodování.

Použitý protokol má vzít v úvahu:

1. Úroveň pravomoci. Z hlediska pravomoci jsou zde navrhovaná rozhodnutí ekvivalentní rozhodnutím o bezpečnostních vzdálenostech (Q-D). Může vzniknout potřeba mít k dispozici protokol, který v závislosti na scénáři nebo výsledcích vyžaduje rozhodnutí orgánu s vyšší pravomocí nebo hlubší analýzu. Kromě toho mají mít na úroveň pravomoci rozhodovacího orgánu vliv následující faktory:

- a) druh činnosti – činnost vedoucí ke vzniku rizika pro větší skupinu osob může vyžadovat jinou úroveň pravomoci než riziková aktivita jednotlivce (např. seskok padákem);
  - b) úroveň rizika – zda je přijatelné, tolerovatelné nebo nepřijatelné;
  - c) kategorie ohrožených osob – obyvatelstvo, zaměstnanci, příslušníci ozbrojených sil apod.
2. Předloženou dokumentaci. Analýzy sloužící jako podklad pro rozhodnutí mají být řádně zdokumentovány a uchovány pro podporu principu informovaného rozhodnutí v případě, že nastane určitý jev nebo událost.
  3. Konzistenci. Protokol má mít schopnost použití konzistentně případ od případu.
  4. Právní posouzení. Před prvním použitím protokolu může být nezbytné právní posouzení, aby se potvrdilo, že je protokolem vyžadována správná rozhodovací úroveň a postup je řádně schválen.
  5. Srozumitelnou komunikaci. Pokud je riziko větší, než by bylo normálně přijatelné, bude zájmem uvést hodnoty rizika pro množství alternativních scénářů. Je důležité, aby problematika rizik byla popsána srozumitelně, aby ji mohl rozhodovací orgán pochopit a dát do správného kontextu. Pro porozumění relativnímu riziku jsou potřebné srovnávací údaje uvedené v příslušných jednotkách. Pokud je to vhodné, může být rozhodovací orgán předem informován o postupu. Někdy může být potřebné vytvořit cvičné programy.

Protokoly existující v některých zemích jsou popsány v článku 7.3.10.

### 7.1.5 Vzorec rizika

Aby bylo možno různá rizika vyhodnotit a porovnat, musí být kvantifikována. Riziko může být rozděleno do dvou odlišných složek:

$$\text{Riziko} = \text{pravděpodobnost} \times \text{následky.}$$

Tato koncepce byla použita v mnoha variantách a může být vysledována až k Blaise Pascalovi. Je-li vyjádřena v matematickém tvaru, může sloužit jako základ či výchozí bod pro odvození konkrétní rovnice rizika pro danou situaci. V další části textu je uveden příklad cesty ke stanovení vzorce rizika.

Jakmile je zvoleno měřítko rizika (pro levou stranu rovnice), výrazy na pravé straně mohou být na základě matematického protokolu rozvinuty, a to při zachování rovnosti. Jako příklad lze uvést situaci, kdy měřítkem rizika by měla být pravděpodobnost, že osoba bude usmrcena během jednoho roku ohrožení rizikem (roční individuální riziko usmrcení  $IR$ ).

Pravděpodobnost bude rozvinuta do pravděpodobnosti nebezpečné události  $P_e$  (počet událostí za rok) a následky mohou být definovány jako pravděpodobnost, že nepřetržitě ohrožená osoba bude při vzniku události usmrcena  $P_{fje}$ . Tedy

$$IR = P_e \times P_{fje}. \quad (1).$$

Kromě toho může být osobám způsobena újma pouze tehdy, jsou-li v průběhu nebezpečného děje přítomné. Proto tedy je riziko (za rok) sníženo v poměru k části roku, během které jsou vystaveny nebezpečnému ději (situaci), což se vyjadřuje jako bezrozměrná veličina. Je-li pravděpodobnost, že osoba je přítomná nebo ohrožená, označena jako  $E_p$ , pak

$$IR = P_e \times P_{fje} \times E_p. \quad (2).$$

Pro splnění různých požadavků mohou být z výše uvedeného vztahu vytvořeny další rovnice. Podrobněji je problematika vyjádření rizika rozvedena v kapitole 8 tohoto standardu.

#### **7.1.6 Četnost události**

Pro určení četnosti nežádoucích událostí jsou používány dvě koncepce, historická a analytická. Historická vychází z předchozích zkušeností s obdobnými situacemi. Pokud se např. požaduje předpovědět počet neplánovaných výbuchů v nadcházejícím roce, dobrým zdrojem informací by byla statistika za letošní, případně za loňský rok. V této obecné kategorii mohou být obsaženy i údaje z nehod (havárií), odvrácených nehod a zkoušek. Takový druh informací, pokud jsou k dispozici, může poskytnout dobrý základ pro předpovídání pravděpodobnosti předmětné události.

Analytická metoda je vyjádřením úsilí definovat a kvantifikovat všechny potenciální scénáře, při kterých může dojít k výskytu události. V závislosti na složitosti a počtu scénářů vedoucích ke vzniku události bývají využívány metody logického stromu nebo stromu poruchových stavů.

Určení četnosti bývá nejsložitější částí při zdůvodnění hodnocení rizik. Proto má být při zpracování této části analýzy využito v co největší míře vědeckých metod, tzn. definovat své znalosti (historie), následně doplnit o to, co si myslíme, že víme (prediktivní analýzy) a zpřesnit určení četnosti vždy, když jsou k dispozici nové údaje z obou zdrojů.

#### **7.1.7 Fyzikální účinky**

Obecně je východiskem pro hodnocení rizika smrtelných nehod a dalších závažných havárií velmi rychlá a mohutná reakce, zpravidla detonace. Jejimi účinky jsou:

##### Tlaková vlna

Tlaková vlna je základním účinkem každé nehodové události spojené s detonací volných či zalaborovaných výbušnin. Prvky tlakové vlny, které budou zaznamenány na místě vystaveném účinkům výbuchu, jsou maximální přetlak, specifický impulz tlakové vlny a dynamický tlak (proudění vzduchu). Hodnoty tlaku a doby trvání tlakové vlny jsou popsány vztahem, v němž je závislost na hmotnosti výbušnin a vzdálenosti vyjádřena formou jejich třetích odmocnin.

##### Fragmenty (střepiny a trosky)

Primární fragmenty (střepiny) z materiálu pláště (obalu, těla) vznikají při výbuchu munice, přičemž jejich dráhy lze poměrně přesně vypočítat. Pomocí stavebních konstrukcí, tlumících překážek (ochranných stěn a valů) a nakrytím zeminou může být dosaženo různých stupňů ochrany před jejich účinky.

Výbuchem na povrchu země nebo pod jejím povrchem může být vytvořen kráter, přičemž do okolí je vyvržen materiál z takto vzniklého kráteru. Stupeň ohrožení závisí na druhu, množství a dráze vyvrženého materiálu. Např. písek zpravidla neznámá na daných vzdálenostech významnější nebezpečí, kdežto těžší materiál, jako jsou kameny, může být daleko nebezpečnější.

Dojde-li k nežádoucí události uvnitř objektu, dojde k jeho destrukci na menší části, které mohou být vrženy do okolního prostoru jako sekundární fragmenty (trosky).

### Tepelné účinky

Tepelné účinky jsou důležité pouze na relativně krátkých vzdálenostech v případě reakcí typu hoření nebo deflagrace, k jakým dochází u munice třídy nebezpečnosti (HD) 1.3.

### Otřesy země

Účinky otřesů země se budou rychle zmenšovat s narůstající vzdáleností od místa výbuchu. Závažnější jsou jenom poblíž výbuchu v podzemních skladech.

### Šíření výbuchu

Účinky jednoho výbuchu mohou vyvolat vznik dalších výbuchů, paralelních nebo zpožděných, které zvětšují celkový účinek. Na krátkých vzdálenostech může dojít k přenosu prostřednictvím tepelného záření, tlakové vlny a/nebo fragmentů. Kromě toho mohou střepiny a trosky způsobit zpožděné výbuchy na mnohem větších vzdálenostech.

### **7.1.8 Následky**

Prostřednictvím analýzy následků se zjišťují výsledky působení fyzikálních účinků výbuchu. Provádí se na základě zvoleného měřítka (na prvním místě dle úmrtnosti). Možné následky, i když ne tak plně srozumitelné jako fyzikální účinky, jsou také dostatečně zdokumentovány. Zahrnují meze úmrtnosti pro jednotlivé účinky:

#### Tlaková vlna

Následky mohou zahrnovat přímá poškození osob, zařízení, budov apod., která by mohla ovlivnit schopnost splnění úkolu.

Důsledky pro osoby se mohou pohybovat od protržení ušních bubínek při nízkých úrovních tlaku po plicní krvácení způsobující smrt při vysokých tlacích. Kromě primárních účinků tlakové vlny mohou být osoby poškozeny sražením na zem nebo vržením na pevné překážky.

Pravděpodobnost usmrcení působením tlakové vlny může být popsána matematickým vztahem.

#### Fragmenty (střepiny a trosky)<sup>1</sup>

Následky výbuchu v budově nebo její blízkosti zpravidla začínají rozbitím oken při nízkých úrovních tlaku a sahají až k rozrušení konstrukcí a zřícení budov při vysokých tlacích. Rozsah škod na budovách se podstatně mění v závislosti na jejich konstrukčním řešení: lehké (dřevěné) budovy mohou být zničeny snadněji než pevné a masivní (betonové) objekty.

Poškození budov povede sekundárně ke vzniku nebezpečných fragmentů, které představují nebezpečí pro osoby, budovy a zařízení v okolí. Závažná poranění mohou způsobit zvláště úlomky skla. Následky zásahu fragmenty závisí na jejich velikosti, hmotnosti, rychlosti a místě zásahu.

Fragmenty mířící na budovy mohou být zadrženy stěnami a stropem (střechou) budovy. Nejlepší ochranu poskytují železobetonové konstrukce budov.

Pravděpodobnost usmrcení fragmenty může být popsána matematickými funkcemi.

---

<sup>1</sup> Department of Defense Explosives Safety Board Technical Paper No. 13. Prediction of Building Debris for Quantity-Distance Siting. 1991.

### Tepelné účinky

Při výbuchu materiálu třídy nebezpečnosti 1.1 mají tepelné účinky obecně krátkou dobu trvání a vedou k celkově menším následkům než jiné účinky. Při pomalejších reakcích typu hoření nebo deflagrace (typicky u munice třídy nebezpečnosti 1.3) by však tepelné účinky mohly být nejzávažnější.

Tepelné účinky mohou být primární a sekundární. Oblast ovlivněná nebezpečím tepla bývá menší než oblast s nebezpečím tlakové vlny nebo fragmentů. Primární účinky pak není třeba zpracovávat samostatně. Sekundární účinky mohou být vyvolány např. muničními předměty rozhozenými po celé ploše.

### Otřesy země

Následky otřesů země jsou omezeny na oblast v těsné blízkosti místa výbuchu, což většinou znamená, že osoby, budovy nebo zařízení nebudou vystaveny významným úrovním jejich účinků.

### Šíření výbuchu

Účinky jednoho výbuchu mohou být přeneseny na jiný předmět s obsahem výbušnin, přičemž se vyvolají paralelní a/nebo zpožděné výbuchy stupňující celkový účinek. Na krátké vzdálenosti může být přenos uskutečněn tepelným zářením, tlakovou vlnou nebo fragmenty. Ve větší vzdálenosti mohou být fragmenty způsobeny zpožděné výbuchy.

#### **7.1.9 Vystavení účinkům výbuchu (ohrožení výbuchem)**

Tento termín v podstatě vyjadřuje pravděpodobnost, že osoby budou v okamžiku výbuchu přítomny v místě vystaveném jeho účinkům. Stanovení individuálního rizika ve stejném místě bude záviset na tom, zda je osoba přítomna celou dobu nebo po předpověditelnou část dne nebo se pouze přesunuje skrz nebezpečnou oblast. Zřetel musí být brán i na změnu nebezpečné činnosti v průběhu času.

Ohrožení skupin se zpravidla určuje jako počet osob vystavených účinkům výbuchu v tomtéž místě po dobu jednoho roku. Jsou-li k dispozici podrobnější údaje, může být použit komplexnější postup založený na ohrožení v různých částech dne, týdne nebo roku. Posuzované období se rozdělí do definovaných časových bloků; pro každý blok se definuje počet ohrožených osob a vypočítá se riziko. Postup může být použit pro určení maximálního počtu osob vystavených nebezpečí, což je důležité pro havarijní plánování a pro odvrácení rizika.

Při zpracování informací o vystavení účinkům výbuchu je důležité se ujistit, že byly plně definovány všechny situace a byly identifikovány všechny možné scénáře.

#### **7.1.10 Modely**

Modelování celkového rizika vyžaduje matematickou kombinaci různých parametrů. Provádí se užitím pravděpodobnostního sčítání (např. pro zjištění rizika usmrcení při dané operaci musíme sečíst rizika pro všechny osoby, všechny možné mechanismy usmrcení a všechny pravděpodobné děje, které by mohly vést k usmrcení v daném časovém období). Je důležité správně aplikovat statistická pravidla matematiky ve spojení s faktory vedoucími k celkovému riziku. Při spojování četnosti, vystavení účinkům (ohrožení), různých skupin osob, fyzikálních účinků a následků je nezbytné dodržovat pravidla závislosti a nezávislosti proměnných. Model má poskytnout výsledky, které jsou při změnách situací a času opakovatelné.

Matematické postupy používané pro statistické sčítání jsou vhodné pro počítačové aplikace. V ideálním případě mohou být hodnoty rizika, jež jsou výsledkem

počítačových simulací, uvedeny ve formě, kterou lze pomocí klasických výpočetních postupů upravit pro prokázání platnosti výsledků.

### 7.1.11 Vytvoření, dosažení a udržení konsenzu

Dosažení konsenzu je v případě rozhodnutí učiněných na základě hodnocení rizik důležité z několika důvodů:

- a) použití kvantitativních postupů založených na hodnocení rizik je poměrně novou disciplínou;
- b) prováděná vyhodnocení jsou spojena s přirozenou nejistotou a jsou proto předmětem diskuse;
- c) předchozí zkušenosti ukazují, že do určení četnosti se mohou vloudit systematické chyby, které znehodnocují platnost procesu.

Vytvoření a udržení konsenzu může být potřebné pro:

- a) získání podpory ze strany určitých organizací. V některých případech mohou být pro přijetí nebo schválení postupů založených na hodnocení rizik klíčové konkrétní státní nebo soukromé subjekty. Získání vstupních a zpětnovazebních informací pomáhá zajistit trvalou podporu;
- b) vzdělávání veřejnosti a získání její podpory. Významný přínos může být získán popsáním postupů na veřejných shromážděních. Je-li při prezentaci koncepce použita srozumitelná logika, většina veřejnosti bude postupy akceptovat. Jednou ze získaných zkušeností je, že užití matematického vyjádření a logaritmického měřítka pomáhá pochopit správný rozsah hodnocení vycházejících z rizik;
- c) získání právního posouzení použitelnosti koncepce založené na hodnocení rizik z hlediska zákonných předpisů. Tyto zákony vycházejí v různých zemích z obdobných principů, které zahrnují:
  - přiměřené riziko – pokud je rozhodnutí učiněno na základě znalosti úrovně rizika, které bylo vyhodnoceno jako přiměřené, pak za ně rozhodovací orgán nenesou odpovědnost,
  - informované rozhodnutí – pokud rozhodovací orgán použije jako základ pro rozhodnutí nejlepší dostupné informace, pak v případě, že nehoda upozorní na skutečnosti neznámé v okamžiku rozhodování, nemá být rozhodnutí zpochybňováno (pro zabránění systematickým chybám při hodnocení rizik ponechává tento princip důkazní břemeno na takto získaných skutečnostech).

## 7.2 Použití prostředků pro rozhodování na základě hodnocení rizik

Po vypracování koncepce rozhodování na základě hodnocení rizik, jak je popsáno v článku 7.1, může být tento postup aplikován na řadu konkrétních situací. Celkový pohled na proces použití prostředků pro rozhodování na základě hodnocení rizik je uveden na obrázku 2.

### 7.2.1 Definice analytické situace

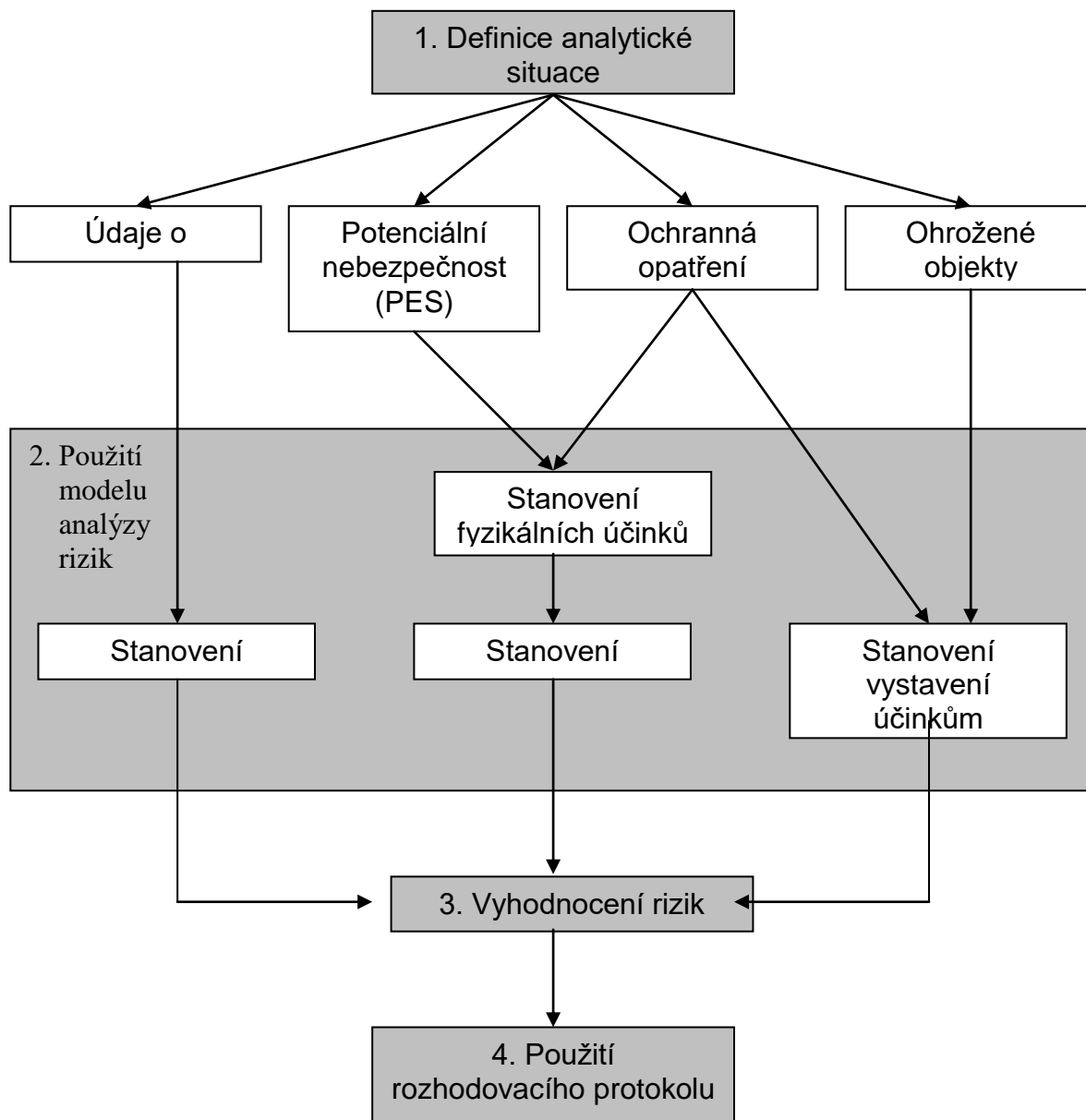
Vypracování scénářů je v první řadě tvůrčím procesem stanovení možných počátečních (iniciačních) událostí. Pro analytiku je důležité definovat a poznat závažné aspekty uvažované situace.

Kategorie potřebných údajů zahrnují:

- a) údaje o ohrožení popisující příčiny, které mohou iniciovat nežádoucí událost;



- b) údaje charakterizující potenciální nebezpečnost, která by mohla vyplývat z nežádoucí události;
- c) údaje, které popisují ochranná opatření v PES, ES a v prostoru mezi nimi;
- d) údaje, které charakterizují velikost ohrožení.



**OBRÁZEK 2 – Použití prostředků pro rozhodování na základě hodnocení rizik**

Typické příklady vstupních údajů zahrnují jak organizační, tak technické položky, např.:

Údaje o PES:

- konstrukce budovy,
- prováděné činnosti,
- faktory ovlivňující pravděpodobnost vzniku nežádoucí události.

#### Údaje o výbušninách (munici):

- druh výbušniny (munice),
- třída nebezpečnosti HD,
- předpokládaná NEQ,
- maximální NEQ,
- skupina snášenlivosti.

#### Údaje o ES:

- konstrukce budovy,
- druh stropu (střechy),
- vzdálenost od PES,
- podlahová plocha,
- zasklená plocha (v %),
- přítomnost za rok (v hodinách),
- orientace PES vzhledem k ES,
- velikost oken,
- počet osob v budově.

### **7.2.2 Použití modelu analýzy rizik**

Jakmile je definována potenciální iniciační událost nebo scénář, může být provedena analýza rizik, tj. využití kroků popsanych v článku 7.1 tohoto standardu, které zahrnuje:

1. Stanovení četnosti. Předpokládanou četnost je možno vypočítat s využitím metody popsané v článku 7.1.6. Pozornost má být věnována charakterizaci nejistoty tohoto parametru a relativnímu konzervatismu obsaženému v hodnocení.
2. Fyzikální účinky. Nežádoucí účinky se vypočítají s využitím metody uvedené v článku 7.1.7 tohoto standardu.
3. Následky. Následky jsou bezprostředním důsledkem fyzikálních účinků. Použité metody jsou popsány v článku 7.1.8.
4. Vystavení účinkům (ohrožení). Výpočet ohrožení se provede pomocí metod uvedených v článku 7.1.9.

### **7.2.3 Vyhodnocení rizik**

Rizika mohou být hodnocena prostřednictvím nekomplikované pravděpodobnostní matematiky nebo sofistikovanými počítačovými modely. Modely mají výhodu v zajištění konzistence při opakovaném hodnocení rizik pro podobné situace. Tyto údaje jsou pak přezkoumány a analyzovány bezpečnostními specialisty. Veškeré informace se poté zpracují pro předložení rozhodovacímu orgánu. Kapitola 8 tohoto standardu pojednává podrobněji o metodách a postupech, které mohou být využity při hodnocení rizik.

### **7.2.4 Použití rozhodovacího protokolu**

Rozhodovací orgány se mají řídit konzistentním a předem stanoveným protokolem (viz článek 7.1.4). Důležité může být poskytnout orgánu znalosti o těchto faktorech:

1. Absolutní úroveň rizika. Jedná se o vyjádření rizika posuzované situace v absolutních jednotkách, které umožňuje srovnání s riziky ostatních situací, která mohou být obdobná nebo rozdílná.

2. Relativní riziko možných voleb. Nežřídka je nutno rozhodnout mezi možnostmi A a B. Hodnocení rizik beroucí v úvahu obě možnosti zde poskytne užitečné informace: u obou může být pro absolutní úroveň rizik nalezen vysoký stupeň nejistoty, a tím při porovnání relativních rizik dojde k jejich kompenzaci.

### 7.3 Používané metody hodnocení rizik

Metody a modely používané v jednotlivých zemích se poměrně široce liší. V další části je uveden přehled využitelných programů ze zemí běžně používajících analýzu rizik v oblasti bezpečnosti výbušnin (včetně munice). Při jejich porovnání je však třeba dát pozor na rozdílnou terminologii.

#### 7.3.1 Austrálie

U zajištění bezpečnosti při skladování a přepravě výbušnin se vychází z principu bezpečnostních vzdáleností (Q-D), zatímco postupy řízení rizik v oblasti výbušnin se používají k podpoře příslušných standardů, prokázání shody se zákonnými předpisy vycházejícími z hodnocení rizik a řešení zvláštních okolností. Řízení rizik tak doplňuje princip Q-D a nelze se na ně tedy dívat jako na alternativu Q-D.

V rámci ozbrojených sil se postupy řízení rizik používají k:

- a) pomoci při schvalování objektů s přípustným množstvím výbušnin menším než 50 kg *NEQ*;
- b) podpoře aplikací pro udělování výjimek státními orgány;
- c) podpoře specifických studií týkajících se požadavků na skladování, manipulaci a přepravu munice a výbušnin.

V procesu hodnocení jsou samostatně posuzovány dvě stránky rizika – individuální a společenská. Individuální riziko se vztahuje k personální bezpečnosti určitého jednotlivce, kdežto společenské riziko se týká četnosti událostí (nehod) s určitým počtem usmrcených.

Austrálie bere v úvahu ještě další druh rizika – potenciální riziko. To je podobné individuálnímu riziku, ale týká se personální bezpečnosti jakéhokoliv jednotlivce v jakémkoliv okamžiku v konkrétním ES. V tomto ohledu se potenciální riziko používá ke stanovení rizikového pásma bez ohledu na to, zda jsou v něm přítomny osoby. Zároveň definuje nejnepříznivější situaci pro každou jednotlivou osobu.

Austrálie má v dokumentu svého ministerstva plánování definovány úrovně přijatelnosti rizika, které jsou brány jako spodní meze, pod nimiž je riziko považováno za zanedbatelné. Pro určení horní meze rizika (nepřijatelného pásma) bývá užívána řádová hodnota veličiny. Pro objasnění rozdílů ve zranitelnosti objektů a v typech či ohroženích obyvatelstva a pro srovnání s kategorizací objektů dle Q-D jsou stanoveny čtyři úrovně kritérií nedobrovolného rizika. Nicméně třídění podle bezpečnostních vzdáleností se při stanovení ES používá pouze jako vodítko pro potřebu rozlišení mezi kategoriemi ES.

### Kritéria nedobrovolného potenciálního rizika

Nedobrovolné riziko je takové riziko, jemuž jsou vystaveny osoby, které nejsou zapojeny do nebezpečné činnosti a jsou od ní vzdáleny. Riziková kritéria pro tyto osoby jsou:

- a) úrovně rizika pro velké nemocnice a školy, významná nádraží a letiště a rozsáhlé objekty značné důležitosti jsou definovány takto:
- horní úroveň jako  $5 \times 10^{-6}$  za rok,
  - dolní úroveň jako  $5 \times 10^{-7}$  za rok.

Tyto úrovně jsou vhodné pro objekty zvláště citlivé vůči nebezpečí, ze kterých mají osoby (v porovnání s průměrnými obyvateli rezidenční zástavby) menší možnost uniknout do bezpečí. Objekty klasifikované jako skupina V mají být schopné akceptovat tuto úroveň rizika;

- b) úrovně rizika pro rezidenční zástavbu a trvale obydlená místa, jako jsou hotely a lázeňská střediska, jsou definovány takto:
- horní úroveň jako  $1 \times 10^{-5}$  za rok,
  - dolní úroveň jako  $1 \times 10^{-6}$  za rok.

Úroveň rizika  $1 \times 10^{-6}$  je obecně přijímána jako standardní mez přijatelnosti pro ohrožení rezidenční oblasti (trvalé obydlí). Kritérium předpokládá, že obyvatelé budou ve svém bydlišti a budou vystaveni riziku 24 hodin denně, a to průběžně během celého roku. Ve skutečnosti tomu tak není a jedná se tedy o opatrný přístup. Rezidenční objekty klasifikované jako skupina IV mají být schopné akceptovat tuto úroveň rizika;

- c) úrovně rizika pro velké sportovní komplexy, nákupní a zábavní centra jsou definovány následovně:
- horní úroveň jako  $5 \times 10^{-5}$  za rok,
  - dolní úroveň jako  $5 \times 10^{-6}$  za rok.

Do této skupiny patří např. komerční zástavby včetně kancelářských budov, maloobchodní centra, velkoobchodní sklady s předváděcími prostory, restaurace a zábavní centra. Průměrné obydlí těchto prostor je přechodné (občasné) a většina přítomných osob je zpravidla mobilní. Proto v porovnání s ohrožením trvale obydlených míst může být v tomto případě tolerována vyšší úroveň rizika. Nerezidenční objekty klasifikované jako skupina IV mají být schopné akceptovat tuto úroveň rizika;

- d) úrovně rizika pro veřejné parky, rekreační oblasti a rušná otevřená prostranství jsou definovány následovně:
- horní úroveň jako  $1 \times 10^{-4}$  za rok,
  - dolní úroveň jako  $1 \times 10^{-5}$  za rok.

Tyto úrovně rizika jsou použitelné pouze u oblastí, ve kterých se osoby shromažďují jen dočasně a nejsou v nich stavby, které by pravděpodobně přispívaly ke vzniku smrtelných úrazů. Objekty klasifikované jako skupina III mají být schopné akceptovat tuto úroveň rizika.

### Kritéria dobrovolného potenciálního rizika

Dobrovolné riziko je takové riziko, které osoby přijímají vědomě jako součást svého zaměstnání na nebezpečném pracovišti nebo v jeho okolí.

Úrovně rizika pro osoby provádějící nebo přímo zajišťující nebezpečné operace jsou definovány takto:

- horní úroveň jako  $5 \times 10^{-4}$  za rok,
- dolní úroveň jako  $5 \times 10^{-5}$  za rok.

Dané úrovně vychází z předpokladu, že osoby si uvědomují rizika spojená s místem práce a že jsou při provádění nebezpečných operací nezbytná. Objekty klasifikované jako skupina II (provozní budovy) mají být schopné akceptovat tuto úroveň rizika.

#### Aplikace obecných principů na individuální riziko

Při vzájemném srovnání je hodnocení individuálního rizika mnohem komplexnější a sofistikovanější než hodnocení potenciálního rizika. Analýza při něm vyžaduje podrobné zkoumání obyvatelstva, aby bylo možno stanovit aktuální počet osob vystavených nebezpečí a časové intervaly jejich ohrožení. Z těchto důvodů je nevhodné specifikovat striktní kritéria (jako v případě potenciálního rizika) pro scénáře, které budou koneckonců záviset na aktuálním rozmístění obyvatelstva, společenském (včetně místní veřejnosti) vnímání rizika, politických omezeních a národních zájmech. Posouzení rizika má tudíž vycházet spíše z podstaty každého jednotlivého případu, než z výslovně stanoveného souboru číselných hodnot. Nicméně kritéria použitelná na potenciální rizika mají být použita jako mezní hodnoty při hodnocení individuálních rizik.

#### Aplikace obecných principů na společenské riziko

Společenské riziko se používá jako prostředek pro stanovení ničivého potenciálu nehody, zvláště ve vztahu k hromadným ztrátám na životech. V tomto ohledu ukazuje společenské riziko reálné koncepční problémy při stanovení univerzálně platných úrovní pro tolerovatelné a zanedbatelné riziko. Představy ohroženého obyvatelstva a zvláště širší veřejnosti budou mít významný vliv na skutečnost, jaké úrovně rizika budou považovány za přijatelné. Soustředěná rizika (např. výbuchy průmyslových nebo vojenských objektů, hromadné nehody vozidel) jsou považována za horší než rizika rozptýlená, jaká vznikají třeba u běžných dopravních nehod nebo při stejném počtu mrtvých rozptýlených na více místech v důsledku menších průmyslových havárií. Z těchto důvodů se posouzení společenského rizika provádí případ od případu.

Společenské riziko je vyjádřeno jako celkový počet usmrcených předpokládaný při nehodě ve vztahu k četnosti vzniku nehody a uvádí se ve formě křivky četnost – počet usmrcených. Křivka se principiálně sestojí tak, že se postupně berou všechna identifikovaná nebezpečí nebo scénáře nehod a určí se pro ně výsledný pravděpodobný počet úmrtí.

#### Programová podpora

Australské orgány, které se zabývají řízením rizik v oblasti výbušnin, mají přístup k několika počítačovým aplikacím, jako je AUSRISK (vyvinutý AEA Technology) nebo eRISKAT (částečně upraveno pro Australian Ordnance Council), pro provádění kvantitativního hodnocení. V budoucnu se počítá s využitím amerického programu SAFER.

#### **7.3.2 Francie**

Od roku 1979 používají všichni výrobci munice a výbušnin zásady založené na kvalitativní a semikvantitativní analýze rizik. V těchto zásadách je zahrnuto i ministerstvo obrany a především jeho muniční sklady, zkušební střelnice a opravárenské základny. Původně byly určeny k ochraně pracovníků a v jednoduché formě se zabývají i otázkami ochrany životního prostředí.

Před jakoukoliv novou činností nebo změnou činnosti musí vedoucí organizace analyzovat nově vzniklá rizika, identifikovat možnosti nehody včetně vyhodnocení následků a přijmout opatření k zamezení jejího vzniku a zmenšení následků. K tomu se pro každé posuzované PES a pro každý scénář nehody musí:

- a) vyhodnotit četnost nehody. Bylo zvoleno pět řádových hodnot veličiny:
- P1 (méně než  $10^{-4}$  nehody za rok) – příkladem je skladování munice,
  - P2 (více než  $10^{-4}$  a méně než  $10^{-3}$  nehody za rok) – příkladem je manipulace s municí,
  - P3 (více než  $10^{-3}$  a méně než  $10^{-2}$  nehody za rok) – příkladem je kontrola elektrických parametrů munice,
  - P4 (více než  $10^{-2}$  a méně než  $10^{-1}$  nehody za rok) – příkladem je opracování trhavin nebo pyrotechnická činnost,
  - P5 (více  $10^{-1}$  nehody za rok) – příkladem je opracování munice.

Toto hodnocení může být prováděno na základě historických údajů, buď se znaleckým stanoviskem, nebo pomocí analytických metod (strom poruchových stavů apod.);

- b) vyhodnotit nebezpečná pásma jako důsledek nehody. Předpokládá se pět nebezpečných pásem:
- Z1 – zranění jsou smrtelná ve více než 50 % případů, velmi vážné škody,
  - Z2 – těžká zranění potenciálně smrtelná, vážné škody,
  - Z3 – zranění, malé a průměrné škody,
  - Z4 – zranění jsou možná, malé škody,
  - Z5 – velmi malá pravděpodobnost lehkých zranění, velmi malé škody.

Toto hodnocení bere v úvahu existenci tlumících překážek (ochranných valů, stěn apod.), druhy a množství výbušnin zahrnutých do věrohodného děje s maximálními následky a reálné konstrukční řešení budov. Při stanovení lze použít empirické nebo počítačové modely přizpůsobené konkrétnímu případu a počítající s různými účinky (tlaková vlna, fragmenty, tepelné účinky a případně i otřesy země);

- c) popsat okolí PES a brát přitom zřetel na ohrožení v každém ES. Jako příklad faktorů vhodných k posouzení lze uvést:

#### Uvnitř výrobního areálu

- pracovníci přiřazení k PES,
- ES v blízkosti PES,
- další objekty (dílny nebo sklady), v nichž probíhají práce s výbušninami,
- objekty s činnostmi nezahrnujícími práce s výbušninami (např. kancelář sekretariátu vedoucího).

#### Komunikace vně výrobního areálu (podle intenzity provozu)

- méně než 200 vozidel za den,
- mezi 200 a 2 000 vozidel denně,
- více než 2 000 vozidel za den.

#### Budovy vně výrobního areálu

- neobydlené budovy (např. sklad zemědělské farmy),
- samostatné domy,
- bytové nebo průmyslové objekty,

- místa shromažďování osob (např. školy, nemocnice, sportovní stadiony).

Kritéria hodnocení berou v úvahu typ každého ES a pravděpodobnou četnost nehod.

Příklad pro výrobní objekt s četností nehody P2:

- pracovníkům přiřazeným k PES je povolena přítomnost v pásmu Z1 (s pravděpodobností smrtelných zranění),
- dílnu se samostatnými činnostmi, jako je manipulace s výbušninami, je povoleno umístit do pásma Z3,
- kancelář sekretariátu má povoleno umístění v pásmu Z4,
- komunikace s velmi malou intenzitou provozu je možno umístit do pásma Z3,
- komunikaci s velmi intenzivním provozem může být v pásmu Z5,
- škola a nemocnice mají být mimo nebezpečná pásma.

Čím větší pravděpodobnost nehody, tím větší má být vzdálenost ES od PES.

Každá analýza rizik je ve prospěch ministerstev práce a životního prostředí ověřena inspektorátem pro hnací hmoty a výbušniny ministerstva obrany.

Zvláštním výnosem jsou jmenovány schvalovací orgány pro analýzy rizik a pro výjimky a příslušná kompenzační opatření.

Celý proces funguje bezproblémově a je plně vyhovující. Všechny objekty pro práce s výbušninami byly ve Francii podrobeny analýze podle výše uvedeného postupu. Výjimkou jsou lomy a doly, pro které platí zvláštní předpisy.

### 7.3.3 Německo

Německé ministerstvo obrany zřídilo v květnu 1999 expertní skupinu pro studium realizovatelnosti koncepce bezpečnosti výbušnin založené na hodnocení rizik se zřetelem na podmínky skladování munice typické pro tamější ozbrojené síly. Koncept kvantitativního hodnocení rizik v oblasti bezpečnosti výbušnin ESQRA-GE včetně příslušného softwaru byl expertní skupinou přijat v červnu 2000.

Koncept kvantitativního hodnocení rizik se soustřeďuje na scénáře skladování munice. Cílem bylo poskytnout odpovědným funkcionářům na ministerstvu obrany nástroj pro konzistentní hodnocení nestandardních scénářů skladování munice, jako je skladování v polních táborech sil rychlého nasazení mimo stanovený prostor působnosti, civilní využití vojenských letišť, tranzitní uskladnění munice nebo problémy s municí v přístavech a kasárnách. Konzistence znamená, že četnost události, její následky a kritéria jsou stanovovány důsledně podle předpokládaných událostí.

Koncept vychází z technického posouzení a expertního hodnocení. Je to postup, který pro daný scénář simuluje četnost události a její následky  $C_e$ . Výsledné riziko  $R = F_e \times C_e$  jako součin dvou faktorů nerozlišuje mezi řadou událostí s vysokou četností kombinovanou s malými následky a jedinou událostí s nízkou četností kombinovanou s velkými následky. Zcela rozdílné scénáře mohou vést k témuž riziku.

Koncept kvantitativního hodnocení rizik rozlišuje mezi hodnocením rizika a hodnocením následků.

Byl vypracován vývojový diagram, který ukazuje vnitřní uspořádání konceptu do sedmi analytických kroků:

- analýza scénáře,

- analýza účinků,
- analýza ohrožení,
- analýza následků události,
- analýza četnosti události,
- analýza rizika,
- hodnocení rizika.

V duchu konzistentního kvantitativního hodnocení rizik byly parametry konceptu charakterizovány následujícími rozměry:

- četnost události v událostech na osobu za rok,
- následky události v usmrčených na událost,
- riziko, ať společenské, či individuální, v usmrčených na osobu za rok.

Rizika byla normalizována vzhledem k německé populaci a na ročním základě.

Hodnocení rizik je založeno na nahodilém usmrcení. Existuje rozdíl mezi rizikem usmrcení a rizikem nahodilého usmrcení. Např. za výjimečné situace nebo při bojových operacích se individuální riziko usmrcení zvětšuje. Pro zjištění, zda riziko nahodilého usmrcení v důsledku skladování munice rovněž vzrůstá, je třeba zvláštního zkoumání.

Při hledání srovnávacího měřítka pro kvantitativní stanovení rizika nahodilého usmrcení byly vzaty v úvahu oba faktory (četnost události a její následky), stejně jako různé typy událostí. Kontrolou databáze nehod byla zjištěna tendence vzrůstu počtu usmrčených s klesající četností události. Příkladem jsou nehody při přepravě (železniční, letecké, lodní):

- kumulovaná četnost události u nehod s jedním nebo více mrtvými je  $Rt = 5 \times 10^{-5}$ ,
- kumulovaná četnost události u nehod s deseti nebo více usmrčenými je  $Rt = 5 \times 10^{-6}$ ,
- kumulovaná četnost události u nehod se sto nebo více usmrčenými je  $Rt = 5 \times 10^{-7}$ .

Důsledkem je, že riziko jako součin četnosti a následků má konstantní hodnotu  $Rt = 5 \times 10^{-5}$ . S rostoucím počtem usmrčených na jednu událost se riziko nezvětšuje. Z nehod při skladování munice je k dispozici pouze omezené množství údajů. Přesto se předpokládá, že zde existuje tentýž trend.

Oba faktory, četnost události a její následky, jsou v různých – ale obdobných – populacích porovnatelné (např. v Německu, Švýcarsku nebo USA, nikoli však v Tibetu nebo Nepálu). Dospělo se k závěru, že i riziko nahodilého usmrcení jako součin četnosti a následků má být porovnatelné.

Koncept kvantitativního hodnocení rizik neobsahuje žádná kritéria přijatelnosti. To může souviset s cílem německé koncepce. Hodnocení rizik vycházelo v principu z databáze nahodilých usmrcení. V Německu je ročně usmrceno při nehodách všech druhů kolem 40 000 osob z osmdesátimilionové populace. Společenské riziko nahodilého usmrcení je  $R_s = 5 \times 10^{-4}$  usmrčených na osobu za rok. Ročně je při nehodě usmrcena 1 z 2000 osob. Průměrné roční riziko, že obyvatel Německa zemře při nehodě je  $R_i = 5 \times 10^{-4}$  (usmrčených za rok, normalizováno na jednu osobu).

Příklad hodnocení rizik: Ročně je 1 z 10 000 dělníků v chemickém průmyslu usmrcen při nehodě související s výkonem práce. Individuální riziko nahodilého usmrcení



v důsledku pracovního úrazu je  $R_i = 1 \times 10^{-4}$  nebo 20 % celkového rizika nahodilého usmrcení.

Koncept kvantitativního hodnocení rizik pomáhá odpovědným funkcionářům na ministerstvu obrany prokázat, že riziko (nahodilého usmrcení) pro osoby, které je zahrnuto do scénáře skladování nestandardní munice, nepřesahuje riziko u dělníků v chemickém průmyslu. Může být přirozeně provedeno srovnání s jinými druhy rizik nahodilého usmrcení.

#### **7.3.4 Nizozemsko**

Z pověření nizozemského ministerstva obrany byl počátkem osmdesátých let 20. století zahájen v TNO Prins Maurits Laboratory vývoj počítačového programu pro kvantitativní analýzu rizik RISKANAL. V roce 1998 byly do modelu doplněny nejnovější definice individuálního a společenského rizika. Rovněž byly aktualizovány tzv. probit funkce pro výpočet následků pro osoby při různých účincích výbuchu. Název modelu byl následně změněn na RISK-NL.

##### Dílčí modely

Pro interní výpočty rizik a kvantifikaci účinků výbuchu jsou využívána doporučení někdejší pracovní skupiny NATO AC/258. Pro předpověď rozletu fragmentů se však používá empirický vzorec odvozený TNO. Výpočty následků výbuchu pro osoby za různých podmínek se provádí pomocí probit funkcí, které jsou popsány v tzv. „Green Book“<sup>2</sup>.

##### Stanovení a definice rizika

Rizika mohou být vypočítána, pokud jsou známy scénáře možných výbuchů, četnosti jejich vzniku, účinky výbuchů a následky pro osoby. K tomu jsou nezbytné definice individuálního a společenského rizika, které se vzájemně liší.

##### Individuální riziko

Individuální riziko je definováno jako pravděpodobnost (za rok), že nechráněná osoba, nacházející se na libovolně určeném místě 24 hodin denně po dobu celého roku, bude usmrcena nebezpečnými účinky nežádoucí události. Graficky je znázorněno vrstevnicemi se stejným rizikem kolem skladovacího místa s PES.

##### Kritéria přijatelnosti individuálního rizika

Kritéria přijatelnosti pro individuální rizika byla nizozemskými úředními orgány stanovena takto:

- pro existující situace musí být menší než  $10^{-5}$ ,
- pro nové situace musí být menší než  $10^{-6}$ .

##### Definice společenského rizika

Společenské riziko je definováno jako pravděpodobnost (za rok), že skupina osob určité velikosti celá zahyne v důsledku nehody nebezpečných látek. Zahrnuje osoby v okolí PES, v důsledku čehož bude společenské riziko větší než individuální, protože počet osob v blízkosti PES se zvětšuje. Předpokládá se, že pro každý scénář výbuchu, tj. pro každé skladiště nebo PES, se vypočítá četnost vzniku a celkový počet obětí. Sociální

---

<sup>2</sup> Committee for the Prevention of Disasters (CPR), Directorate - General of Labour of the Ministry of Social Affairs. Methods of determining of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (Green Book). The Hague, 1989. CPR 16E

riziko se graficky znázorňuje jako  $F-N$  křivka, což je graf zobrazující kumulativní četnost scénáře nehody a následný počet obětí.

#### Kritéria přijatelnosti společenského rizika

Společenské riziko je přijatelné, pokud pravděpodobnost vzniku nehody, při které dojde k deseti úmrtím, je menší než 1 ze 100 000 za rok. Z důvodu neochoty společnosti akceptovat události, při kterých zahynou velké skupiny lidí, je zahrnut do výpočtu součinitel averze. Kritérium přijatelnosti je

$$F \times N^2 = 1 \times 10^{-3} \quad (3)$$

kde  $F$  je kumulativní četnost vzniku události (1/rok),  
 $N$  - počet usmrcených osob (1).

Příkladem je přijatelnost rizika nehody se sto usmrcenými osobami, jestliže pravděpodobnost vzniku takové události je menší než  $1 \times 10^{-7}$  za rok.

#### **7.3.5 Norsko**

Norsko zahájilo přípravy na kvantitativní analýzu rizik v oblasti bezpečnosti výbušnin koncem 80. let minulého století. Koncepce využití analýzy rizik je založena na určení místa, kde dojde k výskytu problému. Kolem 50 % schvalovacích procesů stále vychází z použití principu Q-D. Při výstavbě nového skladu se provádí analýza plnění požadavků jak Q-D, tak kvantitativní analýzy rizik.

Metoda a programové vybavení využívané při analýze jsou založeny na programu vypracovaném ve Švýcarsku. Norská úprava je známá jako AMMORISK.

V roce 2000 byla zahájena spolupráce se Švédskem za účelem aktualizace používaných modelů a úpravy programového vybavení, což vedlo ke vzniku nového programu AMRISK.

Kolektivní riziko je definováno jako součin předpokládané četnosti události a počtu usmrcených. Počet usmrcených se ještě vynásobí součinitelem averze, který se stanoví pro každou situaci, při které by mohl být předpokládán neměnný počet mrtvých. Průměrné kolektivní riziko se pak určí sčítáním jednotlivých rizik podle doby trvání každé situace.

Součinitel averze se stanoví podle vzorce  $\varphi = 2^{Fn/5}$ , kde  $Fn$  je počet usmrcených při každé situaci. Užití součinitelů averze se ukázalo jako praktičtější než  $F-N$  křivka (graf zobrazující kumulativní četnost scénáře nehody a následný počet obětí).

Kritéria přijatelnosti rizik, vyjádřená jako pravděpodobnost vzniku události za rok, jsou uvedena v tabulce 1.

**TABULKA 1 – Norská kritéria přijatelnosti rizik**

Riziková skupina	Kritéria individuálního rizika	Kritéria skupinového rizika
Přímo zúčastnění zaměstnanci	Menší než $4 \times 10^{-5}$	Celkové riziko pro všechny tři rizikové skupiny menší než $3 \times 10^{-4}$
Nepřímo zúčastnění zaměstnanci	Menší než $3 \times 10^{-6}$	Celkové riziko pro nepřímo zúčastněné zaměstnance a nezúčastněné cizí osoby menší než $2 \times 10^{-4}$
Nezúčastněné cizí osoby	Menší než $2 \times 10^{-7}$	Celkové riziko pro nezúčastněné cizí osoby menší než $1 \times 10^{-4}$

Princip ALARP se nepoužívá. V posledních několika letech nebyla z důvodu restriktivní praxe udělena žádná výjimka pro nezúčastněné cizí osoby (veřejnost). Výjimky pro zaměstnance by mohly být povoleny ministrem obrany.

### 7.3.6 Švédsko

Ve Švédsku je metoda analýzy rizik v oblasti bezpečnosti výbušnin schválena pro podzemní sklady v případech, kdy nejsou splněna kritéria Q-D. Pro ostatní aplikace probíhají vývojové práce. Použitá metoda a programové vybavení vycházejí ze švýcarského programu, který byl upraven v Norsku a je znám jako AMMORISK. V rámci spolupráce s Norskem byl po roce 2000 vypracován nový program AMRISK.

Kolektivní riziko se stanoví jako součet individuálních rizik.

Počet usmrcených se násobí součinitelem averze, který se určí pro každou situaci, při které by mohl být předpokládán více než jeden mrtvý. Součinitel averze se stanoví podle vzorce  $\phi = 2^{Fn/5}$ , kde  $F_n$  je počet usmrcených při každé situaci.

Kritéria přijatelnosti jsou definována pro nepřímo zúčastněné zaměstnance a nezúčastněné cizí osoby, u nichž pravděpodobnost vzniku události za rok musí být u individuálního rizika menší než  $1,0 \times 10^{-6}$  a u kolektivního rizika menší než  $1,1 \times 10^{-4}$ .

### 7.3.7 Švýcarsko

Švýcarsko má více než 25 let zkušeností s úspěšným využíváním konceptu bezpečnosti založeného na kvantitativním hodnocení rizik.

V současnosti vychází přípustné množství výbušného materiálu u většiny muničních skladů z analýzy rizik pro konkrétní místo; pro výrobu a údržbu munice se takové analýzy provádí pravidelně na základě příslušných předpisů. U přepravy munice se obdobné postupy mají zavést v blízké budoucnosti. Pro umístění nových objektů je postup založený na hodnocení rizik jedinou schválenou metodou, stejně jako pro všechny další obdobné činnosti.

Používaná metoda je velmi dobře zdokumentována. K dispozici jsou příslušné předpisy, bezpečnostní příručky a kritéria vydávané generálním štábem. K analýzám rizika se využívá program EXPLORISK, který plně vyhovuje existujícím předpisům.

Pravděpodobnostní koncept založený na hodnocení rizik má tyto hlavní charakteristické rysy:

- jasné rozlišení mezi faktickou částí analýzy rizik a subjektivní částí posouzení rizik,

- kvantifikaci nebezpečí beroucí v úvahu zařízení, druh činnosti (procesu) a podmínky specifické pro dané místo,
- rozlišení mezi kolektivním (společenským, skupinovým) a individuálním rizikem,
- rozlišení mezi nositeli rizika (přímo zúčastnění zaměstnanci / cizí osoby),
- kvantitativní kritéria rizika umožňující maximalizovat bezpečnost při co nejnižších finančních nákladech.

### Principy a definice švýcarského konceptu bezpečnosti

Kvalitativním kritériem bezpečnosti je obecně způsobení újmy lidským bytostem, za reprezentativní kritérium jsou považovány smrtící účinky.

Rozsah bezpečnosti se posuzuje z hlediska jak ohroženého jednotlivce, tak kolektivu ohrožených osob.

Individuální riziko je definováno rovnicí

$$r_{ie} = p_e \times \lambda_{ie} \times t_{ie} \quad (4)$$

a kolektivní riziko rovnicí

$$R_e = p_e \times C_e = \sum (\lambda_{ie} \times t_{ie}) \times p_e \quad (5)$$

- kde
- $r_{ie}$  je riziko usmrcení osoby  $i$  v důsledku události  $e$  (1),
  - $p_e$  - pravděpodobnost události  $e$  (1),
  - $\lambda_{ie}$  - úmrtnost osoby  $i$  v důsledku události  $e$ , pokud dojde k jejímu vzniku (1),
  - $t_{ie}$  - doba, po kterou je osoba  $i$  vystavena nebezpečným účinkům události  $e$  (1),
  - $R_e$  - kolektivní riziko usmrcení všech ohrožených osob v důsledku události  $e$  (1)
  - $C_e$  - následky (počet obětí) v důsledku události  $e$ , pokud dojde k jejímu vzniku (1).

Vzhledem k všeobecné reakci veřejnosti na nehody s malou četností, ale velkými škodami, a vzhledem k specifickým psychologickým, politickým a sociálním aspektům manipulace s municí a výbušninami v armádě je definováno vnímané kolektivní riziko zjednodušeně jako

$$R_{pe} = \varphi (C_e) \times R_e \quad (6)$$

- kde
- $R_{pe}$  je vnímané kolektivní riziko usmrcení všech ohrožených osob v důsledku události  $e$  (1),
  - $\varphi (C_e)$  - součinitel averze jako funkce následků (předpokládaný počet obětí) v důsledku události  $e$ , pokud dojde k jejímu vzniku (1),
  - $C_e$  - následky (počet obětí) v důsledku události  $e$ , pokud dojde k jejímu vzniku (1),
  - $R_e$  - kolektivní riziko usmrcení (statisticky očekávaná hodnota) všech ohrožených osob v důsledku události  $e$  (1).

Kritéria bezpečnosti rozlišují mezi různými skupinami nositelů rizika podle jejich vztahu k nebezpečné činnosti (především bezprostřednost vnímané prospěšnosti dané činnosti

a schopnosti poznat, ovlivnit a vyloučit riziko), jako jsou cizí osoby, nepřímo a přímo zúčastněné osoby a vojenské jednotky.

Kritéria přijatelnosti rizik jsou uvedena v tabulce 2. Pro nezúčastněné cizí osoby jsou příkladem místní obyvatelé, cestující ve vlaku nebo řidiči automobilů, pro nepřímo zúčastněné zaměstnance administrativní pracovníci v muniční továrně a pro přímo zúčastněné pracovníky jsou to řidiči vozidel přepravujících výbušniny nebo obsluha zařízení na laboraci výbušnin. Součinitel averze  $\varphi$  (C) – viz rovnice (6).

**TABULKA 2 – Švýcarská kritéria přijatelnosti rizik**

Hodnocený parametr	Metoda	Riziková skupina	Hodnota
Individuální riziko	Horní mezní hodnoty	Nezúčastněné cizí osoby	$1 \times 10^{-5}$ za rok
		Nepřímo zúčastnění zaměstnanci	$5 \times 10^{-5}$ za rok
		Přímo zúčastnění zaměstnanci	$1 \times 10^{-4}$ za rok
		Příslušníci jednotek poblíž zařízení s municí a výbušninami	$1 \times 10^{-5}$ za rok
		Příslušníci jednotek manipulujících s municí a výbušninami	$3 \times 10^{-5}$ za rok
		Nezúčastněné cizí osoby	20 mil. CHF za zachráněný život
Vnímané kolektivní riziko	Ochota platit a mezní náklady	Nepřímo zúčastnění zaměstnanci	8 mil. CHF za zachráněný život
		Přímo zúčastnění zaměstnanci	4 mil. CHF za zachráněný život
		Příslušníci jednotek poblíž zařízení s municí a výbušninami	20 mil. CHF za zachráněný život
		Příslušníci jednotek manipulujících s municí a výbušninami	10 mil. CHF za zachráněný život
Averze	Vážená funkce následků	Všechny skupiny	$\varphi(C) = 2^{C/5}$ $(C \leq 20)$ $\varphi(C) = 16$ $(C > 20)$

### 7.3.8 Velká Británie

Práce na hodnocení rizik při skladování munice byly zahájeny v roce 1968. Počínaje rokem 1989 byl proces automatizován a aplikován na všechny významnější sklady výbušnin, přičemž se ukázalo, že individuální rizika v obydlených budovách odpovídají z hlediska vzdáleností civilním předpisům, ale značně se mění v závislosti na místních podmínkách.

Byly vypracovány postupy pro stanovení rizik pro různé skupiny osob (společenská rizika) pomocí *F-N* křivek, a to podobně jako u procedur v jaderné oblasti. Lze odhadnout i předpokládaný počet usmrčených při velkých nehodách. Od manažerů se vyžaduje, aby při rozhodování spojeném s hodnocením rizik vzali v úvahu společenská hlediska. V současnosti však pro tuto oblast nejsou k dispozici plně kvantitativní postupy.

V souladu s civilními předpisy se při stanovení rizik nevyužívá součinitel averze. Má se za to, že je lepší vyčíslit příslušné úrovně a dopad averze uvést explicitně až později.

Britské předpisy definují nepřijatelná rizika (úrovně, nad nimiž se musí práce přerušit až do snížení rizika) a plně přijatelná rizika (pod jejichž úrovněmi další snižování rizika pravděpodobně nepřinese žádný prospěch). Rizika mezi těmito dvěma úrovněmi jsou definována jako přijatelná a musí být snížena na nejnížší rozumně dosažitelnou úroveň (ALARP). Prakticky to vyžaduje, aby prostředky pro snížení rizika byly využívány až do okamžiku, kdy se náklady na ně stávají zjevně nepřiměřenými. Ministerstvo obrany používá stejná kritéria jako civilní sektor a v případě potřeby používá krizové (havarijní) plány zahrnující civilní obyvatelstvo.

Kritéria přijatelnosti rizik, vyjádřená jako pravděpodobnost vzniku události za rok, jsou uvedena v tabulce 3.

**TABULKA 3 – Britská kritéria přijatelnosti rizik**

Nositelé individuálního rizika	Plně přijatelné riziko	Nepřijatelné riziko
Zaměstnanci	Menší než $1 \times 10^{-6}$ za rok	Větší než $1 \times 10^{-3}$ za rok
Nezúčastněné cizí osoby	Menší než $1 \times 10^{-6}$ za rok	Větší než $1 \times 10^{-4}$ za rok

### 7.3.9 USA

Úřad amerického ministerstva obrany pro bezpečnost výbušnin DDESB zřídil v roce 1997 pracovní skupinu s úkolem posoudit možnosti zavedení a využívání kritérií bezpečnosti výbušnin založených na hodnocení rizik. Pracovní skupina po krátké době konstatovala, že tato koncepce je realizovatelná a stávající úroveň modelování událostí souvisejících s chováním výbušnin umožňuje dosáhnout lepší výsledky, než je tomu při použití koncepce Q-D.

V roce 1999 byla zpracována metodika, navržena kritéria přijatelnosti, vyjádřená jako pravděpodobnost vzniku události za rok (viz tabulka 4), a programový model analýzy a hodnocení rizik SAFER včetně příslušné dokumentace<sup>3,4</sup>; do užívání jsou tyto prvky postupně zaváděny od roku 2000.

<sup>3</sup> Department of Defense Explosives Safety Board Technical Paper No. 14, Rev.4. Approved Methods and Algorithms for DoD Risk-Based Explosives Siting. 2009.

<sup>4</sup> Department of Defense Explosives Safety Board Technical Paper No. 19, Rev. 1. User's Reference Manual for the Safety Assessment for Explosives Risk Software. 2009.

**TABULKA 4 – Kritéria přijatelnosti rizik v USA**

<b>Druh rizik</b>	<b>Kritéria DDESB</b>	<b>Služební předpis</b>
Pro jednoho přímo zúčastněného zaměstnance	Přijatelná pod $1 \times 10^{-4}$ za rok	
Pro všechny přímo zúčastněné zaměstnance	Přijatelná pod $1 \times 10^{-3}$ za rok	Pokud jsou rizika větší než $1 \times 10^{-3}$ , použije se princip ALARP
Pro jednoho nepřímo zúčastněného zaměstnance nebo nezúčastněnou cizí osobu	Přijatelná pod $1 \times 10^{-6}$ za rok	
Pro všechny nepřímo zúčastněné zaměstnance a nezúčastněné cizí osoby	Přijatelná pod $1 \times 10^{-5}$ za rok	Pokud jsou rizika větší než $1 \times 10^{-5}$ , použije se princip ALARP. Rizika větší než $1 \times 10^{-3}$ jsou přijatelná pouze v případě závažného státního zájmu

### 7.3.10 Vybrané parametry postupů hodnocení rizik v některých státech Austrálie

1. Užití	Podpora rozhodnutí managementu. Schvalování při nesplnění požadavků Q-D. Schvalování objektů s méně než 50 kg NEQ.
2. Cíle	Stanovit bezpečnostní rizika v ES pocházející z PES. Identifikovat možnosti snížení rizik v PES a/nebo ES.
3. Měřítka	<u>Kvalitativní</u> : posuzuje se, zda riziko vyhovuje kritériím ALARP. <u>Kvantitativní</u> : předpověď maximálního předpokládaného počtu usmrčených.
4. Kritéria	<u>Kvalitativní</u> : aplikuje se princip ALARP. <u>Kvantitativní</u> : všeobecně přijatelné potenciální riziko menší než $10^{-6}$ za rok.
5. Definice rizika	<u>Kvalitativní</u> : úrovně rizika jako vzájemný vztah pravděpodobnosti a následků. <u>Kvantitativní</u> : potenciální riziko = četnost události za rok × pravděpodobnost usmrcení, individuální riziko = četnost události za rok × pravděpodobnost usmrcení × vystavení účinkům.
6. Četnost	Četnost události se stanovuje z historických údajů, názorů odborníků a posouzení schvalovaného PES.
7. Účinky	Využívá se spojenecká publikace AASTP-1.
8. Následky	Používají se horní meze – ne průměrné/předpokládané hodnoty. Údaje o tlakové vlně a přetlaku. Smrtící účinek primárních fragmentů. Výpočty záření ohnivé koule. Zkušební údaje o troskách budov (sekundární fragmenty). Odkazy na doplňkové studie a rozborů.
9. Vystavení účinkům	Vystavení účinkům u osob souvisí s výskytem nebezpečí v PES. Přechodné vystavení účinkům se vypočítá jako poměrná část celkové hodnoty.
10. Model	<u>Kvalitativní</u> : databáze Explosives Risk Assessment (ERA) jako nástroj řízení. <u>Kvantitativní</u> : AUSRISK verze 4 a ERISKAT verze 2. K dispozici je i SAFER. Vše pro provedení analýz citlivosti.
11. Konsenzus	V rámci ministerstva obrany schvalováno komisí pro přepravu a skladování výbušnin jako podklad pro udělování povolení.



### Francie

1. Užití	Prověřit rizika způsobená objektem s výbušninami a dát úřední povolení.
2. Cíle	Získat úřední povolení.
3. Měřítka	Metoda není kvantitativní.
4. Kritéria	Každé ES musí být situováno v nebezpečném pásmu slučitelném s četností nehody v posuzovaném PES.
5. Definice rizika	Metoda není kvantitativní, v úvahu se bere: <ul style="list-style-type: none"> <li>• četnost nehody,</li> <li>• závažnost následků nehody,</li> <li>• četnost (pravidelnost) pobytu v každém ES.</li> </ul>
6. Četnost	Používá se pět hodnot četnosti od P1 (méně než $10^{-4}$ nehody za rok) do P5 (více než $10^{-1}$ nehody za rok).
7. Účinky	Používá se pět nebezpečných pásem od Z1 (smrtelná zranění) po Z5 (velmi malá pravděpodobnost lehkých zranění).
8. Následky	Viz bod 7.
9. Vystavení účinkům	Každé ES je popsáno jako funkce počtu zúčastněných (přítomných) osob a odpovídajícího vystavení účinkům (11 typů).
10. Model	Metoda není kvantitativní.
11. Konsenzus	Postup schválen jako závazný pro veškeré činnosti s municí a výbušninami v civilním sektoru i ozbrojených silách.

### Německo

1. Užití	Odborné hodnocení scénářů skladování nestandardní munice.
2. Cíle	Nástroj konzistentní analýzy pro odpovědné funkcionáře ministerstva obrany k hodnocení scénářů skladování nestandardní munice.
3. Měřítko	Předpokládaná četnost události. Předpokládaný počet usmrcených při nehodě jako měřítko následků. Individuální a společenské riziko usmrcení při nehodě. Základem (srovnávacím měřítkem) pro hodnocení rizik je kumulované riziko všech druhů usmrcení při nehodách v Německu. Rizikový faktor $R_c$ má hodnotu $5 \times 10^{-4}$ .
4. Kritéria	Riziko usmrcení při nehodě nesmí pro jednotlivce zahrnuté do scénáře překročit 20 % z $R_c$ . Porovnatelné s rizikem souvisejícím s výkonem práce v chemickém průmyslu. Individuální riziko musí být menší než $1 \times 10^{-4}$ . Společenské riziko usmrcení při nehodě $R_s$ nesmí v Německu u žádné činnosti spojené se skladováním munice překročit hodnotu $1 \times 10^{-7}$ .
5. Definice rizika	Rizikový faktor = četnost události × následky události (počet usmrcených na osobu za rok). Riziko je normalizováno na německou populaci na ročním základě.
6. Četnost	Předpokládaná četnost události (počet událostí na osobu za rok) je normalizována na německou populaci na ročním základě. Na základě analýzy databáze nehod munice byla zpracována tabulka četnosti. Četnost je závislá na třídě nebezpečnosti, snášenlivosti, druhu činnosti a použitém měřítku.
7. Účinky	Smrtící účinky tlakové vlny, fragmentů, zřícení budov a tepla. Stanoví se pravděpodobnost (od 0 do 1), procentní podíl usmrcení jednotlivce účastníčoho se dílčího scénáře dané události v daném místě. Rozlišují se nechráněné, částečně chráněné a chráněné osoby a osoby uvnitř budov.
8. Následky	Stanovení předpokládaných následků události, vyjádřených v počtu usmrcených na událost, jako součtu dílčích součinů (pro jednotlivé osoby): pravděpodobnost, že nepřetržitě ohrožená osoba bude při vzniku události usmrcena × počet usmrcených osob × pravděpodobnost, že osoba je přítomná nebo ohrožená.
9. Vystavení účinkům	Počet přítomných osob × pravděpodobnost, že osoba je přítomná nebo ohrožená (od 0 do 1). Stanovení předpokládaného vystavení účinkům pro všechny osoby ve všech PES, vytvoření dílčích scénářů. Složitě, pokud je zahrnuto několik PES, pokud jsou jednotlivé osoby přítomny na různých místech v různém čase.
10. Model	Explosive Safety Quantitative Risk Assessment (ESQRA-GE).
11. Konsenzus	Koncept akceptován v rámci zřízené německé skupiny expertů. Vytvořit konsenzus s institucemi dalších států.

### Nizozemsko

1. Užití	
2. Cíle	Vyhodnotit a analyzovat individuální a společenská rizika nezúčastněných cizích osob tam, kde by nemohl být použit princip Q-D.
3. Měřítko	<u>Individuální riziko:</u> Riziko pro jednotlivé osoby, které jsou nechráněné a zdržují se na konkrétním místě 24 hodin denně, 365 dní v roce. Graficky znázorněno vrstevnicemi se stejnou hodnotou rizika. <u>Společenské riziko:</u> Riziko pro skupinu osob v daných podmínkách (např. doba vystavení účinkům, stupeň ochrany). Graficky znázorněno <i>F-N</i> křivkou zobrazující kumulativní četnost scénáře nehody a následný počet obětí.
4. Kritéria	Individuální riziko: <ul style="list-style-type: none"> <li>• pro existující situace <math>1 \times 10^{-5}</math> za rok,</li> <li>• nové situace <math>1 \times 10^{-6}</math> za rok.</li> </ul> Společenské riziko: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F \times N^2 = 1 \times 10^{-3}</math>, kde <i>N</i> je počet usmrcených a <i>F</i> četnost vzniku události za rok.</li> </ul>
5. Definice rizika	Individuální riziko na daném místě vzhledem k PES = četnost události × počet usmrcených při události. Společenské riziko: pro každý scénář výbuchu (každé PES) jsou celkový počet usmrcených osob (absolutní) v okolí a četnost vzniku události zaneseny na <i>F-N</i> křivku.
6. Četnost	Průměrná hodnota pro hlubinné skladování je $1 \times 10^{-5}$ na sklad za rok. Pro jiné podmínky se využívá výsledků studií a rozborů provedených v rámci NATO.
7. Účinky	Využívá se spojenecká publikace AASTP-1. Společnost TNO vytvořila empirické vzorce pro předpověď hustoty trosek.
8. Následky	Vlastní publikace „Green Book“ <sup>2</sup> : probit funkce, které hodnotí pravděpodobnost usmrcení konkrétním účinkem výbuchu.
9. Vystavení účinkům	Individuální riziko: 24 hodin denně, 365 dní v roce. Společenské riziko: Skutečná přítomnost osob.
10. Model	RISK-NL.
11. Konsenzus	Metodika schválena státními orgány.

### Norsko

1. Užití	Prostorové rozmístění objektů s výbušninami.
2. Cíle	Vytvořit trvalý základ pro umístění podzemních skladů výbušnin vycházející z hodnocení rizik, který doplní stávající Q-D metody.
3. Měřítko	Používá se šest měřítek: <ul style="list-style-type: none"> <li>• roční pravděpodobnost usmrcení pro jednotlivce (přímo zúčastněný zaměstnanec, nepřímo zúčastněný zaměstnanec, nezúčastněná cizí osoba),</li> <li>• roční pravděpodobnost usmrcení pro všechny osoby (přímo zúčastněné zaměstnance, nepřímo zúčastněné zaměstnance, nezúčastněné cizí osoby).</li> </ul>
4. Kritéria	Roční pravděpodobnost pro přímo zúčastněné zaměstnance, nepřímo zúčastněné zaměstnance a nezúčastněné cizí osoby je $3 \times 10^{-4}$ jako kritérium pro schválení. Roční pravděpodobnost pro nepřímo zúčastněné zaměstnance a nezúčastněné cizí osoby je $2 \times 10^{-4}$ jako kritérium pro schválení. Roční pravděpodobnost pro nezúčastněné cizí osoby je $2 \times 10^{-4}$ jako kritérium pro schválení. Roční maximální individuální pravděpodobnost pro přímo zúčastněného zaměstnance je $4 \times 10^{-5}$ . Roční maximální individuální pravděpodobnost pro nepřímo zúčastněného zaměstnance je $3 \times 10^{-6}$ . Roční maximální individuální pravděpodobnost pro nezúčastněnou cizí osobu je $2 \times 10^{-7}$ .
5. Definice rizika	Pravděpodobnost vzniku události za rok = četnost události × úmrtnost × pravděpodobnost vystavení události × součinitel averze.
6. Četnost	Stanoví se z grafů lineární závislosti na skladovaném množství výbušnin, ověřuje se porovnáním s historickými údaji.
7. Účinky	Švýcarské modely srovnatelné v rozmezí 20 % s metodami uvedenými v AASTP-1, Chapter 5.
8. Následky	Používají se švýcarské modely.
9. Vystavení účinkům	Odlíšné vstupní parametry při výpočtu individuálního rizika (maximální přítomnost) a kolektivního rizika (průměrná přítomnost). Přítomnost osob je popsána pro několik různých situací s přibližně konstantním počtem ohrožených osob.
10. Model	AMMORISK, upravován na AMRISK.
11. Konsenzus	Schválená metodika v rámci Norska. Přibližně stejný systém jako ve Švýcarsku.

### Švédsko

1. Užití	Prostorové rozmístění objektů s výbušninami.
2. Cíle	Vytvořit trvalý základ pro umístění podzemních skladů výbušnin vycházející z hodnocení rizik, který doplní stávající Q-D metody.
3. Měřítko	Pravděpodobnost usmrcení jednotlivé nezúčastněné cizí osoby za rok a předpokládané usmrcení nezúčastněných cizích osob za rok.
4. Kritéria	Pravděpodobnost vzniku události za rok musí být u individuálního rizika nezúčastněné cizí osoby menší než $1,0 \times 10^{-6}$ a u kolektivního rizika nezúčastněných cizích osob menší než $1,1 \times 10^{-4}$ .
5. Definice rizika	Pravděpodobnost vzniku události za rok = četnost události × úmrtnost × pravděpodobnost vystavení události × součinitel averze.
6. Četnost	Stanoví se z grafů lineární závislosti na skladovaném množství výbušnin, ověřuje se porovnáním s historickými údaji.
7. Účinky	Švýcarské modely srovnatelné v rozmezí 20 % s metodami uvedenými ve Swedish Fortification Handbook.
8. Následky	Používá se švýcarský model.
9. Vystavení účinkům	Odlišné vstupní parametry při výpočtu individuálního rizika (maximální přítomnost) a kolektivního rizika (průměrná přítomnost). Přítomnost osob je popsána pro několik různých situací s přibližně konstantním počtem ohrožených osob.
10. Model	AMMORISK, upravován na AMRISK.
11. Konsenzus	V rámci Švédska schválena metodika pro podzemní skladování. Spolupráce s Norskem na společném modelu.

### Švýcarsko

1. Užití	Skladování a manipulace s municí a výbušninami v rámci ozbrojených sil a vojenské správy. Prostorové rozmístění objektů s výbušninami.
2. Cíle	Zajistit bezpečnost všech činností s municí a výbušninami založenou na konzistentní metodice vycházející z hodnocení rizik. Rozhodující nástroj pro bezpečné umístění nových zařízení a povolování skladů.
3. Měřítko	Individuální riziko a vnímané kolektivní riziko. Reprezentativním měřítkem jsou smrtící účinky.
4. Kritéria	Individuální riziko – horní mezní hodnoty: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nezúčastněná cizí osoba: <math>1 \times 10^{-5}</math> za rok,</li> <li>• nepřímo zúčastněná osoba: <math>5 \times 10^{-5}</math> za rok,</li> <li>• přímo zúčastněná osoba: <math>1 \times 10^{-4}</math> za rok.</li> </ul> Vnímané kolektivní riziko – ochota platit a mezní náklady: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nezúčastněné cizí osoby: 20 mil. CHF za zachráněný život,</li> <li>• nepřímo zúčastnění zaměstnanci: 8 mil. CHF za zachráněný život,</li> <li>• přímo zúčastnění zaměstnanci: 4 mil. CHF za zachráněný život.</li> </ul>
5. Definice rizika	Individuální riziko = četnost události $\times$ úmrtnost osoby $\times$ pravděpodobnost vystavení události. Vnímané kolektivní riziko = součinitel averze $\times$ součet individuálních rizik (zjednodušeno).
6. Četnost	Pro skladování (obecně) je četnost události = $A + B \times X$ , přičemž parametry charakterizují: $A$ – typ skladu, $B$ – druhy munice, $X$ – množství munice. Pro výrobu základní systém četnosti nehod (nový, podrobnější, v současnosti v etapě vývoje).
7. Účinky	Modely pro všechny základní účinky výbuchu obsaženy v oficiálním dokumentu TLM 75/Part2. Výsledky jsou fyzikální účinky v ES. V současné době probíhá potřebná aktualizace modelů.
8. Následky	Modely pro úmrtnost osob v důsledku vzdušné tlakové (rázové) vlny obsaženy v oficiálním dokumentu TLM 75/Part2. V současné době probíhá potřebná aktualizace modelů.
9. Vystavení účinkům	V úvahu se bere skutečné ohrožení osob v časovém měřítku. Při výpočtu rizik se vychází ze situací, u kterých se předpokládá stále stejný počet osob. Tento postup ukazuje změnu rizika a maximálního počtu usmrcených předpokládaných v daném časovém úseku.
10. Model	EXPLORISK (plně kompatibilní s postupem podle TLM 75).
11. Konsenzus	Schválená metodika. Povinná pro všechny činnosti s municí a výbušninami v ozbrojených silách a vojenské správě.

### Velká Británie

1. Užití	Vyhovění zákonným předpisům. Podpora rozhodnutí managementu. Stanovení důležitosti případů nesplnění požadavků Q-D.
2. Cíle	Určit individuální rizika k prokázání shody se zákonnými předpisy. Porovnat individuální a společenská rizika pro výběr nejlepší možnosti.
3. Měřítko	Přijatelné individuální riziko pro zaměstnance a nezúčastněnou cizí osobu. Plně přijatelné individuální riziko pro zaměstnance a nezúčastněnou cizí osobu. <i>F-N</i> křivka pro společenské riziko. Předpokládaný maximální počet usmrčených.
4. Kritéria	Doporučení civilních předpisů: <ul style="list-style-type: none"> <li>• přijatelné individuální riziko pro zaměstnance menší než <math>1 \times 10^{-3}</math> za rok,</li> <li>• přijatelné individuální riziko pro nezúčastněnou cizí osobu menší než <math>1 \times 10^{-4}</math> za rok,</li> <li>• plně přijatelné individuální riziko menší než <math>1 \times 10^{-6}</math> za rok.</li> </ul>
5. Definice rizika	Různé – podle nejjednodušší definice je individuální riziko součinem četnosti a úmrtnosti.
6. Četnost	Vyhledání v tabulce běžných skladů. Vytvořeno na základě historických údajů a odborného posouzení povahy skladu a náchylnosti k nežádoucím událostem.
7. Účinky	Zpravidla nepoužíváno, v případě potřeby se využívá AASTP-1.
8. Následky	Používají se horní meze – ne průměrné/předpokládané hodnoty. Údaje o smrticích účincích pum z 2. světové války. Střepinový účinek munice. Výpočty záření ohnivé koule. Zkušební údaje o troskách budov (sekundární fragmenty). Kritérium 80 J pro smrticí účinek fragmentu.
9. Vystavení účinkům	V úvahu se berou podíly času stráveného uvnitř a vně budovy. Vystavení účinkům v souvislosti s četností. Přechodné vystavení účinkům se vypočítá jako poměrná část celkové hodnoty.
10. Model	RISKWING version 9 (září 2000).
11. Konsenzus	Schváleno v rámci ministerstva obrany. Civilní regulátor monitoruje výsledky.

**USA**

1. Užití	Prostorové rozmístění objektů s výbušninami.
2. Cíle	Stanovit konzistentní podklad pro rozmísťování objektů s výbušninami založený na hodnocení rizik jako doplněk existujících metod Q-D.
3. Měřítko	Používají se čtyři měřítka – roční pravděpodobnost usmrcení pro jednotlivou osobu (zúčastněnou a nepřímo zúčastněnou / nezúčastněnou) a roční předpokládanou úmrtnost pro všechny osoby (zúčastněné a nepřímo zúčastněné / nezúčastněné).
4. Kritéria	Pravděpodobnost usmrcení: <ul style="list-style-type: none"> <li>• u skupiny přímo zúčastněných zaměstnanců menší než <math>1 \times 10^{-3}</math> za rok, nad <math>1 \times 10^{-2}</math> za rok připustit pouze v případě závažného státního zájmu,</li> <li>• u skupiny nepřímo zúčastněných zaměstnanců / nezúčastněných cizích osob menší než <math>1 \times 10^{-5}</math> za rok, nad <math>1 \times 10^{-3}</math> za rok připustit pouze v případě závažného státního zájmu,</li> <li>• u přímo zúčastněného zaměstnance menší než <math>1 \times 10^{-4}</math> za rok,</li> <li>• u nepřímo zúčastněného zaměstnance / nezúčastněnou cizí osobu menší než <math>1 \times 10^{-6}</math> za rok.</li> </ul>
5. Definice rizika	Principiálně: pravděpodobnost usmrcení za rok = část doby, po kterou jsou přítomné osoby a výbušniny × faktory prostředí × pravděpodobnost události × pravděpodobnost usmrcení daná dějem a vystavením účinkům × vystavení osob účinkům výbuchu vycházející z počtu osob přítomných v objektu během roku a počtu hodin, po které je ES obsazeno. Tato metoda vyhodnocuje riziko a související nejistotu.
6. Četnost	Tabulky četnosti vytvořené z historických údajů (15 let) od pozemích sil, námořnictva, letectva a námořní pěchoty.
7. Účinky	Konsezuální metody vypracované mezinárodním kolektivem.
8. Následky	Konsezuální metody vypracované mezinárodním kolektivem.
9. Vystavení účinkům	V úvahu se bere počet osob, počet hodin přítomnosti v ES za rok a část doby, po kterou jsou přítomné osoby a výbušniny.
10. Model	Safety Assessment for Explosives Risk (SAFER).
11. Konsenzus	Vytvořena široká shoda mezi úřady USA a dalších států.



## 8. Analýza rizik vztahujících se k bezpečnosti výbušnin

Kvantitativní hodnocení rizik (QRA) je relativně novou a neexaktní vědní disciplínou. Účelem této kapitoly je podrobněji představit přijaté metody kvantitativní analýzy rizik souvisejících s výbušninami. Kromě rizikových analytiků může však být užitečná i pro vedoucí pracovníky a rozhodovací orgány. QRA a s ním spojená kritéria kombinují vědecké a politické faktory, přičemž prvořadé jsou ze své podstaty faktory vědecké. Proto se další části této kapitoly snaží zdokumentovat stávající metody a posunout problematiku směrem k mezinárodní dohodě. Nicméně kritéria používaná v jednotlivých zemích odrážejí kulturní a politická specifika, z jejichž pohledu není konsenzus potřebný nebo vhodný.

Jako základní měřítko rizika je zpravidla přijímána úmrtnost (počet usmrčených na událost za časovou jednotku, nejčastěji za rok) či pravděpodobnost usmrcení. Riziko usmrcení může být měřeno pro jednotlivou osobu (individuální riziko) nebo pro skupinu osob (kolektivní riziko). Rozdělení skupin do různých kategorií bylo zmíněno již v úvodu kapitoly 7 tohoto standardu. Kolektivní riziko bývá také označováno jako skupinové. Jako postup pro výpočet skupinového rizika se využívá součet individuálních rizik. Je pozoruhodné, že i osoby s velmi nízkým individuálním rizikem se mohou spojit do skupiny se závažným kolektivním rizikem, pokud je jejich počet vysoký (např. dopravní zácpa v blízkosti PES).

V některých zemích se používá tzv. součinitel averze vyjadřující skutečnost, že některé společenské skupiny více znepokojuje jedna nehoda s velkým počtem usmrčených než více nehod s celkově stejným počtem mrtvých. K vyjádření těchto obav může být při hodnocení rizik použit součinitel averze. Numerická řešení pro součinitele averze jsou diskutována v článku 8.5.

### 8.1 Stanovení četnosti nežádoucích událostí

Stanovení pravděpodobnosti budoucí nežádoucí události bývá nejobtížnější a nejproblematičtější částí analýzy rizik. Přestože se používá mnoho metod, dvě z nich lze označit jako nejčastější. Je to metoda historická, u které se předpověď budoucnosti využívá historie podobných událostí, a analytická (jako je např. strom poruchových stavů), kde jsou vyhodnoceny a shrnuty všechny složky přispívající ke vzniku nežádoucí události.

#### 8.1.1 Historická metoda

Historická metoda obsahuje dva kroky. V prvním se z historických údajů stanoví pro nežádoucí událost její základní četnost. Ve druhém je základní četnost upravena tak, aby odpovídala podmínkám hodnocení. Tuto úpravu je možno provést různými metodami zahrnujícími analýzu a odborné posouzení. Většina zemí v současné době používá koncepci analýzy rizik s různými variantami historické metody.

#### 8.1.2 Analytická metoda

Analytická metoda představuje snahu definovat a kvantifikovat všechny potenciální scénáře, které vedou k nežádoucí události. V závislosti na složitosti a množství scénářů, které může událost vytvořit, bývají využívány koncepce stromu událostí nebo stromu poruchových stavů.

Pro určení četnosti iniciace výbušnin mohou být použity standardní metody analýzy základních činností, které by mohly vést k iniciaci.

### 8.1.3 Metodiky a omezení stanovení četnosti událostí

#### 8.1.3.1 Velká Británie

Základem metodiky stanovení četnosti je využití záznamů o požárech a výbuších ve skladech výbušnin za období od roku 1945 a následné úpravy beroucí v úvahu přirozené rozdíly v druhu a balení výbušného materiálu uloženého v jednotlivých skladech.

Úpravy jsou zpravidla založeny na posudcích odborníků v oblasti citlivosti munice k iniciačním podnětům. Veškeré výpočty četnosti se vztahují jen na nadzemní sklady a není brán ohled na množství výbušnin nebo munice. Výchozí vstupní údaje o četnosti se získají z databází standardních kategorií rizika při skladování a kategorií rizika procesů. Provedou se úpravy těchto základních výpočtů četnosti, které odrážejí:

- neobvyklé zvláštnosti lokality, např. budovy bez ochrany proti bleskům,
- vliv vnějších nebezpečí jako pádů letadel nebo přepravy nebezpečného zboží v bezprostředním okolí,
- vliv přepravy výbušnin kolem lokality,
- možnost úmyslného poškození,
- možné vlivy v důsledku šíření účinků výbuchu mezi přilehlými budovami.

Výsledky prací v oblasti využití analýzy stromu poruchových stavů při skladování a manipulaci s výbušninami jsou shrnuty v souboru obecných a specifických stromů poruchových stavů. Tato metodika je součástí počítačového programu SWIFT. V primárně používaném modelu RISKWING je však využita historická metoda.

#### 8.1.3.2 Švýcarsko

Při výpočtu pravděpodobnosti výbuchu v muničním skladu jsou brány v úvahu následující parametry:

- typ skladu (nadzemní, nakrytý zeminou, mělce zapuštěný, podzemní),
- množství skladované munice (hrubá hmotnost v tunách),
- protipožární systém (pouze pro munici neschopnou hromadného výbuchu),
- další parametry (v současnosti se rozpracovávají).

Obvyklý vzorec pro výpočet pravděpodobnosti události  $p_E$  má obecný tvar  $p_E = A + B \times X$ . Model předpokládá, že výbuch může být způsoben vnějšími nebo vnitřními příčinami.

Člen  $A$  charakterizuje vnější vlivy působící na bezpečnost munice, mezi něž patří:

- typ konstrukce skladu (lehká, prefabrikovaná, železobetonová apod.),
- podmínky vnějšího prostředí (např. blesky nebo padání skal),
- systémy detekce požáru,
- protipožární systémy,
- kvalita technického zařízení,
- faktory ovlivňující bezpečnost jako:
  - hrozba sabotáže a teroristické akce (v mírové době),
  - vliv bezpečnostních opatření.

Člen *A*, obecně řečeno, popisuje stupeň vnější ochrany skladované munice, tedy všechny faktory nesouvisející s hmotností materiálu. Je definován jako konstanta nebo základní pravděpodobnost pro každý typ skladu.

Člen *B* slouží k posouzení vlivů, které souvisí s bezpečností a zevnitř působí na výbušniny takovým způsobem, že to může vést k výbuchu. Vlivy zahrnují:

- korozi rozněcovadel,
- rozklad hnací hmoty,
- nestabilitu pyrotechnických materiálů,
- další vlivy.

Dále jsou zahrnuty všechny faktory, které mají přímý vztah k celkové hmotnosti skladované munice, jako je např. rozsah manipulačních činností nebo nestabilita hranic s municí.

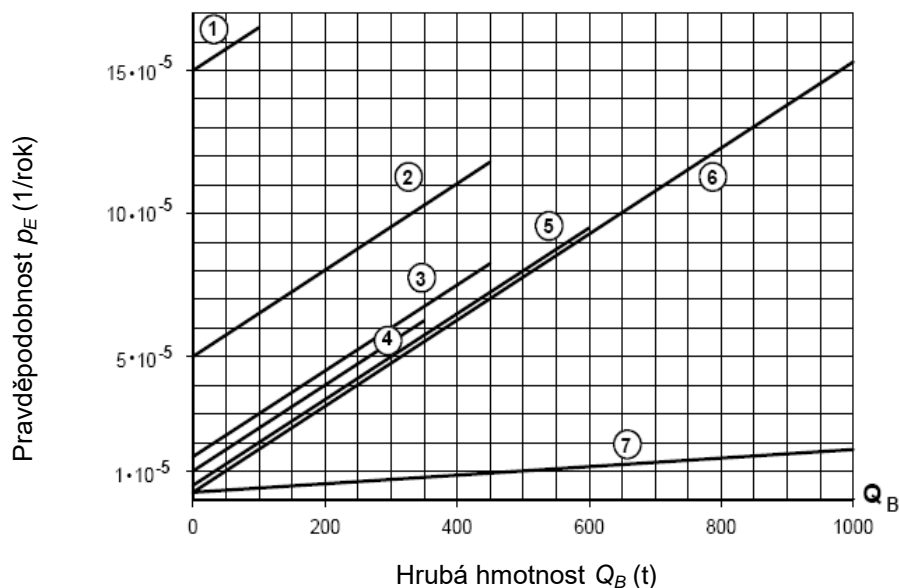
Člen *B* je specifická hodnota pro jednu tunu munice (hrubá hmotnost), nezávislá na místě skladování, a určuje sklon přímky  $p_E$ .

Člen *X* se vztahuje k celkovému množství skladované munice v jednom PES a uvádí se v tunách hrubé hmotnosti.

Obrázek 3 ilustruje typické hodnoty  $p_E$  jako funkce *A*, *B* a *X*.

Použití této metody je omezeno na:

- společné skladování,
- dlouhodobé skladování,
- řádně zabalenou schválenou municí,
- obvyklou četnost manipulace.



- ① Jednoduchý prefabrikovaný sklad  
 $1,5 \times 10^{-4} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ② Zděný sklad  
 $5 \times 10^{-5} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ③ Železobetonový sklad  
 $1,5 \times 10^{-5} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ④ Železobetonový sklad nakrytý zeminou  
 $1,0 \times 10^{-5} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ⑤ Železobetonový zapuštěný sklad  
 $5 \times 10^{-6} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ⑥ Podzemní sklad ve skále, munice nebezpečná hromadným výbuchem a neschopná hromadného výbuchu  
 $2,5 \times 10^{-6} + 1,5 \times 10^{-7} \times Q_B$
- ⑦ Podzemní sklad ve skále, munice neschopná hromadného výbuchu, zvláštní bezpečnostní opatření  
 $2,5 \times 10^{-6} + 1,5 \times 10^{-8} \times Q_B$

**OBRÁZEK 3 – Švýcarská metoda pro stanovení  $p_E$**

### 8.1.3.3 Švédsko

Švédsko v současné době pracuje na metodě, která bude pro stanovení pravděpodobnosti události využívat historickou koncepci. Dále uvedený text vychází z návrhu této metody.

Pravděpodobnost události  $p_e$

Pravděpodobnost se vypočítá z rovnice

$$p_e = p_b \times f_{I1} \times f_{I2} \times f_{I3} \times f_{R1} \quad (7)$$

kde  $p_e$  je pravděpodobnost události (1/rok),  
 $p_b$  - základní pravděpodobnost (1/rok),

- $f_{I1}$  - koeficient pro četnost navážení/vyvážení (1),
- $f_{I2}$  - koeficient pro citlivou munici (1),
- $f_{I3}$  - koeficient pro vnější ohrožení od vozidel a sousedících PES (1),
- $f_{R1}$  - koeficient pro střežení / stálý dozor (1).

Při výpočtu pravděpodobnosti události  $p_e$  se vychází ze základní pravděpodobnosti  $p_b$ , která se zvyšuje nebo snižuje v závislosti na příslušných koeficientech.

#### Základní pravděpodobnost $p_b$

Základní pravděpodobnost je použitelná na muniční sklady, kde:

- všechna skladiště odpovídají patřičným standardům pro skladování výbušnin (včetně požadavků na elektrická a strojní zařízení a na manipulační prostředky),
- management má odpovídající a doložitelnou způsobilost pro zavádění bezpečné výrobní praxe (pracovních postupů),
- je prováděn odpovídající dozor a kontrola na pracovištích,
- je skladována pouze schválená munice, a to správným způsobem a podle skupin snášenlivosti.

Pro sklady, u kterých jsou splněny výše uvedené požadavky, se použijí následující hodnoty pravděpodobností:

- u podzemních skladů ve skále  $p_b = 5 \times 10^{-6}$ ,
- u nadzemních skladů  $p_b = 5 \times 10^{-5}$ ,
- u polních skladů  $p_b = 5 \times 10^{-4}$ .

#### **Koeficienty zvyšující základní pravděpodobnost ( $f_I$ )**

##### Četnost navážení/vyvážení, $f_{I1}$

Pro sklady, u kterých je počet plnění a vyprázdnění vysoký – větší než dvacet ročně – a hmotnost obměněné munice za rok je větší než 30 % maximálního přípustného množství pro daný sklad a zároveň větší než deset tun, je hodnota  $f_{I1} = 3$ .

##### Citlivá munice, $f_{I2}$

Bude teprve určeno.

##### Vnější ohrožení od vozidel a sousedících PES, $f_{I3}$

Pokud v okolí skladu probíhá přeprava výbušných předmětů anebo existuje možnost jeho zasažení prostředky pozemní nebo letecké dopravy, pak  $f_{I3} = 3$ .

#### **Koeficienty snižující základní pravděpodobnost ( $f_R$ )**

##### Střežení / stálý dozor, $f_{R1}$

Pro sklady zabezpečené střežením / stálým dozorem je  $f_{R1} = 0,3$ .

#### 8.1.3.4 USA

USA využívají historickou metodu. Pravděpodobnosti událostí vycházejí z údajů shromážděných ministerstvem obrany za deset let a jsou zdokumentovány v tabulce  $P_e$  jako funkce druhu činnosti. V metodě je zahrnuto skladování, jakož i další práce s municí. Korekce výchozích pravděpodobností událostí  $P_e$  vycházejí z rozlišení druhů výbušnin a rozmanitosti faktorů vnějšího prostředí. Matice pravděpodobností událostí je znázorněna na obrázku 4. Prvky v matici se zde skládají ze skupin snášenlivosti. Definice skupin snášenlivosti lze nalézt např. v dokumentu ministerstva obrany DoD 6055.9-STD<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Department of Defense Standard DoD 6055.09-STD. DoD Ammunition and Explosives Safety Standards. 2008.

Primární využití PES	Korekční faktory	Pravděpodobnost události (na PES za rok)												
		$1 \times 10^6$	$3 \times 10^6$	$1 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$1 \times 10^4$	$3 \times 10^4$	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$3 \times 10^1$	
Spalování/ demilitarizace/ ničení/ likvidace	A1, A2, A8, B1, B2							III	II			I		
Kompletace/ delaborace/ údržba/revize	A1, A4, A5, A8, B1, B2						III	II		I				
Laboratoře/ zkušební/ výcvik	A1, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4						III	II		I				
Výroba	A4, A5									Všechny				
Kontrola/ lakování/balení	A1, A2, B1, B2					III	II		I					
Navážení/ vyvážení	A1, A2, B1, B2, B3, B4					III	II		I					
Tranzitní skladování (hodiny až několik dnů)						III	II	I						
Krátkodobé skladování (1 den až 1 měsíc)				III	II	I								
Dlouhodobé skladování (1 měsíc -)	A1, A2		III		I, II									

Korekční faktory	
<p>A. Vynásobení <math>P_e</math> koeficientem 10 (dva sloupce doprava) pro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. operace na podporu válečných akcí mimo území USA,</li> <li>6. operace s nebezpečnými nepoužitelnými položkami určenými ke zničení,</li> <li>7. prvotní zkoušky nových systémů,</li> <li>8. operace prováděné v nebezpečných prostředích s plyny, vlákny apod.,</li> <li>9. operace vyžadující dálkové ovládání,</li> <li>10. činnosti související s dočasným přidělením během cvičení / mimořádných situací / bojové pohotovosti,</li> <li>11. operace při doplňování munice do letadel v polních podmínkách,</li> <li>12. operacích s výbušninami vystavenými vlivům prostředí.</li> </ol>	<p>B. Vynásobení <math>P_e</math> koeficientem 3 (jeden sloupec doprava) pro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. skladování na volném prostranství / operace na volném prostranství obvykle prováděné uvnitř objektu,</li> <li>2. činnosti v trvalé posádce během cvičení/mimořádných situací/bojové pohotovosti,</li> <li>3. vyčkávací prostory letišť,</li> <li>4. činnosti související s dočasným přidělením v mírové době.</li> </ol>

Prvky matice	Skupina snášenlivosti
I	L, A, B, G, H, J, F C D, E, N
II	
III	

**OBRÁZEK 4 – Matice pravděpodobnosti událostí (USA)**

### 8.1.3.5 Nizozemsko

Začátkem 80. let minulého století vypracovalo Nizozemsko studii s cílem pro kvantitativní analýzu rizik stanovit četnost náhodného výbuchu v PES. Byla použita historická metoda využívající dostupné údaje o nehodách v některých zemích NATO z období let 1960 až 1980. Studie ukázala, že četnost se pohybuje v mezích mezi  $1 \times 10^{-5}$  až  $1 \times 10^{-6}$  na jeden sklad za rok. Přitom však neobsahovala dostatečné údaje pro definování všech specifických situací při skladování. Byl zvolen konzervativní přístup a jako standard pro provádění kvantitativní analýzy rizik byla použita hodnota četnosti  $1 \times 10^{-5}$  na jeden sklad za rok.

Posouzení dostupných mezinárodních studií v roce 1998 ukázalo, že pravděpodobnost náhodného výbuchu je závislá na mnoha parametrech, jako je typ skladovacího objektu, druh činnosti s výbušninami, skupina snášenlivosti, NEQ apod. Na tomto základě bylo rozhodnuto definovat nové standardní hodnoty pravděpodobnosti události  $P_e$  pro některé vybrané situace – viz tabulka 5.

**TABULKA 5 – Standardní hodnoty pravděpodobnosti události v Nizozemsku**

Činnost	Standardní hodnota $P_e$ (na objekt za rok)
Běžné skladování	$1 \times 10^{-5}$
Uložení ve vozidle v místě pro skladování	$1 \times 10^{-4}$
Práce s municí v dílně	$1 \times 10^{-3}$

Pro jiné situace, než jsou uvedeny výše, se pro stanovení četnosti nečekané události používá odborné posouzení. Standardní hodnoty  $P_e$  pro běžné skladování a uložení ve vozidle v místě pro skladování jsou založeny na trvalé přítomnosti munice, kdežto pro dílny vycházejí z osmihodinové přítomnosti v pracovních dnech. Obecně má být pro zakalkulování přítomnosti munice při stanovení četnosti události použit časový činitel (faktor).

### 8.1.3.6 Norsko

V roce 1985 zahájilo Norsko kvantitativní analýzu rizik studií, z níž na základě historických údajů vyplynula předpokládaná četnost události  $5 \times 10^{-5}$ . Významnost některých nehod zahrnutých do této studie je pro běžné využití diskutabilní, protože některé nehody se staly během cvičení a ostrých střelb a některá zahrnutá munice už není pro dnešní munici reprezentativní. Cílem však je využití analýzy rizik i pro skladování v polních podmínkách a existuje pouze málo důkazů naznačujících, že by se nehody s modernějším materiálem nestaly. Pokud je doplněna statistika za posledních 25 let, předpokládaná četnost nehody klesne na  $3 \times 10^{-5}$ .

V roce 1996 byl realizován pokus o více analytickou koncepci beroucí v úvahu různé zdroje četnosti. Studována byla četnost požárů, protože se předpokládalo, že požár lesa nebo elektrického zařízení by mohl způsobit požár v objektech s výbušninami. Byly zkoumány i odvrácené nehody a škody na skladovaném materiálu v důsledku nehod při manipulaci. V úvahu byla vzata i hrozba sabotáží. Studie doporučovala, aby předpokládaná četnost nehody byla v řádu  $1 \times 10^{-6}$  pro nadzemní sklady munice a aby příspěvek od nebezpečí požáru měl stejnou velikost jako od manipulace. Velikost vlivu otřesů země po pádu letadla či meteoritu byl shledán o tři až čtyři řády nižší. Z provedených studijních prací však nebyla publikována žádná zpráva.



Byly provedeny zkoušky skladování v polních podmínkách při mírových operacích, z nichž vyplynula četnost události pro dané okolnosti řádově  $5 \times 10^{-4}$ .

Nesmí však být ignorována vazba mezi četnostmi nehod a přijatelnými následky, proto nakonec byla vytvořena kritéria rizik pro skladování předpokládající četnost nehod takovou, jaká byla zmíněna v úvodním odstavci tohoto článku.

Norsko v současné době používá model AMMORISK, který je odvozen od švýcarského modelu. Při zavedení metodiky AMMORISK byl rovněž převzat švýcarský způsob stanovení četnosti nehod. To je přijatelné, protože modelem vytvořené hodnoty  $p_e$  jsou doloženy historickými statistikami.

Základní rysy metodiky AMMORISK:

- v úvahu se bere typ skladu, druh a množství skladované munice,
- pro stanovení četnosti se používá funkce  $p_e = A + B \times Q_G$ , kde  $Q_G$  je hrubá hmotnost munice ve skladu, hodnoty členů  $A$  a  $B$  jsou dány tabulkou 6.

**TABULKA 6 – Parametry  $p_e$  pro AMMORISK**

Typ PES	Běžná kombinace různých tříd nebezpečnosti		Pouze trhavinu bez rozněcovadel nebo hnacích hmot	
	$A$	$B$	$A$	$B$
Nadzemní, neodolné vůči ohni	$A = 1 \times 10^{-4}$	$B = 1 \times 10^{-7}$	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1,5 \times 10^{-7}$
Nadzemní, betonový	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1 \times 10^{-7}$	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1,5 \times 10^{-7}$
Nakrytý zeminou	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1 \times 10^{-7}$	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1,5 \times 10^{-7}$
Podzemní	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1 \times 10^{-7}$	$A = 1 \times 10^{-5}$	$B = 1,5 \times 10^{-8}$

### 8.1.3.7 Německo

V Německu nebyla k dispozici historická databáze o náhodných výbuších. Protože podrobné údaje o druzích skladované munice neexistují, je využívána četnost události  $F_e$ , stanovená důsledně podle kritérií přijatelnosti rizik:

- nadzemní betonové sklady  $F_e = 4 \times 10^{-5}$ ,
- sklad nakrytý zeminou  $F_e = 4 \times 10^{-5}$ ,
- ocelové kontejnery, neodolné vůči ohni  $F_e = 4 \times 10^{-5}$ .

Protože údaje o použití daného typu PES a druhu skladované munice jsou k dispozici, Německo převzalo matici pravděpodobnosti událostí z USA (viz čl. 8.1.3.4).

### 8.1.4 Souhrn

Při použití výše popsaných metod by výsledné pravděpodobnosti událostí mohly nabývat hodnot dle tabulky 7. Údaje pro USA jsou bez využití korekčních faktorů a jejich rozdílnost v důsledku různých skupin snášenlivosti je pak znázorněna v matici na obrázku 4.

**TABULKA 7 – Porovnání pravděpodobností událostí**

<b>Podmínky skladování</b>	<b>Švýcarsko</b>	<b>Švédsko</b>	<b>Norsko</b>	<b>USA</b>
Dlouhodobé, NEQ 500 kg, přístřešek	$5,5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$	od $3 \times 10^{-6}$ do $3 \times 10^{-5}$
Dlouhodobé, NEQ 100 000 kg, přístřešek	$1,2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	od $3 \times 10^{-6}$ do $3 \times 10^{-5}$
Krátkodobé, NEQ 5 000 kg nakládací rampa	$1 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	od $1 \times 10^{-5}$ do $1 \times 10^{-4}$
Polní podmínky, NEQ 4 000 kg, otevřené prostranství (ISO kontejner)	Nestanoveno	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	Není k dispozici

Uvedené údaje jsou pouze příklady, metody jednotlivých zemí jsou ve vývoji, vzájemně se poněkud liší a srovnání se může změnit.

## 8.2 Účinky výbuchu a jejich charakteristiky

Hodnocení nežádoucích následků je druhým hlavním členem v rovnici rizika. Toto hodnocení může být uskutečněno postupem v jednom nebo ve dvou krocích. Jednostupňová koncepce znamená přímé stanovení nežádoucích následků, kdežto dvoustupňová zahrnuje výpočet fyzikálních účinků výbuchu v prvním kroku a prognózu vzniklých následků v kroku druhém.

Důsledkem výbuchu nálože ve vzduchu nebo na povrchu terénu jsou některé primární účinky, které mají být vzaty v úvahu: tlaková (rázová) vlna, fragmenty (střepiny a trosky), vznik kráteru, otřesy země a tepelné účinky.

Tlaková vlna zahrnuje dva děje, které po sobě následují ve velmi rychlém sledu. Nejprve rázová vlna působí na okolí přetlakovou fází, která je většinou okamžitě následována fází dynamického tlaku. Při výbuchu v dokonale uzavřeném (utěsněném) prostoru, jako je kobka nebo komora, dochází k odrazům rázové vlny, které postupně, především v důsledku přestupu tepla, odeznívají za vzniku prakticky statického tlaku nazývaného tlakové maximum plynů nebo kvazistatický tlak.

Fragmenty vznikající při výbuchu lze dle jejich původu obecně rozdělit na dva druhy: primární (střepiny) a sekundární (trosky). Primární fragmenty jsou výsledkem tříštění většinou kovových plášťů (např. kotlů, zásobníků nebo těl munice), které jsou v bezprostředním kontaktu s výbušninou. Mají zpravidla malé rozměry, rychlost jejich rozletu je řádově v tisících metrů za sekundu a mohou mít smrtící účinek ve velké vzdálenosti od místa výbuchu. Sekundární fragmenty jsou trosky či úlomky z konstrukcí a jiných předmětů v blízkosti výbuchu. Zpravidla jsou větší než střepiny, s menším doletem a pohybují se rychlostí stovek metrů za sekundu.

Při výbuchu může dojít také ke vzniku kráteru, při nadzemním však jen v omezeném rozsahu. O specifických rysech podzemních výbuchů je pojednáno v dalším textu této kapitoly.

Otřesy země vznikají přenosem energie výbuchu do podloží, přičemž může dojít k místním pohybům země nebo objektů v okolí.

Tepelné účinky jsou zpravidla spojeny s ohnivou koulí vytvářenou výbuchem. Kromě ohnivé koule mohou vznikat i žhavé oharky, jejichž rozmetání kolem místa výbuchu může způsobit druhotné požáry.

### 8.2.1 Tlaková vlna

V této části standardu jsou uvedeny číselné konstanty (hodnoty veličin) používané pro kvantifikaci tlakové vlny. Některé konstanty jsou odvozeny přizpůsobením křivky grafické závislosti empirickým údajům. Přizpůsobení takových křivek empirickým údajům v rozmezí  $\pm 1\%$  se považuje za zanedbatelnou chybu, protože sledované účinky tlakové vlny se mohou měnit v rozsahu  $\pm 20\%$ .

#### 8.2.1.1 Tritolová ekvivalence

Ekvivalentní hmotnost energetického materiálu je hmotnost standardní výbušniny, zpravidla tritolu (TNT), nezbytná k vytvoření rázové vlny stejné velikosti. Daný výbuchový děj nebo energetický materiál může mít několik ekvivalencí založených na maximálním tlaku, pozitivním impulzu, doby příchodu apod. Nejčastěji se používá maximální tlak a pozitivní impulz, údaje o ostatních většinou nejsou k dispozici a musí být aproximovány.

Pokud nejsou dostupné ani ekvivalence změřené, ani vypočítané z výbuchového tepla, použije se pro přepočítání hmotnosti neznámé trhaviny na tritolový ekvivalent součinitel 1,4. Vzdálenost je úměrná třetí odmocnině z hmotnosti nálože trhaviny, a tak užití součinitele 1,4 prodlouží vzdálenost o 12 %.

#### 8.2.1.2 Parametry tlakové vlny

Empirické rovnice zvolené pro přizpůsobení parametrů tlakové vlny mají tvar

$$P = \frac{\exp(A + B \times [\ln(Z)] + C \times [\ln(Z)]^2 + D \times [\ln(Z)]^3 + E \times [\ln(Z)]^4 + F \times [\ln(Z)]^5 + G \times [\ln(Z)]^6)}{G \times [\ln(Z)]^6} \quad (8)$$

kde  $P$  je parametr představující dopadající tlak (kPa) nebo korigovaný dopadající impulz ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1/3}$ ),

$Z$  - korigovaná vzdálenost ( $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$ ),

$A$  až  $G$  - koeficienty charakterizující konkrétní situace.

Koeficienty jsou uvedeny v tabulkách 8 a 9 pro následující situace:

- vzdušný výbuch s kulovou tlakovou vlnou (Situace 1),
- pozemní výbuch TNT s polokulovou tlakovou vlnou (Situace 2),
- zasažení čelní (Situace 3), boční (Situace 4) a zadní (Situace 5) části skladu nakrytého zeminou,
- zasažení čelní (Situace 6), boční (Situace 7) a zadní (Situace 8) části zodolněného úkrytu letounu 3. generace – přizpůsobení křivky je platné pouze pro nálože o hmotnosti od 454 kg do 4 450 kg),
- nadzemní zděný sklad (Situace 9),

- skladování v polních podmínkách s využitím ISO kontejnerů (Situace 10).

V tabulkách 8 a 9 jsou uvedena i rozmezí korigovaných vzdáleností  $Z$ , ve kterých jsou rovnice platné.

**TABULKA 8 – Koeficienty pro stanovení dopadajícího tlaku**

Situace	Dopadající tlak $P_i$ (kPa)							Rozmezí $Z$ (m . kg <sup>-1/2</sup> )
	A	B	C	D	E	F	G	
1	6,86944	-2,32414	-0,19443	0,32038	-0,08784	0,00741	0	100 > $Z$ > 0,5
2	7,2106	-2,1069	-0,3229	0,1117	0,0685	0	0	2,9 > $Z$ > 0,2
	7,5938	-3,0523	0,40977	0,0261	-0,01267	0	0	23,8 > $Z$ ≥ 2,9
	6,0536	-1,4066	0	0	0	0	0	200 > $Z$ ≥ 23,8
3	7,60320	-2,28717	-0,34671	0,27438	-0,05391	0,00342	0	200 > $Z$ > 2
4	5,65556	-1,16400	0,0310	-0,0849	0,0210	-0,00148	0	200 > $Z$ > 2
5	5,55581	-1,47687	0,14494	-0,08519	0,01745	-0,00118	0	200 > $Z$ > 2
6	6,74564	-3,43978	1,19089	-0,27983	0,02705	-0,000775	0	200 > $Z$ > 2
7	4,78553	-1,12467	0,65052	-0,42828	0,10795	-0,01221	0,00051	200 > $Z$ > 2
8	4,89075	-2,38031	0,99542	0,22572	-0,39263	0,10861	-0,00911	150 > $Z$ > 2
9	5,45200	-0,99884	-0,00831	-0,10244	0,03395	-0,00309	0	200 > $Z$ > 2
10	5,83234	-1,51269	0,06441	-0,14988	0,09232	-0,02043	0,00151	200 > $Z$ > 2

**TABULKA 9 – Koeficienty pro stanovení korigovaného dopadajícího impulzu**

Situace	Korigovaný dopadající impulz $I_i$ (Pa . s . kg <sup>-1/3</sup> )							Rozmezí Z (m . kg <sup>-1/3</sup> )
	A	B	C	D	E	F	G	
1	5,16229	-2,33327	-	-	-	-4,30338	0	0,8 > Z > 0,3
	5,16375	-0,97607	0,12871	-0,08068	0,01982	-0,00185	0	100 > Z ≥ 0,8
2	5,522	1,117	0,6	-0,292	-0,087	0	0	0,96 > Z > 0,2
	5,465	-0,308	-1,464	1,362	-0,432	0	0	2,38 > Z ≥ 0,96
	5,2749	-0,4677	-0,2499	0,0588	-0,00554	0	0	33,7 > Z ≥ 2,38
	5,9825	-1,062	0	0	0	0	0	200 > Z ≥ 33,7
3	5,53479	0,33024	-0,75499	-1,37476	0,49382	0,61154	0	2,75 > Z > 2
	5,62485	-0,24113	-0,67326	0,16600	-0,0113	-0,00029	0	200 > Z ≥ 2,75
4	4,18666	0,13752	0,07539	-0,25647	0,06233	-	0	200 > Z > 2
5	4,12726	-0,14319	0,08072	-0,22432	0,05761	0,004407	0	200 > Z > 2
6	3,75091	-0,97675	0,37086	0,29580	-0,26003	0,05843	-0,00418	200 > Z > 2
7	3,45402	0,02604	0,56412	-0,39380	0,06772	-0,00146	-0,00034	200 > Z > 2
8	3,52683	-1,14471	0,84063	0,25150	-0,44908	0,12797	-0,01093	150 > Z > 2
9	4,07383	0,28465	-0,17419	-0,12288	0,04138	-0,00354	0	200 > Z > 2
10	4,38578	-0,16832	-0,10118	-0,17265	0,08861	-0,01657	0,00109	200 > Z > 2

### 8.2.1.3 Vlivy pláště (obalu) nálože

Doplnění nálože výbušniny o plášť rozšiřuje varianty jejího fungování a působení z hlediska tlakové vlny. Dodatečné proměnné, které by mohly být významné, jsou: hmotnost pláště, vlastnosti materiálu jako houževnatost či hustota, síla stěny pláště, vlastnosti výbušniny jako detonační rychlost a hustota a tvar nálože. Výzkumné práce však naznačují, že zdánlivé vlivy pláště na snížení efektivní hmotnosti výbušniny by měly být zanedbány, protože dosud nejsou dostatečně vysvětleny.

### 8.2.1.4 Kulová a nekulová geometrie

Většina výbušných prostředků má nekulovou geometrii. U nekulového tvaru nevstupuje rázová vlna do okolního vzduchu jako kulová vlna ani ve stejném okamžiku z celého povrchu nálože. Tvar a intenzita rázové vlny závisí jak na geometrii nálože, tak na místě iniciace. Parametry tlakové vlny nebudou jen funkcí hmotnosti nálože a radiální vzdálenosti, ale i směru a případně vertikálního úhlu jejího šíření. Pro charakteristiku nekulových tvarů neexistují snadno stanovitelné „korekční faktory“<sup>6,7,8</sup>.

<sup>6</sup> REISLER, R. E. et al. *Air Blast Parameters from Pentolite Cylinders Detonated on the Ground*. BRL Memorandum Report No. 2471, 1975.

<sup>7</sup> GUERKE, G.; SCHEKLINSKI-GLUCK, G. *Blast Parameters from Cylindrical Charges Detonated on the Surface of the Ground*. Norfolk: Minutes of the 20<sup>th</sup> DoD Explosives Safety Seminar, 1982.

<sup>8</sup> PLOOSTER, M. N. *Blast Effects from Cylindrical Charges: Experimental Measurements*. NWC TP 6382, 1982.

### 8.2.1.5 Vlivy terénu

Charakteristiky tlakové vlny se mění s měnícími se terénními prvky, jako jsou např. svahy nebo údolí. Velikost tlaků bude obecně vzrůstat, když vlna dopadne na stoupající svah nebo když se šíří údolím se souběžnými nebo sbíhajícími se stranami. V opačných případech budou zase tlaky klesat<sup>9,10,11</sup>.

### 8.2.1.6 Výbuchy v uzavřeném prostoru

Výbuchy v uzavřeném prostoru, ke kterým dochází uvnitř objektů, mají zpravidla velmi složitý průběh závislosti tlaku na času. Ačkoli takové komplexní zatížení nemůže být přesně předpovězeno, byly vypracovány aproximace, které jej jsou schopny určit s dobrou shodou. V uzavřeném prostoru dochází k několikanásobnému odrazu rázových vln. Při určitých uspořádáních a při omezených plochách vnitřního povrchu může intenzita odražených vln narůstat, ale před opětovným dopadem na stěny, podlahu nebo strop výrazně slábne.

Jevy při výbuchu v utěsněné nebo dokonale uzavřené komoře či kobce byly zmíněny v úvodu článku 8.2.

Typické modelové situace zahrnují reakce konstrukce před redukcemi, ke kterým může dojít v důsledku přestupu tepla; zatížení je tudíž kvazistatické (dlouhá doba trvání, ale použito pro jeden okamžik). Tabulka 10 uvádí koeficienty pro rovnici (9), která popisuje stanovení kvazistatického tlaku (QSP) pro TNT jako funkci náplňové hustoty (Q/V). Grafické vyjádření vztahu je patrné z obrázku 5. Náplňová hustota je definována jako celková hmotnost energetického materiálu dělená objemem komory. Data byla získána použitím programu BLASTX.

$$QSP = \exp(A + B \times [\ln(Q/V)] + C \times [\ln(Q/V)]^2 + D \times [\ln(Q/V)]^3 + E \times [\ln(Q/V)]^4 + F \times [\ln(Q/V)]^5) \quad (9)$$

kde QSP je kvazistatický tlak (kPa),  
Q/V - náplňová hustota (kg . m<sup>-3</sup>),  
A až F - koeficienty charakterizující danou situaci.

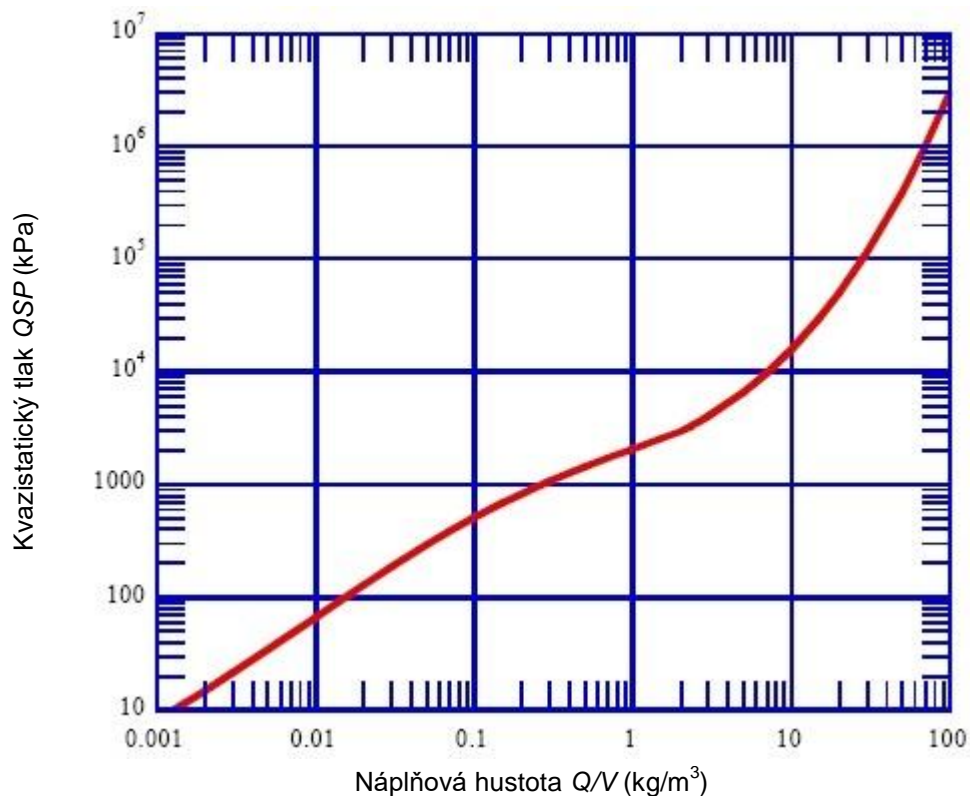
**TABULKA 10 – Koeficienty pro kvazistatický tlak TNT**

Q/V (kg/m <sup>3</sup> )	A	B	C	D	E	F
600,0005 < Q/V < 2,4	7,62687	0,50982	0,0029737	0,03037	0,0051921	0,0002525
2,4 ≤ Q/V < 200	7,58930	0,45790	0,15145	0,01676	0,0001171	0,0001577

<sup>9</sup> KAPLAN, K. *Effects of Terrain on Blast Prediction Methods and Predictions*. BRL Contract Report ARBRL-CR-00364, 1978.

<sup>10</sup> KEEFER, J. H.; DAY, J. *Terrain Effects on Blast Wave Parameters*. BRL Report No. 1319, 1966.

<sup>11</sup> BULMASH, G. et al. *Terrain Effects on Shock Waves As Measured Using a 1 : 1 300 Scale Model of Reiteralpe Proving Ground*. BRL-MR-3711, 1988.



**OBRÁZEK 5 – Kvazistatický tlak TNT**

Pro výpočet kvazistatického tlaku u jiných energetických materiálů musí být jejich hmotnost přepočítána na ekvivalentní tritolovou nálož. Tato ekvivalentní hmotnost je funkcí náplňové hustoty. Kvazistatické ekvivalenty pro některé výbušniny jsou uvedeny v tabulce 11. Další lze nalézt ve výchozí spojenecké publikaci AASTP-4, Ed. 1, Part II, článek 3.1.6.

**TABULKA 11 – Kvazistatické ekvivalenty vybraných výbušnin**

Q/V (kg/m <sup>3</sup> )	ANFO	Comp. A-3	Comp. B	Comp. C4	Cyclotol 70/30	H-6	HBX-1	HBX-3	Bezd. prach M1
0,005	0,30	0,86	0,82	0,83	0,76	1,13	1,11	1,28	0,82
0,007	0,28	0,84	0,79	0,81	0,73	1,13	1,11	1,30	0,81
0,01	0,27	0,82	0,77	0,79	0,71	1,13	1,11	1,33	0,79
0,02	0,26	0,80	0,75	0,77	0,69	1,15	1,12	1,38	0,78
0,03	0,26	0,80	0,75	0,77	0,69	1,15	1,13	1,40	0,77
0,05	0,28	0,82	0,77	0,79	0,71	1,16	1,14	1,40	0,78
0,07	0,29	0,84	0,78	0,81	0,73	1,17	1,15	1,40	0,79
0,1	0,31	0,86	0,81	0,83	0,76	1,17	1,16	1,38	0,80
0,2	0,37	0,93	0,88	0,90	0,84	1,18	1,17	1,33	0,83
0,3	0,41	0,98	0,93	0,96	0,90	1,17	1,17	1,28	0,85
0,5	0,48	1,04	1,01	1,03	0,99	1,17	1,17	1,22	0,89
0,7	0,54	1,09	1,06	1,08	1,05	1,16	1,16	1,17	0,91
1	0,60	1,14	1,11	1,13	1,12	1,15	1,15	1,12	0,94
2	0,74	1,23	1,21	1,23	1,25	1,12	1,12	1,02	0,99
3	0,82	1,27	1,27	1,29	1,32	1,09	1,09	0,97	1,01
5	0,93	1,32	1,32	1,34	1,40	1,06	1,05	0,92	1,03
7	1,00	1,34	1,35	1,37	1,44	1,04	1,03	0,89	1,05
10	1,06	1,35	1,36	1,39	1,46	1,01	0,99	0,87	1,05
20	1,15	1,33	1,35	1,38	1,46	0,97	0,93	0,84	1,05

### 8.2.1.7 Odraz tlakových vln

Tlakové vlny se často odrážejí od objektů, které se nacházejí na jejich trase. Odražená vlna má menší amplitudu než neodražená, ale za jistých okolností může významně přispět k potenciálnímu nebezpečí<sup>11,12,13,14,15</sup>.

#### Kolmý odraz

Dopadne-li rázová vlna čelně na pevný povrch, dojde k náhlému ukončení pohybu částic na vlnoploše. Důsledkem je, že tyto částice mají určitou rychlost vztaženou k částicím vzdálenějším od povrchu, které jsou ještě v pohybu. Tato rychlost je stejně velká, ale má opačnou orientaci v porovnání s původní rychlostí částic; výsledkem je

<sup>12</sup> BAKER, W. E. et al. *Explosion Hazards and Evaluation*. Amsterdam: Elsevier Scientific Pub. Co., 1983.

<sup>13</sup> SWISDAK, M. M. *Explosion Effects and Properties: Part I – Explosion Effects in Air*. NSWCMOL/TR 75-116, 1975.

<sup>14</sup> Department of the Army Technical Manual TM5-1300, Department of the Navy Publication NAVFAC P-397, Department of the Air Force Manual AFM 88-22, Revision 1. Design of Structures to Resist the Accidental Effects of Explosions. 1990.

<sup>15</sup> GLASSTONE, S.; DOLAN, J. *The Effects of Nuclear Weapons*. U. S. department of Defense and Department of Energy, 1977.



vznik nového čela rázové vlny pohybujícího se zpět prostředím. Toto nové nebo odražené čelo rázové vlny vykazuje tutéž rychlost částic jako dopadající, ale jinak jsou jejich charakteristiky dost odlišné, protože se pohybují různým prostředím. Tento odraz se nazývá kolmým.

Ke kolmému odrazu dochází, má-li úhel dopadu vlny vzhledem k odrazové ploše hodnotu  $0^\circ$ . Je-li úhel dopadu  $90^\circ$ , nedojde k žádnému odrazu a na povrch působí pouze přetlak. Při úhlu mezi  $0^\circ$  a  $90^\circ$  nastává buď zrcadlový nebo Machův odraz.

#### Zrcadlový (šikmý) a Machův odraz

Dopadne-li rázová vlna na odrazný povrch pod určitým úhlem dopadu, vytvoří se odražená vlna, která je funkcí intenzity rázu a úhlu dopadu (intenzita rázu je tlak působící při dopadu dělený tlakem okolního prostředí). Pro danou hodnotu odraženého tlaku existuje limitní hodnota úhlu dopadu. Nad touto hodnotou dochází spíše k Machovu odrazu, než k odrazu zrcadlovému. Pro vzduch má tento úhel hodnotu přibližně  $40^\circ$ . Při Machově odrazu dostihne odražená vlna dopadající vlnu v určitém bodě nad odraznou plochou a vytvoří se třetí vlnoplocha nazývaná Machova vlna. Místo splynutí těchto tří se nazývá trojný bod. Důsledkem vzniku Machovy vlny může být vytvoření většího přetlaku než při zrcadlovém odrazu.

#### Koeficienty odrazu

Tabulky 12 a 13 obsahují hodnoty koeficientů odrazu v závislosti na úhlu dopadu pro dopadající tlak a dopadající impulz. Tabulka 7 uvádí koeficienty odrazu pro maximální tlak, kde vstupní podmínky jsou určeny pomocí úhlu dopadu a přetlakového poměru (poměr dopadajícího tlaku  $P_i$  k tlaku okolního prostředí  $P_0$  ve stejných jednotkách měření). Tabulka 8 ukazuje obdobné informace pro odražený impulz. V tomto případě jsou však vstupními údaji úhel dopadu a korigovaný boční nebo dopadající impulz v  $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1/3}$ .

**TABULKA 12 – Koeficienty pro odražený tlak**

Úhel (°)	Dopadající poměrný tlak ( $P/P_0$ )							
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	1,00	2,00	3,00
0	2,04	2,08	2,17	2,25	2,40	2,75	3,33	3,80
5	2,04	2,08	2,17	2,25	2,40	2,75	3,33	3,79
10	2,04	2,08	2,16	2,24	2,39	2,73	3,30	3,76
15	2,04	2,08	2,16	2,24	2,38	2,71	3,26	3,70
20	2,04	2,08	2,15	2,23	2,37	2,69	3,22	3,63
25	2,04	2,08	2,15	2,22	2,36	2,67	3,17	3,56
30	2,04	2,08	2,15	2,22	2,35	2,65	3,13	3,50
35	2,04	2,08	2,15	2,23	2,36	2,66	3,13	3,49
40	2,04	2,09	2,17	2,25	2,41	2,79	3,51	3,95
45	2,05	2,10	2,21	2,32	2,60	3,17	2,58	2,97
50	2,06	2,13	2,30	2,59	2,72	2,53	2,11	2,28
55	2,09	2,21	2,57	2,88	2,63	2,06	1,78	2,05
60	2,14	2,42	2,57	2,63	2,11	1,72	1,53	1,64
65	2,28	2,54	2,49	2,06	1,72	1,47	1,34	1,33
70	2,61	2,54	1,91	1,65	1,44	1,29	1,21	1,27
75	2,61	1,91	1,49	1,35	1,24	1,16	1,11	1,13
80	1,77	1,39	1,21	1,15	1,10	1,07	1,05	1,07
85	1,19	1,10	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,03
90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**TABULKA 13 – Koefficienty pro odražený impulz**

Úhel (°)	Korigovaný dopadající impulz (Pa . s . kg <sup>-1/3</sup> )						
	9,68	36,13	42,83	55,69	66,95	88,07	150,12
0	1,55	1,92	2,02	2,17	2,30	2,52	2,97
5	1,53	1,93	1,99	2,18	2,34	2,50	2,88
10	1,52	1,95	1,99	2,20	2,39	2,47	2,80
15	1,50	1,99	2,02	2,24	2,45	2,52	2,85
20	1,46	1,96	1,99	2,21	2,47	2,46	2,65
25	1,36	1,93	1,98	2,19	2,51	2,46	2,58
30	1,26	1,88	1,96	2,15	2,54	2,46	2,51
35	1,16	1,82	1,93	2,10	2,56	2,43	2,43
40	1,08	1,77	1,90	2,03	2,57	2,38	2,35
45	1,04	1,72	1,86	1,95	2,57	2,31	2,26
50	1,03	1,69	1,82	1,88	2,56	2,22	2,17
55	1,00	1,66	1,77	1,80	2,56	2,14	2,09
60	1,00	1,63	1,70	1,74	2,56	2,05	2,02
65	1,00	1,57	1,61	1,68	2,57	1,97	1,96
70	1,00	1,49	1,51	1,62	2,60	1,88	1,89
75	1,00	1,40	1,43	1,54	2,17	1,76	1,78
77,5	1,00	1,36	1,40	1,50	2,13	1,69	1,70
80	1,00	1,30	1,36	1,45	2,13	1,63	1,59
82,5	1,00	1,23	1,32	1,41	2,25	1,58	1,47
85	1,00	1,14	1,28	1,38	1,83	1,64	1,38

### 8.2.1.8 Tlaková vlna v podzemních skladech

Při výbuchu v podzemní komoře vzniká velký přetlak, který se uvolňuje tlakovou vlnou směrem do chodby. Rázová vlna se šíří chodbou nadzvukovou rychlostí, přičemž stěna chodby je zatěžována bočním přetlakem. Vlna při svém cestě postupně ztrácí energii, která je pohlcována stěnou, což vede ke vzniku „povrchové vlny“ šířící se dále horninou (zeminou). V případě dlouhé chodby může být tímto způsobem předáno významné množství energie.

Velké množství energie výbuchu bude přenášeno prostřednictvím plynů proudících chodbou, které jsou schopny ničit zabudované příslušenství a strhávat uvolněný materiál. Proud se skládá ze vzduchu, výbuchových zplodin a v případě dohořívání těchto zplodin i z plamene.

Charakteristiky tlakové vlny se při jejím průchodu vstupní částí chodby podstatně mění. Čelo rázové vlny se u vstupu rozšiřuje ve všech směrech. Je-li rychlost proudu podzvuková a v chodbě stále existuje přetlak, pak se od vstupu směrem do chodby šíří nově vzniklá vlna zředění. Ta dodatečně urychluje proud plynů snižováním přetlaku.

Ve vnějším prostředí ve vzdálenosti zhruba deset průměrů chodby od vstupu existuje oblast, kde dochází k rychlému poklesu velikosti a doby trvání bočního přetlaku, ale ke zvýšení rychlosti proudění.

### Tlak v podzemním prostoru

Úroveň tlakové vlny v podzemním prostoru je vyjádřena jako funkce prostorového uspořádání a velikosti (průměrů, objemů, délek apod.) skladu a chodbového systému a předpokládaného věrohodného děje s maximálními důsledky. Přibližnou hodnotu maximálního tlaku  $P_e$  je možno určit s použitím rovnice

$$P_e = C_1 \times (Q/V)^{C_2} \quad (10)$$

kde  $P_e$  je maximální tlak v podzemním prostoru (kPa),  
 $Q/V$  - náplňová hustota ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  
 $C_1, C_2$  - empirické konstanty odvozené z experimentálních údajů pro každé konkrétní uspořádání.

Typické nalezené hodnoty pro  $C_1$  jsou mezi 500 až 1 500, pro  $C_2$  mezi 0,4 až 0,6.

Maximální tlak pro sklad bez expanzní komory se určí z rovnice

$$P_e = 1640 \times (Q/V_T)^{0,54} \times (D_T/D_C)^{0,24} \quad (11)$$

a pro sklad s expanzní komorou z rovnice

$$P_e = 560 \times (Q/V_T)^{0,54} \quad (12)$$

kde  $P_e$  je maximální tlak v podzemním prostoru (kPa),  
 $Q$  - hmotnost výbušnin (kg),  
 $V_T$  - celkový objem posuzovaného podzemního prostoru ( $\text{m}^3$ ),  
 $D_T$  - hydraulický průměr chodby mimo komoru s municí (m),  
 $D_C$  - hydraulický průměr komory s municí (m).

### Tlak v podzemním prostoru pro skladovací místa s napojenou komorou

Pro komoru, která je na hlavní chodbu napojena vedlejší chodbou, může být pro získání hodnoty maximálního tlaku v jednoduchém případě použita rovnice

$$P_e = 1\,000 \times \left(\frac{Q \times X_{\pm}}{V_{\Sigma}}\right)^{0,55} \times \left(\frac{A_B}{A_T}\right)^{0,61} \quad (13)$$

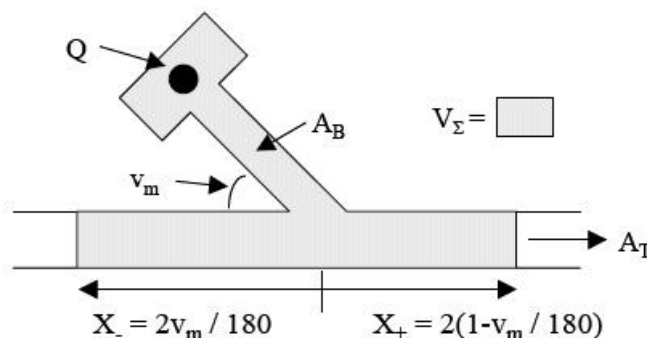
platná pro interval  $0,2 \leq \left[\frac{Q \times X_{\pm}}{V_{\Sigma}}\right] \leq 40$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), kde  $X_+ = 2 \times (1 - v_m/180)$

a  $X_- = v_m/90$ ) a

kde  $P_e$  je maximální statický tlak v podzemním prostoru (kPa),  
 $Q$  - hmotnost výbušnin (kg),  
 $X_{\pm}$  - distribuční faktor v kladném ( $X_+$ ) a záporném ( $X_-$ ) směru hlavní chodby (1),  
 $v_m$  - úhel vedlejší chodby vzhledem k hlavní chodbě ( $^{\circ}$ ),  
 $V_{\Sigma}$  - celkový objem, který je k dispozici pro expanzi plynů, zahrnující skladovací a expanzní komoru, vedlejší a hlavní chodbu ( $\text{m}^3$ ),

- $A_B$  - plocha průřezu vedlejší chodby ( $m^2$ ),  
 $A_T$  - plocha průřezu hlavní chodby ( $m^2$ ).

Schematicky je uspořádání znázorněno na obrázku 6.



**OBRÁZEK 6 – Schéma uspořádání skladu s napojenou komorou**

### 8.2.1.8.1 Tlaková vlna vně muničního skladu umístěného ve skále

V následujícím textu jsou použity níže uvedené symboly, přičemž jednotky v závorkách platí, pokud není přímo v textu uvedeno jinak:

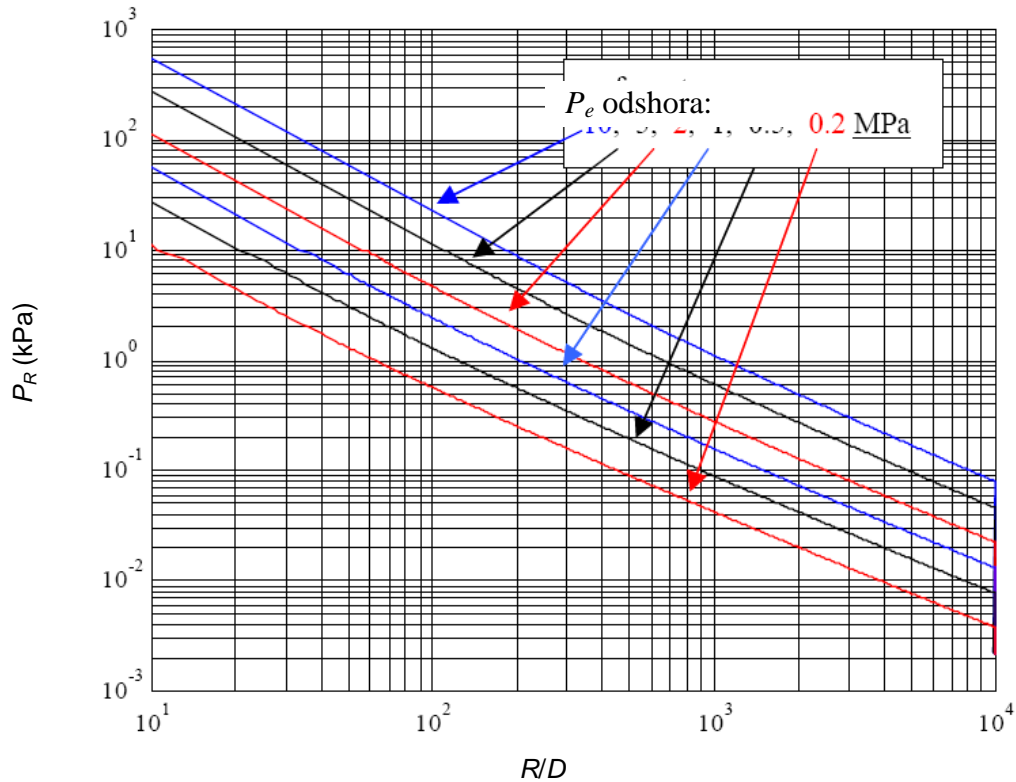
- |           |   |                       |
|-----------|---|-----------------------|
| $A$       | - plocha průřezu chodby v místě vstupu                            | ( $m^2$ ),            |
| $a_0$     | - rychlost zvuku za normálních podmínek                           | ( $\approx 340$ m/s), |
| $D$       | - „průměr“ ústí definovaný vztahem $D = (4 \times A/\pi)^{1/2}$   | (m),                  |
| $F$       | - směrový korekční faktor pro tlak                                | (1),                  |
| $H$       | - výška tlumicí překážky  | (m),                  |
| $I$       | - impulz  | (Pa . s),             |
| $L$       | - vzdálenost za tlumicí překážkou                                 | (m),                  |
| $P_e$     | - statický čelní tlak (boční) v chodbě                            | (kPa),                |
| $P_0$     | - tlak okolního prostředí   | (kPa),                |
| $P_R$     | - statický čelní tlak (boční) ve vzdálenosti $R$ a pro $v = 0$    | (kPa),                |
| $P_{R,v}$ | - statický čelní tlak (boční) ve vzdálenosti $R$ a pro $v \neq 0$ | (kPa),                |
| $q$       | - dynamický tlak  | (kPa),                |
| $R$       | - vzdálenost od podzemního prostoru                               | (m),                  |
| $v$       | - odklon od prodloužené středové osy                              | ( $^\circ$ ).         |

Intenzita tlakového rázu vně chodby vedoucí k podzemnímu skladu výbušnin, ve kterém došlo k výbuchu, je určen parametry  $P_e$ ,  $D$  a geometrií vně chodby.

Pokud se týká geometrie vně podzemního prostoru, bude probrán případ s tlumicí překážkou (ochranným valem, stěnou), kdežto vliv svahů, zalesnění apod. bude ponechán bez komentáře. Tyto další konfigurace musí být hodnoceny na základě charakteristik konkrétního místa.

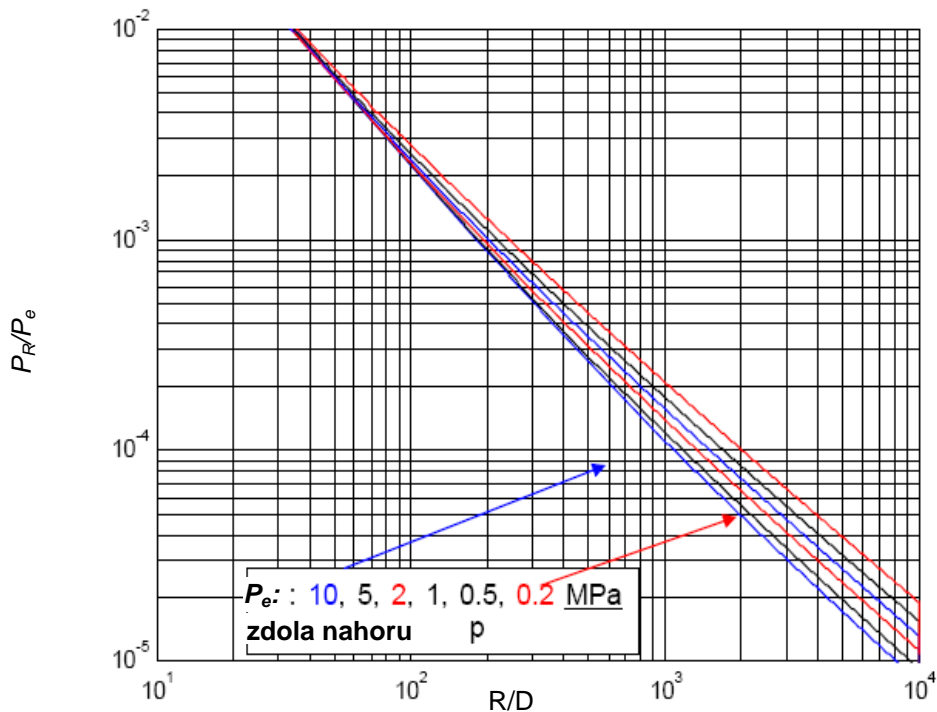
#### Tlak, bez tlumicí překážky, ve směru prodloužené středové osy

Obrázek 7 znázorňuje slábnutí bočního tlaku na prodloužené středové ose.



**OBRÁZEK 7 – Závislost  $P_R$  na  $R/D$  pro různé  $P_e$**

Na obrázku 8 je ukázán pokles poměru  $P_R/P_e$  na prodloužené středové ose. Pro extrapolaci na kratší vzdálenosti (až do hodnoty  $R/D = 5$ ) může být použit empirický vzorec  $P_R/P_e = 1,24 \times (R/D)^{-1,35}$ .



**OBRÁZEK 8 – Závislost  $P_R/P_e$  na  $R/D$  pro různé  $P_e$**

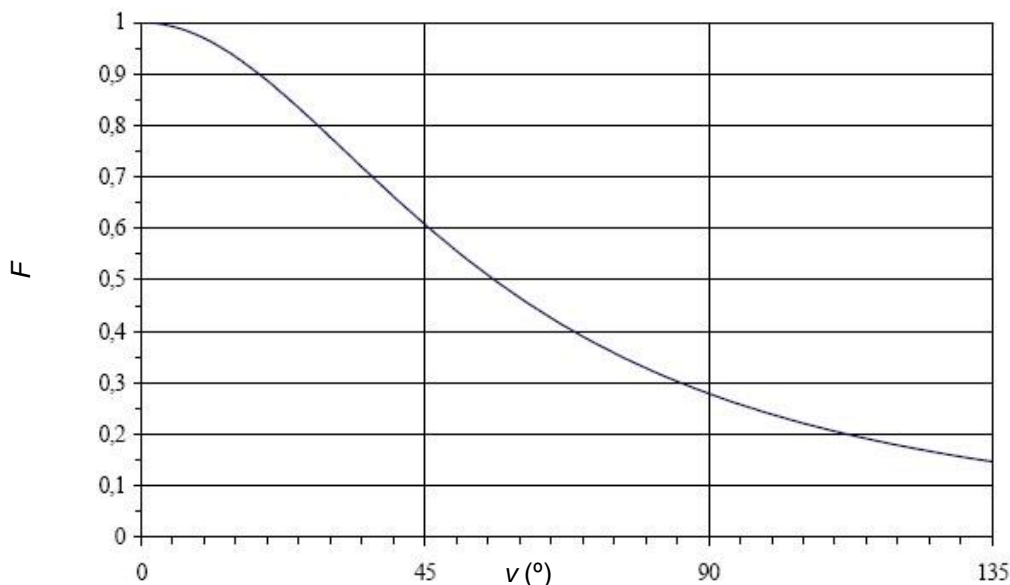
### Tlak, bez tlumicí překážky, jiné směry

Pro  $v \neq 0$  se tlak  $P_R$  stanovený výše pro směr prodloužené středové osy vynásobí faktorem  $F$ , tedy

$$P_{R,v} = F \times P_R \quad (14)$$

$$\text{kde } F = \frac{1}{1 + (v / 56^\circ)^2}.$$

Graficky je závislost  $F$  na  $v$  znázorněna na obrázku 9.



**OBRÁZEK 9 – Koeficient pro směry s  $v \neq 0$**

### Tlak, tlumicí překážka

Kvantitativní měřítko vlivu tlumicí překážky nemůže být stanoveno obecně, ale vliv musí být vyhodnocen na základě charakteristik konkrétního místa.

Tlumicí překážka zásadním způsobem ovlivňuje velikost tlaku pouze do vzdálenosti za překážkou dané vztahem  $L/H = 5$ .

Tlumicí překážka přeměruje tlakovou vlnu. To znamená, že tlak nad chodbou a po straně překážky může být vyšší než v případě absence překážky.

### Dynamický tlak

V malé vnější vzdálenosti od chodby převažuje dynamický tlak  $q$  nad statickým tlakem  $P_R$ . Ale ve vzdálenostech  $R/D > 10$  je dynamická složka zpravidla bezvýznamná a může být určena pomocí vztahu (hodnoty tlaku vyjádřeny v kPa)

$$\frac{q}{P_R} = \frac{0,025P_R}{0,01P_R + 7} \quad (15).$$

### Proud plynů

Kromě dynamického tlaku rázové vlny vychází z chodby velmi silný proud plynů, který se skládá ze shořelých a neshořelých plynů produkovaných výbuchem.

Tento proud plynů způsobuje velké dynamické zatížení s dlouhou dobou působení u konstrukcí v prodloužené středové ose chodby nebo v její blízkosti. Kromě toho je

proud plynů zodpovědný za urychlení a přenos trosek tunelem a do okolí zařízení. Navíc mohou být plyny toxické a neshořelé se mohou při opuštění východu z podzemního prostoru zažehnout a vyvolat tak tepelné ohrožení blízkých objektů.

O fyzikálních vlastnostech takových proudů plynů je známo velmi málo. Proto je obtížné vytvořit předpovědní vzorce pro tento účinek výbuchu. Přibližný údaj o rozsahu proudu může být stanoven z maximální velikosti viditelného oblaku plynů po výbuchu (bude např. zahrnuto do švýcarského předpisu TLM 2002).

### Impulz

Pro vzdálenou oblast ( $R/D > 100$ ) může být přibližná hodnota bočního impulzu  $I$  (v Pa . s) vypočítána z rovnice

$$I = \frac{D \times P_0}{a_0} \times \left( 3,61 \frac{P_e}{P_0} \right)^{1,8} \times \left( \frac{R}{D} \right)^{-1,7} \quad (16).$$

### Dohořívání, dým a plyny

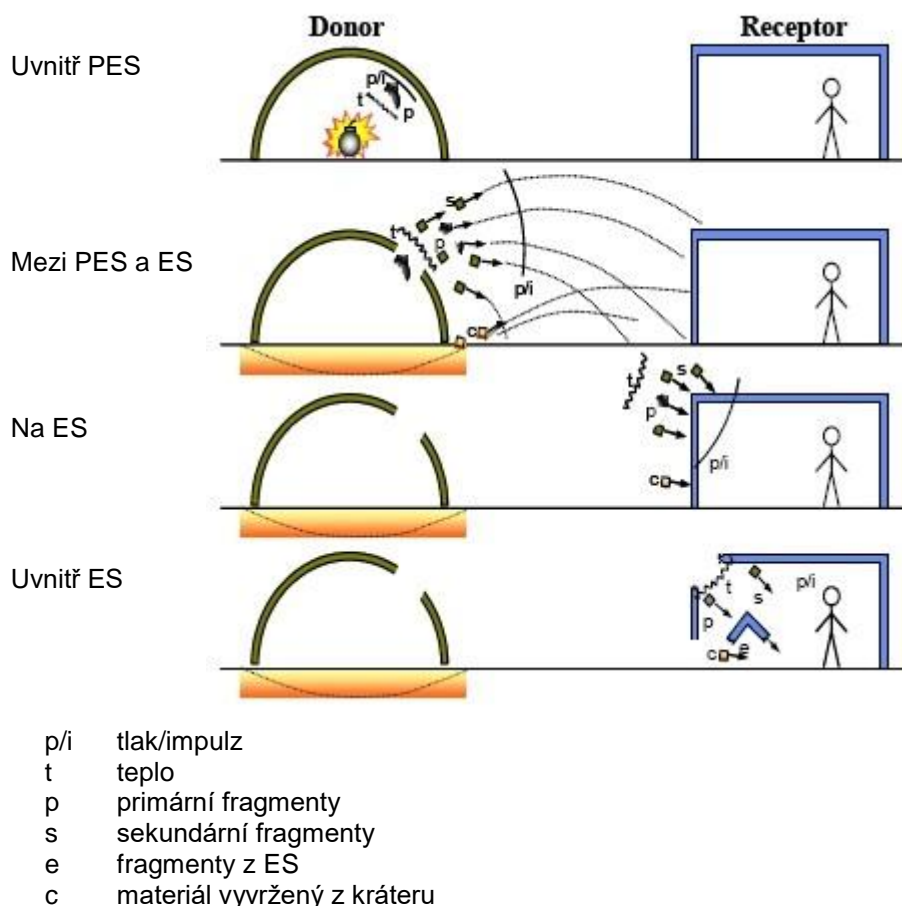
Dohořívání, dým a plyny mohou mít za následek další problémy pro budovy a osoby v blízké oblasti. Zkoušky a nehody ukazují, že maximální velikost oblaků plynů je přibližně stejná jako vzdálenost, na kterou dopadnou nebezpečné trosky s četností jeden kus na čtvereční metr.

#### **8.2.2 Fragmenty a trosky**

V zemích NATO se využívá více způsobů modelování účinků fragmentů a trosek. V této části standardu je pro ilustraci šíře používaných postupů podrobněji popsáno několik vybraných metod. Pro primární a sekundární fragmenty a pro trosky jsou to dvě metody: britská RISKWING a americká SAFER; pro materiál vyvržený z kráteru opět americká SAFER. Pro trosky z podzemních prostor a krycí vrstvy podzemních skladů jsou popsány švýcarské metody.

Problém může být z důvodu mnoha fyzikálních faktorů, ovlivňujících charakteristiky trosek, řešen mnoha metodami. Na obrázku 10 jsou znázorněny fyzikální účinky přetlaku, impulzu, zřícení budovy, rozletu fragmentů a tepla, které jsou všechny brány v úvahu při stanovení pravděpodobnosti usmrcení ohrožených osob. Na straně donoru vede výbuch k tvorbě primárních a sekundárních fragmentů a v některých případech i k vyvržení materiálu z kráteru. Veškeré fragmenty a trosky mohou být rozříděny do skupin podle materiálu, velikosti, rychlosti a úhlu dráhy letu. Tyto parametry mohou být využity pro stanovení balistického koeficientu. Během středního úseku letu určuje hmotnost, čelní plocha a balistický koeficient dráhu, konečnou rychlost a místo dopadu. V místě receptoru (ES) mohou být pro stanovení kinetické energie použity dopadová rychlost a hmotnost. Může být vypočítána hustota fragmentů, vyhodnoceny jejich odrazy a předpovězeno proražení stropu a zdí. K získání pravděpodobnosti zásahu ES může být porovnána velikost ES s hustotou fragmentů. Nakonec lze posoudit účinky dopadu fragmentů. Pro kontrolu („kalibraci“) každé fáze analýzy je vhodné využít srovnání celkových výsledků analýzy se skutečnými údaji.





**OBRÁZEK 10 – Fyzikální faktory přispívající k účinkům trosek**

### 8.2.2.1 Primární a sekundární fragmenty

V této části se pod pojmem primární fragmenty rozumějí fragmenty pocházející z výbušného předmětu (tj. střepiny) a jeho obalu, pod pojmem sekundární fragmenty pak fragmenty pocházející z konstrukce objektu s výbušninami.

#### 8.2.2.1.1 Metoda RISKWING (Velká Británie) pro zděný sklad výbušnin s příčnými nosníky a NEQ od 500 kg do 20 000 kg

Pokud dojde ve zděném skladu k havarijnímu výbuchu uvnitř uskladněných výbušnin, mohou být velké fragmenty (trosky) zdi a stropu (střechy) vrženy na vzdálenost několika stovek metrů. Pro stanovení četnosti dopadů fragmentů budovy na řadu cílových objektů byla vypracována zde uváděná poloempirická metoda.

#### Kritéria pro proražení budov fragmenty

Před stanovením pravděpodobnosti usmrcení osob v budově je nezbytné určit kritéria pro proražení budov fragmenty.

Pro proražení železobetonu tvrdým ocelovým projektilem s rovným čelem byl publikován<sup>16</sup> níže uvedený vztah. Protože zde uvažované projektily jsou složeny ze zdiva a jsou proto podstatně citlivější k rozpadu či rozdrčení při dopadu, použití této rovnice představuje konzervativní předpoklad. Rovnice má tvar

<sup>16</sup> BARR, P. *Guidelines for the Design and Assessment of Concrete Structures Subject to Impact*. AEA Technology Report, 1990.

$$v_c = 1,3\rho^{1/6} \times f_{cv}^{0,5} \times \left[ \frac{p \times e^2}{\pi \times m} \right]^{2/3} \times (r + 0,3)^{0,5} \quad (17)$$

kde  $v_c$  je kritická rychlost pro střelu těsně před dokončením průrazu (m/s),

$\rho$  - hustota betonu ( $\text{kg/m}^3$ ),

$f_{cv}$  - mez pevnosti v tlaku betonu (Pa),

$e$  - tloušťka betonu (m),

$m$  - hmotnost projektilu (kg),

$r$  - míra vyztužení (= 0 pro žádné vyztužení) (1).

Zpomalení lze stanovit na základě využití energetické rovnováhy: vstupní KE fragmentu se rovná konečné KE fragmentu plus KE vytlačeného válce plus energii spotřebované při tvorbě otvoru, tedy

$$0,5m_1v_1^2 = 0,5m_1v_2^2 + 0,5m_2v_2^2 + E_h \quad (18)$$

kde  $m_1$  je hmotnost fragmentu (kg),

$m_2$  - hmotnost vytlačeného válce (kg),

$v_1$  - vstupní rychlost fragmentu (m/s),

$v_2$  - konečná rychlost fragmentu a vytlačeného válce (m/s),

$E_h$  - energie spotřebovaná při tvorbě otvoru (J).

Jednotlivý fragment, pohybující se kritickou rychlostí pro proražení, právě jen prorazí materiál překážky. To znamená, že fragment prorazí materiál bez zbytkové rychlosti. Energie  $E_h$  tudíž může být stanovena s použitím vztahu

$$E_h = 0,5m_1v_c^2 \quad (19)$$

kde  $v_c$  je kritická rychlost pro proražení (m/s).

Rovnice zpomalení tedy je

$$0,5m_1v_1^2 = 0,5m_1v_2^2 + 0,5m_2v_2^2 + 0,5m_1v_c^2$$

a z ní

$$v_2 = \sqrt{\frac{m_1 \times (v_1^2 - v_c^2)}{(m_1 + m_2)}}.$$

O typických britských obydlích se předpokládá, že to jsou krychle o stranách 6,1 m s průměrnou plochou oken 7,4 m<sup>2</sup> na stěnu (u dvoupodlažních domů se plocha oken rozdělí rovnoměrně na horní a dolní patro). Použití výsledků modelu fragmentů pro nadzemní budovu u budov s většími rozměry nebo rozsáhlejší plochou oken bude znamenat, že konzervatismus, zabudovaný do modelu při stanovení pravděpodobností usmrcení, může být narušen a při takovém použití je nutná zvýšená opatrnost.

### Proražení zdí

Z důvodu absence rovnic pro proražení zděných konstrukcí byl jako náhrada cihlové zdi zvolen nevyztužený beton o tloušťce 16,4 cm. To představuje nominální tloušťku cihly (23 cm) dělenou součinitelem 1,4 pro zakalkulování skutečnosti, že cihlu lze snadněji prorazit než beton.

Předpokládá se, že fragment prorazí okno se zanedbatelnou ztrátou energie. Ačkoliv to může být považováno za konzervativní, nebezpečí pro osoby uvnitř budovy spojené s letícími skleněnými střepy se nezohledňuje.

### Proražení stropních materiálů

Fragmenty dané hmotnosti mají přiřazené rozdělení podle energie. Jestliže letící fragmenty s minimální dopadovou energií prorazí překážku, tj. strop, ale už nemají dostatečnou energii, aby byly poté klasifikovány jako smrtící, avšak když se pohybují maximální dopadovou energií, prorazí strop a zachovávají si smrtící kinetickou energii, je nutné stanovit podíl fragmentů dané hmotnosti, které mají tuto ničivou schopnost. To může být uskutečněno za předpokladu, že zbytkové KE fragmentů dané hmotnosti jsou rozděleny rovnoměrně mezi jejich minimálními a maximálními hodnotami. Pro situaci, kde  $E_{min} < 80 \text{ J} < E_{max}$ , se procentní podíl  $P$  fragmentů dané hmotnosti, které prorazí strop a uchovávají si smrtící účinek, stanoví použitím vztahu

$$P = \left[ \frac{E_{max} - 80}{E_{max} - E_{min}} \right] \times 100 \quad (20)$$

kde  $E_{min}$  je minimální zbytková KE po proražení (J),  
 $E_{max}$  - maximální zbytková KE po proražení (J).

Při stanovení pravděpodobnosti usmrcení osob uvnitř budovy musí být předpokládán počet zásahů budovy vynásoben koeficientem charakterizujícím předpokládaný počet fragmentů, které prorazí strop a zachovávají si potenciálně smrtící energii. U osob, které se nacházejí v přízemí, je potřeba použít další koeficient pro proražení vnitřního stropu/podlahy. Pokud nejsou k dispozici údaje charakterizující proražení podlahy fragmenty, použije se jako kritérium pro KE fragmentů prorážejících dřevěnou podlahu a majících ještě postačující energii pro usmrcení hodnota 1 100 J. Byly odvozeny následující faktory používané pro stanovení předpokládaného počtu fragmentů prorážejících překážky a majících zbytkovou potenciálně smrtící energii:

- 69 % cihlových a 80 % betonových fragmentů prorazí pálenou střešní tašku a zachová si smrtící energii,
- 79 % cihlových a 91 % betonových fragmentů prorazí břidlicovou střešní krytinu a zachová si smrtící energii,
- 7 % cihlových a 23 % betonových fragmentů prorazí střechu z pálených tašek a podlahu a zachová si smrtící energii,
- 8 % cihlových a 25 % betonových fragmentů prorazí střechu z břidlicové krytiny a podlahu a zachová si smrtící energii,
- 9 % cihlových a 27 % betonových fragmentů prorazí okno a podlahu a zachová si smrtící energii.

Pro usnadnění použití metodiky se předpokládá, že fragmenty dopadají na prorážený cíl v kolmém směru.

Při stanovení celkové pravděpodobnosti usmrcení osob uvnitř budovy se předpokládá, že osoba typicky stráví přibližně třetinu svého času v podkroví (osm hodin spánku), což je zohledněno formou koeficientů při výpočtech individuální pravděpodobnosti usmrcení osob nacházejících se v podkroví budovy a těch, kteří jsou také uvnitř budovy, ale v jejím přízemí.

Doporučuje se používat metodiku prozatím pouze pro hodnoty *NEQ* mezi 500 kg až 20 000 kg a vzdálenosti větší než 140 m.

### 8.2.2.1.2 Metoda SAFER (USA)

Metoda SAFER 2 vypočítává riziko pocházející od fragmentů v řadách kroků v souladu s celkovou architekturou SAFER<sup>3</sup>. Tyto kroky nejprve rozdělí materiál do dvaceti skupin podle místa původu (vzniku) a materiál ze všech těchto míst seskupí do hmotnostních košů dopadajících na receptor. Smrtící účinek se počítá z každého jednotlivého koše.

#### Primární fragmenty pocházející z výbušného předmětu

##### Metodika košů KE/hmotnost

Pro usnadnění popisu KE fragmentů je v SAFER nejdříve definováno deset košů z hlediska KE. Každý koš má šířku jedné poloviny řádové hodnoty energie. SAFER pak používá průměrnou hmotnost, která je nositelem střední hodnoty KE každého koše. Základem pro celkové formátování košů je předpoklad, že fragmenty jsou z betonu a dosáhly své konečné rychlosti. Tento předpoklad je odůvodněný, protože SAFER je určený pro vyčíslení rizik ve velkých vzdálenostech od PES.

Tabulka 14 ukazuje formát těchto deseti košů včetně maximálních a minimálních hodnot KE pro každý koš a průměrné hmotnosti každého dopadajícího fragmentu spojeného s příslušným košem KE.

**TABULKA 14 – Formát košů KE/hmotnost**

	<b>KE minimální (J)</b>	<b>KE maximální (J)</b>	<b>Průměrná hmotnost fragmentu (kg)</b>
Koš 1	$135,6 \times 10^3$	$406,7 \times 10^3$	34,2
Koš 2	$40,67 \times 10^3$	$135,6 \times 10^3$	14,3
Koš 3	$13,56 \times 10^3$	$40,67 \times 10^3$	6,08
Koš 4	$4,067 \times 10^3$	$13,56 \times 10^3$	2,54
Koš 5	$1,356 \times 10^3$	$4,067 \times 10^3$	1,08
Koš 6	406,7	$1,356 \times 10^3$	0,454
Koš 7	135,6	406,7	0,191
Koš 8	40,67	135,6	0,0816
Koš 9	13,56	40,67	0,0363
Koš 10	4,067	13,56	0,0136

### Kvantitativní stanovení primárních fragmentů

Primární fragmenty vznikají v důsledku roztržení pláště předmětů obsahujících výbušniny nebo rozbití jejich obalů. Rozlet primárních fragmentů vznikajících při výbuchu je popsán v pěti dílčích krocích. Symboly jsou převzaty ze SAFER.

#### Dílčí krok 1

Vypočítá se počet muničních předmětů  $N_w$  pomocí vztahu  $N_w = W_1/NEWQD$  pro jeden předmět, kde  $W_1$  je celková hmotnost výbušnin a hodnoty  $NEWQD$  jsou jako příklady uvedeny v tabulce 15.

**TABULKA 15 – Rozdělení primárních fragmentů dle hmotnostních košů**

Druh munice (zbraně)	Max. vzdálenost rozletu $R_M$ (m)	NEWQD jednoho muničního předmětu (kg)	Fragmenty vznikající z jednoho muničního předmětu									
			Hmotnostní koš									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MK82	1097	87,1	0	0	0	0	7	49	226	746	1227	1738
MK83	1002	202	0	0	0	0	0	75	344	1134	1866	2643
MK84	1183	429	0	0	0	0	0	73	338	1116	1835	2599
M107	780,3	6,85	0	0	0	0	0	4	34	165	372	667
AIM-7	554,7	15,88	0	0	0	0	0	0	3	155	30	12
M1 (105 mm), střela	591,0	2,27	0	0	0	0	0	2	20	99	224	401
MK2 (40 mm)	335,3	0,09	0	0	0	0	0	0	4	19	44	79

#### Dílčí krok 2

Vypočítá se procentní podíl předmětů na vnějším povrchu hranice  $N_{pos}$

$$N_{pos} = 1,007 \times N_w^{-0,3564} \quad (21).$$

#### Dílčí krok 3

Vypočítá se počet muničních předmětů na vnějším povrchu hranice  $N_{wos}$

$$N_{wos} = N_w \times N_{pos} \quad (22).$$

#### Dílčí krok 4

SAFER následně vytvoří tabulku hmotnostních košů dopadajících primárních fragmentů, která popisuje počet primárních fragmentů dopadajících z PES. Tento počet vychází druhu munice, počtu primárních fragmentů a počtu muničních předmětů na vnějším povrchu. SAFER stanoví počet dopadajících fragmentů  $N_{pf}$  pro hmotnostní koše z této tabulky použitím algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: N_{pf} = \text{celkový počet primárních fragmentů} \times N_{wos} \times 0,5$$

Další  $n$ ,

kde celkový počet primárních fragmentů je uveden v tabulce 15.

### Dílčí krok 5

SAFER převede tabulku hmotnostních košů na tabulku KE košů. Předpokládá se, že primární fragmenty jsou z oceli. Protože definice KE košů vychází z betonových fragmentů, charakteristiky ocelových fragmentů jsou upraveny tak, aby byly zohledněny rozdíly v balistických koeficientech. Dosáhne se toho přesunem vypočteného počtu fragmentů o jeden koš doleva při převodu z hmotnostních košů na KE koše. Fragmenty z hmotnostních košů 1 a 2 se sečtou a zařadí do KE koše 1. Takto se vytvoří tabulka KE košů dopadajících primárních fragmentů.

### **Stanovení maximální vzdálenosti rozletu primárních fragmentů**

#### Vytvoření základní tabulky maximálních vzdáleností rozletu

##### Dílčí krok 1

Koši s nejnižším číslem, který obsahuje fragmenty (první nenulový koš), se přiřadí nominální maximální vzdálenost rozletu  $R_M$ . Hodnoty pro první maximální vzdálenost rozletu je podle druhu munice uvedena v tabulce 15.

##### Dílčí krok 2

SAFER stanoví maximální vzdálenosti rozletu  $R_M$  pro zbývající koše tabulky použitím algoritmu:

$k$  = číslo prvního nenulového koše

Pro  $n = k + 1$  až 10

Koš  $n$ :  $R_M = (R_M \text{ pro koš } n - 1) \times \text{hodnota rozletu pro koš } n$

Další  $n$ ,

kde hodnoty rozletu pro ocelové fragmenty jsou uvedeny v tabulce 16.

**TABULKA 16 – Nominální hodnoty maximálního rozletu fragmentů**

Materiál	Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10
Beton	1,00	0,84	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,77
Ocel	1,00	0,86	0,86	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,78

#### Výpočet omezení rozletu primárních fragmentů konstrukcí PES

Jestliže místo nežádoucí události zahrnuje konstrukci PES, části konstrukce zůstávající po výbuchu (strop/střecha, zdi/stěny) mohou omezit rozlet primárních fragmentů.

Pro čtyři součásti PES (strop, přední a zadní zeď/stěna, boční zdi/stěny) vypočítá SAFER podíl primárních fragmentů blokových stavební konstrukcí  $PES_{DC}$  pomocí vztahu

$$PES_{DC} = PES_{intact} \times FB \times PES_{fraction} \quad (23)$$

kde  $PES_{DC}$  je podíl primárních fragmentů blokových konstrukcí PES (1),

$FB$  - koeficient blokování fragmentů – viz tabulka 17 (1),

$PES_{fraction}$  - podíl součástí PES z celkové plochy PES dle tabulky 18 (1),

$PES_{intact}$  - podíl součástí PES neporušené výbuchem (1).

**TABULKA 17 – Koefficienty blokování fragmentů součástmi PES**

PES	Strop	Čelní zed'/stěna	Boční zdi/stěny	Zadní zed'/stěna
Montovaná kovová budova	0,15	0,10	0,10	0,10
Skład nakrytý zeminou	0,8	0,6	0,9	0,9
Zodolněný úkryt pro letadla	0,8	0,6	0,8	0,9
Nadzemní zděná konstrukce	0,25	0,6	0,6	0,6
Provozní budova	0,25	0,6	0,6	0,6
Děrované tvarovky	0,25	0,25	0,25	0,25
Malé plavidlo	0,3	0,3	0,3	0,3
Střední plavidlo	0,2	0,2	0,2	0,2
Velké plavidlo	0,2	0,2	0,2	0,2

**TABULKA 18 – Podíl plochy každé součásti PES z celkové plochy PES**

PES	Podíl plochy stropu	Podíl plochy čelní zdi/stěny	Podíl plochy bočních zdi/stěn	Podíl plochy zadní zdi/stěny
Montovaná kovová budova	0,5	0,0833	0,3333	0,0833
Skład nakrytý zeminou	0,4324	0,068	0,432	0,068
Zodolněný úkryt pro letadla	0,423	0,102	0,372	0,102
Nadzemní zděná konstrukce	0,41	0,15	0,3	0,15
Provozní budova	0,41	0,15	0,3	0,15
Děrované tvarovky	0,5	0,08	0,33	0,08
Malé plavidlo	0,205	0,091	0,611	0,091
Střední plavidlo	0,205	0,091	0,611	0,091
Velké plavidlo	0,205	0,091	0,611	0,091

Vypočítá se celkový podíl primárních fragmentů zadržných PES  $PES_{TotalDC}$  jako součet všech podílů primárních fragmentů

$$PES_{TotalDC} = \sum PES_{DC} \quad (24).$$

### Redukce počtu primárních fragmentů (způsobená PES)

SAFER upraví tabulku KE košů vznikajících primárních fragmentů pro výpočet fragmentů, které jsou zadrženy konstrukcí PES.

Následně se určí počet nezadržených primárních fragmentů  $N'_{pf}$  pro každý koš vznikajících primárních fragmentů tabulky KE košů, a to použitím algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: N'_{pf} = N_{pf} \times (1 - PES_{TotalDC})$$

Další  $n$ ,

kde  $N_{pf}$  je hodnota v každém koši tabulky KE košů vznikajících primárních fragmentů. Upravená tabulka představuje počet zbývajících primárních fragmentů unikajících z PES.

### **Popis sekundárních fragmentů**

Sekundární fragmenty (trosky) pocházejí z PES a jejich zdrojem jsou zdi/stěny a strop PES.

### Vymezení sekundárních fragmentů

Vznikající sekundární fragmenty jsou zaznamenány v tabulkách hmotnostních košů, které jsou převedeny do tabulek KE košů. Pro každou ze čtyř součástí PES (strop, čelní a zadní zeď/stěna, boční zdi/stěny) je vytvořena samostatná tabulka.

Vznikající sekundární fragmenty se definují za použití čtyř dílčích kroků.

### Dílčí krok 1

Pro každou součást PES je hmotnost vymrštěného materiálu zjištěna porovnáním reálné hodnoty ekvivalentní hmotnosti výbušniny (TNT ekvivalentu) s hodnotou potřebnou pro počáteční prolomení součástí a hodnotou nezbytnou k její úplné destrukci – viz tabulka 19 až tabulka 22. Pokud je ekvivalentní hmotnost menší než hodnota pro počáteční prolomení, nedojde k žádnému vymrštění materiálu z PES. Jestliže je však TNT ekvivalent větší než hodnota pro úplnou destrukci, je vymrštěn veškerý materiál. Nachází-li se reálná ekvivalentní hmotnost výbušniny mezi těmito dvěma hodnotami, použije se rovnice (25).

Pro každou ze čtyř součástí PES upraví SAFER hmotnost materiálu vymrštěného z PES užitím algoritmu:

Pro  $i = 1$  až 4

Součást PES  $i$ :

Je-li ekvivalentní hmotnost výbušniny  $W_2 <$  hodnota pro počáteční prolomení, pak nedojde k žádnému vymrštění materiálu z PES.

Pokud hodnota pro počáteční prolomení  $\leq W_2 \leq$  hodnota pro úplnou destrukci,

pak

hmotnost materiálu vymrštěného z PES = hmotnost součásti PES / [(hodnota pro úplnou destrukci – hodnota pro počáteční prolomení)  $\times W_2$ ]  
(25).

Pokud  $W_2 >$  hodnota pro úplnou destrukci, pak je vymrštěn veškerý materiál z PES.



Další *i*,

kde hodnoty pro počáteční prolomení a pro úplnou destrukci jsou dle typů objektů uvedeny v tabulkách 19 až 22.

**TABULKA 19 – Parametry stropů jako součástí PES**

PES	Hodnota pro počáteční prolomení (kg)	Hodnota pro úplnou destrukci (kg)	Objem součásti V (m <sup>3</sup> )	Mezní poměr W/V (kg/m <sup>3</sup> )	Maximální rozlet stanovený rovnicí (m)	Maximální rozlet stanovený empiricky (m)
Montovaná kovová budova	1,4	18,1	880,77	---	---	Max. jako u primárních fragmentů
Sklad nakrytý zeminou	6,8	113,4	707,92	3,8	$422,8 \times (W/V)^{0,71}$	1097
Zodolněný úkryt pro letadla	454	1134	6538,36	0,08	$1526 \times (W/V)^{0,235}$	914,4
Nadzemní zděná konstrukce	0,454	7,26	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Provozní budova	0,454	7,26	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Děrované tvarovky	0,454	3,63	880,77	---	---	Max. jako u primárních fragmentů
Malé plavidlo	45,4	2268	4247,53	---	---	1341
Střední plavidlo	45,4	2268	12742,6	---	---	1341
Velké plavidlo	45,4	2268	16990,1	---	---	1341

**TABULKA 20 – Parametry čelních zdí/stěn jako součástí PES**

PES	Hodnota pro počáteční prolomení (kg)	Hodnota pro úplnou destrukci (kg)	Objem součásti V (m <sup>3</sup> )	Mezní poměr W/V (kg/m <sup>3</sup> )	Maximální rozlet stanovený rovnicí (m)	Maximální rozlet stanovený empiricky (m)
Montovaná kovová budova	1,4	18,1	880,77	---	---	Max. jako u primárních fragmentů
Sklad nakrytý zeminou	0,23	4,54	707,92	0,29	$6602 \times (W/V)^{1,71}$	1554
Zodolněný úkryt pro letadla	18,14	907,2	6538,36	0,08	$1526 \times (W/V)^{0,235}$	1097
Nadzemní zděná konstrukce	0,454	3,63	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Provozní budova	1,4	45,4	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Děrované tvarovky	0,454	3,63	880,77	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Malé plavidlo	45,4	2268	4247,53	---	---	1341
Střední plavidlo	45,4	2268	12742,6	---	---	1341
Velké plavidlo	45,4	2268	16990,1	---	---	1341

**TABULKA 21 – Parametry bočních zdí/stěn jako součástí PES**

PES	Hodnota pro počáteční prolomení (kg)	Hodnota pro úplnou destrukci (kg)	Objem součásti V (m <sup>3</sup> )	Mezní poměr W/V (kg/m <sup>3</sup> )	Maximální rozlet stanovený rovnicí (m)	Maximální rozlet stanovený empiricky (m)
Montovaná kovová budova	0,454	18,1	880,77	---	---	Max. jako u primárních fragmentů
Sklad nakrytý zeminou	1134	454	707,92	3,8	$422,8 \times (W/V)^{0,71}$	1097
Zodolněný úkryt pro letadla	454	1134	6538,36	0,08	$1526 \times (W/V)^{0,235}$	914,4
Nadzemní zděná konstrukce	0,454	3,63	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Provozní budova	1,4	45,4	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Děrované tvarovky	0,454	3,63	880,77	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Malé plavidlo	45,4	2268	4247,53	---	---	1341
Střední plavidlo	45,4	2268	12742,6	---	---	1341
Velké plavidlo	45,4	2268	16990,1	---	---	1341

**TABULKA 22 – Parametry zadních zdí/stěn jako součástí PES**

PES	Hodnota pro počáteční prolomení (kg)	Hodnota pro úplnou destrukci (kg)	Objem součásti V (m <sup>3</sup> )	Mezní poměr W/V (kg/m <sup>3</sup> )	Maximální rozlet stanovený rovnicí (m)	Maximální rozlet stanovený empiricky (m)
Montovaná kovová budova	0,454	18,1	880,77	---	---	Max. jako u primárních fragmentů
Sklad nakrytý zeminou	1134	4540	707,92	3,8	$422,8 \times (W/V)^{0,71}$	1097
Zodolněný úkryt pro letadla	1134	4540	6538,36	0,08	$1526 \times (W/V)^{0,235}$	1097
Nadzemní zděná konstrukce	0,454	3,63	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Provozní budova	1,4	45,4	2831,68	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Děrované tvarovky	0,454	3,63	880,77	0,33	$21376 \times (W/V)^{0,83}$	1097
Malé plavidlo	45,4	3402	4247,53	---	---	1341
Střední plavidlo	45,4	3402	12742,6	---	---	1341
Velké plavidlo	45,4	3402	16990,1	---	---	1341

## Dílčí krok 2

Vytvoří se tabulka hmotnostních košů vznikajících sekundárních fragmentů pro každou součást PES. Pro každou ze čtyř součástí PES se vypočítá počet sekundárních fragmentů  $N_{sf}$  v každém hmotnostním koši za použití algoritmu:

Pro  $i = 1$  až 4

Součást PES  $i$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $N_{sf} = \text{hmotnost materiálu vymrštěného z PES} \times (\% \text{ hmotnosti materiálu pro koš } n/100)$

Další  $n$

Další  $i$ ,

kde celková hmotnost součásti PES a % hmotnosti pro každý koš jsou dle typů objektů uvedeny v tabulkách 23 až 26. Rozložení hmotnosti je uvedeno v %.

**TABULKA 23 – Rozložení hmotnosti materiálu stropu PES**

			Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10	
PES	Celková hmotnost stropu PES (kg)	% materiálu		Průměrná hmotnost fragmentu (kg)									
		Ocel	Beton	34,2	14,3	6,08	2,54	1,08	0,454	0,191	0,0816	0,0363	0,0136
Montovaná kovová budova	5992	100	0	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Sklad nakrytý zeminou	131 542	5	95	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Zodolněný úkryt pro letadla	781 358	10	90	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Nadzemní zděná konstrukce	92 535	5	95	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Provozní budova	92 535	5	95	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Děrované tvarovky	23 514	5	95	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Malé plavidlo	27 785	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Střední plavidlo	62 516	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Velké plavidlo	83 354	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40

**TABULKA 24 – Rozložení hmotnosti materiálu čelní zdi/stěny PES**

				Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10
PES	Celková hmotnost čelní zdi/stěny PES (kg)	% materiálu		Průměrná hmotnost fragmentu (kg)									
		Ocel	Beton	34,2	14,3	6,08	2,54	1,08	0,454	0,191	0,0816	0,0363	0,0136
Montovaná kovová budova	998,4	100	0	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Sklad nakrytý zeminou	20 554	5	95	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Zodolněný úkryt pro letadla	125 886	10	90	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Nadzemní zděná konstrukce	56 109	0	100	0	5	5	10	40	10	5	5	5	15
Provozní budova	67 798	5	95	7,5	12,5	20	12,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10
Děrované tvarovky	11 757	5	95	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	15	10	2,5
Malé plavidlo	13 892	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Střední plavidlo	27 924	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Velké plavidlo	27 924	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40

**TABULKA 25 – Rozložení hmotnosti materiálu bočních zdí/stěn PES**

				Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10
PES	Celková hmotnost bočních zdí/stěn PES (kg)	% materiálu		Průměrná hmotnost fragmentu (kg)									
		Ocel	Beton	34,2	14,3	6,08	2,54	1,08	0,454	0,191	0,0816	0,0363	0,0136
Montovaná kovová budova	3994	100	0	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Sklad nakrytý zeminou	109 180	5	95	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Zodolněný úkryt pro letadla	686 648	10	90	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Nadzemní zděná konstrukce	112 218	0	100	0	5	5	10	40	10	5	5	5	15
Provozní budova	135 597	5	95	7,5	12,5	20	12,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10
Děrované tvarovky	47 028	5	95	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	15	10	2,5
Malé plavidlo	92 616	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Střední plavidlo	186 158	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Velké plavidlo	248 210	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40

**TABULKA 26 – Rozložení hmotnosti materiálu zadní zdi/stěny PES**

			Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10	
PES	Celková hmotnost zadní zdi/stěny PES (kg)	% materiálu		Průměrná hmotnost fragmentu (kg)									
		Ocel	Beton	34,2	14,3	6,08	2,54	1,08	0,454	0,191	0,0816	0,0363	0,0136
Montovaná kovová budova	998	100	0	0	0	5	5	5	15	20	25	15	10
Skład nakrytý zeminou	20 554	5	95	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Zodolněný úkryt pro letadla	377 656	10	90	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	10	40
Nadzemní zděná konstrukce	56 109	0	100	0	5	5	10	40	10	5	5	5	15
Provozní budova	67 798	5	95	7,5	12,5	20	12,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10
Děrované tvarovky	11 757	5	95	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	15	10	2,5
Malé plavidlo	13 892	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Střední plavidlo	27 924	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40
Velké plavidlo	27 924	100	0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	40

### Dílčí krok 3

Procentní podíl hmotnosti vymrštěného materiálu v jednotlivých koších se určí použitím rozložení nominálních hmotností (z dílčího kroku 1), které se upraví na základě ekvivalentní hmotnosti výbušniny. Vzhledem k tomu, že ekvivalentní hmotnost roste nad hodnotu potřebnou k úplné destrukci, procentní podíly rozložení hmotností prostřednictvím košů se přepočítají. Tento postup umožňuje modelování jevů, při kterých se při rozsáhlých výbuších vytváří více menších fragmentů.

Metodika pro takový přepočet je následující:

Poměr  $Y_R$  skutečné ekvivalentní hmotnosti výbušniny  $Y_a$  k ekvivalentní hmotnosti výbušniny nezbytné pro úplnou destrukci  $Y_{100}$  se stanoví využitím rovnice

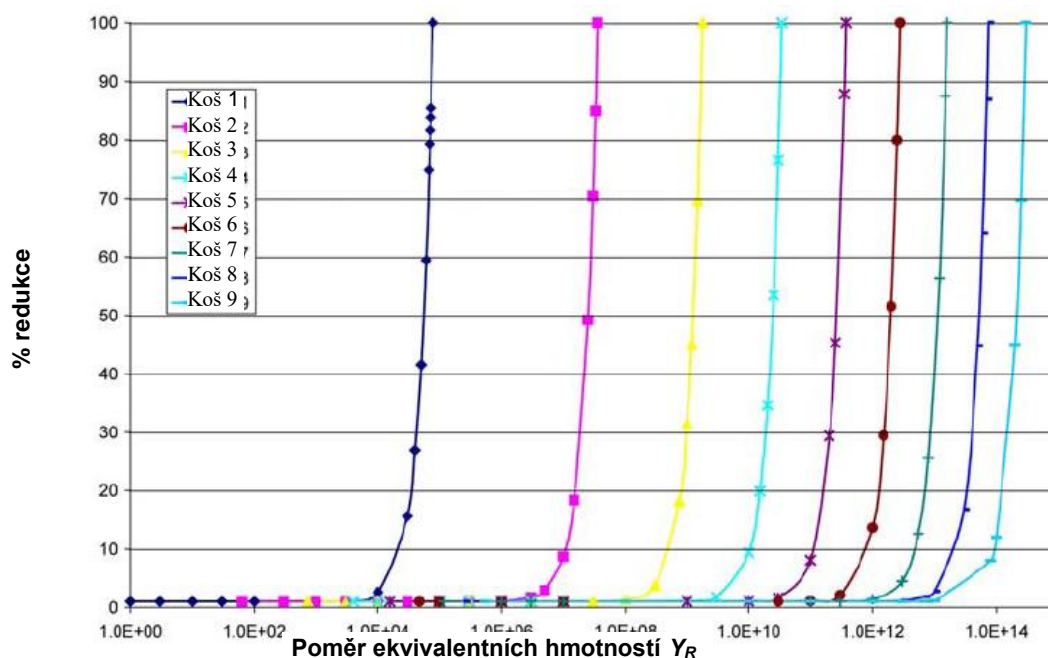
$$Y_R = \frac{Y_a}{Y_{100}} \quad (26).$$

$Y_R$  se porovná se zaznamenaným parametrem (pro každý koš), který představuje výchozí redukční poměr  $IRR$  – viz tabulka 27.

**TABULKA 27 – Výchozí redukční poměry pro jednotlivé koše**

	Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10
$\frac{IR}{R}$	1	64	729	4096	15 625	46 656	117 649	262 144	531 441	1 000 000

Je-li pro daný koš  $Y_R > IRR$ , redukce pro tento koš se vypočítá způsobem ukázaným na obrázku 11. Pokud platí  $Y_R < IRR$ , žádná úprava se pro daný a jakýkoliv následující koš neprovádí.



**OBRAZEK 11 – Procenta redukce pro jednotlivé koše**

Redukovaná hmotnost je rovnoměrně přerozdělena mezi koše s nižším pořadovým číslem a proces pak pokračuje porovnáním  $Y_R$  s hodnotou  $IRR$  pro další koš.

#### Dílčí krok 4

Nakonec vytvoří SAFER tabulky KE košů vznikajících sekundárních fragmentů. Pro každý druh materiálu (beton a ocel) v každé součásti PES je vypracována zvláštní tabulka. Tímto postupem se tak vytvoří celkem osm tabulek KE košů vznikajících sekundárních fragmentů pro účely stanovení počtu sekundárních fragmentů  $N_{sf}$  v každém koši. Využije se algoritmus:

Pro  $i = 1$  až 4

Pro  $j = 1$  až 2

Součást PES  $i$  a materiál  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :

$$N_{sf} = [(poškozený\ podíl\ součásti \times hmotnost\ součásti \times \% \text{ hmotnosti součásti v koši} \times 0,01) / hmotnost\ fragmentu\ podle\ koše] \times (\% \text{ hmotnosti materiálu} \times 0,01)$$

Další  $n$

Další  $j$

Další  $i$ ,

kde procentní podíly hmotnosti materiálu v každé součásti PES (% hmotnosti materiálu) jsou vedeny v tabulkách 23 až 26.

### **Stanovení maximálního rozletu sekundárních fragmentů**

SAFER vytváří zvláštní tabulku maximálního rozletu pro každý druh materiálu (beton a ocel) pro každou součást PES. Je tak vytvořeno celkem osm tabulek. Určení maximálního rozletu sekundárních fragmentů se provádí ve čtyřech dílčích krocích.

#### Dílčí krok 1

Pro  $i = 1$  až 4

Součást PES  $i$ :  $W/V = W_2/V$

Další  $i$ ,

kde objemy všech součástí PES  $V$  jsou uvedeny v tabulkách 19 až 22.

#### Dílčí krok 2

Pro každou ze čtyř součástí PES se vypočítá nominální maximální vzdálenost rozletu  $R_M$  za použití algoritmu:

Pro  $i = 1$  až 4

Součást PES  $i$ :

Je-li  $W/V <$  mezní poměr  $W/V$ ,

pak se  $R_M$  vypočítá za použití rovnice maximálního rozletu.

Je-li  $W/V >$  mezní poměr  $W/V$ ,

pak  $R_M =$  empiricky stanovený maximální rozlet.

Další  $i$ ,

kde rovnice maximálního rozletu a empiricky stanovený maximální rozlet jsou pro každou součást PES uvedeny v tabulkách 19 až 22.

#### Dílčí krok 3

Vytvoří se tabulka vzdáleností rozletu pro betonové a ocelové fragmenty přiřazením nominální maximální vzdálenosti rozletu  $R_M$  koši s nejnižším číslem, který obsahuje fragmenty (první nenulový koš).

#### Dílčí krok 4

Urcí se maximální vzdálenosti rozletu pro zbývající koše v každé tabulce s využitím rovnice z dílčího kroku 2 při stanovení maximální vzdálenosti rozletu primárních fragmentů a tabulky 16. Tímto postupem se vytvoří osm tabulek maximálních vzdáleností rozletu pro sekundární fragmenty.

### **Formulace tabulek předpokládaných dopadajících fragmentů**

Fragmenty vylétající z PES musí být nyní přesunuty z donoru na cíl, což se uskuteční vytvořením tabulek KE dopadajících fragmentů.

Přeměna fragmentů z vylétajících na dopadající vyžaduje výpočet pravděpodobnostních hustot fragmentů v ES  $P_i$  pro primární a sekundární fragmenty a pro materiál vyvržený z kráteru. Hodnoty  $P_i$  vycházejí z maximálních vzdáleností rozletu a prostorového rozložení fragmentů. SAFER předpokládá, že dopadající fragmenty se řídí dvojrozměrným normálním rozdělením.



Hodnota směrodatné odchylky  $\sigma$  je měřítkem rozptýlení posuzovaných fragmentů a je vymezena použitím maximální vzdálenosti rozletu jako krajní hodnoty. Pro primární a sekundární fragmenty je krajní hodnota maximální vzdálenosti rozletu rovna  $3\sigma$ , pro části materiálu vyvrženého z kráteru pak  $4\sigma$ . Tyto hodnoty vycházejí z empirických údajů.

#### Dílčí krok 1

Pro všechny vylétající fragmenty, popsané v deseti tabulkách maximálních vzdáleností rozletu, se vypočítá pro každý koš hodnota  $\sigma$ :

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka maximálních vzdáleností rozletu  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $\sigma = f \times R_M$ /hodnota  $\sigma$  pro krajní hodnoty

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde  $R_M$  je maximální vzdálenost rozletu pro každý koš a redukční koeficient rozletu fragmentů  $f$  je uveden v tabulce 28. Jsou-li aplikovatelné vlivy orientace, maximální hodnoty rozletu se upraví. To se provede vynásobením maximálního rozletu koeficientem  $f$  z tabulky 28.

**TABULKA 28 – Redukční koeficienty rozletu fragmentů  $f$**

Původ fragmentů	Sklad nakrytý zeminou (orientace)		Zodolněný úkryt pro letadla (orientace)	
	Čelní část	Bok / zadní část	Čelní část	Bok / zadní část
Primární	1	1	1	1
Strop	1	1	1	1
Čelní zeď/stěna	1	0,01	1	0,01
Boční zdi/stěny	0,1	1	0,1	1
Zadní zeď/stěna	0,001	1	0,0001	1
Materiál z kráteru	1	1	1	1

#### Dílčí krok 2

Pro všechny typy vylétajících fragmentů, popsaných v deseti tabulkách KE košů těchto fragmentů, se vypočítají pro každý koš pravděpodobnostní hustoty fragmentů v ES  $P_i$  za použití algoritmu ( $d$  je vzdálenost mezi PES a ES):

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka maximálních rozletů  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: P_i = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \times e^{\left(\frac{-d^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Další  $n$

Další  $j$ .

### Dílčí krok 3

SAFER završí tento krok vytvořením KE tabulek dopadajících fragmentů. Vypočítá počet předpokládaných dopadajících fragmentů na čtvereční stopu  $N_{af}$  pro všechny fragmenty popsané v deseti KE tabulkách vznikajících (vylétajících) fragmentů jako hodnoty pro KE koše dopadajících fragmentů KE tabulek, a to použitím algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

KE tabulka dopadajících fragmentů  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $N_{af} = P_i \times \text{počet vylétajících fragmentů}$

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde počet vylétajících fragmentů je počet fragmentů v příslušných koších každé KE tabulky vylétajících fragmentů. Podle druhu fragmentů jsou tyto hodnoty rovny buď počtu primárních fragmentů nezadržených PES  $N'_{pf}$ , počtu sekundárních fragmentů  $N_{sf}$ , nebo počtu fragmentů vyvržených z kráteru  $N_{ce}$  v každém koši.

### **Kombinace fragmentů z PES**

Nyní je možné sloučit údaje ze všech deseti tabulek KE košů dopadajících fragmentů a vytvořit jednu kombinovanou tabulku těchto fragmentů. Všechny tabulky dopadajících fragmentů jsou definovány na stejném základě (KE) a tak jednotlivé tabulky se mohou shrnout a vytvořit tak jednu výslednou tabulku.

Pro všechny druhy fragmentů vytvoří SAFER shrnutím počtu předpokládaných dopadajících fragmentů  $N_{af}$  napříč odpovídajícími koši v každé z deseti KE tabulek dopadajících fragmentů jednu kombinovanou KE tabulku dopadajících fragmentů. SAFER předpokládá, že potenciální smrtící účinek primárních a sekundárních fragmentů a fragmentů vyvržených z kráteru je po vyrovnání jejich kinetických energií obdobný.

Vypočítá se celkový počet fragmentů ve vzduchu  $N_{cf}$  užitím algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$  kombinované KE tabulky dopadajících fragmentů:

Pro  $j = 1$  až 10

$N_{cf} = N_{cf} + N_{af}$  v odpovídajícím koši KE tabulky  $j$  dopadajících fragmentů

Další  $j$

Další  $n$ .

Toto shrnutí není nezbytné pro žádný z typických mechanismů usmrcení, ale je náhradou referenční hodnoty, která ukazuje celkový rozsah a závažnost dopadajících fragmentů. Fragmenty primární, sekundární a vyvržené z kráteru jsou z hlediska mechanismu usmrcení řešeny samostatně.

## Redukce fragmentů způsobená ES

SAFER v pěti dílčích krocích stanoví množství fragmentů, které proniknou do ES.

### Dílčí krok 1

Pro určení poměru fragmentů dopadajících pod velkým a pod malým úhlem se ke stanovení úhlu  $R_A$  použije rozsahový převod. Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti tabulkách maximálních rozletů, se  $R_A$  pro každý koš vypočítá za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka maximálních rozletů  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: R_A = \frac{d}{R_M}$$

Další  $n$

Další  $j$ .

### Dílčí krok 2

Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti tabulkách maximálního rozletu, se pro každý koš vypočítá podíl fragmentů dopadajících pod malým úhlem  $F_{LA}$  za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka maximálních rozletů  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ : Je-li  $0 < R_A \leq 0,167$ ,  
pak  $F_{LA} = -2,395R_A + 0,9$ .

Je-li  $0,167 < R_A \leq 1$ ,  
pak  $F_{LA} = -0,48R_A + 0,58$ .

Je-li  $1 < R_A \leq 2$ ,  
pak  $F_{LA} = -0,1R_A + 0,2$ .

Je-li  $R_A > 2$ ,  
pak  $F_{LA} = 0$ .

Další  $n$

Další  $j$ .

### Dílčí krok 3

Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti tabulkách maximálního rozletu, se pro každý koš vypočítá podíl fragmentů dopadajících pod velkým úhlem  $F_{HA}$  za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka maximálních rozletů  $j$ :

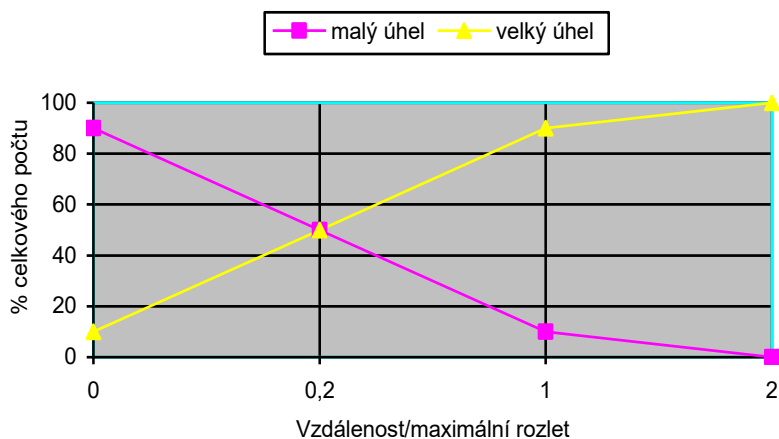
Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $F_{HA} = 1 - F_{LA}$

Další  $n$

Další  $j$ .

Vzájemný poměr mezi počtem fragmentů dopadajících pod velkým a pod malým úhlem je (jako funkce  $R_A$ ) shrnut na obrázku 12.



**OBRAZEK 12 – Vzájemný poměr mezi fragmenty podle úhlu dopadu**

#### Dílčí krok 4

Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti KE tabulkách dopadajících fragmentů, se stanoví počet fragmentů dopadajících pod velkým úhlem  $N_{HA}$  a dopadajících pod malým úhlem  $N_{LA}$  v každém koši. Tímto postupem se vytvoří celkem dvacet tabulek fragmentů: deset pro fragmenty dopadající pod velkým úhlem a deset pro dopadající pod malým úhlem. Fragmenty dopadající pod malým úhlem zasáhnou zdi/stěny ES a fragmenty dopadající pod velkým úhlem zasáhnou strop (střechu). Pro vytvoření tabulek fragmentů dopadajících pod velkým úhlem se pro každý koš vypočítá počet těchto fragmentů za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod velkým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $N_{HA} = N_{af} \times F_{HA}$

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde  $N_{af}$  je počet dopadajících fragmentů v koši KE tabulky dopadajících fragmentů odpovídajícího druhu.

Pro vytvoření tabulek fragmentů dopadajících pod malým úhlem se pro každý koš vypočítá počet těchto fragmentů za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod malým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $N_{LA} = N_{af} \times F_{LA}$

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde  $N_{af}$  je počet dopadajících fragmentů v koši KE tabulky dopadajících fragmentů odpovídajícího druhu.

#### Dílčí krok 5

Všechny druhy stropů a zdí/stěn obsahují jistý procentní podíl nezranitelných ploch. Předpokládá se, že taková oblast zcela zablokuje dopadající fragmenty ze všech možných KE košů. Nezranitelné plochy se mění úměrně k procentnímu podílu nedotčené části ES; nominální hodnoty procentních podílů těchto ploch  $IA_{roof}$  a  $IA_{wall}$  jsou uvedeny v tabulkách 29 a 30.

**TABULKA 29 – Ochranné parametry stropů**

Druh stropu ES	% nezranitelné plochy (nominální) $IA_{roof}$	KE absorbovaná stropem (ft-lbs)
Železobeton (10,16 cm)	10	13 558
Železobeton (> 30,48 cm)	15	271 164
Překližka a dřevěné trámy	5	407
Sádkokartón/ocelové nosníky	5	271
Dřevěné panely	5	813
Lehčený beton / ocelové plotny a nosníky	7,5	2 712
Desky ze středně tvrdé oceli	7,5	1 356
Strop z lehkého kovu	7,5	678
Ocel (automobil)	2,5	271

**TABULKA 30 – Ochranné parametry zdí/stěn**

Druh zdi/stěny ES	% nezranitelné plochy (nominální) $IA_{wall}$	KE absorbovaná zdí/stěnou (ft-lbs)
Ocelové pilíře (příčnky)	2	678
Vlnitý ocelový plech	2	678
Nevyztužené zdivo	2	6 101
Vyztužené zdivo (20,32 cm)	2	20 337
Železobeton (20,32 cm)	2	67 791
Železobeton (> 30,48 cm)	2	271 164
Železobetonové panely (15,24 cm)	2	50 843
Dřevěné pilíře (příčnky)	2	271
Ocel (dveře automobilu)	4	1 356

Upravená nezranitelná plocha  $A_{IAR}$  pro strop ES se vypočítá pomocí

$$A_{IAR} = I_{A_{roof}} \times \% ES_{roof\ intact} \quad (27)$$

kde  $\% ES_{roof\ intact}$  je procentní podíl nenarušené části stropu ES (1).

Deset tabulek fragmentů dopadajících pod velkým úhlem se pak upraví pomocí  $A_{IAR}$ .

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod velkým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: N_{HA} = N_{HA} \times (1 - A_{IAR})$$

Další  $n$

Další  $j$ .

Upravená nezranitelná plocha  $A_{IAW}$  pro zeď/stěnu ES se vypočítá pomocí

$$A_{IAW} = I_{A_{wall}} \times \% ES_{wall\ intact} \quad (28)$$

kde  $\% ES_{wall\ intact}$  je procentní podíl nenarušené části zdi/stěny ES (1).

Deset tabulek fragmentů dopadajících pod malým úhlem se pak upraví pomocí  $A_{IAW}$ .

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod malým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: N_{LA} = N_{LA} \times (1 - A_{IAW})$$

Další  $n$

Další  $j$ .

Strop a zdi/stěny ES mohou zabránit proražení ES zbývajícími dopadajícími fragmenty (neblokovanými nezranitelnou plochou). Kinetická energie fragmentů, které prorazí ES, bude redukována z důvodu absorpce její určité části konstrukčními prvky ES. Množství KE absorbované jednotlivými druhy stropů a zdí/stěn je uvedeno v tabulkách 29 a 30.

SAFER vytvoří dvacet tabulek proniknuvších fragmentů, které popisují důsledek dopadů fragmentů na ES. Tento postup stanoví, zda jsou fragmenty schopny prorazit ES a pro ty, které proniknou do ES, určí, zda výsledná KE způsobí přesun fragmentu do nižšího KE koše, nebo zda fragment zůstane ve stávajícím KE koši.

Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti tabulkách fragmentů dopadajících pod velkým úhlem, se vypočítá výsledná kinetická energie  $KE_R$  zbývající po srážce se stropem. SAFER pak určí proniknuvší fragmenty a jejich výslednou KE za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod velkým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: KE_R = \text{průměrná KE koše } n - \text{KE absorbovaná stropem ES}$$

Je-li  $KE_R < 0$ ,

pak strop ES zamezí proniknutí fragmentu.

Je-li  $KE_R \geq$  dolní hranice KE koše  $n$ ,  
pak fragment prorazí strop ES a zůstane ve stávajícím KE koši.  
Je-li  $KE_R <$  dolní hranice KE koše  $n$ ,  
pak fragment prorazí strop ES, ale přesune se do nižšího KE koše.

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde KE absorbovaná stropem je uvedena v tabulce 29.

Pro všechny druhy fragmentů, popsaných v deseti tabulkách fragmentů dopadajících pod malým úhlem, se vypočítá výsledná kinetická energie  $KE_R$  zbývající po srážce se zdí/stěnou. SAFER pak určí proniknuvší fragmenty a jejich výslednou KE za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 10

Tabulka fragmentů dopadajících pod malým úhlem  $j$ :

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $KE_R =$  průměrná KE koše  $n$  – KE absorbovaná zdí/stěnou ES

Je-li  $KE_R < 0$ ,

pak zeď/stěna ES zamezí proniknutí fragmentu.

Je-li  $KE_R \geq$  dolní hranice KE koše  $n$ ,

pak fragment prorazí zeď/stěnu ES a zůstane ve stávajícím KE koši.

Je-li  $KE_R <$  dolní hranice KE koše  $n$ ,

pak fragment prorazí zeď/stěnu ES, ale přesune se do nižšího KE koše.

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde KE absorbovaná zdí/stěnou je uvedena v tabulce 30.

Výsledkem těchto kroků je hustota fragmentů v receptoru (ES), která může být převedena na pravděpodobnost usmrcení.

### 8.2.2.1.3 Nizozemská metodika pro předpovídání fragmentů

Nizozemsko vypracovalo metodiku pro prognózu vymrštění sekundárních fragmentů (trosek) a tvorby primárních fragmentů (střepin). Pro předpověď hustoty fragmentů a rozložení hmotností byly odvozeny empirické vztahy zahrnující:

- čelní, boční a zadní části skladů nakrytých zeminou,
- sklady bez nakrytí zeminou s  $NEQ$  větší než 3 000 kg,
- sklady bez nakrytí zeminou s  $NEQ$  menší než 3 000 kg.

Vstupními parametry pro předpověď hustoty fragmentů jsou  $NEQ$  a vzdálenost k PES. Rozložení hmotností je závislé na korigované vzdálenosti.

### 8.2.2.2 Fragменты выvržené z kráteru

Fragменты выvržené z kráteru obecně vznikají ze zeminy, kamení a materiálu zpod PES.

#### 8.2.2.2.1 Metoda SAFER pro fragmenty выvržené z kráteru (USA)

Metoda SAFER, jak je uvedeno v předchozím textu, shromažďuje dopadající fragmenty ze všech zdrojů do KE košů. Fragменты выvržené z kráteru jsou jedním takovým zdrojem fragmentů a jsou popsány v následující části standardu.

#### Popis materiálu выvrženého z kráteru

SAFER stanoví počet выvržených fragmentů rozříděných do deseti KE košů a maximální vzdálenost rozletu fragmentů.

#### Vymezení materiálu выvrženého z kráteru

Vylétající fragmenty jsou zaznamenány v tabulce hmotnostních košů, která je transformována na tabulku KE košů.

Charakteristika выvrženého materiálu je založena na druhu zeminy v okolí PES. Uvažované druhy zeminy jsou dle metody SAFER závislé na typu objektu PES. Pro nekryté PES, montované kovové budovy nebo objekty z děrovaných tvarovek se berou v úvahu jako druhy zeminy skála, tvrdá hlína nebo ostatní. Jako ostatní jsou označeny rozpojené kusy zeminy, u kterých se předpokládá, že se rozpadnou na menší kousky. Pro všechny ostatní typy PES (s výjimkou plavidel) je standardním druhem zeminy beton. Uživatel programu SAFER je nabádán k volbě vhodného druhu zeminy jako součásti celkového popisu situace.

Na základě těchto uživatelských vstupů se stanoví množství materiálu выvrženého z kráteru za použití dvou dílčích kroků.

#### Dílčí krok 1

Vypočítá se hmotnost materiálu выvrženého z kráteru pomocí

$$\text{Hmotnost materiálu выvrženého z kráteru} = A \times (W_2)^B \quad (29)$$

kde hmotnostní koeficient kráteru  $A$  a hmotnostní exponent kráteru  $B$  jsou uvedeny v tabulce 31.

**TABULKA 31 – Parametry druhů zeminy**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>g</b>	<b>r</b>
Skála nebo tvrdá hlína	4,94	0,98	0,305	60,96
Ostatní	92,6	0,87	0,091	6,096
Beton	105,2	0,333	0,396	6,096

#### Dílčí krok 2

Následně se vytvoří KE tabulka fragmentů vylétajících z kráteru. SAFER stanoví počet выvržených fragmentů  $N_{ce}$  pro KE koše této tabulky za použití algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

$$\text{Koš } n: N_{ce} = (\text{hmotnost materiálu выvrženého z kráteru} \times \text{podíl každého koše}) / \text{průměrná hmotnost fragmentu}$$



Další  $n$ ,

kde podíl každého koše a průměrná hmotnost fragmentu jsou uvedeny v tabulce 32.

**TABULKA 32 – Podíly vyvržené zeminy**

Druh zeminy	Koš 1	Koš 2	Koš 3	Koš 4	Koš 5	Koš 6	Koš 7	Koš 8	Koš 9	Koš 10
	Průměrná hmotnost fragmentu (kg)									
	34,2	14,3	6,08	2,54	1,08	0,454	0,191	0,0816	0,0363	0,0136
Skála nebo tvrdá hlína	0,005	0,00125	0,00125	0,00125	0,00125	0,0025	0,0025	0,0025	0,56	0,4225
Ostatní	0,1666	0,0417	0,0417	0,0417	0,0417	0,0833	0,0833	0,0833	0,1667	0,25
Beton	0,05	0,05	0,05	0,05	0,075	0,075	0,075	0,075	0,1	0,1

### Maximální vzdálenost rozletu materiálu vyvrženého z kráteru

#### Dílčí krok 1

Vypočítá se poloměr kráteru pomocí

$$\text{Poloměr kráteru} = g \times (W_2)^{1/3} \quad (30)$$

kde koeficient poloměru kráteru  $g$  je uveden v tabulce 31.

#### Dílčí krok 2

Vypočítá se nominální maximální vzdálenost rozletu  $R_M$  pomocí

$$R_M = r \times \text{poloměr kráteru} \quad (31)$$

kde koeficient vzdálenosti rozletu materiálu vyvrženého z kráteru  $r$  je uveden v tabulce 31.

#### Dílčí krok 3

Vytvoří se tabulka maximálních vzdáleností rozletu pro materiál vyvržený z kráteru přiřazením nominální maximální vzdálenosti rozletu  $R_M$  koši s nejnižším číslem, který obsahuje fragmenty (první nenulový koš).

#### Dílčí krok 4

Stanoví se maximální vzdálenosti rozletu pro zbývající koše v každé tabulce použitím téhož obecného postupu, jaký byl popsán u primárních fragmentů.

### **8.2.2.3 Fragmenty z podzemních prostor**

#### **8.2.2.3.1 Švýcarská metoda pro fragmenty z podzemních prostor**

Metoda popsaná v následující části standardu bude použita v revidovaném švýcarském modelu EXPLORISK.

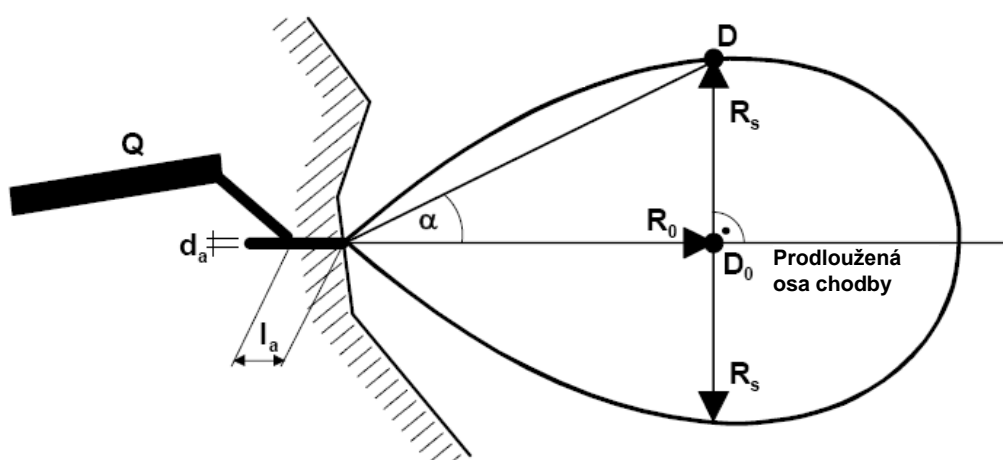
Fragmenty vymrštěné z podzemních prostor (chodeb) jsou jedním z nejnebezpečnějších důsledků výbuchu v podzemních objektech umístěných ve skále. Fragmenty se skládají z částí munice a jejích obalů, technických zařízení jako vzduchotechniky, dveří a protipožárních zařízení, komor a spojovacích chodeb a jiných prvků železobetonových konstrukcí, stejně jako kamenných úlomků vytvářených účinky výbuchu. Všechny tyto fragmenty jsou urychlovány plyny produkovanými výbuchem

a unikajícími z podzemního objektu a jsou vymrštěny do okolí před vstupem do podzemí.

Rozlet fragmentů z podzemních prostor závisí především na hmotnosti výbušnin  $Q$ , jež se zpravidla vyjadřuje ve formě  $NEQ$  (kg), uskladněných v objektu a geometrie (poměr délky k průměru  $l_a/d_a$  části podzemních prostor těsně za vstupní částí).

Ovlivnit vymrštění trosek mohou i další faktory jako náplňová hustota (hmotnost výbušnin/objem komory nebo systému), centrum výbuchu v komoře, konstrukční řešení vstupní části a geometrie celého podzemního prostoru. Dostupné údaje ze zkoušek a nehod jsou však pro odvození věrohodných vztahů nedostatečné.

Obecný tvar rozložení fragmentů před vstupem do podzemních prostor, podobný jetelovému lístku, je ukázán na obrázku 13.



- $Q$  hmotnost výbušnin ( $NEQ$ ) (kg)
- $D$  hustota fragmentů na boční straně prodloužené osy chodby ( $\text{kusy}/\text{m}^2$ )
- $D_0$  hustota fragmentů na prodloužené ose chodby ( $\text{kusy}/\text{m}^2$ )
- $R_s$  vzdálenost k boční straně prodloužené osy chodby (m)
- $R_0$  vzdálenost (na prodloužené ose chodby) od vstupu do podzemí (m)
- $\alpha$  úhel ukazující odchylku  $D$  od prodloužené osy chodby ( $^\circ$ )
- $l_a$  započítávaná délka části chodby těsně za vstupem (m)
- $d_a$  průměrný ekvivalentní průměr chodby o délce  $l_a$  (m)

**OBRÁZEK 13 – Obecný tvar rozložení vymrštěných fragmentů**

Obecné rozložení fragmentů

Hustota fragmentů  $D_0$  na prodloužené ose chodby (podélné rozložení) se stanoví jako funkce vzdálenosti  $R_0$  od vstupu, jakož i hmotnosti výbušnin  $Q$  – viz obrázek 14:

$$D_0 = f_m \times \exp\left(A + B \times R_0 / (f_p \times f_k)\right) \quad (32)$$

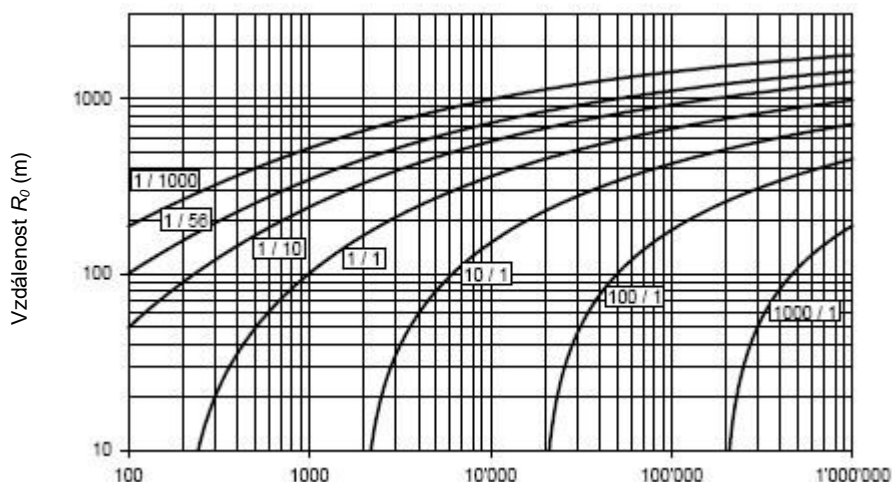
s parametry

$$A = -5,25 + 1,0 \times \ln Q$$

$$B = -0,0085 - 0,25/Q^{0,5}$$

kde  $D_0$  je hustota fragmentů na prodloužené ose chodby ( $\text{kusy}/\text{m}^2$ ),

- (m),  $R_0$  - vzdálenost (na prodloužené ose chodby) od vstupu do podzemí
- $Q$  - hmotnost výbušnin (NEQ) (kg),
- $\exp$  -  $\exp(x) = e^x$ ,
- $f_p$  - parametr vstupu závislý na příčném rozložení fragmentů (1),
- (1),  $f_m$  - parametr hmotnosti závislý na počtu vstupů do podzemních prostor
- $f_k$  - parametr uzavíracího zařízení beroucí v úvahu účinek samouzavíracího zařízení (1).



**OBRÁZEK 14 – Podélné rozložení fragmentů (na prodloužené ose chodby)**

Hodnoty v rámečcích představují hustoty  $D_0$  (kusy/m<sup>2</sup>). Platné pouze pro objekty:

- s úzkým příčným rozložením fragmentů ( $f_p = 1$ ),
- s jedním vstupem do podzemních prostor ( $f_m = 1$ ),
- bez samouzavíracího zařízení ( $f_k = 1$ ).

Hustota fragmentů  $D$  na boční straně prodloužené osy chodby (příčné rozložení) se řídí normálním rozložením a její směrodatná odchylka  $\sigma$ , která určuje „šířku“ příčného rozložení fragmentů, je závislá na poměru  $l_a/d_a$ , tj. geometrie části chodby těsně za vstupem – viz obrázek 15:

$$D = D_0 \times \exp(\alpha^2 / (-2 \times \sigma^2)) \quad (33)$$

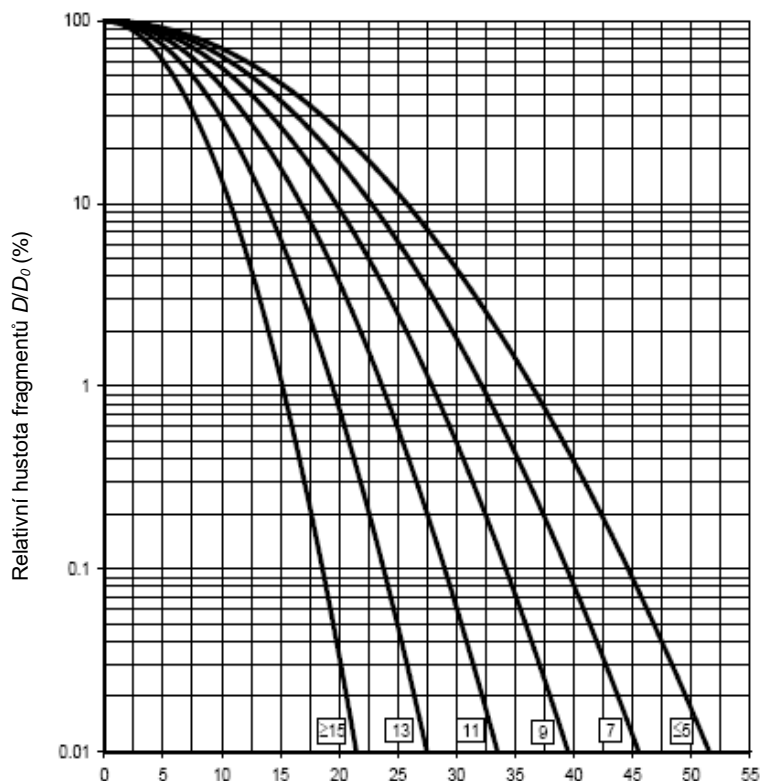
resp.

$$R_s = R_0 \times \operatorname{tg}(\alpha) \quad (34)$$

kde  $D$  je hustota fragmentů na boční straně prodloužené osy chodby (kusy/m<sup>2</sup>),

- $D_0$  - hustota fragmentů na prodloužené ose chodby (kusy/m<sup>2</sup>),
- $R_s$  - vzdálenost k boční straně prodloužené osy chodby (m),

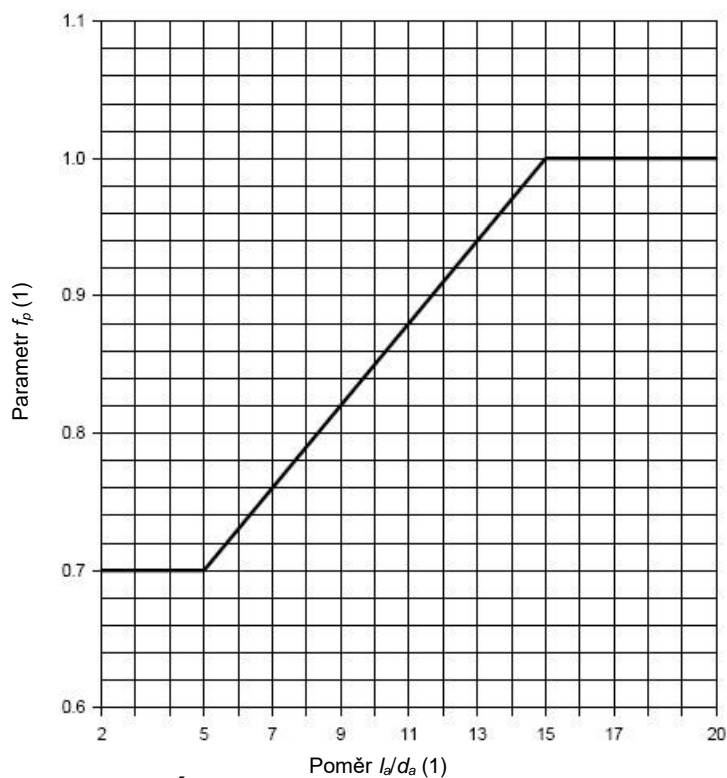
- (m),  $R_0$  - vzdálenost (na prodloužené ose chodby) od vstupu do podzemí
- $\exp$  -  $\exp(x) = e^x$ ,
- $\alpha$  - úhel ukazující odchylku  $D$  od prodloužené osy chodby ( $^\circ$ ),  
 $\alpha = (-2 \times \ln(D/D_0) \times \sigma)^{0,5}$ ,
- $\sigma$  - směrodatná odchylka závislá na poměru  $l_a/d_a$ .



**OBRÁZEK 15 – Příčné rozložení fragmentů (k boční straně prodloužené osy chodby)**  
Úhel  $\alpha$  ( $^\circ$ )

Hodnoty v rámečcích představují poměr  $l_a/d_a$ .

Parametr vstupu  $f_p$ , který je funkcí poměru  $l_a/d_a$ , je graficky zobrazen na obrázku 16. Jestliže se předpokládá, že celková hmotnost vymrštěných fragmentů (a tedy celková plocha pokrytá fragmenty) je konstantní, pak široká pásma fragmentů musí být kratší než pásma úzká.



**OBRÁZEK 16 – Parametr vstupu  $f_p$**

$f_p = 0,7$  pro  $l_a/d_a \leq 5$  (široká pásma fragmentů)

$f_p = 0,55 + 0,03 \times l_a/d_a$  pro  $5 < l_a/d_a < 15$

$f_p = 1,0$  pro  $l_a/d_a \geq 15$  (úzká pásma fragmentů)

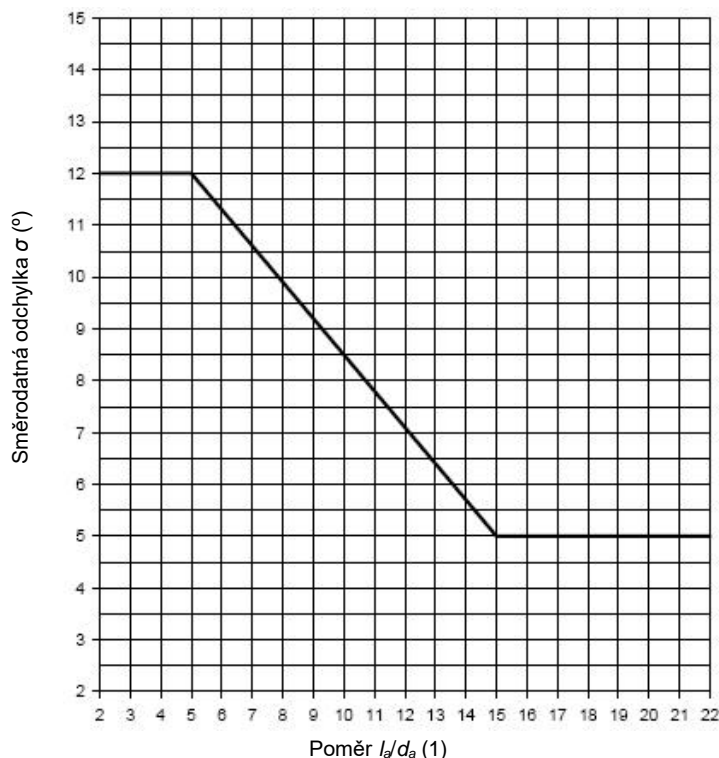
$l_a$  započítávaná délka části chodby těsně za vstupem (m)

$d_a$  průměrný ekvivalentní průměr chodby o délce  $l_a$  (m)

$$d_a = (4 \times F_a / \pi)^{0,5}$$

$F_a$  průměrný průřez na délce chodby  $l_a$  (m<sup>2</sup>)

Standardní odchylka  $\sigma$ , která je také funkcí poměru  $l_a/d_a$ , je graficky zobrazena na obrázku 17. Ukazuje rozsah rozptylu v příčném směru.



**OBRÁZEK 17 – Směrodatná odchylka  $\sigma$**

- |                                      |     |                    |                          |
|--------------------------------------|-----|--------------------|--------------------------|
| $\sigma = 12$                        | pro | $l_a/d_a \leq 5$   | (široká pásma fragmentů) |
| $\sigma = 15,5 - 0,7 \times l_a/d_a$ | pro | $5 < l_a/d_a < 15$ |                          |
| $\sigma = 1,0$                       | pro | $l_a/d_a \geq 15$  | (úzká pásma fragmentů)   |

$l_a$  započítávaná délka části chodby těsně za vstupem (m)

$d_a$  průměrný ekvivalentní průměr chodby o délce  $l_a$  (m)

$$d_a = (4 \times F_a / \pi)^{0,5}$$

$F_a$  průměrný průřez na délce chodby  $l_a$  (m<sup>2</sup>)

V případě, že objekt má podzemní prostory s několika vstupy (např. ve tvaru Y kvůli ochraně před nepřátelským útokem), parametr hmotnosti  $f_m$  zohlední skutečnost, že celková hmotnost vyvrstvených fragmentů je rozložena mezi tyto vstupy.

Části chodeb těsně za vstupy jsou buď „identické“, nebo „rozdílné“. „Identické“ jsou v případě, kdy mají stejný průřez a pokud jsou symetrické k ose hlavní chodby – viz obrázek 18.

Podle toho se použije odpovídající model (a nebo b) v kroku 1 následujícího postupu:

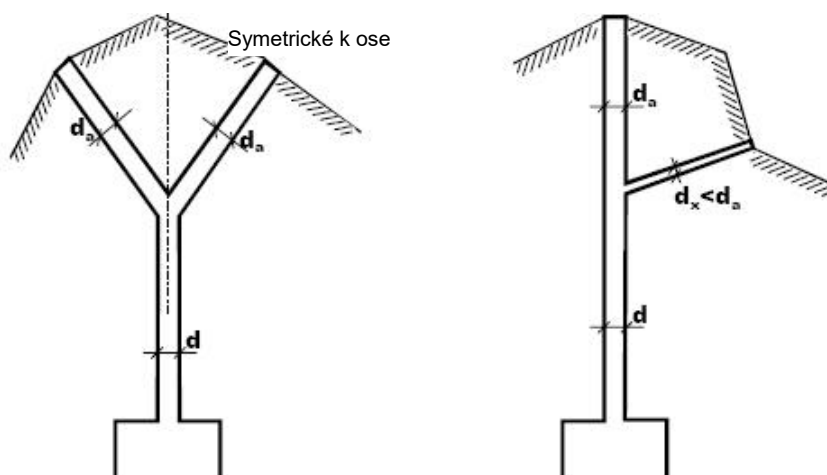
**Krok 1a (pro „identické“ části chodeb těsně za vstupem)**

Celková hmotnost potenciálních fragmentů se rozdělí poměrně mezi počet vstupů:

$$f_{ma} = 1,0 / n \quad (35)$$

(1), kde  $f_{ma}$  je část celkové hmotnosti fragmentů připadající na vstup ( $\sum f_{ma} = 1,0$ )

$n$  - počet stejných vstupů (1).



**OBRÁZEK 18 – Příklad „identického“ a „rozdílného“ vstupu**

Krok 1b (pro „rozdílné“ části chodeb těsně za vstupem)

Celková hmotnost potenciálních fragmentů se rozdělí podle rozdílů v geometrii tak, aby  $\sum f_{ma} = 1,0$ .

Krok 2

Zohlední se, že mnoho fragmentů může být vytvořeno v objektu s pouze jedním vstupem, stejně jako nahodilá změna rozložení hmotnosti fragmentů mezi jednotlivé vstupy (dokonce i u „identických“ částí chodeb), a to zvětšením hmotnosti fragmentů z kroku 1 o 30 %:

$$f_m = 1,3 \times f_{ma} \quad (36).$$

Krok 3

Ověří se, zda pro parametr hmotnosti fragmentů platí  $f_m \leq 1,0$  pro všechny vstupy; platí-li pro některý vstup  $f_m > 1,0$ , nastaví se  $f_m = 1,0$ .

Pro objekty s pouze jedním vstupem  $f_m = 1,0$

V případě, že objekt má samouzavírací zařízení (k redukcí účinků výbuchu z podzemních prostor), odpovídající parametr uzavíracího zařízení  $f_k$  zohlední zmenšení rozletu fragmentů.

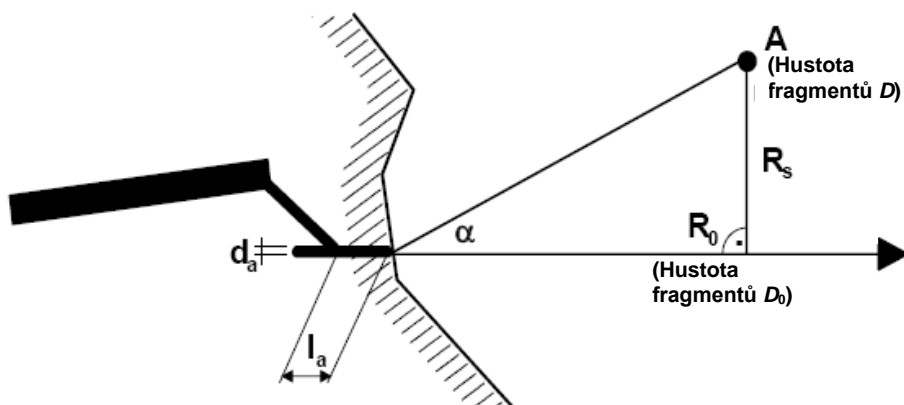
Účinnost samouzavíracího zařízení závisí hlavně na prostorovém uspořádání a konstrukčním řešení, celkovém množství skladovaných výbušnin ( $NEQ$ ), náplňové hustotě ( $NEQ$  / objem za uzavíracím zařízením) a na tom, zda zařízení je v momentě výbuchu otevřené či zavřené.

U samouzavíracího zařízení používaného ve Švýcarsku (typu Klotz) je zmenšení vzdálenosti pro danou hustotu fragmentů kolem 60 % ( $f_k = 0,6$ ) ve srovnání s objektem bez tohoto zařízení. Tato hodnota platí pro situaci, kdy je zařízení v okamžiku výbuchu v otevřené poloze. Je-li uzavřené, může být zmenšení vzdálenosti, v závislosti na náplňové hustotě a celkovém množství výbušnin, i větší ( $f_k < 0,6$ ).

Pro objekty bez samouzavíracího zařízení  $\rightarrow f_k = 1,0$

Příklady, jak stanovit hustotu fragmentů v daném ohroženém místě v okolí před vstupem do podzemních prostor, resp. vzdálenost pro danou hustotu fragmentů, jsou

pro objekty s jedním vstupem a bez samouzavíracího zařízení uvedeny na obrázcích 19 a 20.



**OBRÁZEK 19 – Příklad výpočtu hustoty fragmentů v daném místě**

Dáno:  $Q = 200\,000$  kg TNT

$$l_a = 32 \text{ m}, d_a = 4 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad l_a/d_a = 8$$

Hledáno: Hustota fragmentů  $D$  v místě A ( $R_0 = 500$  m,  $R_s = 100$  m)

Řešení:

1)  $D_0$  v  $R_0$  na prodloužené ose chodby:

Parametr vstupu – obrázek 16 nebo tabulka 33

$$f_p = 0,79$$

Parametr A – tabulka 33

$$A = 6,96$$

Parametr B – tabulka 33

$$B = -0,009$$

$$D_0 = \exp(A + B \times R_0 / f_p) = 3,54 \text{ kusů/m}^2$$

2)  $D$  v  $R_s$  na boční straně kolmo k prodloužené ose:

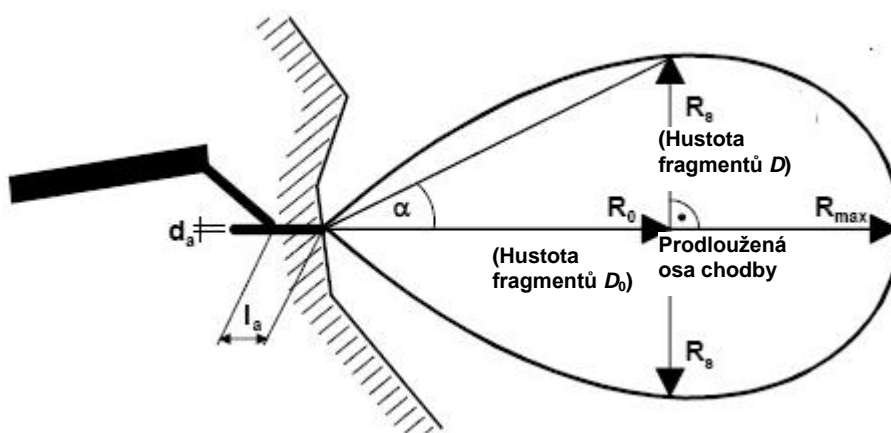
Směrodatná odchylka – obrázek 17 nebo tabulka 33

$$\sigma = 9,90^\circ$$

Odchylka od osy – obrázek 13

$$\alpha = 11,31^\circ$$

$$D = D_0 \times \exp(\alpha^2 / (-2 \times \sigma^2)) = 1,8 \text{ kusů/m}^2$$



**OBRÁZEK 20 – Příklad výpočtu vrstevnice pro danou hustotu fragmentů**



Dáno:  $Q = 200\,000$  kg TNT  
 $l_a = 32$  m,  $d_a = 4$  m  $\Rightarrow l_a/d_a = 8$

Hledáno: Vrstevnice s hustotou fragmentů  $D = 1$  kus/m<sup>2</sup>

Řešení:

1)  $R_{max}$  na prodloužené ose chodby:

Parametr vstupu – obrázek 16 nebo tabulka 33  $f_p = 0,79$   
Parametr  $A$  – tabulka 33  $A = 6,96$   
Parametr  $B$  – tabulka 33  $B = -0,009$

$$R_{max} = f_p \times (\ln D - A) / b = 611 \text{ m}$$

2)  $R_0$  ( $< R_{max}$ ) na prodloužené ose a odpovídající  $R_s$  na boční straně kolmo k ose:

Pro stanovení vrstevnice (obrysu tvaru jetelového lístku) pásma fragmentů s hustotou  $D = 1$  kus/m<sup>2</sup>,  $R_0$  a odpovídající  $R_s$  musí být stanoven příslušný počet násobků (začíná se s  $R_{max}$  a končí u vstupu).

Příklad:  $R_0 = 500$  m

Hustota fragmentů v  $R_0$   $D_0 = 3,54$   
kusů/m<sup>2</sup>

Směrodatná odchylka – obrázek 17 nebo tabulka 33  $\sigma = 9,90^\circ$

Odchylka od osy  $\alpha = 15,74^\circ$

$$R_s = R_0 \times \operatorname{tg}(\alpha) = 141 \text{ m pro } R_0 = 500 \text{ m}$$

Pro účel kontroly výpočetního postupu obsahuje tabulka 33 hodnoty  $A$ ,  $B$ ,  $f_p$  a pro běžně využívané hmotnosti výbušnin  $Q$  a poměry  $l_a/d_a$ .

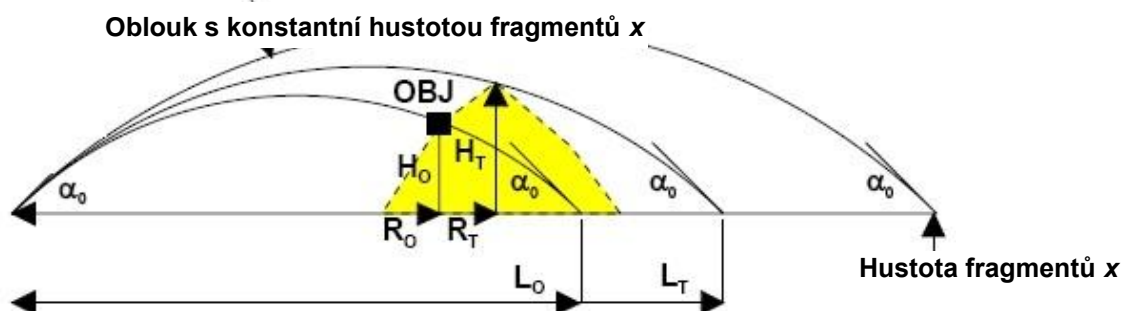
**TABULKA 33 – Pomocná tabulka pro stanovení  $A$ ,  $B$ ,  $f_p$  a  $\sigma$**

<b>NEQ (kg)</b>	<b>A (1)</b>	<b>B (1)</b>		<b>Poměr <math>l_d/d_a</math> (1)</b>	<b><math>f_p</math> (1)</b>	<b><math>\sigma</math> (°)</b>
100	-0,64	-0,0335		2,0	0,70	12,0
200	0,05	-0,0262		3,0	0,70	12,0
300	0,45	-0,0229		4,0	0,70	12,0
400	0,74	-0,0210		5,0	0,70	12,0
500	0,96	-0,0197		5,5	0,72	11,7
600	1,15	-0,0187		6,0	0,73	11,3
700	1,30	-0,0179		6,5	0,75	11,0
800	1,43	-0,0173		7,0	0,76	10,6
900	1,55	-0,0168		7,5	0,78	10,3
1 000	1,66	-0,0164		8,0	0,79	9,9
2 000	2,35	-0,0141		8,5	0,81	9,6
3 000	2,76	-0,0131		9,0	0,82	9,2
4 000	3,04	-0,0125		9,5	0,84	8,9
5 000	3,27	-0,0120		10,0	0,85	8,5
6 000	3,45	-0,0117		10,5	0,87	8,2
7 000	3,60	-0,0115		11,0	0,88	7,8
8 000	3,74	-0,0113		11,5	0,90	7,5
9 000	3,85	-0,0111		12,0	0,91	7,1
10 000	3,96	-0,0110		12,5	0,93	6,8
20 000	4,65	-0,0103		13,0	0,94	6,4
30 000	5,06	-0,0099		13,5	0,96	6,1
40 000	5,35	-0,0098		14,0	0,97	5,7
50 000	5,57	-0,0096		14,5	0,99	5,4
60 000	5,75	-0,0095		15,0	1,00	5,0
70 000	5,91	-0,0094		16,0	1,00	5,0
80 000	6,04	-0,0094		17,0	1,00	5,0
90 000	6,16	-0,0093		18,0	1,00	5,0
100 000	6,26	-0,0093		19,0	1,00	5,0
200 000	6,96	-0,0091		> 20,0	1,00	5,0
300 000	7,36	-0,0090				
400 000	7,65	-0,0089				
500 000	7,87	-0,0089				

Vliv reliéfu

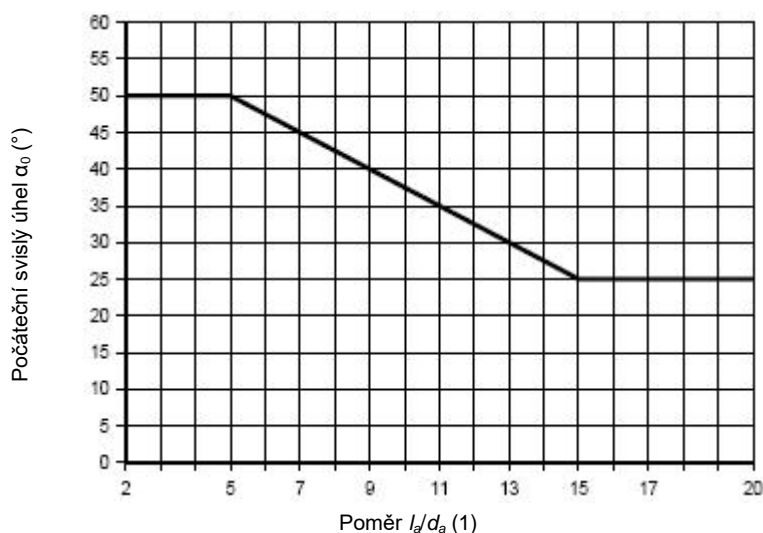
Vertikální geometrie rozložení fragmentů je představována segmenty vertikálních oblouků. Počáteční bod u vstupu do podzemních prostor je stejný pro všechny oblouky představující různé hustoty fragmentů i pro všechny směry. Tyto oblouky nereprezentují

skutečné dráhy fragmentů, jsou to pouze pomocné prostředky pro výpočet – grafické znázornění je na obrázku 21.



**OBRÁZEK 21 – Stanovení hustoty fragmentů u objektu nad úrovní roviny**

Jelikož počáteční úhel  $\alpha_0$  je funkcí poměru  $l_a/d_a$  přímé části chodby těsně za vstupem, je proto konstantní pro všechny objekty s totožným poměrem  $l_a/d_a$  – viz obrázek 22.



$$\alpha_0 = 50^\circ \quad \text{pro} \quad l_a/d_a \leq 5$$

$$\alpha_0 = 62,5^\circ - 2,5^\circ \times (l_a/d_a) \quad \text{pro} \quad 5 < l_a/d_a < 15$$

$$\alpha_0 = 25^\circ \quad \text{pro} \quad l_a/d_a \geq 15$$

$l_a$  započítávaná délka přímé části chodby těsně za vstupem (m)  
 $d_a$  průměrný ekvivalentní průměr chodby o délce  $l_a$  (m)  
 $d_a = (4 \times F_a / \pi)^{0,5}$   
 $F_a$  průměrný průřez na délce chodby  $l_a$  (m<sup>2</sup>)

**OBRÁZEK 22 – Stanovení počátečního svislého úhlu  $\alpha_0$**

Stanovení hustoty fragmentů u ohroženého objektu na terénu nad (nebo pod) úrovní horizontální roviny před vstupem do podzemních prostor se řídí níže uvedeným postupem a je ilustrován na obrázku 21.

Nejprve se stanoví výchozí hustota fragmentů u ohroženého objektu (OBJ) nalezením vertikálního oblouku, který vede skrz vstup i objekt. Tento oblouk je funkcí vzdálenosti  $R_0$  objektu od vstupu a výšky  $H_0$  objektu nad horizontální rovinou. Bod ve vzdálenosti

$L_0$ , kde oblouk protíná horizontální rovinu, má – podle definice – tutéž hustotu fragmentů jako objekt.

Jestliže platí některý z níže uvedených případů, výchozí hustota fragmentů u objektu musí být upravena uvedeným způsobem:

- Objekt je situován kdekoli za vrcholem vyvýšeniny ( $R_0 > R_T$ ):  
Nejdříve musí být ověřeno, zda hustota fragmentů u objektu nepřevyšuje hustotu na vrcholu vyvýšeniny. Pokud je tomu tak, hustota fragmentů u objektu musí být srovnána s hustotou (v  $R_T$ ) na vrcholu. V druhém kroku, protože všechny fragmenty s malými svislými úhly jsou zastaveny vyvýšeninou, se musí hustota fragmentů vydělit dvěma.
- Objekt je situován na předním svahu vyvýšeniny a ve velmi strmé oblasti (sklon je větší než  $40^\circ$ ):  
Protože je pravděpodobné, že dopadající fragmenty budou padat dolů po svahu, a tak vytvoří dodatečné nebezpečné situace, hustota fragmentů u objektu musí být zvýšena, zvláště z důvodu ohrožení nechráněných osob (na volném prostranství) a automobilů v závislosti na konkrétní situaci v daném místě.

Ve všech ostatních případech není třeba hustotu fragmentů měnit.

Tento model dále umožňuje určení oblastí chráněných před fragmenty vymrštěnými při výbuchu v podzemních zařízeních, protože jsou za vyvýšeninou dostatečně vysokou k zastavení všech fragmentů.

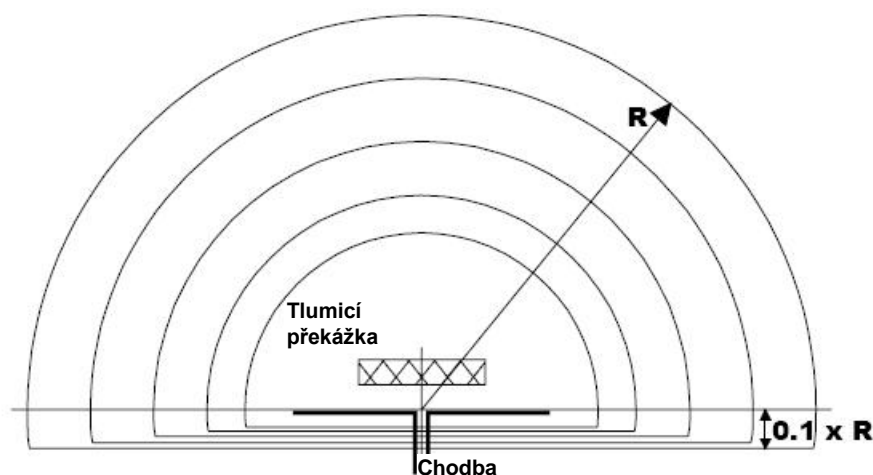
### Zvláštní případy

#### Tlumicí překážky před vstupem do podzemních prostor

Pokud je tlumicí překážka (ochranná stěna, val) umístěna ve vzdálenosti menší než deset metrů (závisí především na hmotnosti výbušnin) před vstupem a pokud jsou splněny všechny níže uvedené podmínky účinnosti tlumicí překážky, pak může být použito rozložení rozletu fragmentů dle obrázku 23. Je-li tlumicí překážka umístěna dále od vstupu, aplikuje se postup uvedený v předchozí části standardu zabývající se vlivem reliéfu.

Podmínky pro účinnou tlumicí překážku jsou:

- čelní strana obrácená ke vstupu musí být více či méně svislá,
- čelní strana obrácená ke vstupu musí být kolmá k prodloužené ose chodby,
- celek musí být symetrický k prodloužené ose chodby,
- musí pokrýt všechny úhly rozletu fragmentů, jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru,
- musí odolat účinkům předpokládaného výbuchu.



**OBRÁZEK 23 – Vliv tlumicí překážky**

Pokud jsou výše zmíněné podmínky pro účinnou tlumicí překážku splněny, rozložení fragmentů bude mít tvar půlkruhů se středem u vstupu do podzemních prostor. Poloměr pásem je 40 % odpovídající vzdálenosti na ose chodby u objektu bez tlumicí překážky a s poměrem  $l_a/d_a \geq 15$ , bez ohledu na skutečný poměr  $l_a/d_a$  vstupní chodby ( $f_p = 0,4$ ). Pro zohlednění odrážejících se fragmentů musí být půlkruhy protaženy o 10 % příslušného poloměru směrem zpět za vchod (viz obrázek 23).

Jestliže jsou splněny pouze některé z výše uvedených podmínek, platí následující pravidla:

- Pro tlumicí překážky šikmé k prodloužené ose chodby:

Definuje se osa nových směrů rozletu fragmentů odchylující se od prodloužené osy chodby.

V případě pouze jednoho zjevného nového směru rozletu fragmentů musí být stanovena pásma pro  $l_a/d_a \leq 5$ .

Pokud existuje několik nových směrů rozletu, postupuje se obdobně jako ve výše uvedené kapitole Obecné rozložení fragmentů, části pojednávající o objektech s více vstupy, založené na pásmech pro  $l_a/d_a \leq 5$ .

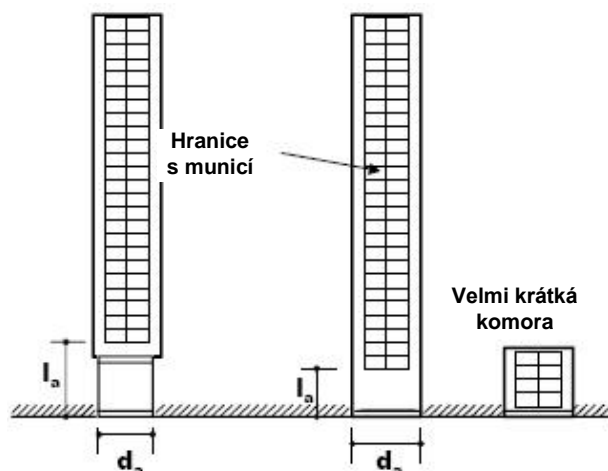
- Pro tlumicí překážky pouze částečně pokrývající úhly rozletu fragmentů:

Celková hmotnost potenciálních fragmentů se v závislosti na skutečném stínícím účinku tlumicí překážky rozdělí mezi modely s účinnou tlumicí překážkou a bez ní. Musí však být zachován princip konstantní hmotnosti celkové hmotnosti fragmentů.

- Pro stanovení rozložení hustoty fragmentů se použijí modelové zkoušky a počítačové simulace.

#### Velmi krátké podzemní prostory

U objektů s velmi krátkou chodbou se započítávaná délka části chodby těsně za vstupem  $l_a$  měří od vstupu po první hranici s municí – viz obrázek 24.



**OBRÁZEK 24 – Příklady objektů s velmi krátkými podzemními prostory**

Je-li  $l_a/d_a > 2$ , použije se obvyklý model rozletu fragmentů (kapitola Obecné rozložení fragmentů).

Je-li  $l_a/d_a < 2$ , musí být rozlišeny následující dva případy:

- pro velmi krátké komory a hranice s municí sahající ke vchodu (obrázek 24) má být použit model rozletu fragmentů pro objekty s tlumicí překážkou, ale bez protažení půlkruhů zpět za vstup;
- ve všech ostatních případech musí být stanoveno rozložení rozletu fragmentů pro objekty s tlumicí překážkou a bez ní. Následně se hustoty fragmentů odvozené z obou modelů vydělí dvěma a superponují.

#### Prostředky k omezení vzniku a účinků fragmentů

Vlastnosti fragmentů vymrštěných z prostor podzemních objektů vybudovaných ve skále závisí na mnoha parametrech jako jsou celková hmotnost vzniklých fragmentů, prostorové uspořádání objektu, dostupné prostředky pro omezení vzniku a účinků fragmentů a množství uskladněné munice. Hmotnost fragmentů se skládá z munice, částí munice, obalů, technických zařízení (např. dveří, vzduchotechniky, elektrické instalace), betonu ze stavebních konstrukcí, úlomků skal atd.

Celkové množství fragmentů, které může být vytvořeno a vymrštěno ze vstupní části podzemních prostor, je hodně závislé na konkrétních podmínkách daného místa a nemůže být proto obecně stanoveno s vysokou přesností. Nehody a zkoušky ukázaly, že u objektů bez speciálních prostředků pro omezení vzniku a účinků fragmentů je celkové množství vymrštěných fragmentů až 25krát větší než množství výbušnin uložených ve skladovací komoře. Zvláště v případě velkého rozrušení objektu pochází podstatná část fragmentů ze vstupu (úločky skály a betonu), části chodby těsně za vstupem a technických zařízení umístěných v chodbě. V takových případech přispívá munice a její obaly, původně uskladněné v komoře, k vymrštěným fragmentům v menší míře.

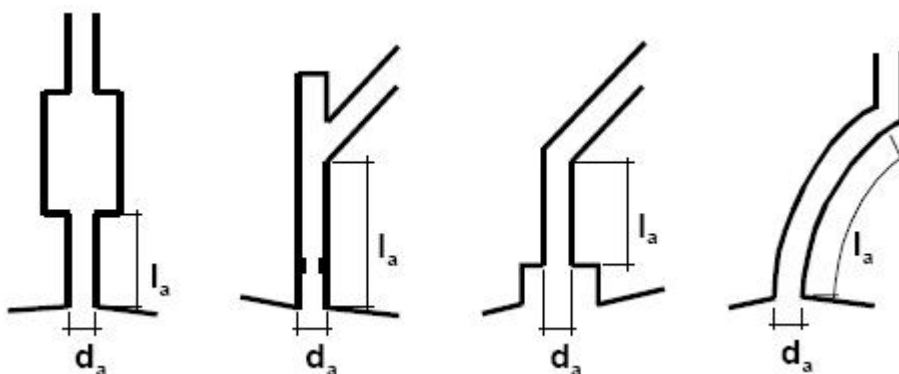
Kromě tlumících překážek a samouzavíracích zařízení mohou snížit rozlet fragmentů z podzemních prostor i další konstrukční prvky jako lapače fragmentů a expanzní komory v chodbovém systému. Testy prováděné s takovými prvky ukázaly, že v závislosti na jejich počtu a umístění, délce chodeb a náplňové hustotě jsou schopné zachytit podstatnou část fragmentů pocházejících ze skladovací komory.

Údaje ze zkoušek ukazují, že správně navržené lapače fragmentů mohou v chodbě zachytit až 90 % fragmentů.

Pro přiměřené zahrnutí prostředků pro omezení vzniku a účinků fragmentů do výpočtu rozletu fragmentů se důrazně doporučuje provést zkoušky s modely ve vhodně zmenšeném měřítku nebo počítačové simulace.

#### Stanovení poměru $l_a/d_a$

Poměr  $l_a/d_a$  přímé části chodby těsně za vstupem do podzemních prostor má zásadní vliv na rozložení fragmentů. Příklady prostorových řešení chodba/vstup a zásady pro stanovení poměru  $l_a/d_a$  jsou uvedeny na obrázku 25 a v dalším textu.



**OBRÁZEK 25 – Stanovení poměru  $l_a/d_a$**

Při stanovení poměru  $l_a/d_a$  se musí vzít v úvahu následující body:

- malé změny průměru chodby (např. pokud jde o dveře) mohou být zanedbány;
- „slabé“ elementy v chodbě, které neodolají ani mírným účinkům výbuchu, mohou být také zanedbány;
- zvláštní pozornost musí být věnována případům, kdy  $l_a/d_a < 2$ . V závislosti na geometrii chodby a vstupu může být nezbytné:
  - stanovit osu rozletu fragmentů jako odchylojící se od osy přímé části chodby těsně za vstupem (zvláště u objektů se šikmými částmi chodby) nebo
  - předpokládat širší příčné rozložení rozletu fragmentů, které by eventuálně mohlo vést k půlkruhovému rozložení jako u objektů s tlumicí překážkou.

#### Rozsah platnosti

Zvláštní pozornost musí být věnována případům, kdy je model rozletu fragmentů použit mimo rozsah platnosti, který je:

- hmotnost výbušnin Q: 100 až 500 000 kg TNT,
- náplňová hustota v komoře  $\gamma_c$ : 1 až 100 kg/m<sup>3</sup>,
- náplňová hustota v systému  $\gamma_s$ : 0,3 až 100 kg/m<sup>3</sup>.

Při použití pod spodními hranicemi uvedených rozsahů model obvykle nadhodnotí rozlet fragmentů. Pro aplikaci nad horními hranicemi však žádné takové konstatování není možné.

## 8.2.2.4 Fragменты z krycí vrstvy

### 8.2.2.4.1 Švýcarská metoda pro fragmenty z krycí vrstvy

Fragменты z krycí vrstvy mají původ ve skále překrývající podzemní sklad. Pokud není krycí vrstva dostatečná, aby v případě podzemního výbuchu zůstala v podstatě nedotčená, dojde k jejímu proražení a vytvoří se kráter. Především materiál ze skály a v menší míře z konstrukce skladu bude vržen jako fragmenty do všech směrů kolem kráteru. Nebezpečí od tohoto druhu fragmentů je závislé na množství výbušnin uskladněných v podzemním objektu ( $Q$ ), tloušťce krycí vrstvy ( $C$ ), korigované tloušťce krycí vrstvy ( $C/Q^{1/3}$ ), náplňové hustotě v komoře ( $\gamma$ ), úhlu sklonu svahu nadloží ( $\alpha$ ) a pevnosti skály ( $s$ ).

Předpokládá se, že skalnaté nadloží podzemního objektu je postačující pro korigovanou tloušťku krycí vrstvy  $C/Q^{1/3}$  rovnou  $1,2 \text{ m/kg}^{1/3}$ . Pro větší hodnoty může být rozlet fragmentů z nadloží zanedbán. Pro menší hodnoty mohou být vypočítány předpokládané hustoty fragmentů jako funkce vzdálenosti rozletu podle vztahu

$$D = (-1,31 + 56,1 / R^*)^2 \quad (37)$$

kde  $R^* = R / (Q^{1/3} \times f_\gamma \times f_C \times f_\alpha \times f_S)$

nebo

$$D = [-1,31 + (56,1 \times Q^{1/3} \times f_\gamma \times f_C \times f_\alpha \times f_S / R)]^2 \quad (38)$$

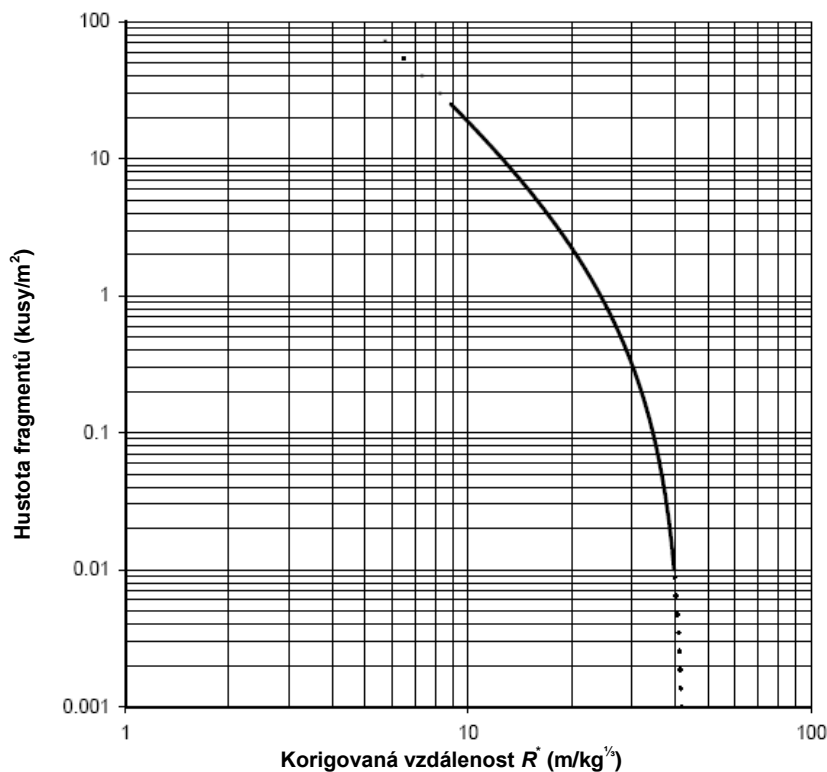
- kde  $D$  je hustota nebezpečných fragmentů ( $\text{kusy/m}^2$ ),  
 $R$  - vzdálenost rozletu fragmentů (m),  
 $R^*$  - korigovaná vzdálenost rozletu fragmentů ( $\text{m/kg}^{1/3}$ ),  
 $Q$  - hmotnost výbušnin ( $NEQ$ ) (kg),  
 $f_\gamma$  - parametr náplňové hustoty (1),  
 $f_C$  - parametr tloušťky krycí vrstvy (1),  
 $f_\alpha$  - parametr úhlu sklonu svahu nadloží (1),  
 $f_S$  - parametr pevnosti skály (1).

Korigovaná vzdálenost rozletu  $R^*$  může získána z grafu nebo rovnic na obrázku 26 (viz tabulka 34 pro parametry).

Při zadané hodnotě hustoty fragmentů může být vzdálenost rozletu vypočítána ze vzorce

$$R = (56,1 \times Q^{1/3} \times f_\gamma \times f_C \times f_\alpha \times f_S) / (D^{1/2} + 1,31) \quad (39).$$





$$D = (-1,31 + 56,1/R^*)^2 \quad \text{pro } R^* < 42$$

$$R^* = 56,1/(D^{0,5} + 1,31)$$

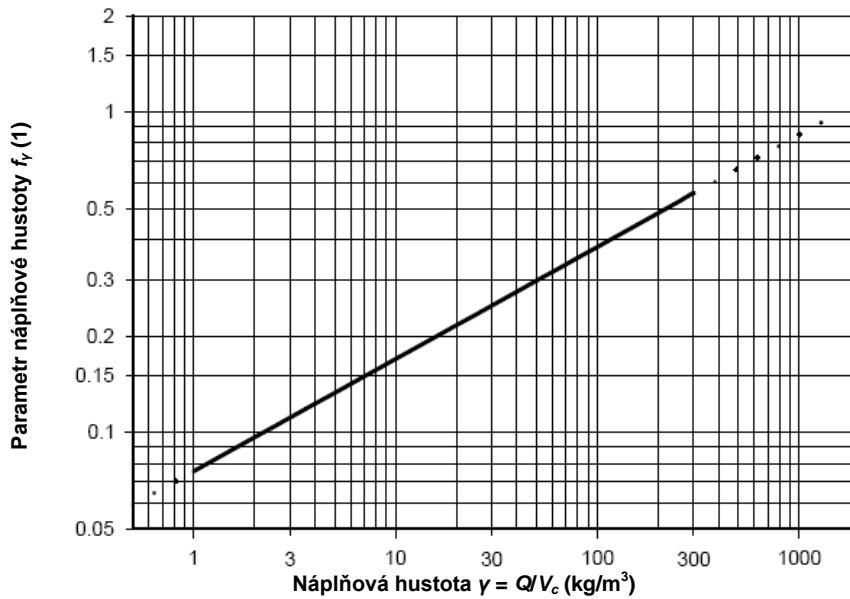
**OBRÁZEK 26 – Korigovaná vzdálenost rozletu jako funkce hustoty fragmentů**

Parametr náplňové hustoty  $f_V$  může být získán z grafu na obrázku 27, parametr tloušťky krycí vrstvy  $f_C$  z obrázku 28, parametr úhlu sklonu svahu nadloží  $f_\alpha$  z obrázku 29 a parametr pevnosti skály  $f_S$  z obrázku 30. Všechny tyto parametry mohou být také vypočítány ze vzorců na odpovídajících obrázcích. Pro zjednodušení a urychlení výpočetního postupu obsahuje tabulka 34 hodnoty pro  $Q^{1/3}$ ,  $f_V$ ,  $f_C$ ,  $f_\alpha$  a  $f_S$  v širokém rozsahu běžně požadovaných hodnot.

Obecně parametr náplňové hustoty  $f_V$  a vzdálenost rozletu rostou se vzrůstající náplňovou hustotou.

Parametr tloušťky krycí vrstvy  $f_C$  vzrůstá se zvětšováním nadloží, dokud není dosažena optimální hloubka proražení ( $C/Q^{1/3}$  se přibližně rovná 0,5), kdy se vytváří největší kráter, do okolí bude vymrštěno největší množství fragmentů z kráteru a důsledkem bude největší vzdálenost rozletu (pro danou hustotu fragmentů). Při tloušťce nadloží překračující optimální hloubku proražení je výsledkem vzrůstu hodnot korigované tloušťky krycí vrstvy zmenšování parametru tloušťky krycí vrstvy  $f_C$  i vzdálenosti rozletu fragmentů.

Zvětšování úhlu sklonu svahu nadloží směrem od kráteru vede k nárůstu parametru úhlu sklonu svahu nadloží  $f_\alpha$  a v důsledku toho i vzdálenosti rozletu (pro danou hustotu fragmentů) ve směru největšího gradientu sklonu; na protilehlé straně je tomu naopak.

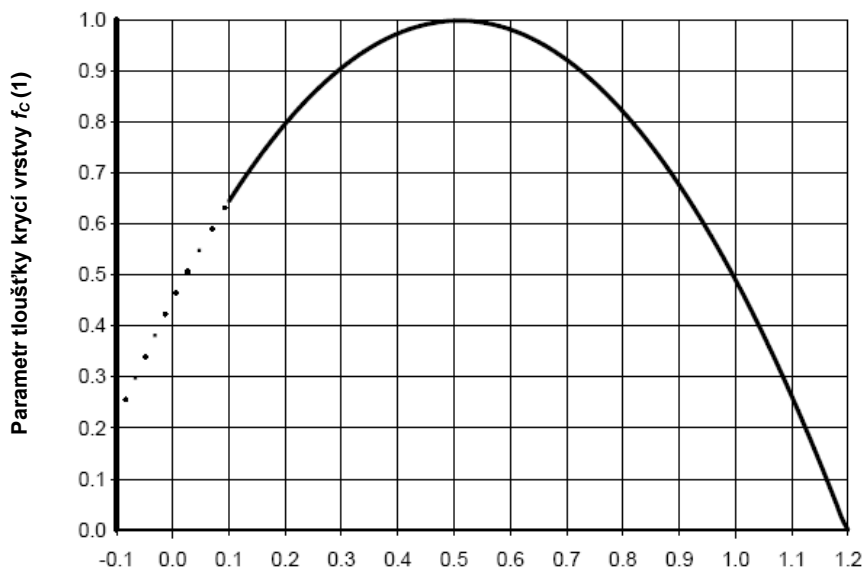


**OBRÁZEK 27 – Parametr náplňové hustoty  $f_\gamma$**

$$f_\gamma = (\gamma/1600)^{0,35}$$

$Q$  = hmotnost výbušnin,  $NEQ$  (kg)

$V_C$  = objem skladovací komory ( $m^3$ )



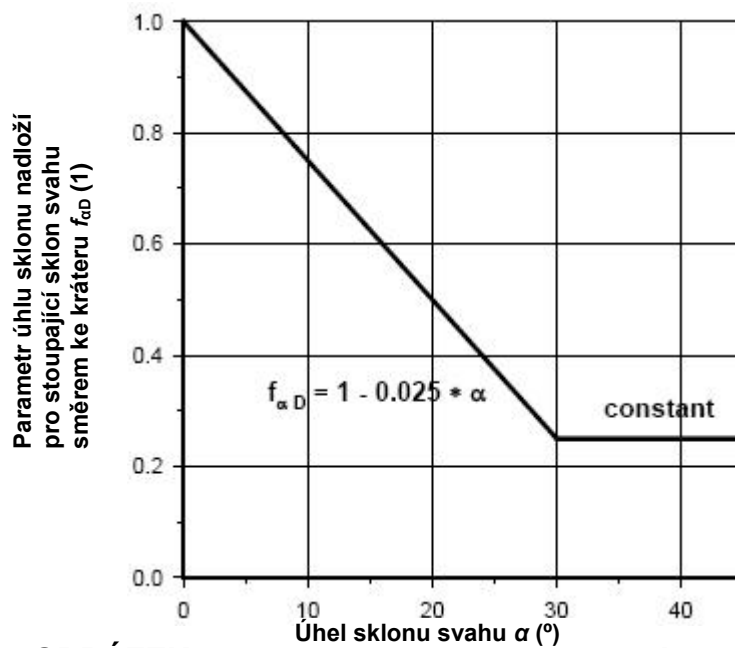
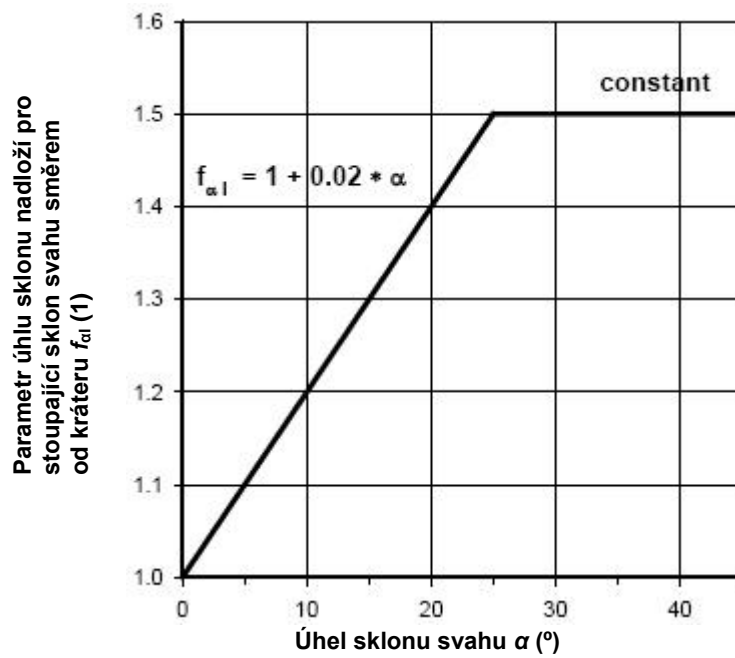
**OBRÁZEK 28 – Parametr tloušťky krycí vrstvy  $f_c$**

Korigovaná tloušťka krycí vrstvy  $C/Q^{1/3}$  ( $m/kg^{1/3}$ )

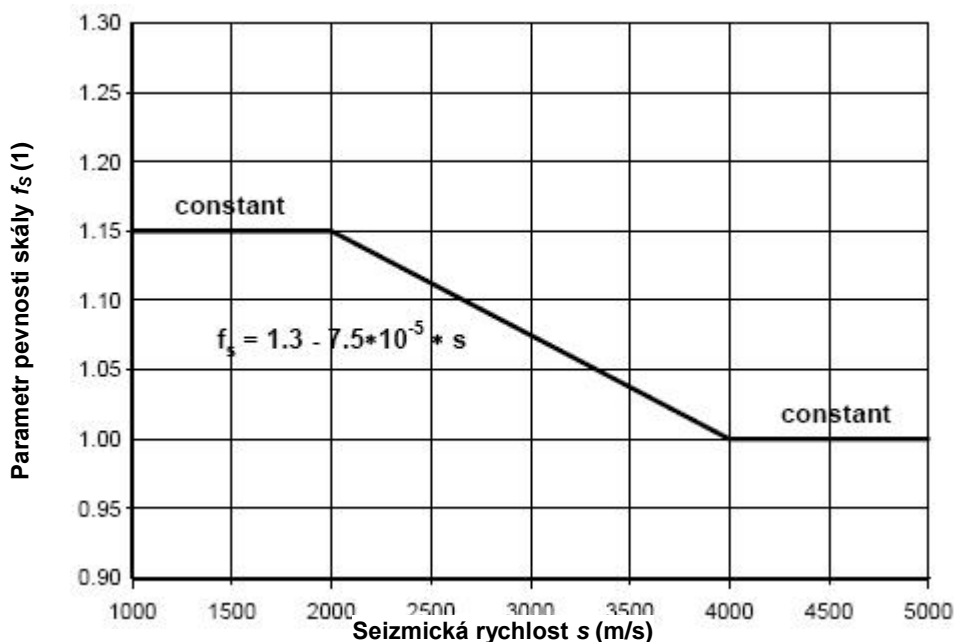
$$x = C/Q^{1/3}$$

$C$  = nadloží, krycí vrstva (m)

$Q$  = hmotnost výbušnin,  $NEQ$  (kg)



OBRÁZEK 29 – Parametr úhlu sklonu svahu nadloží  $f_{\alpha}$



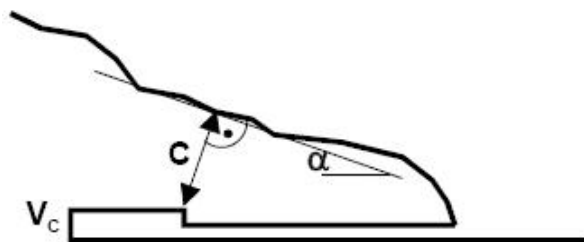
**OBRAZEK 30 – Parametr pevnosti skály  $f_s$**

Parametr pevnosti skály  $f_s$  narůstá se zvětšováním seismické rychlosti – u měkké horniny (jako je měkký pískovec nebo vápenec) s nízkou seismickou rychlostí je vzdálenost rozletu pro danou hustotu fragmentů větší než u horniny tvrdé (jako je žula, rula nebo tvrdý pískovec a vápenec) s vysokou seismickou rychlostí.

Dva příklady výpočtu vzdálenosti rozletu pro danou hustotu fragmentů v určeném místě jsou předvedeny na obrázcích 31 a 32.

Doplňující zásady (viz obrázky 33 a 34):

- vzdálenost rozletu musí být měřena jako horizontální vzdálenost od středu kráteru na jeho dně (na úrovni podzemního objektu);
- úhel sklonu svahu  $\alpha$  musí být zjišťován v oblasti, kde je předpokládán střed kráteru na povrchu terénu;
- v případě, že povrch není v oblasti kráteru rovný, musí být užitá průměrná hodnota úhlu sklonu svahu  $\alpha$  pro celý kráter;
- parametr úhlu sklonu nadloží pro stoupající sklon svahu směrem od kráteru  $f_{\alpha I}$  stejně jako parametr úhlu sklonu nadloží pro stoupající sklon svahu směrem ke kráteru musí být použity pro určení vzdálenosti rozletu ve směru linie s největším gradientem sklonu protínající střed kráteru na povrchu terénu. Tato linie se nemusí nutně překrývat s osou podzemní chodby;
- pro okraj kráteru nesmí být použity žádné parametry  $f_{\alpha I}$  ani  $f_{\alpha D}$ ;
- obrysy obrazce pro danou hustotu fragmentů musí mít eliptický tvar;
- v případech, kdy je představitelný více než jeden střed kráteru (např. je-li povrch nadloží tvořen plochou skálou), vzdálenost rozletu musí být měřena od každého možného středu kráteru. Obrysy obrazce pro danou hustotu fragmentů musí mít tvar zobrazený na obrázku 34.



$$\begin{aligned} V_C &= 5\,000 \text{ m}^3 \\ C &= 50 \text{ m} \\ s &= 5\,000 \text{ m/s} \\ NEQ &= 200\,000 \text{ kg} (= Q) \\ \alpha &= 20^\circ \end{aligned}$$

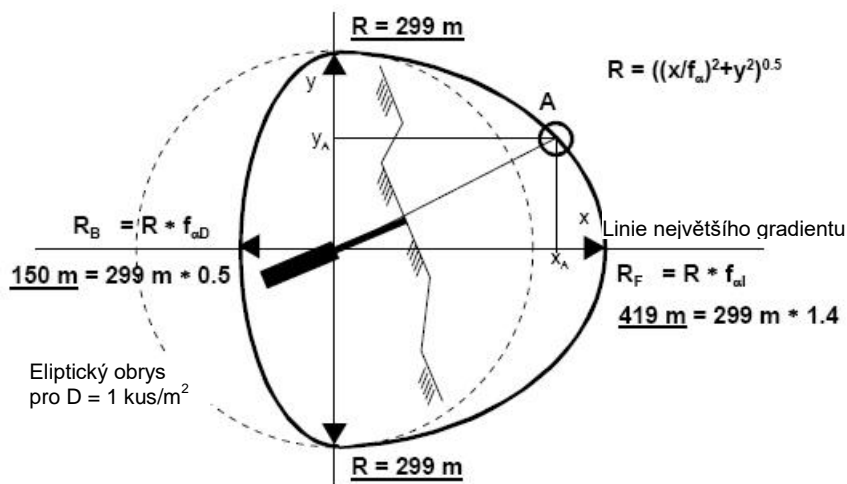
Hledáno: Vzdálenost rozletu s hustotou fragmentů  $D = 1 \text{ kus/m}^2$

Řešení:	$Q^{1/3}$ (přímo nebo z tabulky 34)	$= 58,5 \text{ kg}^{1/3}$
Náplňová hustota	$= Q/V_C$	$= 40 \text{ kg/m}^3$
Korigovaná tloušťka krycí vrstvy	$= C/Q^{1/3}$	$= 0,85 \text{ m/kg}^{1/3}$
Parametr náplňové hustoty (z obrázku 27 nebo tabulky 34)		$f_V = 0,27$
Parametr tloušťky krycí vrstvy (z obrázku 28 nebo tabulky 34)		$f_C = 0,75$
Parametr úhlu sklonu nadloží (obrázek 29 nebo tabulka 34)		$f_{\alpha l} = 1,4; f_{\alpha D} = 0,5$
Parametr pevnosti skály (z tabulky 37 nebo tabulky 34)		$f_S = 1,04$
Korigovaná vzdálenost rozletu pro $D = 1 \text{ kus/m}^2$ (z obrázku 26)		$R^* = 56,1/(1^{0,5} + 1,31) =$

24,3

$$\text{Vzdálenost rozletu pro } D = 1 \text{ kus/m}^2 \text{ (z obrázku 26)} \quad R = 24,3 \times 58,5 \times 0,75 \times 0,27 \times 1,04 =$$

299 m



OBRÁZEK 31 – Příklad výpočtu vzdálenosti rozletu pro danou hustotu fragmentů

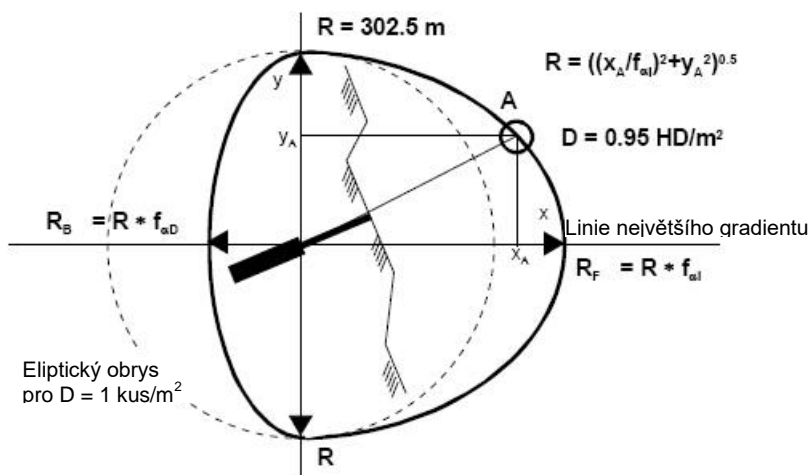
$$\begin{aligned} V_C &= 5\,000 \text{ m}^3 \\ C &= 50 \text{ m} \\ s &= 3\,500 \text{ m/s} \\ NEQ &= 200\,000 \text{ kg} (= Q) \\ \alpha &= 20^\circ \end{aligned}$$

Hledáno: Hustota fragmentů v místě A ( $x_A = 350 \text{ m}$ ,  $y_A = 170 \text{ m}$ )

Řešení:

$Q^{1/3}$ (přímo nebo z tabulky 34)		$= 58,5 \text{ kg}^{1/3}$
Náplňová hustota	$= Q/V_C$	$= 40 \text{ kg/m}^3$
Korigovaná tloušťka krycí vrstvy	$= C/Q^{1/3}$	$= 0,85 \text{ m/kg}^{1/3}$
Parametr náplňové hustoty (z obrázku 27 nebo tabulky 34)		$f_\gamma = 0,27$
Parametr tloušťky krycí vrstvy (z obrázku 28 nebo tabulky 34)		$f_C = 0,75$
Parametr úhlu sklonu nadloží (obrázek 29 nebo tabulka 34)		$f_{\alpha 1} = 1,4$ ; $f_{\alpha D} = 0,5$
Parametr pevnosti skály (z tabulky 37 nebo tabulky 34)		$f_S = 1,04$
Vzdálenost rozletu $R$	$R = ((x_A/f_{\alpha 1})^2 + y_A^2)^{0,5}$	$= 302,3 \text{ m}$
Korigovaná vzdálenost rozletu (z obrázku 26)	$R^* = 302,3/58,5/0,75/0,27/1,04$	$= 24,54$
Hustota fragmentů (z obrázku 26)	$D = (-1,31 + 56,1/24,54)^2$	$= 0,95 \text{ kusu/m}^2$

$\text{m/kg}^{1/3}$



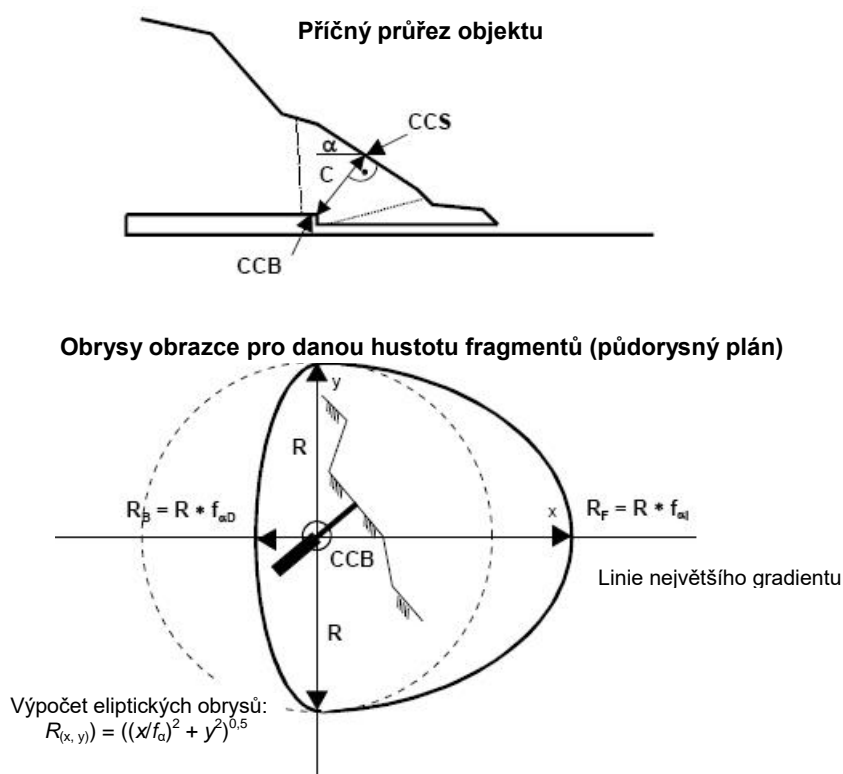
**OBRÁZEK 32 – Příklad výpočtu hustoty fragmentů v daném místě**

### Omezení

Tento model rozletu fragmentů z kráteru vychází z empirického vyhodnocení dostupných údajů a technického posouzení relativně malého počtu zkoušek a nehod. Celková přesnost je proto omezena rozsahem zkoumaných případů. Model rozletu fragmentů z kráteru může být použit pouze v rámci následujících hranic:

- hmotnost výbušnin  $NEQ$  = 1 až 2 000 t,
- náplňová hustota v komoře  $\gamma$  = 1 až 300  $\text{kg/m}^3$ ,
- korigovaná tloušťka krycí vrstvy  $C/Q^{1/3}$  = 0,1  $\text{m/kg}^{1/3}$ .

V případě, že parametry přesahují uvedené hodnoty, je žádoucí věnovat aplikaci tohoto modelu zvýšenou péči.



**OBRÁZEK 33 – Způsob stanovení obrysů obrazce pro danou hustotu fragmentů 1**

- |        |                |   |  |
|--------|----------------|---|--|
|        | $\alpha$       | = | úhel sklonu svahu nadloží  |
|        | $C$            | = | krycí vrstva / nadloží   |
|        | CCS            | = | střed kráteru na povrchu terénu                                    |
|        | CCB            | = | střed kráteru na jeho dně  |
|        | $R$            | = | vzdálenost rozletu pro danou hustotu fragmentů                     |
|        | $R_F, R_B$     | = | vzdálenost k čelní, resp. zadní straně                             |
| směrem | $f_{\alpha l}$ | = | parametr úhlu sklonu nadloží pro stoupající sklon svahu od kráteru |
| směrem | $f_{\alpha D}$ | = | parametr úhlu sklonu nadloží pro stoupající sklon svahu ke kráteru |

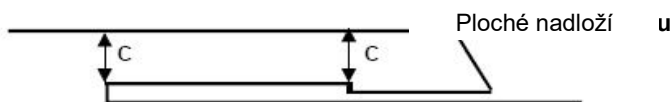
**TABULKA 34 – Pomocné tabulky pro stanovení  $Q^{1/3}$ ,  $f_c$ ,  $f_y$ ,  $f_a$  a  $f_s$**

Hmotnost výbušnin, NEQ (kg)	$Q^{1/3}$ (kg <sup>1/3</sup> )	Korigovaná tloušťka krycí vrstvy (m/kg <sup>1/3</sup> )	$f_c$ (1)	Náplňová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	$f_y$ (1)	Úhel sklonu svahu (°)	$f_{a1}$ (1)	Seizmická rychlost (m/s)	$f_s$ (1)
1 000	10,0	0,10	0,64	1	0,08	0,0	1,00	1 000	1,15
1 500	11,4	0,15	0,73	3	0,11	2,5	1,05	1 500	1,15
2 000	12,6	0,20	0,80	5	0,13	5,0	1,10	2 000	1,15
2 500	13,6	0,25	0,86	10	0,17	7,5	1,15	2 500	1,11
3 000	14,4	0,30	0,91	15	0,20	10,0	1,20	3 000	1,08
4 000	15,9	0,35	0,94	20	0,22	12,5	1,25	3 500	1,04
5 000	17,1	0,40	0,97	25	0,23	15,0	1,30	4 000	1,00
6 000	18,2	0,45	0,99	30	0,25	17,5	1,35	4 500	1,00
7 000	19,1	0,50	1,00	40	0,27	20,0	1,40	5 000	1,00
8 000	20,0	0,55	0,99	50	0,30	22,5	1,45		
		0,60	0,98	60	0,32	> 25	1,50		
10 000	21,5	0,65	0,96	70	0,33				
15 000	24,7	0,70	0,92	80	0,35				
20 000	27,1	0,75	0,88	90	0,37				
25 000	29,2	0,80	0,82	100	0,38				
30 000	31,1	0,85	0,75	120	0,40				
40 000	34,2	0,90	0,68	140	0,43				
50 000	36,8	0,95	0,59	160	0,45				
60 000	39,1	1,00	0,49	180	0,47				
70 000	41,2	1,05	0,38	200	0,48				
80 000	43,1	1,10	0,26	220	0,50				
		1,15	0,13	250	0,52				
100 000	46,4	1,20	0,00	300	0,56				
150 000	53,1								
200 000	58,5								
250 000	63,0								
300 000	66,9								
400 000	73,7								
500 000	79,4								
600 000	84,3								
700 000	88,8								
1 000 000	100,0								
1 500 000	114,5								
2 000 000	126,0								

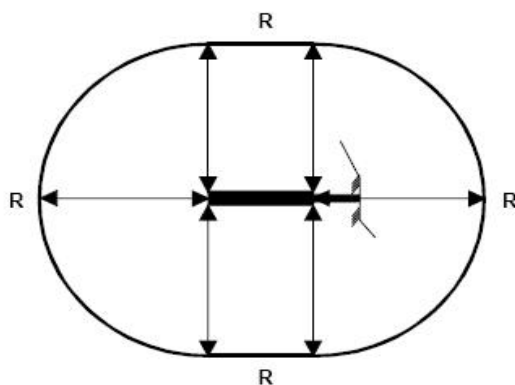
  

Úhel sklonu svahu (°)	$f_{aD}$ (1)
0,0	1,00
2,5	0,94
5,0	0,88
7,5	0,81
10,0	0,75
12,5	0,69
15,0	0,63
17,5	0,56
20,0	0,50
22,5	0,44
25,0	0,38
27,5	0,31
> 30	0,25





Obrysy obrazce pro danou hustotu fragmentů (půdorysný plán)



C = krycí vrstva / nadloží

R = vzdálenost rozletu pro danou hustotu fragmentů

## OBRÁZEK 34 – Způsob stanovení obrysů obrazce pro danou hustotu fragmentů 2

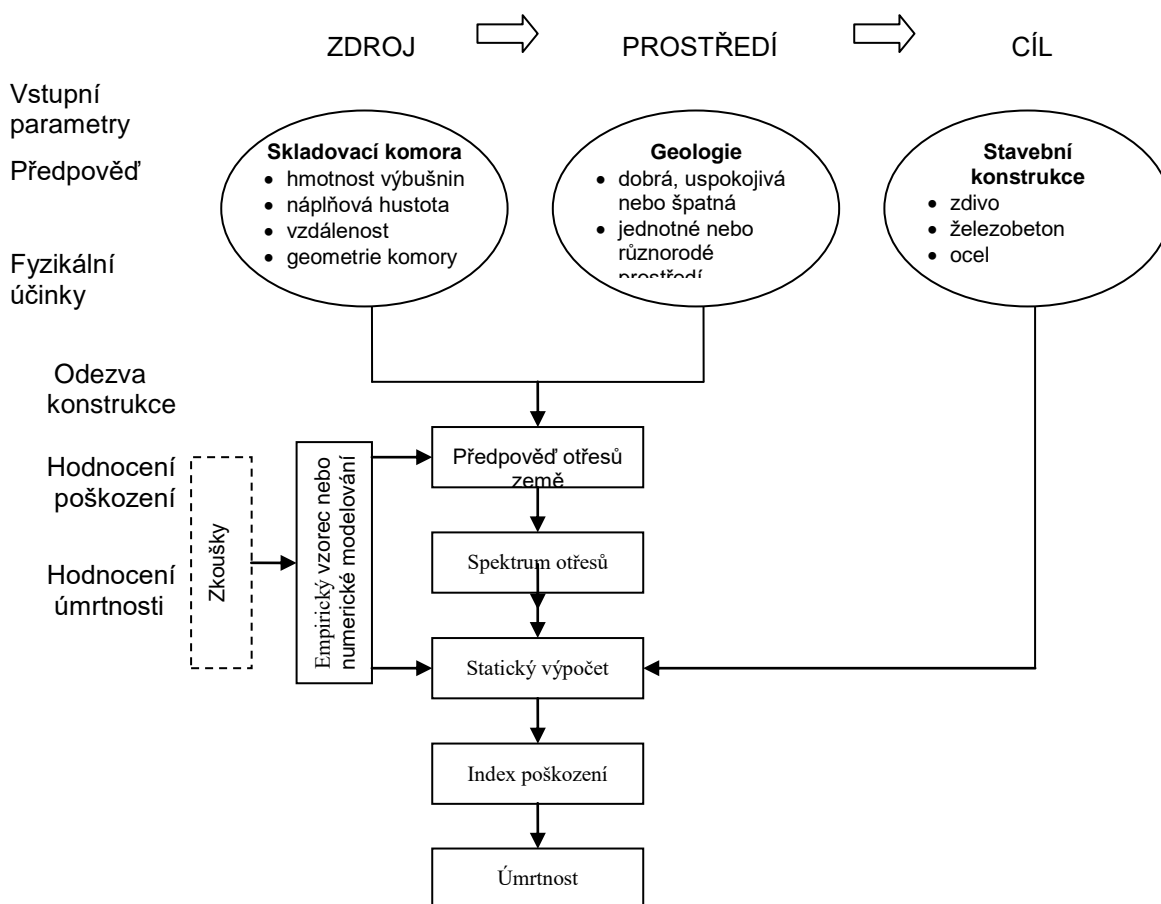
### 8.2.3 Tepelné účinky

Tepelné účinky výbuchu jsou obecně omezeny na oblast v těsné blízkosti prostoru se skladovanou municí. V tomto prostoru je úmrtnost v důsledku ostatních účinků, jako je tlaková vlna a fragmenty, vyšší a pro většinu muničních předmětů převládající.

Pro materiál třídy nebezpečnosti 1.3 mohou být tepelné účinky rozhodující. Míst pro skladování využívaných výlučně pro třídu nebezpečnosti 1.3 není v současné době mnoho. Metody pro stanovení tepelných účinků nejsou v tomto standardu obsaženy.

### 8.2.4 Otřesy země

Pro účely analýzy rizik se má předpověď otřesů země v důsledku havarijního výbuchu v podzemním skladu munice řídit systematickým postupem zohledňujícím všechny důležité faktory mající vliv na šíření otřesů a jejich parametry, které mají závažný vliv na odezvu stavebních konstrukcí. Obrázek 35 ukazuje základní kroky analýzy pro stanovení indexu poškození budov a následně úmrtnosti v důsledku otřesů země.



**OBRÁZEK 35 – Analytický postup pro stanovení indexu poškození a úmrtnosti v důsledku otřesů země**

#### 8.2.4.1 Faktory ovlivňující účinky otřesů země

Otřesy země jsou velmi závislé na místě děje a jsou ovlivněny následujícími faktory:

- geologickou strukturou a vlastnostmi horninového masivu,
- hmotností výbušnin a korigované vzdálenosti,
- náplňovou hustotou v komoře,
- rozložením výbušnin a objemem komory.

#### 8.2.4.2 Geologická klasifikace

Geologická klasifikace uvedená v tabulce 35 má být použita pro předpověď parametrů otřesů země. Pokud není druh horniny zřejmý, má klasifikace vycházet spíše z charakteristik šíření vlny než z pevnosti. Důležité vlastnosti horninového masivu ovlivňující šíření vlny zahrnují objemovou hmotnost, rychlost seizmické vlny a pukliny a jejich orientace.

**TABULKA 35 – Geologická klasifikace lokality pro analýzu otřesů země**

Kvalita horninového masivu	Typický druh horniny		
	Gabro, rula, žula, norit, andesit, dolerit, diabas, ryolit, křemenec, dolomit, mramor, vápenec, pískovec	Jílovec, siltovec, břidlice, vápenec, pískovec	Sopečný tuf, křída, kamenná sůl, vápenec, pískovec
Dobrá až velmi dobrá kvalita s několika málo neztvěralými nebo mírně ztvěralými systémy diskontinuit. Index $Q > 10$ $RMR > 65$ $RQD > 75 \%$ Rychlost šíření vlny $V_p > 4\,500$ m/s	Dobrá	Uspokojivá	Špatná
Uspokojivá až dobrá kvalita s několika mírně ztvěralými systémy diskontinuit. $1 < Q < 10$ $50 < RMR < 65$ $50 \% < RQD < 75 \%$ $3\,500 < V_p < 4\,500$ m/s	Uspokojivá	Uspokojivá	Špatná
Špatná kvalita s početnými ztvěralými puklinami. $Q < 1$ $RMR < 50$ $RQD < 50 \%$ $V_p < 3\,500$ m/s	Špatná	Špatná	Špatná

### 8.2.4.3 Geologie lokality

Geologie lokality je dále rozdělena do následujících dvou kategorií:

- jednotné prostředí – PES i ES jsou v tomtéž horninovém masivu,
- různorodé prostředí – skalnaté podloží je pokryto vrstvou půdy o významné tloušťce (charakteristicky s poměrem tloušťky půdy ku tloušťce skály 0,2), která ovlivňuje šíření otřesů země a frekvenční obsah otřesové vlny, která dorazí k budově, a PES (skladovací komory) je ve skále, kdežto ES (budovy) v půdním nadloží.

V případech, kdy je půdní krycí vrstva menší než 0,05 vzdálenosti přenosu nebo menší než pět metrů, může být geologie lokality klasifikována jako jednotné prostředí.

#### 8.2.4.4 Parametry otřesů země

Předpověď otřesů země musí být prováděna s ohledem na posouzení reakce stavební konstrukce. Spektrum těchto reakcí může být vytvořeno buď empiricky, nebo analyticky.

Pro hodnocení odezvy stavební konstrukce jsou nejdůležitějšími parametry otřesu země amplituda a frekvenční skladba. Amplituda bývá vyjádřena pomocí maximální rychlosti částic, zatímco frekvenční skladba může být reprezentována hlavní frekvencí. Pokud je to možné, mají se provést výpočty pro obě (vertikální i horizontální) složky otřesové vlny.

#### 8.2.4.5 Předpověď maximální rychlosti částic a hlavní frekvence

Rovnice pro maximální rychlost částic a hlavní frekvenci mají tvar

$$PPV = A \times \left( \frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-m} \quad (40)$$

$$PF = B \times \left( \frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-n} \quad (41)$$

- kde *PPV* je maximální rychlost částic (m/s),  
*PF* - hlavní frekvence (Hz),  
*R* - radiální vzdálenost měřená od stěny komory podél přímky vedené ze středu komory ke zkoumanému bodu na povrchu terénu (m),  
*Q* - *NEQ* při jednom výbuchu (kg),  
*A, B* - výchozí hodnoty při korigované vzdálenosti rozletu  $R/Q^{1/3} = 1,0$  (m/s nebo Hz),  
*m, n* - koeficienty útlumu (1).

Souhrnné přehledy výchozích hodnot *A*, *B* a koeficientů útlumu *m*, *n* pro rovnice (40) a (41) jsou v níže uvedených tabulkách 36 až 41.

**TABULKA 36 – Výchozí hodnoty *A* a *m* pro jednotné geologické prostředí a komoru s poměrem šířky k délce 1 : 2**

Geologie	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				<i>m</i> (1)
	5	10	20	50	
	<i>A</i> (m/s)				
Dobrá hornina	0,79	1,08	1,35	1,52	1,23
Uspokojivá hornina	1,00	1,19	1,40	1,62	1,56
Špatná hornina	1,00	1,30	1,55	1,82	1,90

**TABULKA 37 – Výchozí hodnoty  $A$  a  $m$  pro jednotné geologické prostředí a komoru s poměrem šířky k délce 1 : 4**

Geologie	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				$m$ (1)
	5	10	20	50	
	$A$ (m/s)				
Dobrá hornina	0,56	0,75	1,08	1,20	1,23
Uspokojivá hornina	0,78	1,00	1,23	1,49	1,56
Špatná hornina	0,78	1,01	1,39	1,64	1,90

**TABULKA 38 – Výchozí hodnoty  $A$  a  $m$  pro různorodé geologické prostředí a komoru s poměrem šířky k délce 1 : 2**

Geologie	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				$m$ (1)
	5	10	20	50	
	$A$ (m/s)				
Dobrá hornina	1,14	1,38	1,54	1,77	1,71
Uspokojivá hornina	1,41	1,69	2,01	2,37	2,01
Špatná hornina	1,89	2,32	2,60	2,96	2,34

**TABULKA 39 – Výchozí hodnoty  $A$  a  $m$  pro různorodé geologické prostředí a komoru s poměrem šířky k délce 1 : 4**

Geologie	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				$m$ (1)
	5	10	20	50	
	$A$ (m/s)				
Dobrá hornina	1,08	1,29	1,45	1,70	1,71
Uspokojivá hornina	1,20	1,62	1,85	2,13	2,01
Špatná hornina	1,78	2,10	2,47	2,77	2,34

**TABULKA 40 – Výchozí hodnoty  $B$  a  $n$  pro jednotné geologické prostředí**

Geologie a geometrie komory	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				$n$ (1)
	5	10	20	50	
	$B$ (Hz)				
Komora s poměrem šířky k délce 1 : 2	85	76	72	65	0,84
Komora s poměrem šířky k délce 1 : 4	96	86	79	73	

**TABULKA 41 – Výchozí hodnoty  $B$  a  $n$  pro různorodé geologické prostředí**

Geologie a geometrie komory	Náplňová hustota v komoře (kg/m <sup>3</sup> )				
	5	10	20	50	
	$B$ (Hz)				$n$ (1)
Komora s poměrem šířky k délce 1 : 2 a 1 : 4	64	61	51	45	0,67

Výsledky pokrývají hmotnosti výbušnin do 500 t, komory o délce od 45 do 120 m s maximálním objemem 50 000 m<sup>3</sup> a poměrem šířky k délce mezi 1 : 2 a 1 : 4. V úvahu se berou náplňové hustoty komory do 50 kg/m<sup>3</sup> u skalnaté krycí vrstvy nebo ekvivalentní vrstvy s tloušťkou kolem 1,0 Q<sup>1/3</sup> m. Pro různé skladovací podmínky může být provedena interpolace mezi doporučenými hodnotami.

U skladů se skalnatou nebo ekvivalentní krycí vrstvou menší než 1,0 Q<sup>1/3</sup> m nemají být pro korigované vzdálenosti rozletu menší než 1 m/kg<sup>1/3</sup> při předpovědi parametrů otřesů země užívány hodnoty z tabulek 36 až 41. V případech, kdy skalnatá nebo ekvivalentní krycí vrstva jsou podstatně větší než 1,0 Q<sup>1/3</sup> m, se mohou tabulky 36 až 39 využít k předpovědi maximálních rychlostí částic na povrchu terénu.

#### 8.2.4.6 Otřesy země vyvolané tlakovou vlnou

Obecně je otřes země vyvolaný tlakovou vlnou menší než přímý otřes. V případech, kdy existuje domněnka, že je tomu jinak, je třeba pro zjištění parametrů zatížení otřesem provést zkoušky nebo numerické výpočty.

Vibrace budov v důsledku působení tlakové vlny nemají být považovány za otřesy země a proto mají být řešeny samostatně.

#### 8.2.4.7 Jiné třídy nebezpečnosti

U třídy nebezpečnosti 1.2 může být s jednotlivým muničním předmětem (nebo když náplň výbušnin v maximálním množství munice reaguje současně) pro účely předpovědi otřesů země zacházeno jako s materiálem třídy nebezpečnosti 1.1. Jinak řečeno účinky otřesů země při hromadném skladování předmětů třídy nebezpečnosti 1.2 jsou zanedbatelné.

S předměty tříd nebezpečnosti 1.3, 1.5 a 1.6 skladovanými v podzemních prostorách má být pro účely předpovědi otřesů země zacházeno jako s materiálem třídy nebezpečnosti 1.1.

Účinky otřesů země od havárie materiálu třídy nebezpečnosti 1.4 mohou být zanedbány.

U předmětů tříd nebezpečnosti 1.2, 1.3 a 1.4 nebo při společném skladování materiálu různých tříd nebezpečnosti je pro účely předpovědi otřesů země bezpečné a opatrné považovat všechny předměty za materiál třídy 1.1.

### 8.3 Modelování následků výbuchů

Účinky výbuchu, popsané v kapitole 8.2, budou mít potenciální následky pro budovy a osoby vystavené těmto účinkům. U budov může dojít k poškození jejich stavebních konstrukcí, což může vést ke ztrátě celistvosti konstrukce (s možností částečného nebo úplného zřícení budov) a rozbití oken.

Osoby mohou být zraněny nebo usmrceny působením jednoho nebo více mechanismů vyplývajících z účinků výbuchu. Lidé uvnitř objektů mohou čelit dalším následkům vznikajícím při reakci budovy na účinky výbuchu.

Rozdělení pravděpodobností. Koncepce modelů v této kapitole typicky používá k předpovědi nežádoucích důsledků pravděpodobnostní metodu. Rozdělení pravděpodobností se využívá k popisu pravděpodobnosti konkrétních následků. Ve více státech jsou takto aplikovaným prostředkem probit funkce.

Diagramy P-I. Diagramy P-I, obecně grafy závislosti tlaku  $P$  a impulzu  $I$ , bývají využívány při předpovědi nežádoucích následků výbuchu. V daném případě jde o grafické znázornění křivek se stejnou velikostí odezvy objektu na účinky výbuchu, a to vždy pro určitý druh zatížení a stavební konstrukce. Mohou poskytnout předpovědi odezvy objektu a jeho poškození (pro jednotlivé konstrukční prvky i pro celek), jakož i zranění a úmrtnosti osob. Diagramy P-I jsou velmi užitečné pro celkovou prognózu následků, protože být použity s minimem informací (tlak a impulz dopadající na konstrukci nebo vzdálenost a hmotnost výbušnin plus druh konstrukce).

### 8.3.1 Následky působení tlakové vlny na stavební konstrukci

Většina poškození konstrukce od vnějšího výbuchu je způsobena odezvou konstrukce na tlakovou vlnu, dopad fragmentů a otřesy země.

Pro stanovení odezvy konstrukce a jejího poškození se používají různé metody. Zvýšení přesnosti a spolehlivosti při předpovědi odezvy vyžaduje lepší charakterizaci zatížení i konstrukce. Volba metod má být ve shodě s účelem a rozsahem rozboru<sup>17</sup>.

#### 8.3.1.1 Německá metoda stanovení následků pro konstrukce (založená na AASTP-1)

Číselné hodnoty procentního podílu poškození (Percentage of Damage) ve vztahu ke stupni ochrany (Protection Level) jsou dostupné ve spojenecké publikaci AASTP-1<sup>18</sup>. Probity EMI, tj. probity vypracované v německém Ernst-Mach-Institut, charakterizují stupeň poškození (Level of Damage) pomocí faktoru poškození budovy  $BDF$  (Building Damage Factor), který je funkcí stupně ochrany  $QD$ . V AASTP-1 byl termín stupeň ochrany použit k charakterizaci korigované vzdálenosti  $QD = R/Q^{1/3}$  ( $m/kg^{1/3}$ ). Předpokládané poškození nezpevněných budov bylo v AASTP-1 popsáno způsobem uvedeným v tabulce 42. Jako PES byl zvolen otevřený sklad a sklad s lehkou konstrukcí.

<sup>17</sup> Department of the Army Technical Manual TM5-855-1. Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons. 1986

<sup>18</sup> Do prostředí ČR zavedeno vojenským předpisem Vševojsk-5-2 „Skládání munice a výbušnin“

**TABULKA 42 – Předpokládané poškození nezpevněných budov účinky tlakové vlny dle AASTP-1**

Stupeň ochrany $QD$ ( $m/kg^{1/3}$ )	Faktor poškození budovy $BDF$ (1)	Předpokládané poškození
44,4	0,01	Nezpevněné konstrukce pravděpodobně utrpí jen povrchové škody. Jsou-li velké okenní tabule směřující k PES vystaveny tlakové vlně, může dojít k rozbití poloviny i více z nich.
22,2	0,05	Nezpevněné budovy utrpí menší poškození, zvláště oken, dveřních rámců a komínů. Obecně je nepravděpodobné, že poškození přesáhne přibližně 5 % obnovovacích nákladů na celou budovu, ale poškození některých budov může být vážné.
14,8	0,1	Nezpevněné budovy budou středně poškozené s náklady na opravu ve výši do 10 % nákladů na celkovou obnovu.
9,6	0,2	U nezpevněných budov se předpokládá poškození hlavních konstrukčních prvků. Náklady na opravu mohou přesáhnout 20 % nákladů na celkovou obnovu budovy.
8,0	0,37	U nezpevněných budov se předpokládá vážné poškození s pravděpodobnými náklady na opravu přes 30 % nákladů na celkovou obnovu.
7,2	0,5	Poškození nezpevněných budov bude vážného charakteru. Náklady na opravu budou pravděpodobně činit 50 % nebo více z nákladů na celkovou obnovu.
3,6	0,97	Nezpevněné budovy utrpí vážné poškození konstrukce blížíící se úplnému zničení.
2,4	0,99	Nezpevněné budovy budou téměř jistě úplně zničeny.

Procentní podíl poškození klesá se stoupající vzdáleností, a to rychle v blízkosti místa výbuchu a mnohem pomaleji ve větší vzdálenosti. Pro zohlednění této skutečnosti byly vytvořeny dvě složky  $BDF$  funkce: pro blízké vzdálenosti probit faktoru poškození  $BDF-1$  a pro větší vzdálenosti probit faktoru poškození  $BDF-2$ . Oba faktory poškození jsou platné pro nezpevněné budovy vystavené účinkům výbuchu v otevřených skladech a skladech s lehkou konstrukcí obsahujících výbušniny třídy nebezpečnosti 1.1.

Probit EMI  $BDF-1$   $Y = 10,74 - 2,92 \times \ln(QD)$

Rozsah platnosti ( $BDF-1$ )  $2,4 \leq QD \leq 9,6$  ( $m/kg^{1/3}$ )

$1 \leq Q \leq 100$  (t).

Probit EMI  $BDF-2$   $Y = 6,25 - 0,93 \times \ln(QD)$

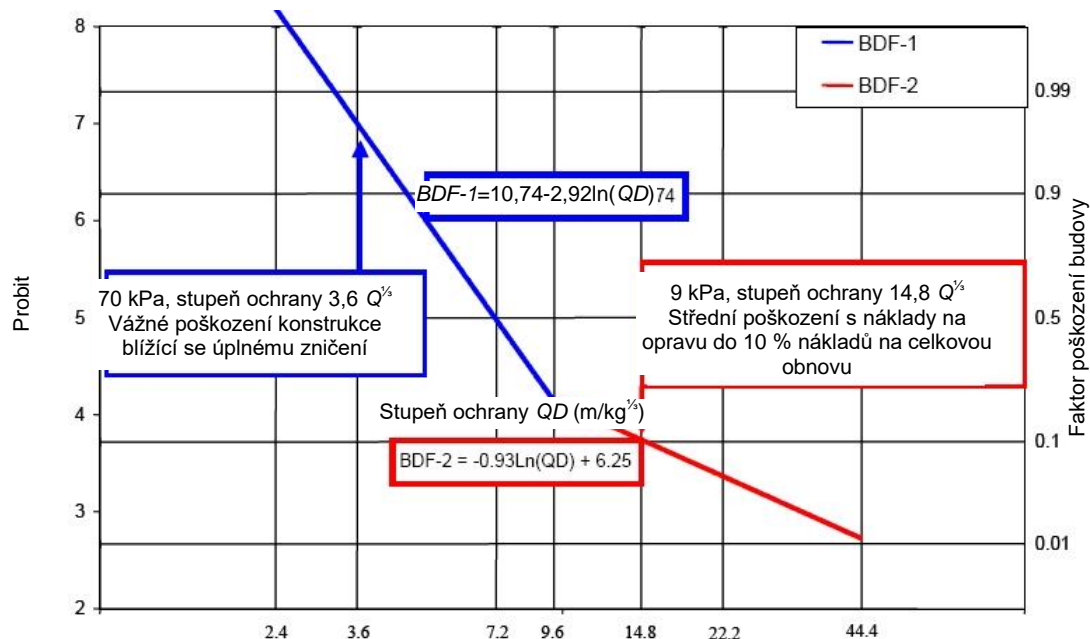
Rozsah platnosti ( $BDF-2$ )  $9,6 < QD \leq 55,5$  ( $m/kg^{1/3}$ )

$1 \leq Q \leq 100$  (t).

Je třeba vzít v úvahu, že rozsah platnosti je integrální součástí každé probit funkce. Stupně poškození vypočítané mimo rozsah platnosti mohou být chybné. Stanovení



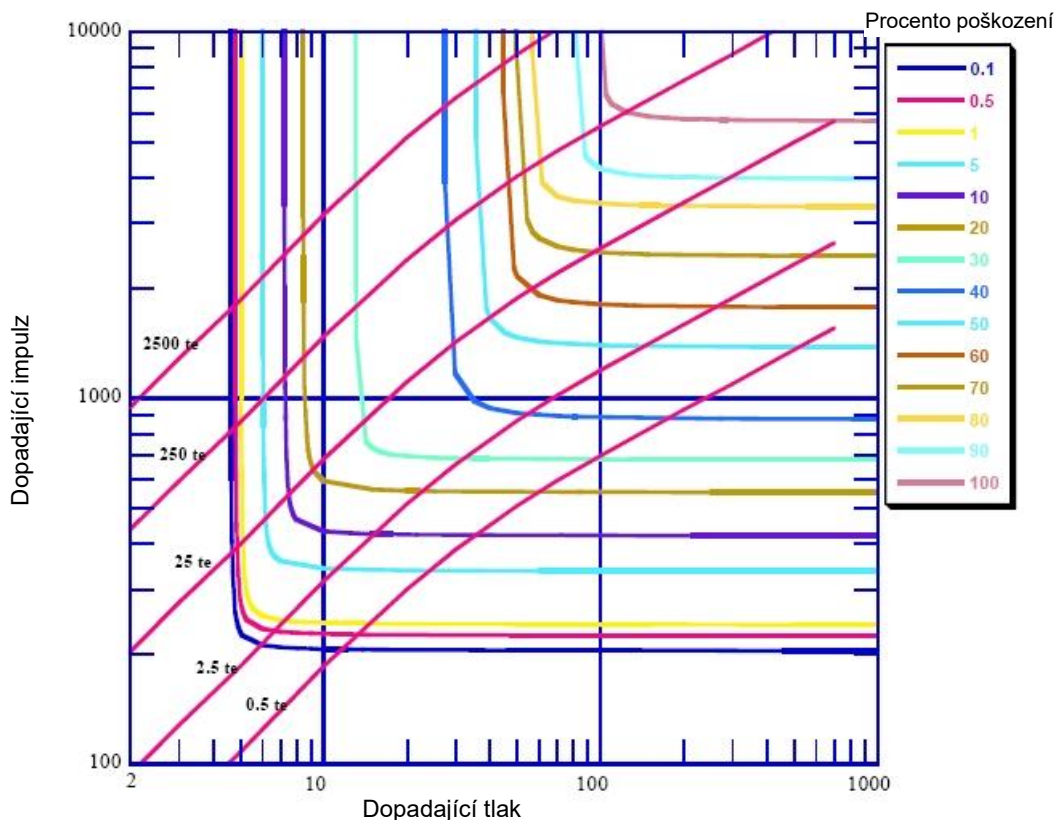
předpokládaného poškození nezpevněných budov je graficky znázorněno na obrázku 36.



**OBRÁZEK 36 – Předpokládané poškození nezpevněných budov**

### 8.3.1.2 Metoda stanovení poškození budovy založená na diagramech P-I (USA)

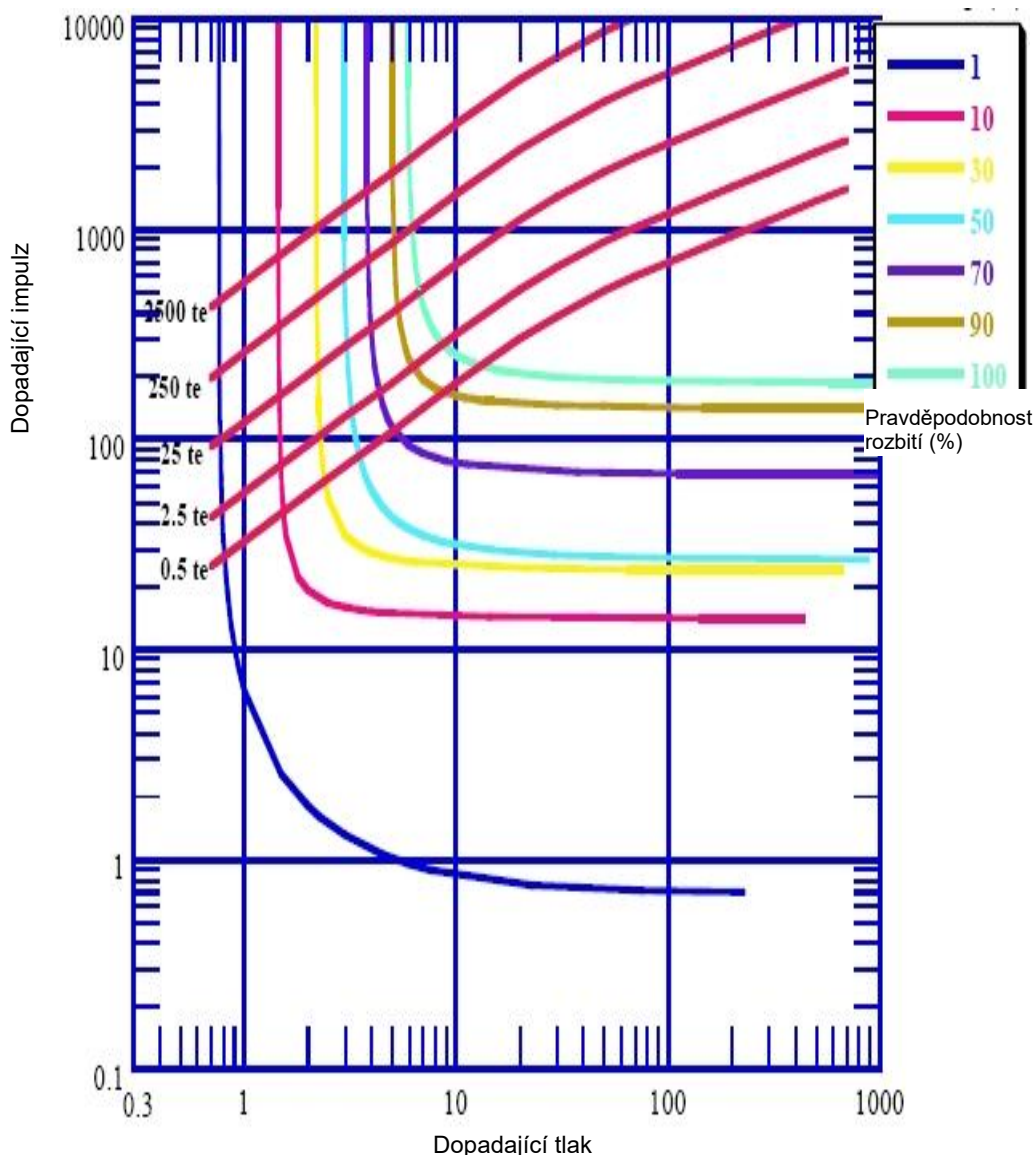
Obrázek 37 ukazuje příklad diagramu P-I pro odezvu konstrukce železobetonové budovy. Tlak je zde uveden v kPa, impulz v Pa . s a ekvivalentní hmotnost výbuštiny v tunách energetického materiálu (te). Vlastnosti standardní železobetonové budovy: zastavěná plocha 929 m<sup>2</sup>, 20cm železobetonové zdi, nosná konstrukce přenášející momenty se železobetonovým stropem, plechovou krytinou a ocelovými stropními nosníky.



**OBRÁZEK 37 – Poškození konstrukce standardní železobetonové budovy**

### 8.3.1.3 Metoda pro stanovení rozbití oken založená na diagramu P-I (USA)

Na obrázku 38 je ukázán příklad diagramu P-I pro odezvu standardního okenního skla zbaveného pnutí na tlakovou vlnu. Tlak je zde uveden v kPa, impulz v Pa . s a ekvivalentní hmotnost výbušniny v tunách energetického materiálu (te). Nominální rozměry skla jsou 1,2 m × 1,2 m × 4,8 mm.



**OBRÁZEK 38 – Rozbití standardního okenního skla**

#### 8.3.1.4 Německá metoda pro stanovení rozbití okenních skel tlakovou vlnou

Okenní sklo je křehký materiál, který se roztříští, když mechanické napětí dosáhne meze pružnosti. Okna rychle reagují na zatížení tlakovou vlnou a v krátkém okamžiku ve srovnání s dobou působení tlakového rázu se poruší jejich celistvost. Z diagramů P-I je možno vidět, že pro hmotnosti výbušnin  $Q > 25$  kg může být rozbití okenního skla popsáno jako funkce přetlaku tlakové vlny. Pro odvození probitu faktoru poškození okna *WDF* (Window Damage Factor) bylo použito pouze kritérium „rozbitý/nerozbitý“. Dodatečné urychlení skleněných fragmentů po rozbití okna nebylo bráno v úvahu.

Hodnocení rizik musí být často prováděno za podmínek, kdy nejsou známy všechny podrobnosti o budovách a oknech v ES. Použije se proto obecný popis předpokládaného stupně poškození, který detailně nezohledňuje plochu a tloušťku okenní tabule, druh a způsob upevnění skla, vady ve skle a pnutí vznikající při montáži okenního skla. Pokud jsou k dispozici podrobnosti o ES, je možná detailnější analýza následků výbuchu.

Probity *WDF* vycházely z následující databáze:

- všechny dostupné údaje o porušení okenních skel se týkají rozmezí tlaků od 1 kPa do 10 kPa<sup>19</sup>,
- 10 % malých okenních tabulí se roztříští při tlakovém rázu 3,5 kPa<sup>15</sup>,
- 50 % malých okenních tabulí se roztříští při tlakovém rázu 5 kPa,
- 100 % malých okenních tabulí se roztříští při tlakovém rázu 10 kPa<sup>15</sup>,
- 50 % velkých okenních tabulí se roztříští při tlakovém rázu 2,5 kPa.

Okenní sklo se roztříští při stejném efektivním přetlaku nezávisle na jeho orientaci (na tom, zda se jedná o čelní  $P_r$  nebo boční tlak  $P_s$ ). Jestliže dojde na okenní tabuli k odrazu, účinný přetlak je  $P_r$ , který je předpokládán na větších vzdálenostech než stejný efektivní boční přetlak.

Pro zjednodušení bylo předpokládáno, že při všech úrovních tlaku  $P_s \leq 10$  kPa se, pokud dojde k odrazu, zvětší přetlak tlakové vlny vynásobením koeficientem 2.

Všechny využití údaje popisují rozbití okna jako funkci bočního a odraženého tlakového rázu. Údaje byly převedeny na probit funkce stupně ochrany  $QD$  ( $m/kg^{1/3}$ ).

S  $QD$  jako nezávislou proměnnou jsou pro boční a čelní orientaci oken nezbytné rozdílné probit funkce *WDF*.

Databáze pro malé okenní tabule s boční a čelní orientací je uvedena v tabulce 43.

**TABULKA 43 – Údaje pro malé okenní tabule**

<i>WDF-1s</i> <i>WDF-1f</i>	Pravděpodobnost rozbití (%)	Tlak $P_s$ nebo $P_r$ (kPa)	$QD$ boční ( $m/kg^{1/3}$ )	$QD$ čelní ( $m/kg^{1/3}$ )
0,01	1	2,8	34	55
0,1	10	3,75	27	44
0,5	50	5	22,2	36
0,9	90	6,7	18	30
0,99	99	9	14,8	24

Databáze pro velké okenní tabule s boční a čelní orientací je uvedena v tabulce 44.

**TABULKA 44 – Údaje pro velké okenní tabule**

<i>WDF-1s</i> <i>WDF-1f</i>	Pravděpodobnost rozbití (%)	Tlak $P_s$ nebo $P_r$ (kPa)	$QD$ boční ( $m/kg^{1/3}$ )	$QD$ čelní ( $m/kg^{1/3}$ )
0,01	1	1,4	55	90
0,1	10	1,9	44	74
0,5	50	2,5	36	60
0,9	90	3,4	30	50
0,99	99	4,5	24	40

<sup>19</sup> FLETCHER, E. R.; RICHMOND, D. R.; YELVERTON, J.T. *Glass Fragment Hazard from Windows Broken by Airblast*. DNA 5593T, 1980.

Níže uvedené probit funkce popisují rozbití skla pro různé scénáře.

Malé okenní tabule, boční orientace:

$$WDF-1s = 22,24 - 5,57 \times \ln(QD)$$

$$14,8 \leq QD \leq 33$$

$$25 \text{ kg} \leq Q$$

Malé okenní tabule, čelní orientace:

$$WDF-1f = 25,01 - 5,57 \times \ln(QD)$$

$$22,2 \leq QD \leq 55$$

$$25 \text{ kg} \leq Q$$

Velké okenní tabule, výkladní skříně, boční orientace:

$$WDF-2s = 25,01 - 5,57 \times \ln(QD)$$

$$22,2 \leq QD \leq 55$$

$$25 \text{ kg} \leq Q$$

Velké okenní tabule, výkladní skříně, čelní orientace:

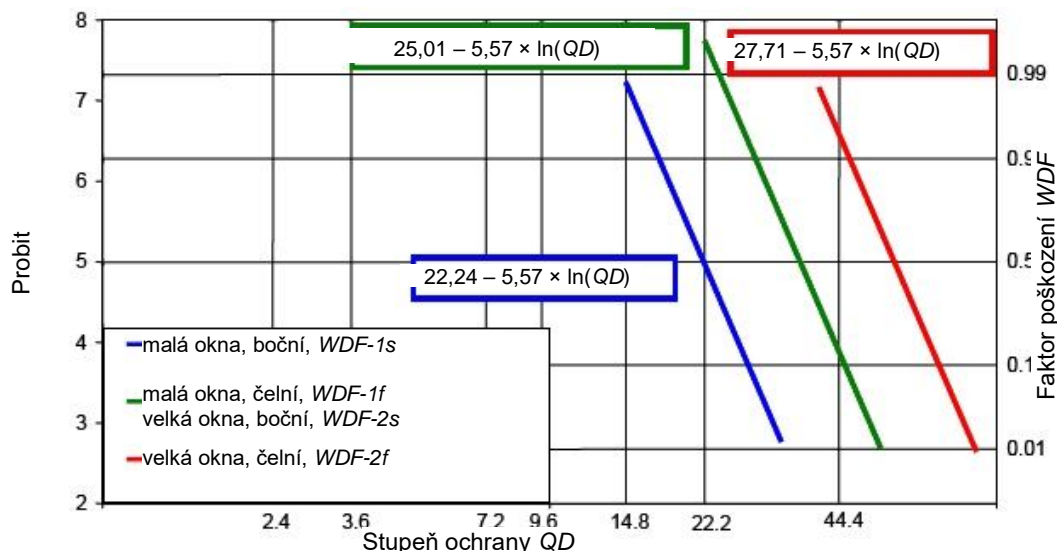
$$WDF-2f = 27,71 - 5,57 \times \ln(QD)$$

$$40 \leq QD \leq 90$$

$$25 \text{ kg} \leq Q$$

Rozsah platnosti je integrální součástí každé probit funkce. Stupně poškození vypočítané mimo rozsah platnosti mohou být chybné.

*WDF* pro malé a velké okenní tabule jsou na obrázku 39 ukázány jako funkce stupně ochrany *QD*. Levá přímka představuje *WDF-1s*, prostřední *WDF-1f* a *WDF-2s* a pravá přímka reprezentuje *WDF-2f*.



**OBRÁZEK 39 – Rozbití okenního skla**

### 8.3.1.5 Německá metoda pro odvození probitu rozbití okenního skla vycházející ze shrivenhamských údajů

Na základě shrivenhamských (Velká Británie) údajů byly odvozeny níže uvedené probit funkce.

Hmotnost výbušniny  $Q = 1 \text{ t}$ :

$$WDF-UK-1t-a = 17,53 - 3,78 \times \ln(QD) \quad \text{pro } 20 \leq QD \leq 40$$

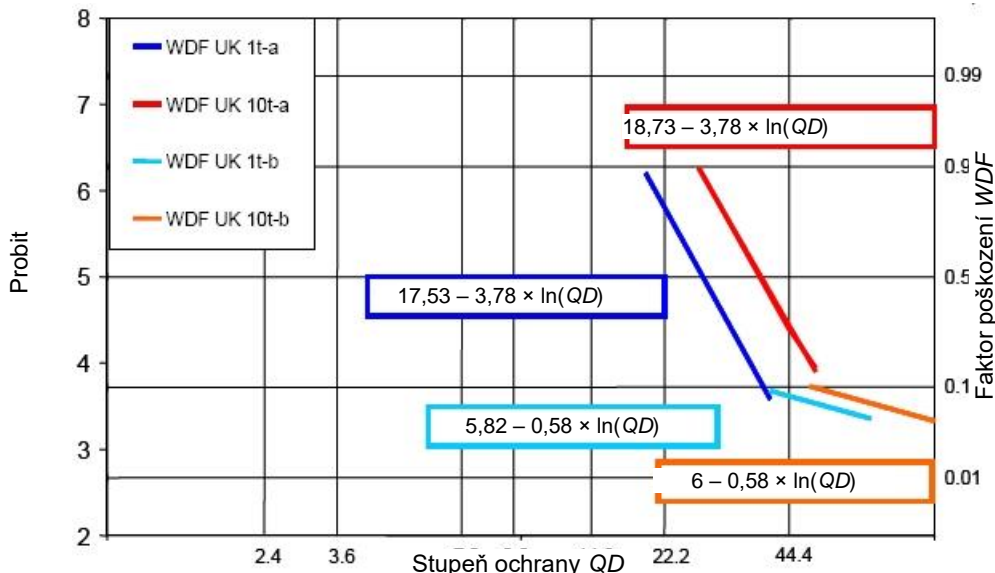
$$WDF-UK-1t-b = 5,82 - 0,58 \times \ln(QD) \quad \text{pro } 40 < QD \leq 70.$$

Hmotnost výbušniny  $Q = 10$  t:

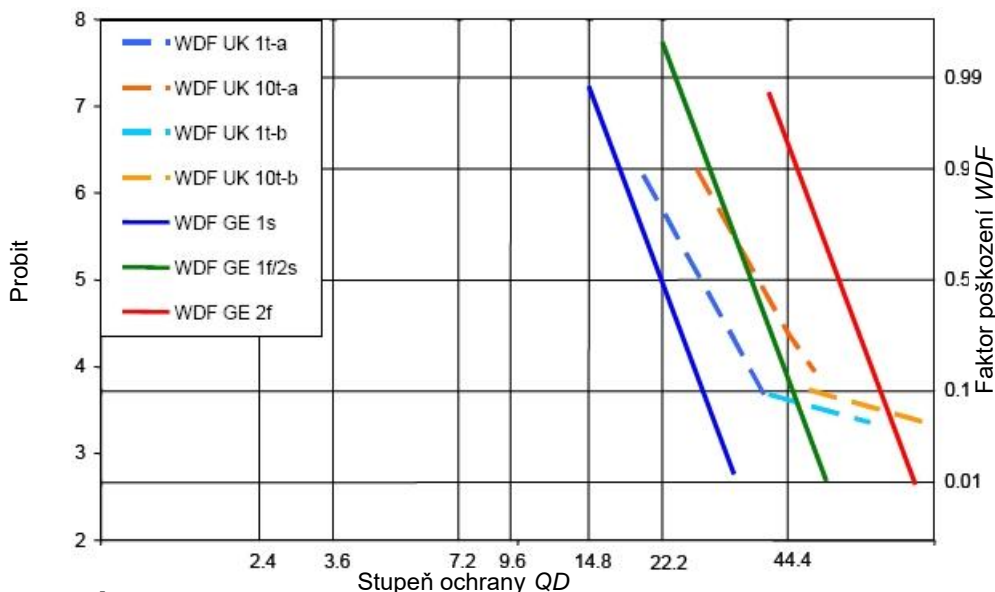
$$WDF-UK-10t-a = 18,73 - 3,78 \times \ln(QD) \quad \text{pro } 27 \leq QD \leq 50$$

$$WDF-UK-10t-b = 6,0 - 0,58 \times \ln(QD) \quad \text{pro } 50 < QD \leq 100.$$

Probity  $WDF-UK$  jsou ukázány na obrázku 40 jako funkce stupně ochrany  $QD$ .



**OBRÁZEK 40 – Rozbití okenního skla podle údajů z Velké Británie**



**OBRÁZEK 41 – Srovnání německých a britských probitů pro rozbití okenního skla**

Obrázek 41 ukazuje všechny faktory poškození oken společně pro malé a velké okenní tabule (pro 1 t výbušnin) i faktory z britských údajů pro 10 t výbušnin.

### 8.3.2 Následky dopadu fragmentů na stavební konstrukci

#### 8.3.2.1 Metoda SAFER pro stanovení poškození konstrukce zásahem fragmenty

Fragmenty všech druhů mohou svým dopadem (nárazem) na zeď (stěnu) nebo strop (střechu) způsobit poškození stavební konstrukce. Pro stanovení výsledného poškození budovy v důsledku zásahů jednotlivými fragmenty může být použita metoda popisující nezranitelné plochy a redukované hodnoty kinetické energie pro stropy a zdi – viz článek 8.2.2.1.2. Procentní podíl poškození budovy zásahem fragmenty však není explicitním výstupním parametrem metody SAFER.

### 8.3.3 Následky působení otřesů země na stavební konstrukci

#### 8.3.3.1 Singapurská metoda stanovení poškození budov otřesy země

##### Klasifikace konstrukcí budov

Pro předpověď odezvy konstrukce na otřesy země mohou být konstrukce budov rozděleny do kategorií podle tabulky 45.

**TABULKA 45 – Klasifikace konstrukcí budov pro předpověď jejich poškození v důsledku otřesů země**

Typ budovy		Typické konstrukční rysy
Dřevěná		Nízkopodlažní dřevěná, lehká rámová (příhradová) konstrukce.
Nezpevněné zdivo		Nosná konstrukce zdí z lehkého nezpevněného zdiva nebo prefabrikovaných betonových dílů se spojovacími prvky s nízkou tuhostí.
Železobetonová	Nízkopodlažní	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 2 podlaží, se standardní roztečí nosníků 5 m a vyztužením 2 % oceli.
	Středně vysoká	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 10 podlaží, se standardní roztečí nosníků 5 m a vyztužením 2 % oceli.
	Výšková	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 24 podlaží a s vyztužením 2 % oceli.
Ocelová	Nízkopodlažní	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 2 podlaží a se standardní roztečí nosníků 5 m.
	Středně vysoká	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 10 podlaží a se standardní roztečí nosníků 5 m.
	Výšková	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 24 podlaží.

##### Definice poškození konstrukce

Poškození konstrukce může být charakterizováno pomocí přírůstku periody vlastních kmitů nebo poklesu frekvence vlastních kmitů systému. Index celkového poškození se vypočítá z rovnice

$$D_g = 1 - \frac{f_c^2}{f_0^2} \quad (42)$$

kde  $D_g$  je index celkového poškození (1),  
 $f_0$  - počáteční frekvence vlastních kmitů (Hz),

$f_c$  - aktuální frekvence vlastních kmitů ekvivalentní lineární struktury po otřesu (Hz).

### Klasifikace poškození konstrukce

Poškození konstrukce v důsledku otřesů země může být rozříděno do kategorií podle tabulky 46.

**TABULKA 46 – Klasifikace poškození konstrukce v důsledku otřesů země**

Poškození	Index poškození	Popis poškození – nejčastější odezva	Stav budovy
Nepatrné	< 0,4	Malé trhliny v betonu. Železobeton ještě v elastickém stavu. Snížení celkové tuhosti přibližně o 20 až 40 %.	Snadno opravitelná
Střední	0,4 – 0,6	Mnoho malých trhlin podél konstrukčních prvků. Snížení celkové tuhosti přibližně o 40 až 60 %.	Opravitelná
Závažné	0,6 – 0,9	Mnoho velkých trhlin, deformace uchycení některých ploch, plastické deformace vyztužení. Snížení celkové tuhosti o 60 až 100 %.	Neopravitelná
Zřícení	> 0,9	Zřícení. Úplná ztráta tuhosti.	Ztráta budovy

### Předpověď poškození budov

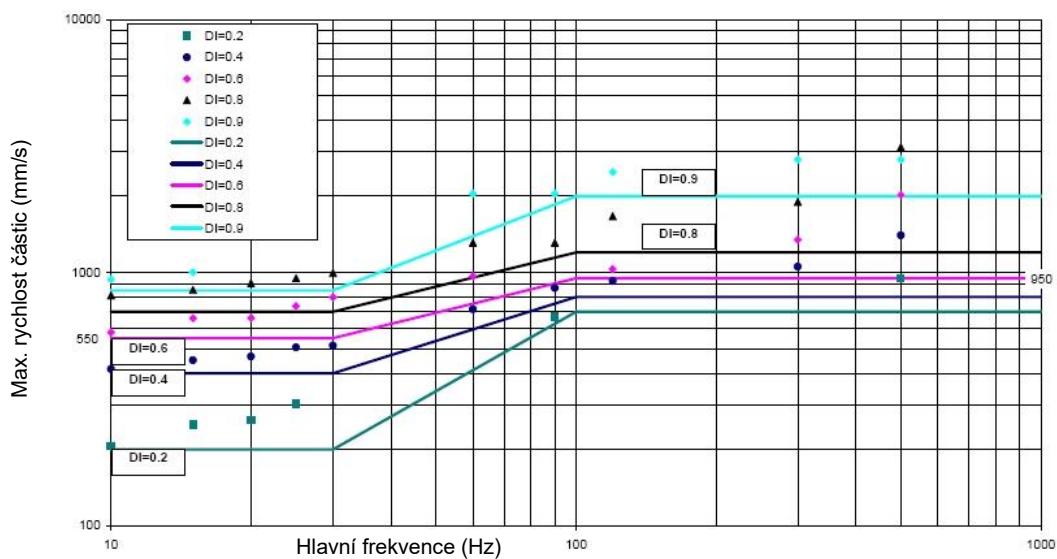
Pro danou maximální rychlost částic  $PPV$  a hlavní frekvenci  $PF$  může být index poškození  $DI$  železobetonových konstrukcí předpovězen z obrázku 42 pro nízkopodlažní a z obrázku 43 pro středně vysoké budovy.

Jsou-li pro předpověď  $PPV$  ve směrech  $X$  a  $Y$  využity jiné metody, má být použita výsledná  $PPV$ , která může být stanovena z rovnice

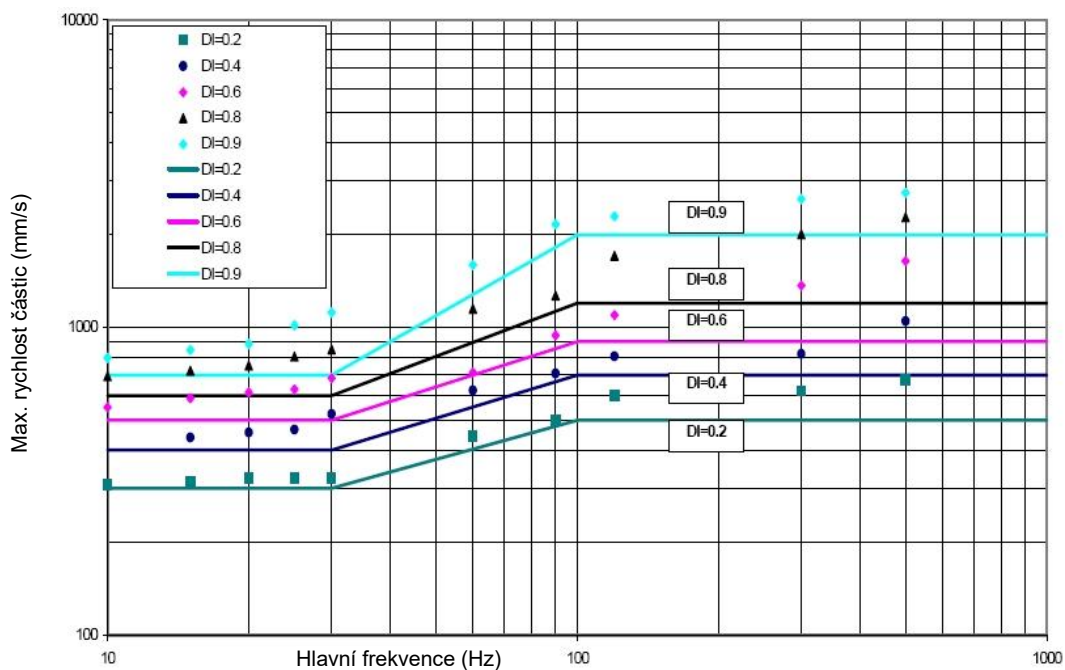
$$PPV = \sqrt{V_{PPVx}^2 + V_{PPVy}^2} \quad (43)$$

kde  $PPV$  je maximální rychlost částic (mm/s),  
 $V_{PPVx}$  - max. rychlost částic v horizontálním směru (mm/s),  
 $V_{PPVy}$  - max. rychlost částic ve vertikálním směru (mm/s).





**OBRÁZEK 42 – Index poškození  $DI$  pro nízkopodlažní železobetonové konstrukce (předběžné stanovení)**



**OBRÁZEK 43 – Index poškození  $DI$  pro středně vysoké železobetonové konstrukce (předběžné stanovení)**

### 8.3.3.2 Poškození stavební konstrukce v důsledku otřesů země

Pro předpověď poškození budov v důsledku otřesů země mohou být konstrukce budov rozříděny dle tabulky 47.

**TABULKA 47 – Klasifikace konstrukcí budov pro předpověď jejich poškození**

Typ budovy		Typické konstrukční rysy
Dřevěná		Nízkopodlažní dřevěná, lehká rámová (příhradová) konstrukce.
Nezpevněné zdivo		Nosná konstrukce zdí z lehkého nezpevněného zdiva nebo prefabrikovaných betonových dílů se spojovacími prvky s nízkou tuhostí.
Železobetonová	Nízkopodlažní	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 2 podlaží.
	Středně vysoká	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 10 podlaží.
	Výšková	Železobetonová rámová konstrukce s výškou do 24 podlaží.
Ocelová	Nízkopodlažní	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 2 podlaží.
	Středně vysoká	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 10 podlaží.
	Výšková	Ocelová rámová konstrukce s výškou do 24 podlaží.

#### Poškození budov

Poškození budovy v důsledku otřesů země může být charakterizováno poklesem frekvence vlastních kmitů konstrukčního systému. Ten může být reprezentován indexem poškození budovy *BDI*, který lze stanovit za použití rovnice

$$BDI = 1 - \frac{f_i^2}{f_p^2} \quad (44)$$

kde  $f_i$  je počáteční frekvence vlastních kmitů konstrukce (Hz),  
 $f_p$  - frekvence vlastních kmitů konstrukce po události (Hz).

#### Klasifikace poškození budov

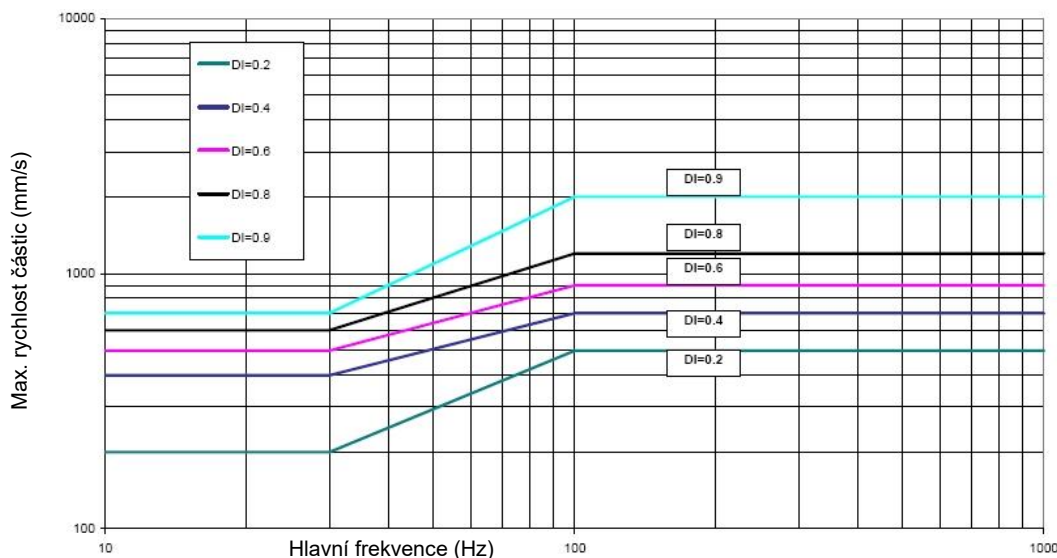
Poškození budov otřesy země může být roztríděno do kategorií uvedených v tabulce 48.

**TABULKA 48 – Klasifikace poškození budov otřesy země**

Poškození	Index poškození	Popis poškození – nejčastější odezva	Stav budovy
Nepatrné	< 0,4	Malé trhliny v betonu. Železobeton ještě v elastickém stavu. Snížení celkové tuhosti přibližně o 20 až 40 %.	Snadno opravitelná
Střední	0,4 – 0,6	Mnoho malých trhlin podél konstrukčních prvků. Snížení celkové tuhosti přibližně o 40 až 60 %.	Opravitelná
Závažné	0,6 – 0,9	Mnoho velkých trhlin, deformace uchycení některých ploch, plastické deformace vyztužení. Snížení celkové tuhosti o 60 až 100 %.	Neopravitelná
Zřícení	> 0,9	Zřícení. Úplná ztráta tuhosti.	Ztráta budovy

Předpověď indexu poškození budovy

Pro danou maximální rychlost částic *PPV* a hlavní frekvenci *PF* může být index poškození budovy pro standardní železobetonovou konstrukci s výškou do deseti podlaží, roztečí nosníků do pěti metrů a výškou mezi podlažími do tří metrů získán z obrázku 44 (index poškození budovy je zde označen jako *DI*).



**OBRÁZEK 44 – Index poškození *DI* pro železobetonové konstrukce s výškou do deseti podlaží**

Rovnice pro předpověď *PPV* a *PF* lze nalézt v článku 8.2.4.5 tohoto standardu. Jsou-li pro předpověď *PPV* ve směrech X a Y využity jiné metody, má být použita výsledná *PPV*, která může být stanovena z rovnice

$$PPV = \sqrt{V_{PPVx}^2 + V_{PPVy}^2} \quad (45)$$

- kde *PPV* je maximální rychlost částic (mm/s),  
*V<sub>PPVx</sub>* - max. rychlost částic v horizontálním směru (mm/s),  
*V<sub>PPVy</sub>* - max. rychlost částic ve vertikálním směru (mm/s).

### 8.3.4 Následky působení tlakové vlny na osoby

Byly identifikovány tři kategorie zranění osob vyvolaných tlakovou vlnou:

- primární nebo přímé následky zranění,
- sekundární nebo nepřímé následky zranění,
- terciární následky zranění.

Primární nebo přímé následky jsou dány přetlakem a dobou trvání tlakové vlny. Orgány obsahující vzduch, jako jsou sluchové orgány nebo plíce, jsou vůči tomuto druhu zranění nejcitlivější. Pro rozsah zranění jsou rozhodující vlastnosti tlakové vlny zahrnující dopadající, odražený a dynamický tlak, dobu působení a impuls, jakož i rychlost náběhu maximálního tlaku. Kromě toho závisí stupeň utrpěného zranění na tělesných rozměrech, pohlaví a věku osoby. Pravděpodobně poškozené části lidského těla zahrnují plíce, sluchové orgány, hrtan, průdušnici a břišní dutinu.

Sekundární následky jsou důsledkem zásahu fragmenty vznikajícími při výbuchu. Parametry určujícími stupeň zranění jsou hmotnost, rychlost, tvar, plošná hustota a úhel dopadu každého fragmentu. Sekundární následky zahrnují tržné rány, perforace životně důležitých orgánů, otevřená poranění a zlomeniny lebky a kostí.

Terciární následky jsou způsobeny sražením (odmrštěním) celého těla tlakovým rázem a pohybem vzduchu, následovaným dopadem s prudkým zpomalením. To může vést ke zraněním hlavy, poškození životně důležitých orgánů nebo zlomeninám kostí.

Zatížení přetlakem je závislé na orientaci lidského těla vůči tlakové vlně. V úvahu lze vzít tři případy:

1. Tělo je v otevřeném prostoru, orientované podélnou osou rovnoběžně s tlakovou vlnou. V takovém případě nedojde k žádnému přehrazení dopadající vlny a tělo je vystaveno bočnímu přetlaku dopadající vlny.
2. Tělo je v otevřeném prostoru, orientované podélnou osou kolmo k tlakové vlně. V tomto případě se tlaková vlna zarazí o tělo. Z důvodu malých rozměrů těla vzhledem k rychlosti vlny může být odrazová fáze zatížení zanedbána a výsledný přetlak působící na hrudní stěnu je součtem dopadajícího a dynamického tlaku.
3. Tělo je v blízkosti rovinné odrazné plochy s tlakovou vlnou přibližující se k odrazné ploše kolmým dopadem. V takovém případě je tělo vystaveno odraženému tlaku.

#### 8.3.4.1 Německá metoda stanovení následků pro osoby založená na diagramech P-I

##### Poranění plic v důsledku tlakové vlny

Předpokládané poranění plic je popsáno pomocí faktoru poranění plic *LIF*. K poškození plic dochází vesměs pouze ve velmi krátkých vzdálenostech od místa výbuchu, kde  $QD < 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}$ . Předpokládané poranění plic bylo vztaheno ke stupni ochrany *QD*. To je možné pro hmotnosti trhavin  $Q \Rightarrow 1\ 000 \text{ kg}$ .

Probity *LIF* jsou založeny na následujících údajích:

- veškeré dostupné údaje o poranění plic tlakovou vlnou s krátkou dobou trvání jsou z rozmezí efektivních přetlaků od 100 kPa do 700 kPa;

- pro hmotnosti nálože větší než  $Q = 1\,000$  kg TNT má pozitivní fáze tlakové vlny dostatečnou dobu trvání a tak efektivní přetlak je jediným parametrem pro zjištění poškození plic;
- 50% přímá úmrtnost v důsledku zásahu tlakovou vlnou jako funkce dopadajícího přetlaku  $P_s$ :
  - o tělo čelem k tlakové vlně  $P_s = 420$  kPa,
  - o tělo bokem k tlakové vlně  $P_s = 280$  kPa,
  - o tělo čelem proti odrazné ploše  $P_s = 140$  kPa.

#### Probity LIF pro vážné poranění plic

Tělo bokem k tlakové vlně:

$$LIF-S = 11,4 - 9,273 \times \ln(QD)$$

$$QD \leq 2,4 \text{ m/kg}^{1/3}$$

$$1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t.}$$

Tělo čelem proti odrazné ploše:

$$LIF-R = 4,1 - 9,273 \times \ln(QD)$$

$$QD \leq 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}$$

$$1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t.}$$

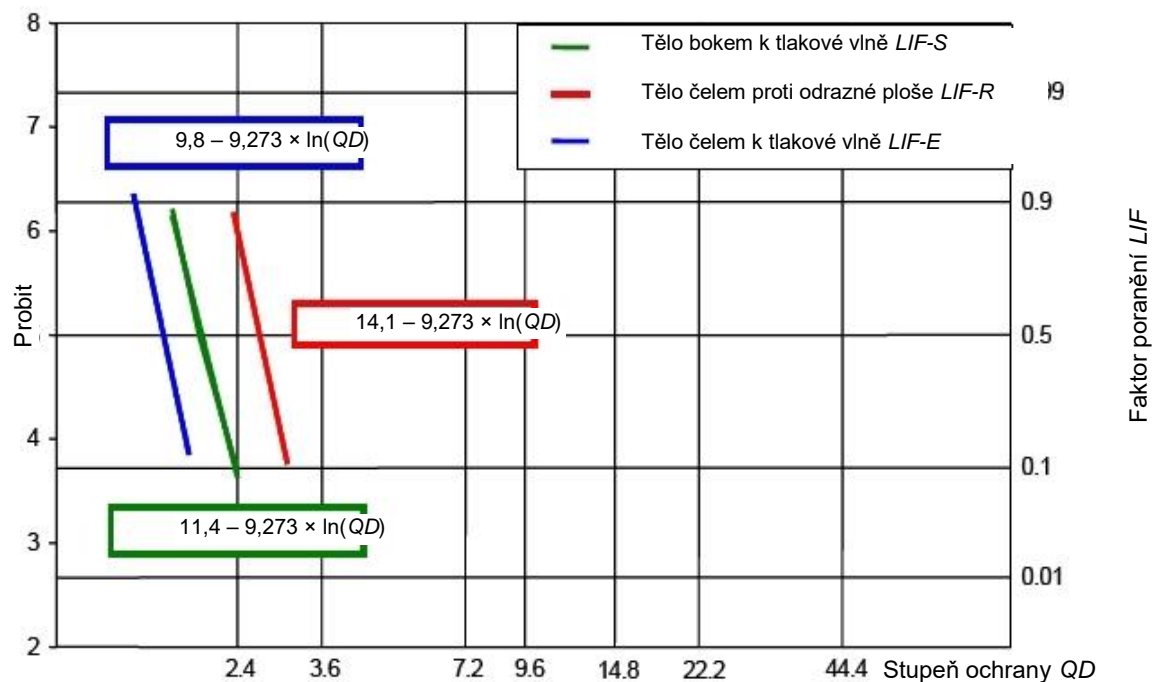
Tělo čelem k tlakové vlně:

$$LIF-E = 9,8 - 9,273 \times \ln(QD)$$

$$QD \leq 1,8 \text{ m/kg}^{1/3}$$

$$1 \text{ t} \leq QD \leq 100 \text{ t.}$$

Faktory poranění plic *LIF* jsou ukázány na obrázku 45 jako funkce stupně ochrany *QD*. Levá přímková znázorňuje *LIF-E* (tělo čelem k tlakové vlně), prostřední *LIF-S* (tělo bokem k tlakové vlně) a pravá přímková pak *LIF-R* (tělo čelem proti odrazné ploše).



**OBRÁZEK 45 – Poranění plic způsobené tlakovou vlnou**

Poranění sluchových orgánů působením tlakové vlny

Byly odvozeny probity faktoru poranění sluchových orgánů EIF pro lehké, střední a vážné poškození sluchu.

Méně závažné protržení:

$$EIF-mi = 9,19 - 2,88 \times \ln(QD)$$

$$2,4 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}.$$

Středně závažné protržení:

$$EIF-mo = 10,07 - 4,31 \times \ln(QD)$$

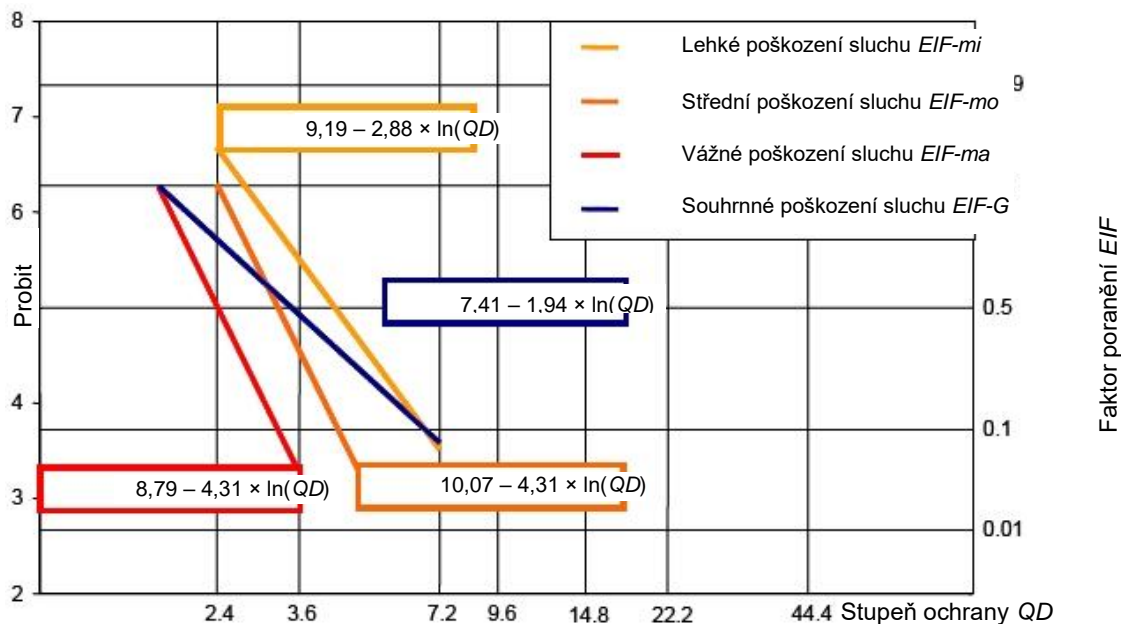
$$2,4 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 4,8 \text{ m/kg}^{1/3}.$$

Velmi závažné protržení:

$$EIF-ma = 8,79 - 4,31 \times \ln(QD)$$

$$1,8 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}.$$

Tři probity EIF-mi, EIF-mo a EIF-ma jsou jako funkce stupně ochrany QD ukázány na obrázku 46.



**OBRÁZEK 46 – Poranění sluchových orgánů způsobené tlakovou vlnou**

Odvození probitu souhrnného poranění sluchových orgánů EIF-G

Jestliže nejsou k dispozici podrobné informace o pozici osob vystavených účinkům tlakové vlny, pak je navrženo použít probit souhrnného poranění sluchových orgánů EIF-G. EIF-G byl odvozen z grafů lehkého, středního a vážného poškození sluchu a bere v úvahu nejen předpokládané poranění, ale i jeho závažnost.

Při stupni ochrany  $QD = 1,8 \text{ m/kg}^{1/3}$  se předpokládá, že devět z deseti přítomných osob utrpí poranění sluchových orgánů a poranění v této vzdálenosti budou vážná.

Při stupni ochrany  $QD = 3,5 \text{ m/kg}^{1/3}$  se předpokládá, že pět z deseti přítomných osob utrpí poranění sluchových orgánů a poranění v této vzdálenosti budou střední.

Při stupni ochrany  $QD = 6,7 \text{ m/kg}^{1/3}$  se předpokládá, že jedna z deseti přítomných osob utrpí poranění sluchových orgánů a poranění v této vzdálenosti budou lehká.

Soubor údajů pro probit EIF-G je:

$QD = 1,8 \text{ m/kg}^{1/3}$	$EIF-ma = 0,9$	hodnota probitu $Y = 6,28$
$QD = 3,5 \text{ m/kg}^{1/3}$	$EIF-ma = 0,5$	hodnota probitu $Y = 5$
$QD = 6,7 \text{ m/kg}^{1/3}$	$EIF-ma = 0,1$	hodnota probitu $Y = 3,72$ .

Probit poranění sluchových orgánů:

$$EIF-G = 7,41 - 1,94 \times \ln(QD)$$

$$1,8 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}.$$

Probit EIF-G je společně s ostatními výše zmíněnými probity poškození sluchu znázorněn na obrázku 46.

Sražení osob a vážná zranění v důsledku odmrštění tlakovou vlnou

Probit BIF pro sražení osob tlakovou vlnou

Sražení osob popisuje jev, kdy osoby padají nebo klopýtají v důsledku výbuchu. Výsledkem bude vyléčitelné zranění, nikoliv vážné nebo smrtelné.

Údaje pro sražení osob tlakovou vlnou jsou prezentována v grafu „Kritéria tlakové vlny pro osoby stojící na otevřeném prostranství“<sup>20</sup>. Kritéria jsou „50 % sražených osob“ a „žádná sražená osoba“. Nezávislými proměnnými jsou vzdálenost od místa výbuchu ve stopách a ekvivalentní hmotnost výbušniny v librách. Údaje jsou upraveny tak, že novými proměnnými se stávají stupeň ochrany  $QD$  ( $m/kg^{1/3}$ ) a hmotnost výbušniny  $Q$  (kg).

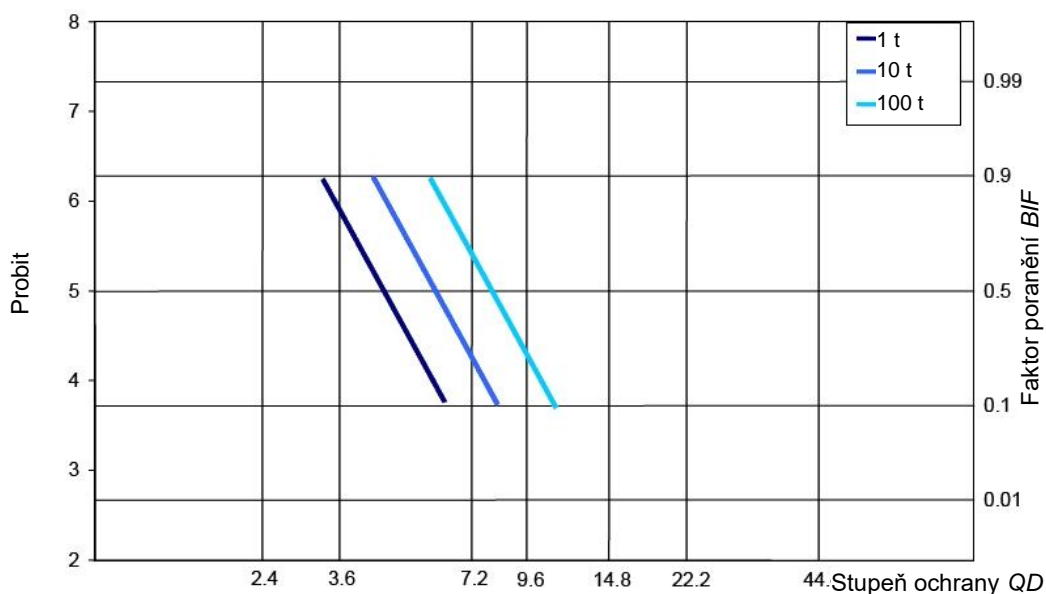
Probit faktoru poranění sražením osoby  $BIF$ :

$$BIF = 8,25 \times Q^{0,04} - 3,88 \times \ln(QD)$$

$$4,8 \leq QD \leq 14,8$$

$$2,67 \leq BIF \leq 5.$$

Probit  $BIF$  je znázorněn na obrázku 47.



**OBRÁZEK 47 – Sražení osob stojících na otevřeném prostranství**

### Zranění v důsledku odmrštění tlakovou vlnou<sup>15</sup>

Nebezpečí spojené s urychlovací fází odmrštění těla tlakovou vlnou je zanedbatelné. Zpomalení, zvláště dojde-li ke srážce s pevným objektem, je podstatně závažnější. Důsledky odmrštění těla jsou závislé na rychlosti dosažené před dopadem (nárázem). Kritéria poranění uvedená níže se vztahují na osoby nacházející se na otevřeném prostranství a na kolmý dopad na tvrdý a plochý objekt (předmět).

### Probity faktoru poranění odmrštěním $DIF$ pro vážná poranění

Osoby odhozené v otevřeném terénu (viz obrázek 48):

$$DIF-1 = 8,79 \times Q^{0,0426} - 6,3 \times \ln(QD)$$

$$1\,000\text{ kg} \leq Q \leq 100\,000\text{ kg}$$

$$2,67 \leq DIF-1 \leq 5.$$

Osoby v blízkosti stavebních konstrukcí (viz obrázek 49):

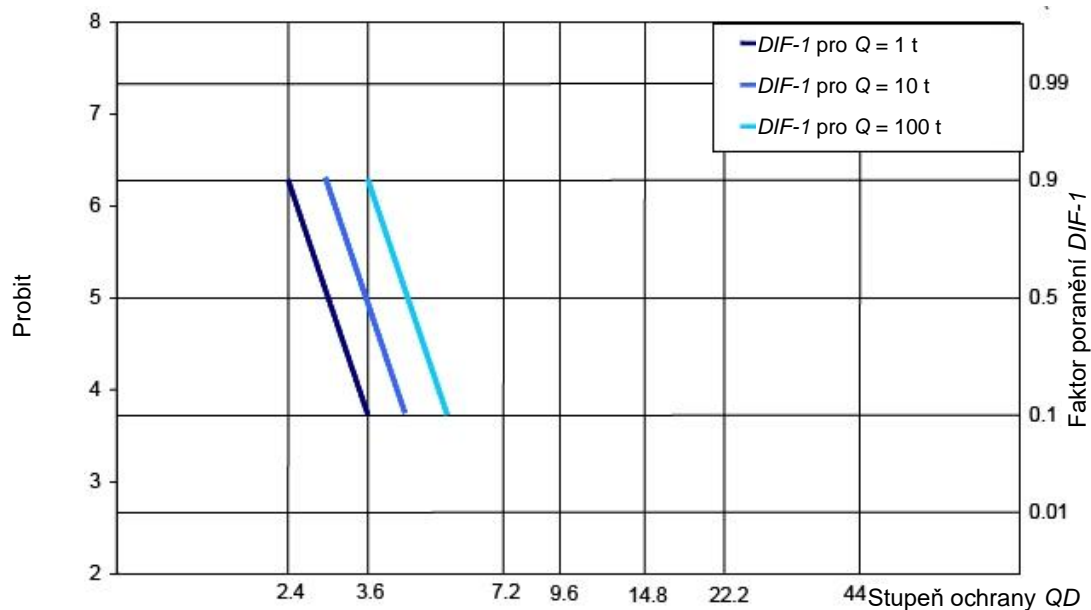
$$DIF-2 = 10 \times Q^{0,039} - 6,3 \times \ln(QD)$$

$$1\,000\text{ kg} \leq Q \leq 100\,000\text{ kg}$$

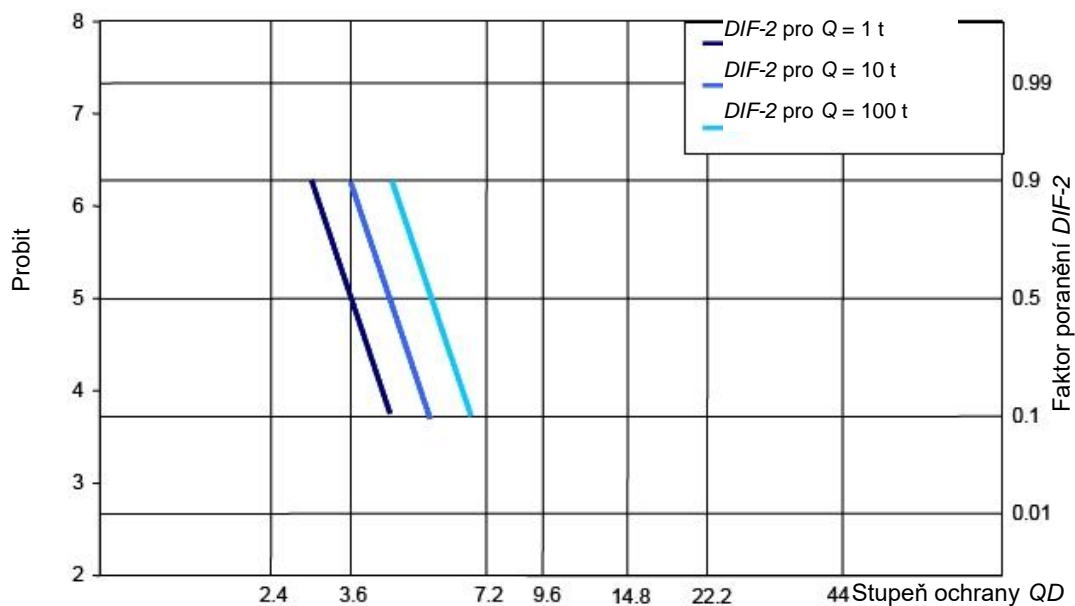
<sup>20</sup> PETES, J. *Handbook of HE Explosion Effects*. DASIAC-TN-86-15, 1986.



$2,67 \leq DIF-2 \leq 5$ .



**OBRÁZEK 48 – Vážné poranění při odhození osoby v otevřeném terénu**

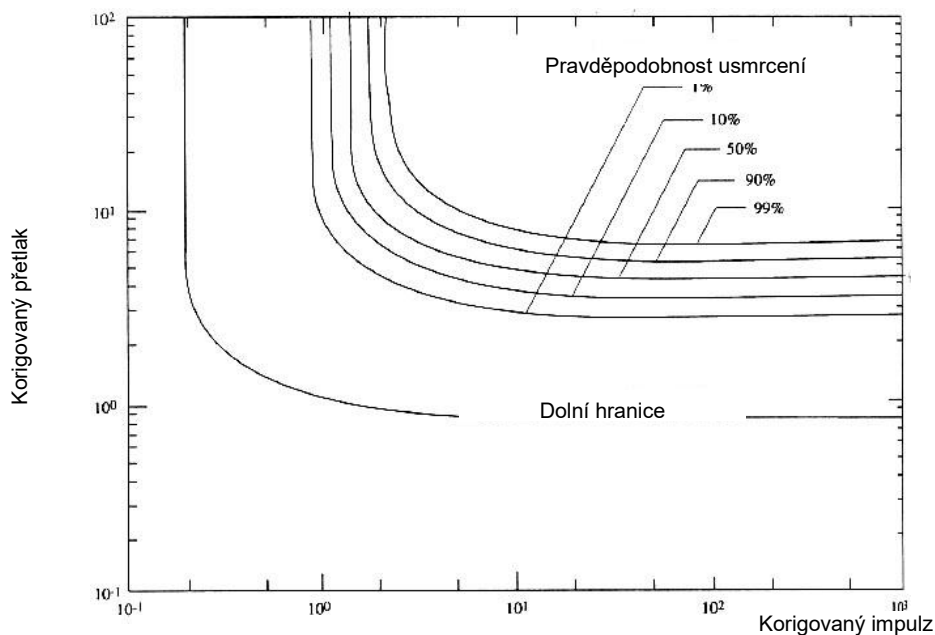


**OBRÁZEK 49 – Vážné poranění při odhození osoby v blízkosti stavební konstrukce**

Je zřejmé, že vážná poranění se předpokládají pouze při stupních ochrany menších než  $QD < 7,2 \text{ kg/m}^{1/3}$ .

### 8.3.4.2 Nizozemská metoda stanovení úmrtnosti/zranění v důsledku tlakové vlny za použití probit funkcí vycházejících z diagramů P-I

Probit pro úmrtnost v důsledku poranění plic byl odvozen z obrázku 50, který je grafickou závislostí přetlaku na impulzu.



**OBRÁZEK 50 – Graf přetlak – impuls pro poranění plic**

Parametry (proměnnými) jsou korigovaný přetlak a korigovaný impuls tlakové vlny podle vztahů

$$P_{sc} = P_s / P_0 \quad (46)$$

$$I_{sc} = I_s / (m^{1/3} \times P_0^{1/2}) \quad (47)$$

- kde  $P_{sc}$  je korigovaný přetlak (Pa),  
 $P_s$  - dopadající přetlak (statický plus dynamický nebo odražený) (Pa),  
 $P_0$  - okolní tlak (Pa),  
 $I_{sc}$  - korigovaný impuls (Pa . s),  
 $I_s$  - dopadající impuls (Pa . s),  
 $m$  - hmotnost lidského těla (kg).

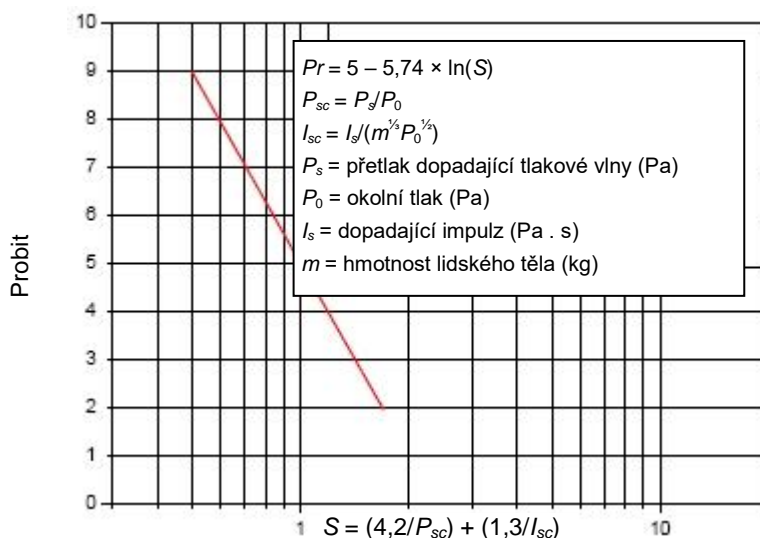
Z obrázku 50 byl odvozen probit  $Pr$  pro poranění plic

$$Pr = 5,00 - 5,74 \times \ln(S) \quad (48)$$

s parametrem  $S$  vyjádřeným jako

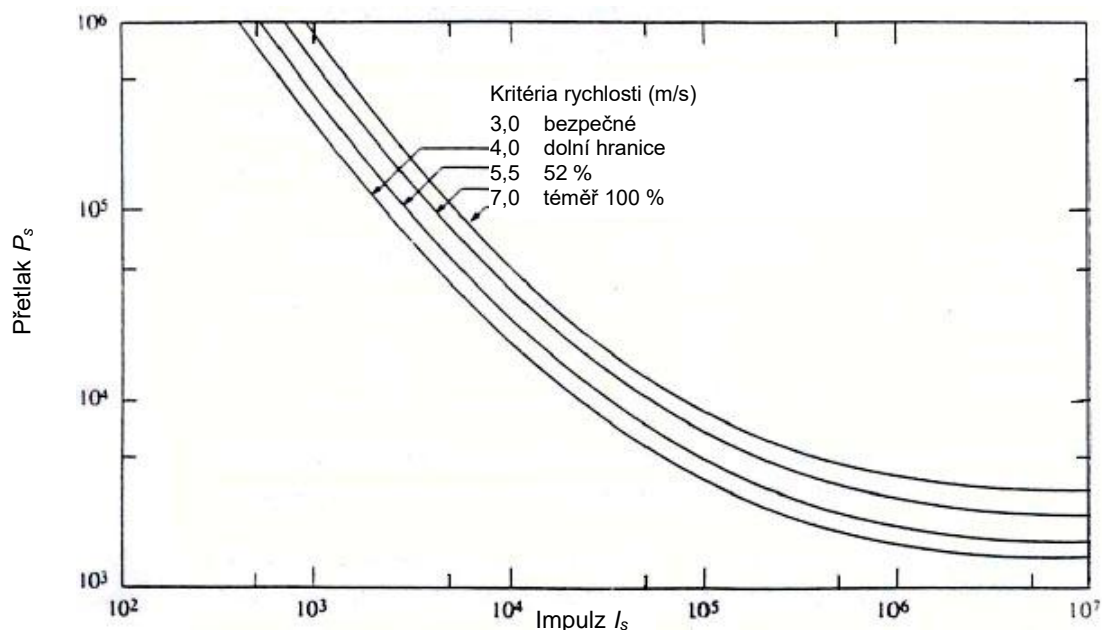
$$S = (4,2 / P_{sc}) + (1,3 / I_{sc}) \quad (49).$$

Obrázek 51 je grafickým znázorněním tohoto probitu.



**OBRÁZEK 51 – Grafické znázornění probitu pro úmrtnost v důsledku poranění plic**

Probit pro úmrtnost v důsledku odhození celého lidského těla byl odvozen z obrázku 52, který je grafickou závislostí přetlaku na impulzu. Parametry jsou definovány pomocí přetlaku tlakové vlny (Pa) a jejího impulzu (Pa . s).



**OBRÁZEK 52 – Graf přetlak – impulz pro úmrtnost v důsledku odhození těla**

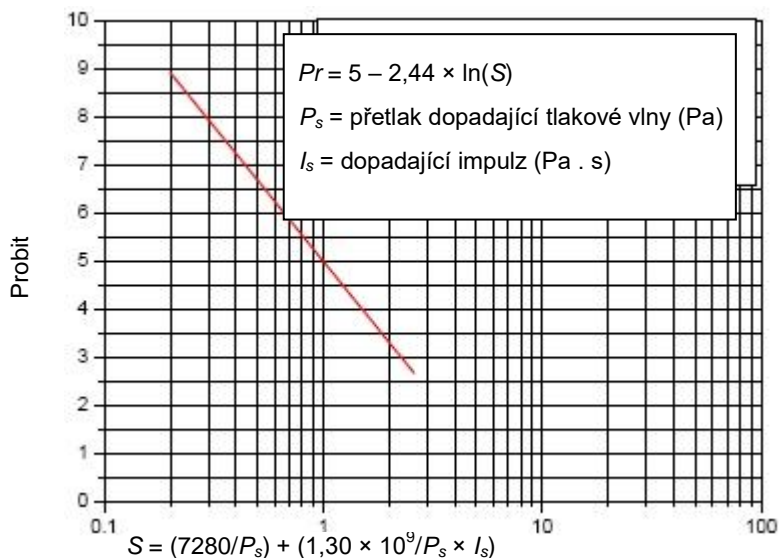
Z obrázku 52 byl odvozen probit  $Pr$  pro úmrtnost v důsledku odhození lidského těla

$$Pr = 5,00 - 2,44 \times \ln(S) \quad (50)$$

kde parametr  $S$  je vyjádřen jako

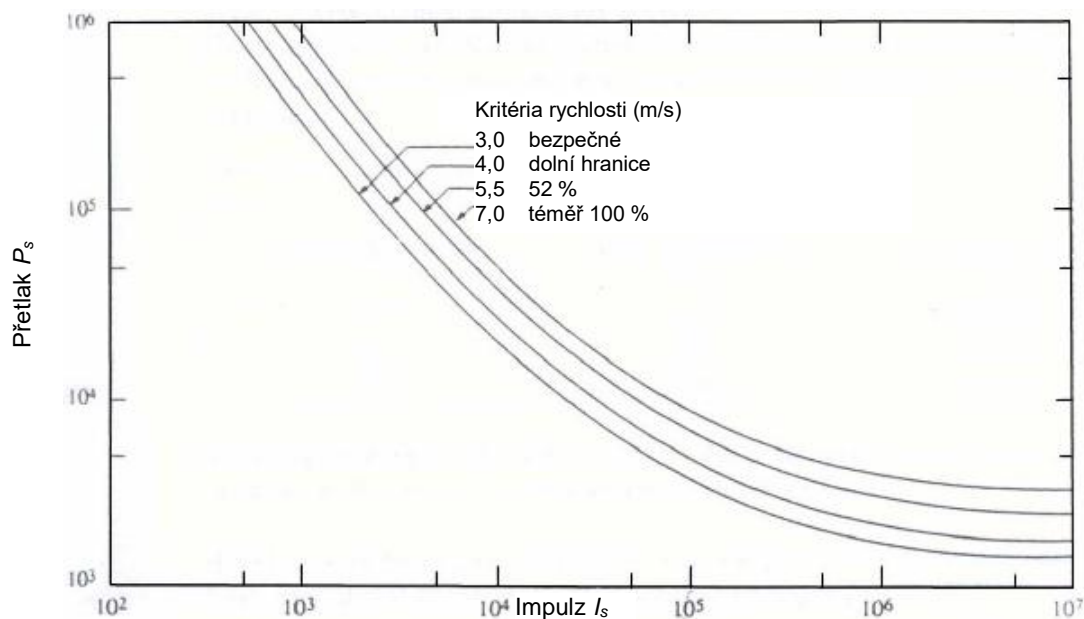
$$S = (7280/P_s) + (1,30 \times 10^9/P_s \times I_s) \quad (51).$$

Probit je graficky znázorněn na obrázku 53.



**OBRÁZEK 53 – Grafické znázornění probitu pro úmrtnost v důsledku odhození tlakovou vlnou**

Z grafu přetlak – impulz tlakové vlny na obrázku 54 byl odvozen probit pro úmrtnost v důsledku nárazu hlavou.



**OBRÁZEK 54 – Graf přetlak – impulz pro úmrtnost v důsledku nárazu hlavou**

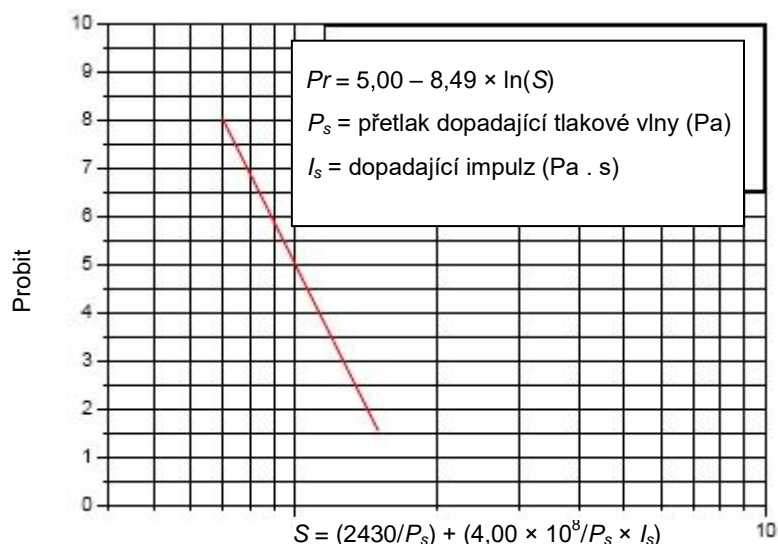
Probit  $Pr$  je vyjádřen jako

$$Pr = 5,00 - 8,49 \times \ln(S) \quad (52)$$

kde parametr  $S$  je vyjádřen jako

$$S = (2430 / P_s) + (4,00 \times 10^8 / P_s \times I_s) \quad (53).$$

Obrázek 55 je grafickým znázorněním probitu.



**OBRÁZEK 55 – Grafické znázornění probitu pro úmrtnost v důsledku nárazu hlavou**

Na základě dostupných údajů byl odvozen probit pro protržení ušních bubínků. Tato probit funkce  $Pr$  je vyjádřena jako

$$Pr = -12,6 + 1,524 \times \ln(P_s) \quad (54)$$

kde přetlak tlakové vlny  $P_s$  je uveden v Pa. Pravděpodobnost protržení ušního bubínku je tudíž 1 % při 42,8 kPa, 50 % při 103,8 kPa a 90 % při 240,4 kPa.

Na druhé straně byly odvozeny údaje uvedené v tabulce 49.

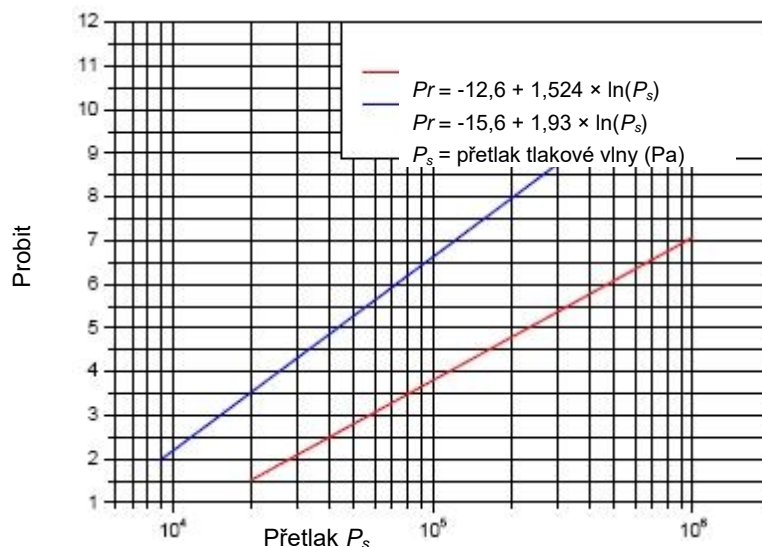
**TABULKA 49 – Pravděpodobnost protržení ušního bubínku v závislosti na přetlaku**

Pravděpodobnost protržení (%)	Maximální přetlak (kPa)
1	16,5
10	19,3
50	43,5
90	84

Z těchto údajů byl odvozen probit  $Pr$

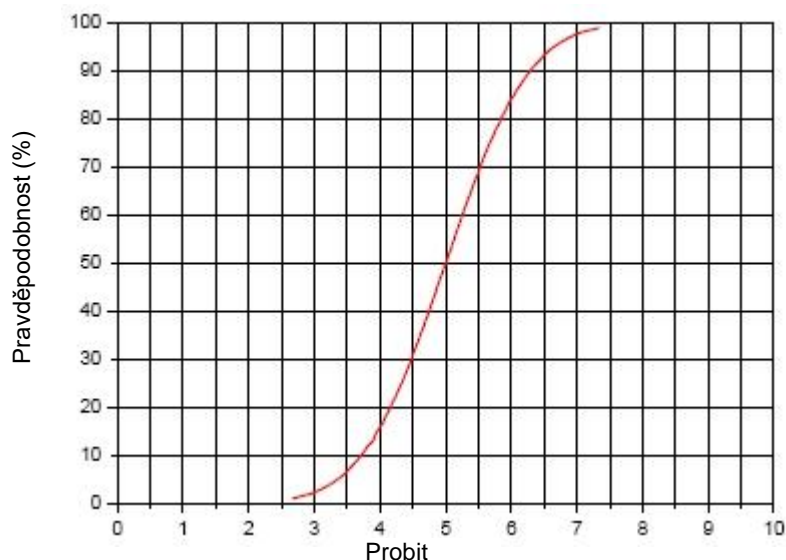
$$Pr = -15,6 + 1,93 \times \ln(P_s) \quad (55).$$

Obrázek 56 je grafickým znázorněním obou probitů.



**OBRÁZEK 56 – Grafické znázornění dvou probitů pro protržení ušního bubínku**

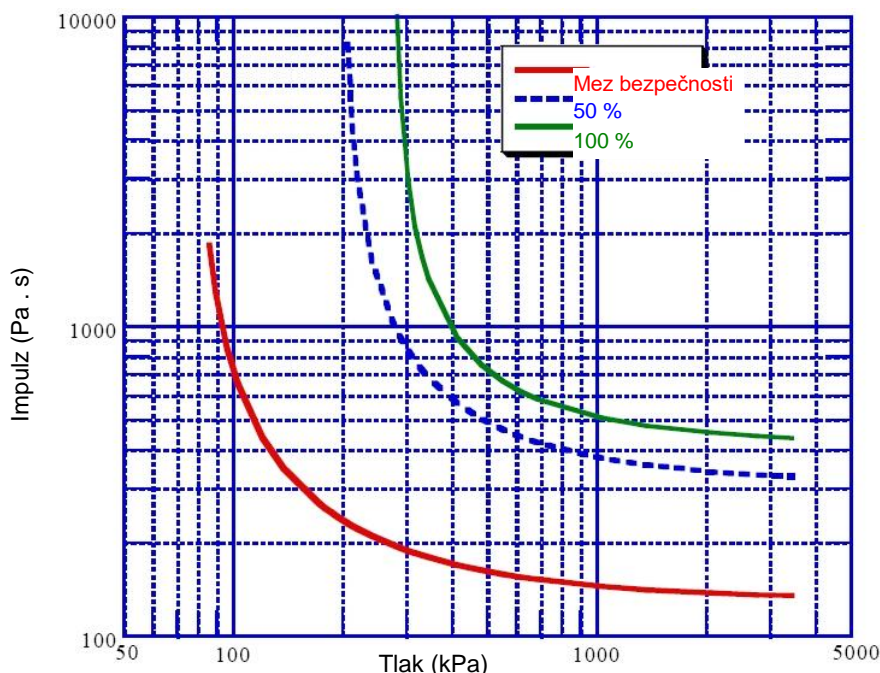
Hodnoty probitů se převedou prostřednictvím obrázku 57 na pravděpodobnosti.



**OBRÁZEK 57 – Závislost pravděpodobnosti na hodnotách probitu**

### 8.3.4.3 Metoda stanovení úmrtnosti v důsledku tlakové vlny založená na diagramech P-I (USA)

V USA byly vypracovány diagramy P-I zobrazující celkovou úmrtnost osob jako následek působení tlakové vlny. Tyto křivky jsou znázorněny na obrázku 58.



**OBRÁZEK 58 – Diagram celkové úmrtnosti působením tlakové vlny**

Tyto křivky byly vytvořeny z obecného tvaru rovnice hyperboly

$$(P - A) \times (I - B) = C \quad (56).$$

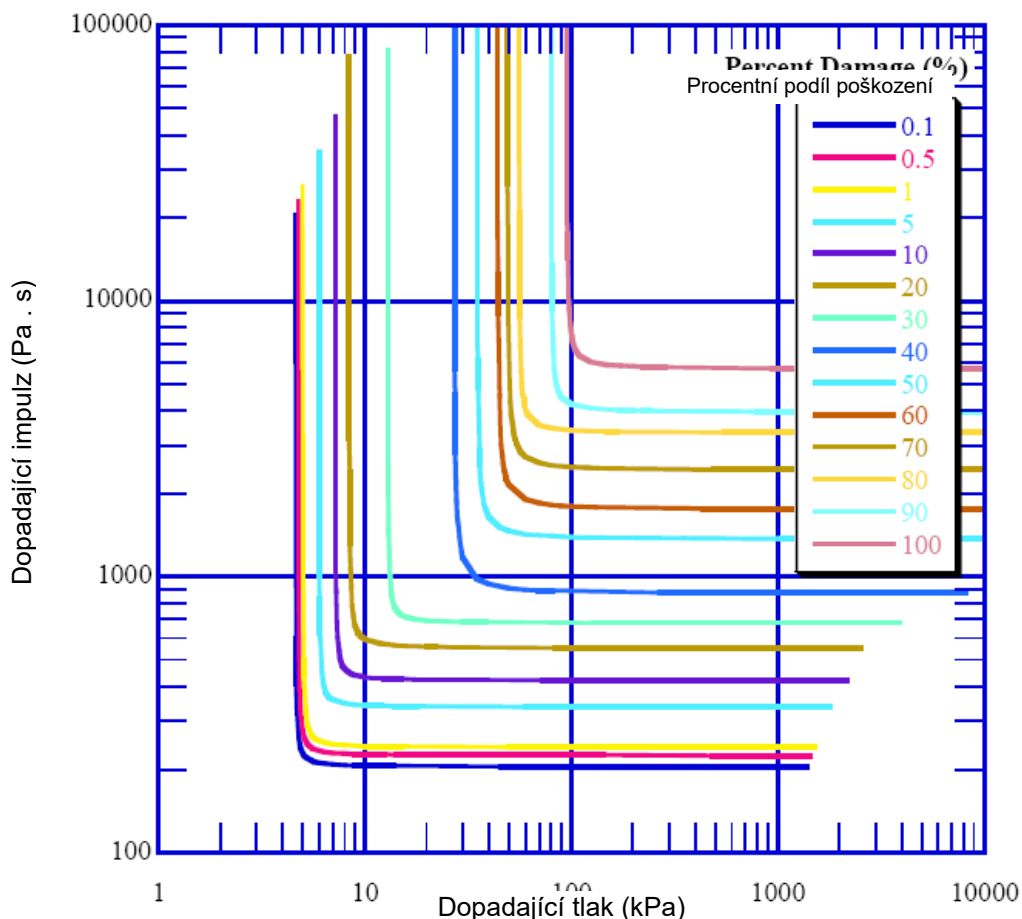
Použité parametry jsou shrnuty v tabulce 50.

**TABULKA 50 – Parametry hyperboly**

Křivka	A	B	C
Mez bezpečnosti	11,4	19	270,6
50 %	29	45	1138
100 %	40	60	1456

#### 8.3.4.4 Metoda stanovení úmrtnosti od budov poškozených tlakovou vlnou (USA)

Metoda SAFER pro hodnocení úmrtnosti způsobené zřícením budov zahrnuje dva kroky. V prvním se stanoví následky na základě procentního podílu poškození budovy. Ve druhém kroku se tyto následky použijí k předpovědi důsledků ve smyslu úmrtnosti. Obrázek 59 znázorňuje první krok. Jak je z obrázku vidět, výsledkem kombinace tlaku a impulzu je procentní podíl poškození budovy.



**OBRÁZEK 59 – Příklad diagramu P-I**

Dílčí krok 1

Metoda SAFER stanoví poškození ES využitím standardních diagramů P-I ve tvaru ukázaném na obrázku 59 (použije se dopadající tlak a dopadající impulz). Je třeba poznamenat, že SAFER bere v úvahu vlivy PES na tlak a impulz. Křivky poškození jsou hyperboly, které jsou definovány standardní rovnicí hyperboly – viz rovnice (56).

Křivky byly rozděleny do šestnácti skupin. Tabulky 51 až 66 uvádějí konstanty použité pro vytvoření každé skupiny hyperbol. Poškození ES se stanoví využitím interpolačního postupu. Výsledkem interpolace je parametr předpokládané poškození budovy  $PD_b$ .



**TABULKA 51 – Malá železobetonová kancelářská budova,  
20,32cm železobetonové stěny namáhané na smyk, železobetonový strop i  
nosníky**

Poškozen í budovy (%)	A	B	C	Popis
100	93,413	5 306,702	73 221,26	Tato stavební konstrukce má největší odolnost vůči tlakové vlně ze všech typů. Má malé rozměry (~ 232,3 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, průměrná výška podlaží 3,66 m). Strop je z 10,16cm lehčeného betonu, typu deska/nosník. Pevnost v tlaku betonu je 20 684 kPa a mez kluzu vyztužení 413 685 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,1 byl použity pro beton i ocel; součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,2 pro beton a 1,4 pro ocel.
90	84,940	4 010,766	73 221,26	
80	77,789	3 455,560	44 791,97	
70	68,392	2 520,240	35 260,94	
60	54,884	1 924,064	22 525,13	
50	44,707	1 577,411	15 985,66	
40	36,199	1 101,394	13 483,63	
30	18,892	846,885	3 609,55	
20	13,866	628,817	2 674,47	
10	11,170	451,712	1 081,23	
5	9,122	348,866	630,25	
1	7,502	244,917	374,34	
0,5	7,309	229,831	351,13	
0,1	7,157	206,305	337,59	

**TABULKA 52 – Železobetonová kancelářská budova střední velikosti**

Poškozen í budovy (%)	A	B	C	Popis
100	95,392	5 687,623	66 011,19	Tato stavební konstrukce má střední odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 3 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), betonové vnější i vnitřní zdi, betonový rám přenášející momenty a stropní systém beton/ocel panel/nosník. Zdi jsou 20,32 cm silné. Strop je z 5,08 cm lehčeného betonu přes 3,81 cm silný vlnitý ocelový plech, podepřený ocelovými nosníky. Pevnost v tlaku betonu je 20 684 kPa a mez kluzu vyztužení 413 685 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,1 byl použity pro beton i ocel; součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,2 pro beton a 1,4 pro ocel.
90	80,065	3 960,129	35 292,98	
80	56,125	3 325,072	21 171,35	
70	49,375	2 437,824	21 131,32	
60	44,190	1 762,307	15 501,66	
50	35,116	1 372,181	9 245,40	
40	27,180	873,700	5 652,06	
30	12,956	678,585	710,98	
20	8,426	552,352	443,56	
10	7,219	420,919	229,53	
5	6,019	337,048	141,77	
1	5,033	240,739	89,42	
0,5	4,806	224,984	74,93	
0,1	4,627	204,588	64,65	

**TABULKA 53 – Velká montovaná konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	29,897	2 248,625	2 296,85	Tato konstrukce s vysokými zdmi a slabými spoji zeď – strop je zranitelná účinky výbuchu. Má velké rozměry (~ 3 716 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 podlaží, průměrná výška podlaží 6,1 m), montované betonové vnější zdi namáhané na smyk, vnitřní sloupy z ocelových trubek a stropní systém z dřevěných panelů. Železobetonové zdi jsou 15,24 cm silné. Strop je z 1,27cm překližky, podepřený je lepenými nosníky 15,24 cm × 45,72 cm o rozpětí 7,32 m, vazníky 10,16 cm × 25,4 cm o rozpětí 3,66 m a vodorovnými nosníky 30,48 cm × 15,24 cm o rozpětí 2,44 m. Dřevěné prvky mají lomové zatížení 20 684 kPa. Pevnost v tlaku betonu je 20 684 kPa a mez kluzu vyztužení 413 685 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,3 byly použity pro beton/ocel, resp. dřevo; součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,2 pro beton/dřevo a 1,4 pro ocel.
90	15,376	1 788,025	2 296,85	
80	10,860	1 483,997	2 296,85	
70	9,074	1 016,647	2 296,85	
60	8,226	819,898	1 719,94	
50	7,391	688,811	1 226,75	
40	6,371	527,468	1 162,66	
30	5,495	406,102	944,64	
20	4,709	309,937	693,62	
10	3,896	230,755	429,63	
5	3,392	195,301	256,29	
1	2,399	149,994	155,65	
0,5	2,096	139,217	137,44	
0,1	1,841	126,047	95,61	

**TABULKA 54 – Malá nezpevněná cihlová konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	27,518	447,279	1 893,04	Tato konstrukce má menší než střední odolnost vůči tlakové vlně. Má malé rozměry (~ 232,3 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 2 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), nezpevněné cihlové zdi a stropní systém z překližky a dřevěných trámů. Nosné zdi namáhané na smyk jsou formovány ze dvou řad cihel o rozměrech 5,08 cm × 10,16 cm × 20,32 cm. Strop je z 1,27cm překližky, spočívá na nosnících 5,08 cm × 25,4 cm. Cihly mají pevnost v tahu 1 379 kPa a pevnost v tlaku 9 308 kPa. Dřevěný strop má lomové zatížení 17 237 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,3 byly použity pro cihly, resp. dřevo; součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,2 pro dřevo a 1,4 pro cihly.
90	23,974	325,789	1 272,34	
80	20,857	269,967	1 000,97	
70	17,775	228,431	697,91	
60	15,245	198,190	475,36	
50	14,024	177,181	366,26	
40	12,825	159,764	316,25	
30	11,777	144,257	258,10	
20	10,736	126,075	211,61	
10	8,274	91,690	113,10	
5	7,198	78,672	68,41	
1	5,847	63,924	28,52	
0,5	5,523	61,138	26,05	
0,1	5,261	58,876	23,96	

**TABULKA 55 – Nezpevněná zděná konstrukce střední velikosti**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	42,073	1 249,291	6 567,65	Tato konstrukce má menší než střední odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 3 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), nezpevněné zdi z bloků z výplňového betonu a stropní systém z dřevěných panelů. Zdi z betonových tvárnic silných 20,32 cm tvoří výplň betonového rámu namáhaného na smyk. Strop je z 1,27cm překližkových panelů, podepřený je lepenými nosníky 20,32 cm × 55,88 cm, dřevěnými vazníky 1,22 m × 35,56 cm a vodorovnými nosníky 5,08 cm × 15,24 cm. Tvárnice mají pevnost v tahu 2 068 kPa a pevnost v tlaku 13 790 kPa. Dřevěný strop má lomové zatížení 27 579 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,3 byly použity pro tvárnice, resp. dřevo; součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,2 pro dřevo a 1,4 pro tvárnice.
90	34,654	881,843	3 802,95	
80	27,504	705,496	2 351,52	
70	22,498	588,468	1 487,84	
60	20,195	507,665	1 148,02	
50	17,968	439,163	894,67	
40	14,838	391,367	891,92	
30	11,777	341,523	859,45	
20	9,039	265,933	832,44	
10	5,957	126,061	596,02	
5	4,771	107,107	417,03	
1	3,806	84,802	269,42	
0,5	3,689	80,851	251,92	
0,1	3,592	77,596	227,53	

**TABULKA 56 – Velká nezpevněná zděná konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	30,345	1 347,255	8 482,60	Tato konstrukce má menší než střední odolnost vůči tlakové vlně. Má velké rozměry (~ 3 716 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 2 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), nezpevněné zdi z bloků z výplňového betonu a stropní systém z dřevěných panelů. Zdi z betonových tvárnic silných 20,32 cm tvoří výplň betonového rámu namáhaného na smyk. Strop je z 5,08cm panelů z lité sádky na pěnové desce, podepřený je systémem T-nosníků a ocelových příhradových stropnic o rozpětí 7,32 m mezi zdmi. Tvárnice mají pevnost v tahu 1 724 kPa a pevnost v tlaku 10 342 kPa. Příhradové stropnice mají mez kluzu 344 738 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,1 byl použit pro tvárnice a součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,4 pro stropnice.
90	25,677	1 050,240	4 175,86	
80	21,140	908,416	2 541,02	
70	17,155	800,565	1 248,81	
60	15,465	727,133	974,26	
50	13,997	623,729	918,88	
40	12,632	510,009	918,88	
30	9,984	418,520	918,88	
20	7,502	212,538	918,88	
10	6,681	97,985	341,59	
5	5,626	83,195	235,04	
1	4,427	65,765	139,58	
0,5	4,275	62,924	122,28	
0,1	4,158	60,164	108,40	

**TABULKA 57 – Malá zpevněná zděná konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	58,525	3 782,149	30 760,33	Tato konstrukce má střední odolnost vůči tlakové vlně. Má malé rozměry (~ 232,3 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 2 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), zdi ze železobetonových bloků a stropní systém z překližky a dřevěných trámů. Železobetonové zdi namáhané na smyk z betonových tvárnice silných 20,32 cm. Strop je z 1,27cm překližky uložené na trámech 5,08 cm × 30,48 cm vzdálených od sebe 40,64 cm. Tvárnice mají pevnost v tlaku 10 342 kPa a vyztužení má mez kluzu 413 685 až 448 159 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,3 byly použity pro tvárnice, resp. pro ocel a součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,4 pro tvárnice a 1,2 pro ocelové vyztužení.
90	50,085	2 476,870	20 227,19	
80	38,715	1 891,409	18 060,60	
70	34,785	1 506,082	11 743,63	
60	30,386	1 259,772	7 347,99	
50	26,084	858,407	5 512,43	
40	22,002	692,423	3 922,47	
30	18,879	557,268	2 434,38	
20	14,873	414,596	1 399,09	
10	10,673	310,447	656,35	
5	8,674	264,989	472,18	
1	6,640	211,539	280,78	
0,5	6,240	198,852	268,37	
0,1	5,930	176,512	268,37	

**TABULKA 58 – Zpevněná zděná konstrukce střední velikosti**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	39,667	2 890,549	12 619,10	Tato konstrukce má střední odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 3 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), zdi ze železobetonových bloků a stropní systém z ocelových panelů uložených na ocelových nosnících. Železobetonové zdi z betonových tvárnic silných 20,32 cm. Strop je z 3,81 cm tlustého vlnitého plechu uloženého na konstrukci z ocelových nosníků s mezí kluzu 413 685 až 448 159 kPa a rozpětím 7,32 m mezi zdmi. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,3 byly použity pro tvárnice, resp. pro vyztužení/nosníky a součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,4 pro tvárnice a 1,2 pro vyztužení/nosníky.
90	34,916	2 255,037	10 698,16	
80	29,400	1 688,268	10 698,16	
70	26,408	1 329,384	6 992,62	
60	22,264	1 085,528	4 098,51	
50	18,548	853,760	3 058,31	
40	15,176	644,289	1 789,35	
30	8,639	528,853	589,56	
20	7,033	433,096	361,03	
10	6,233	331,491	185,70	
5	5,199	270,477	114,72	
1	4,151	201,865	59,99	
0,5	3,965	186,330	50,87	
0,1	3,813	166,942	43,07	



**TABULKA 59 – Malá kovová konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	33,537	1 175,129	5 393,01	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má malé rozměry (~ 232,3 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), zdi a stropní systém z ocelových vlnitých plechů. Ocelové stěnové panely jsou připevněny k Z nosníkům o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,152 cm svázaným s tuhým ocelovým rámem. Kovové stropní panely jsou připevněny k Z vaznicím o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,1905 cm propojeným s ocelovými stropními nosníky. Nosníky mají mez kluzu 344 738 kPa. Stěnové a stropní panely z vlnitého ocelového plechu o tloušťce 3,81 cm mají mez kluzu 379 212 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,4 jsou použity pro ocelové panely, resp. pro nosníky a součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,4 pro nosníky a 1,1 pro ocelové panely.
90	31,696	1 022,694	3 654,24	
80	28,642	814,948	2 935,47	
70	19,920	702,663	2 213,27	
60	14,693	616,165	2 213,27	
50	11,970	542,843	2 213,27	
40	9,791	468,460	2 088,14	
30	7,812	386,161	1 309,80	
20	6,405	311,130	819,99	
10	5,157	225,570	599,73	
5	4,371	184,793	440,42	
1	3,185	138,155	163,68	
0,5	2,792	129,288	122,66	
0,1	2,462	104,301	79,68	

**TABULKA 60 – Kovová konstrukce střední velikosti**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	34,123	1 372,512	7 768,16	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), zdi a stropní systém z ocelových vlnitých plechů. Ocelové stěnové panely jsou připevněny k Z nosníkům o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,152 cm svázaným s ocelovým rámem přenášejícím momenty. Kovové stropní panely jsou připevněny k Z vaznicím o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,1905 cm propojeným s ocelovými stropními nosníky. Nosníky mají mez kluzu 344 738 kPa. Stěnové a stropní panely z vlnitého ocelového plechu o tloušťce 3,81 cm mají mez kluzu 379 212 kPa. Součinitele rychlosti statického zatěžování 1,1 a 1,4 jsou použity pro ocelové panely, resp. pro nosníky a součinitel rychlosti dynamického zatěžování pak 1,4 pro nosníky a 1,1 pro ocelové panely.
90	32,076	1 178,397	4 831,40	
80	28,959	1 075,392	3 279,38	
70	19,920	978,862	1 938,06	
60	14,742	869,466	1 938,06	
50	12,018	725,954	1 938,06	
40	9,832	568,775	1 938,06	
30	7,833	445,617	1 313,56	
20	6,419	358,099	821,51	
10	5,164	246,138	535,64	
5	4,378	195,142	439,14	
1	3,185	140,506	156,74	
0,5	2,792	132,074	117,86	
0,1	2,462	104,301	79,68	

**TABULKA 61 – Kovová rámová konstrukce střední velikosti**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	44,300	2 199,078	15 188,36	Tato konstrukce má střední odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 3 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), ocelové rámové zdi a stropní systém z ocelových panelů. Ocelové pilíře mají mez kluzu 413 685 kPa. Kovové stropní panely o tloušťce 3,81 cm jsou připevněny k Z vaznicím o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,1905 cm propojeným s ocelovými stropními nosníky. Nosníky mají mez kluzu 413 685 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,1 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,4 jsou použity pro stropní panely, nosníky (pilíře) a pro vaznice.
90	42,363	1 756,784	11 369,06	
80	40,715	1 541,853	9 054,52	
70	36,571	1 399,485	6 704,38	
60	32,062	1 283,697	3 657,90	
50	19,203	1 179,341	3 657,90	
40	16,424	1 057,004	3 657,90	
30	14,528	908,961	3 657,90	
20	12,294	658,210	3 657,90	
10	8,391	484,160	2 596,31	
5	6,750	339,475	1 878,58	
1	5,440	227,921	1 149,26	
0,5	5,282	206,519	1 033,21	
0,1	5,151	188,668	937,93	

**TABULKA 62 – Konstrukce kovového výškového skladu**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	35,558	2 339,508	8 064,24	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má velké rozměry (~ 3 716 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, výškový sklad, průměrná výška podlaží 7,32 m), zdi a stropní systém z ocelových vlnitých plechů. Ocelové stěnové panely jsou připevněny k Z nosníkům o profilu 20,32 cm × 5,08 cm × 0,152 cm svázaným s ocelovým rámem přenášejícím momenty. Ocelové stropní panely jsou připevněny k podpůrnému systému ze stropnic spojených s ocelovými stropními nosíky. Stropnice jsou rozmístěny ve vzdálenostech 1,83 m a mají mez kluzu 344 738 kPa. Stěnové nosíky mají stejnou mez kluzu. Stěnové ocelové panely mají mez kluzu 379 212 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,1 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,4 jsou použity pro ocelové panely, nosíky i pro stropnice.
90	32,999	1 762,141	6 554,96	
80	29,828	1 454,879	5 219,38	
70	20,037	1 260,337	2 295,99	
60	12,142	1 013,227	2 295,99	
50	9,488	717,204	1 644,87	
40	7,198	591,315	751,10	
30	5,806	455,366	288,71	
20	5,482	362,215	258,62	
10	4,475	274,545	168,29	
5	3,751	218,923	105,92	
1	3,179	157,399	105,92	
0,5	2,841	133,329	105,92	
0,1	2,468	105,094	80,11	

**TABULKA 63 – Malá dřevěná konstrukce**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	40,867	850,705	5 021,09	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má malé rozměry (~ 232,3 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 2 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), dřevěné rámové zdi i strop. Zdi jsou konstruovány z 1,27 cm tlustých překližkových panelů na dřevěných hranolech 5,08 cm × 10,16 cm vzdálených od sebe 40,64 cm. Strop je z 1,27 cm silných překližkových panelů na trámech 5,08 cm × 10,16 cm. Lomové zatížení dřeva je zvoleno 27 579 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,3 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,2 jsou použity pro dřevěné zdi i strop.
90	34,544	674,621	3 980,37	
80	29,552	584,531	2 908,08	
70	24,622	488,552	2 094,32	
60	20,568	401,703	1 257,51	
50	18,024	347,425	970,64	
40	16,038	300,064	815,52	
30	14,052	266,078	654,31	
20	12,073	222,846	495,66	
10	10,274	155,613	376,19	
5	8,357	123,876	182,37	
1	6,095	96,530	110,11	
0,5	5,413	88,042	87,90	
0,1	4,861	81,009	74,97	

**TABULKA 64 – Dřevěná konstrukce střední velikosti**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	40,294	1 654,448	9 897,37	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má střední rozměry (~ 929 m <sup>2</sup> , poměr stran 2 : 1, 1 až 3 podlaží, průměrná výška podlaží 3,66 m), dřevěné rámové zdi a strop z dřevěných panelů. Zdi jsou konstruovány z 1,27 cm tlustých překližkových panelů na dřevěných hranolech 5,08 cm × 10,16 cm vzdálených od sebe 40,64 cm. Strop je z 0,9525 cm silných překližkových panelů na lepených dřevěných nosících 20,32 cm × 55,88 cm, lepených dřevěných trámech 15,24 cm × 45,72 cm a dřevěných vaznicích 5,08 cm × 25,4 cm. Lomové zatížení všech dřevěných částí je zvoleno 27 579 kPa. Pro dřevěné součásti je použit součinitel rychlosti statického zatěžování 1,3 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,2.
90	32,358	1 286,173	5 685,76	
80	24,691	1 050,439	3 177,69	
70	19,416	869,832	1 765,67	
60	16,458	790,429	1 296,16	
50	13,838	661,975	1 247,86	
40	12,066	540,092	1 101,24	
30	10,418	445,596	854,08	
20	7,950	370,124	521,38	
10	5,812	272,546	383,84	
5	4,771	214,235	346,76	
1	3,806	150,152	287,05	
0,5	3,689	135,287	255,82	
0,1	3,592	122,814	229,96	

**TABULKA 65 – Malý přívěsný vůz**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	29,717	523,068	2 202,81	Tato konstrukce má malou odolnost vůči tlakové vlně. Má malé rozměry (~ 46,5 m <sup>2</sup> , poměr stran 5 : 1, 1 podlaží, průměrná výška podlaží 3,05 m), dřevěné rámové stěny a strop. Zdi jsou konstruovány z 0,9525 cm tlustých překližkových panelů na dřevěných hranolech 5,08 cm × 10,16 cm vzdálených od sebe 40,64 cm. Strop je z 0,9525 cm silných překližkových panelů na dřevěných trámčích 5,08 cm × 15,24 cm. Lomové zatížení všech dřevěných částí je zvoleno 27 579 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování 1,3 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,2 jsou použity pro dřevěné stěny i strop.
90	24,725	433,744	1 586,11	
80	19,809	351,631	1 074,66	
70	16,189	279,730	697,86	
60	14,093	232,555	605,58	
50	12,542	214,276	476,08	
40	10,998	190,667	388,88	
30	9,453	167,273	304,64	
20	8,102	142,954	234,80	
10	6,433	114,188	141,39	
5	5,378	98,916	106,16	
1	4,378	84,071	76,64	
0,5	4,213	76,638	62,75	
0,1	3,785	70,336	54,39	

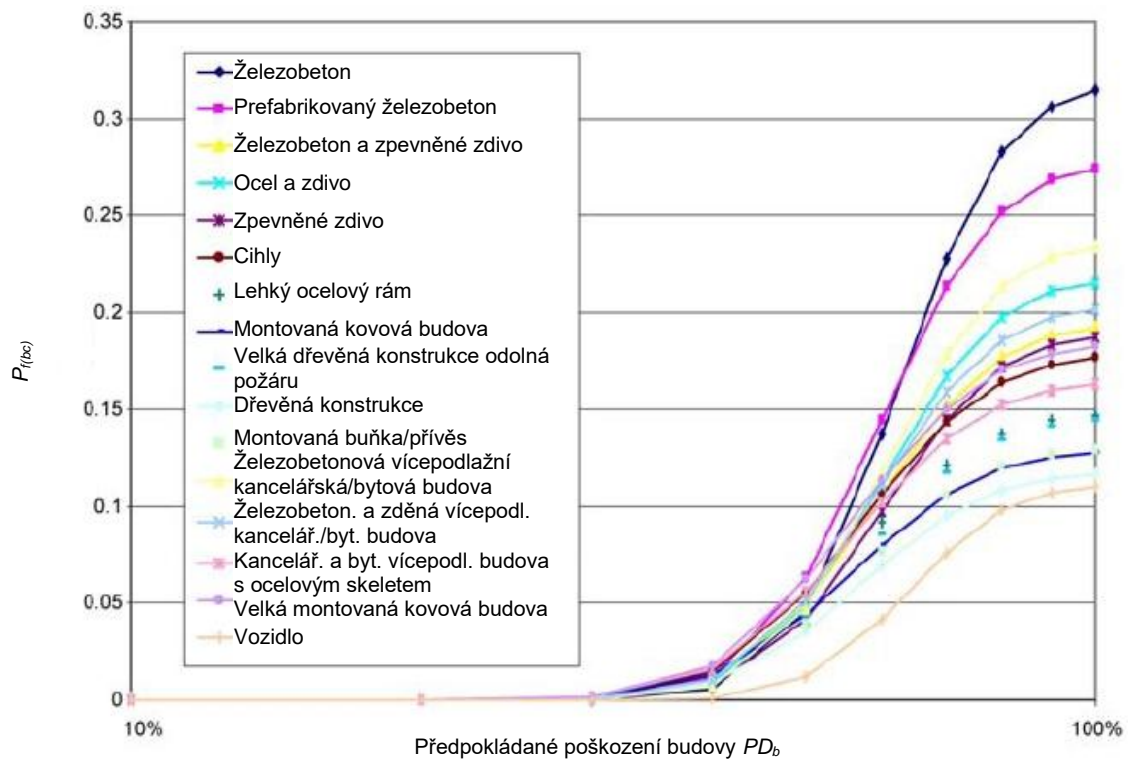
**TABULKA 66 – Osobní vozidlo**

Poškození budovy (%)	A	B	C	Popis
100	58,601	2 801,514	25 516,88	Tato konstrukce má relativně velkou odolnost vůči tlakové vlně. Modelovou konstrukcí je typická střecha osobního vozidla (která je zranitelnou částí prostoru pro cestující). Předpokládá se, že střecha má průměrnou tloušťku od 0,1016 cm do 0,127 cm. Mez kluzu ocelové střechy je 413 685 kPa. Součinitel rychlosti statického zatěžování je 1,1 a součinitel rychlosti dynamického zatěžování 1,4.
90	41,473	2 078,953	14 105,28	
80	32,751	1 714,180	9 691,05	
70	27,049	1 521,795	7 375,89	
60	23,209	1 333,548	6 608,82	
50	20,099	1 158,132	5 520,85	
40	17,369	985,888	4 040,56	
30	14,707	843,583	3 324,40	
20	12,101	707,103	2 665,24	
10	9,336	566,486	1 674,92	
5	7,791	473,907	1 352,02	
1	5,937	399,676	784,38	
0,5	5,709	390,505	764,41	
0,1	5,530	379,946	682,41	

Dílčí krok 2

Následně je za použití  $PD_b$  a křivek useknutého normálního rozdělení ukázaných na obrázku 60 je nalezena pravděpodobnost usmrcení jako funkce poškození konstrukce  $P_{f(bc)}$ . Parametry definující křivky useknutého normálního rozdělení jsou uvedeny v tabulce 67.





**OBRÁZEK 60 – S-křivky zřícení budovy**

**TABULKA 67 – Parametry normálního rozdělení pro poškození/zřícení budovy**

Typ ES	$P_f$ pro 40 %	$P_f$ pro 90 %	Směrodatná odchylka	Střední hodnota	$P_f$ max.
Malý, železobetonový (kancelářský/komerční)	0,0052	0,3064	0,08964	1,79354	0,318
Střední, železobetonový (kancelářský/komerční)	0,0074	0,2282	0,09508	1,77894	0,2359
Velký, železobetonový, prefabrikovaný (komerční)	0,0114	0,2681	0,09815	1,77256	0,277
Malý, zpevněné zdvo (kancelářský/komerční)	0,0073	0,1829	0,09739	1,77418	0,189
Střední, zpevněné zdvo (kancelářský/komerční)	0,0084	0,2106	0,0972	1,77384	0,2175
Malý, nezpevněné zdvo (kancelářský/bytový)	0,0141	0,1729	0,10672	1,75264	0,17815
Střední, nezpevněné zdvo (kancelářský/bytový)	0,0105	0,1970	0,10066	1,76608	0,20325
Velký, nezpevněné zdvo (kancelářský)	0,0100	0,1878	0,10066	1,76625	0,1938
Malý, montovaný kovový (kancelářský/skladovací)	0,0125	0,1257	0,10975	1,74484	0,12935
Střední, montovaný kovový (kancelářský/komerční)	0,0143	0,1444	0,11009	1,74562	0,14872
Velký, montovaný kovový (kancelářský/komerční/hangár)	0,0177	0,1785	0,1096	1,74481	0,18365
Malý, dřevěná nosná konstrukce (obytný)	0,0087	0,1144	0,10546	1,75473	0,11785
Střední, dřevěná nosná konstrukce (obytný/bytový)	0,0107	0,1417	0,10541	1,75508	0,146
Střední, ocelový skelet (kancelářský/komerční)	0,0159	0,1602	0,10987	1,74513	0,1649
Objekt montovaný z modulů/přívěs (kancelářský/obytný/sklad)	0,0096	0,1271	0,1054	1,75505	0,13095
Vozidlo	0,0009	0,1074	0,08434	1,80506	0,1117

### 8.3.5 Následky zasažení osob fragmenty

#### 8.3.5.1 Metoda SAFER pro stanovení úmrtnosti osob v důsledku zasažení fragmenty z nadzemního výbuchu (USA)

SAFER završuje svou analýzu fragmentů stanovením pravděpodobnosti usmrcení fragmenty  $P_{f(d)}$ . Všechny fragmenty jsou definovány pomocí kinetické energie pronikajících fragmentů. SAFER stanovuje úmrtnost jako funkci kinetické energie za použití získaných kritérií.

Pro stanovení pravděpodobnosti usmrcení fragmenty SAFER zohledňuje vlastnosti pronikajícího fragmentu, zranitelnou plochu ohrožené osoby, pravděpodobnost usmrcení danou zásahem fragmentu a pravděpodobnost zásahu. Předpokládá se, že zranitelná plocha ohrožené osoby činí  $0,279 \text{ m}^2$ . Hodnota úmrtnosti je funkcí kinetické energie.

#### Dílčí krok 1

Ze všech tabulek fragmentů pronikajících pod velkým úhlem se vytvoří jedna spojená tabulka, a to sečtením počtu fragmentů pronikajících pod velkým úhlem  $N_{HA}$  napříč odpovídajícími koši v každé z deseti tabulek takovýchto fragmentů. Pak se stanoví

pravděpodobnost zásahu pro každý koš. Následuje výpočet celkového počtu fragmentů pronikajících pod velkým úhlem  $N_{HA}^*$  v každém koši spojené tabulky a pravděpodobnost zásahu  $P_{hit}$  pro každý koš spojené tabulky použitím algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$  spojené tabulky fragmentů pronikajících pod vysokým úhlem:

Pro  $j = 1$  až 10

$$N_{HA}^* = N_{HA}^* + N_{HA} \text{ v koši } n \text{ tabulky } j \text{ fragmentů dopadajících pod velkým}$$

úhlem

Další  $j$

$$P_{hit} = 1 - e^{-(3N_{HA}^*)}$$

Další  $n$ .

Výsledkem tohoto postupu je hodnota pravděpodobnosti pro deset KE košů spojené tabulky fragmentů pronikajících pod velkým úhlem.

Podobně se vytvoří jedna spojená tabulka fragmentů pronikajících pod malým úhlem a následně se vypočítá pravděpodobnost zásahu pro každý koš. Poté se stanoví celkový počet fragmentů pronikajících pod malým úhlem  $N_{LA}^*$  v každém koši spojené tabulky a pravděpodobnost zásahu  $P_{hit}$  pro každý koš spojené tabulky za použití algoritmu:

Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$  spojené tabulky fragmentů pronikajících pod malým úhlem:

Pro  $j = 1$  až 10

$$N_{LA}^* = N_{LA}^* + N_{LA} \text{ v koši } n \text{ tabulky } j \text{ fragmentů pronikajících pod malým}$$

úhlem

Další  $j$

$$P_{hit} = 1 - e^{-(0,279N_{LA}^*)}$$

Další  $n$ .

Výsledkem tohoto postupu je hodnota pravděpodobnosti pro deset KE košů spojené tabulky fragmentů pronikajících pod malým úhlem.

## Dílčí krok 2

SAFER vypočítá základní pravděpodobnost usmrcení střepinami  $P_{f(de)}$  pro každý koš ve dvou spojených tabulkách pronikajících fragmentů za použití algoritmu:

Pro  $j = 1$  až 2

Spojená tabulka  $j$  pronikajících fragmentů:

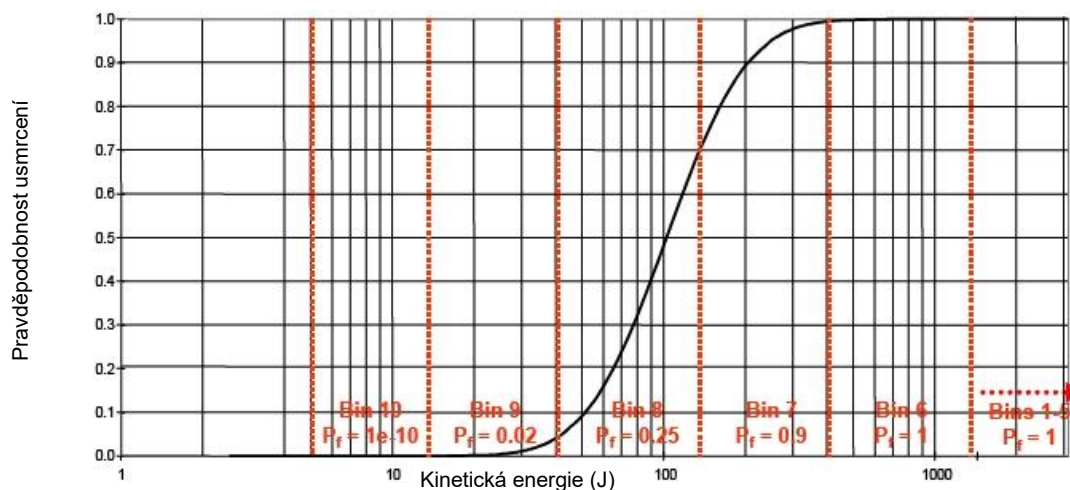
Pro  $n = 1$  až 10

Koš  $n$ :  $P_{f(de)} = 0,279 \times \text{hodnota úmrtnosti} \times N^*$  pro koš  $n \times P_{hit}$  pro koš  $n$

Další  $n$

Další  $j$ ,

kde  $N^*$  je celkový počet fragmentů ( $N_{HA}^*$  nebo  $N_{LA}^*$ ),  $P_{hit}$  je pravděpodobnost zásahu pro každý uvažovaný koš a hodnota úmrtnosti je stanovena křivkou úmrtnosti zobrazenou na obrázku 61. Obrázek znázorňuje pravděpodobnost usmrcení jako funkci kinetické energie podle rozdělení mezi KE koši. „Koš“ je v grafu označen jako „Bin“.



**OBRÁZEK 61 – Pravděpodobnost usmrcení v závislosti na kinetické energii**

### Dílčí krok 3

S využitím součtového (aditivního) pravidla pro spojování vzájemně se nevylučujících událostí se ze spojené tabulky fragmentů pronikajících pod velkým úhlem vypočítá celková pravděpodobnost usmrcení fragmenty  $P_{f(d)high-angle}$ . Obdobným způsobem se stanoví celková pravděpodobnost usmrcení fragmenty pronikajícími pod malým úhlem  $P_{f(d)low-angle}$ . Příklad stanovení  $P_{f(d)high-angle}$ :

$$P_{f(d)high-angle} = P_{f(d)koš1} + (P_{f(d)koš2})(1 - P_{f(d)koš1}) + (P_{f(d)koš3})(1 - P_{f(d)koš1})(1 - P_{f(d)koš2}) + \dots(57).$$

### Dílčí krok 4

Nakonec SAFER vypočítá celkovou pravděpodobnost usmrcení fragmenty  $P_{f(d)}$  sečtením pravděpodobností usmrcení fragmenty pronikajícími pod velkým a pod malým úhlem za použití součtového (aditivního) pravidla pro spojování vzájemně se nevylučujících událostí:

$$P_{f(d)} = P_{f(d)low-angle} + (1 - P_{f(d)low-angle}) \times P_{f(d)high-angle} \quad (58).$$

$P_{f(d)}$  představuje pravděpodobnost, že osoba bude zasažena a usmrcena přilétajícím fragmentem.

### 8.3.5.2 Nizozemská metoda pro stanovení úmrtnosti osob v důsledku zasažení fragmenty z nadzemního výbuchu

Fragmenty způsobují velká mechanická zatížení a deformace lidského těla. Velká zatížení mohou vést ke zlomeninám kostí. Velké deformace mohou také způsobit poškození orgánů s následným vnitřním krvácením. Protože lidské tělo představuje velmi komplikovaný systém, je prakticky nemožné určit, které veličiny jsou rozhodující pro zranění, k nimž dojde. Kromě toho může být vznik zranění silně závislý na části těla, která byla zasažena. V důsledku toho existují pouze velmi obecná kritéria týkající se pravděpodobnosti zranění v důsledku zasažení lidského těla fragmenty<sup>2</sup>.

V Nizozemsku<sup>2</sup> se pro stanovení pravděpodobnosti usmrcení používají níže uvedené probit funkce  $Pr$ .

Pro fragmenty hmotnosti  $m$ , kde  $0,001 \leq m \leq 0,1$  kg:

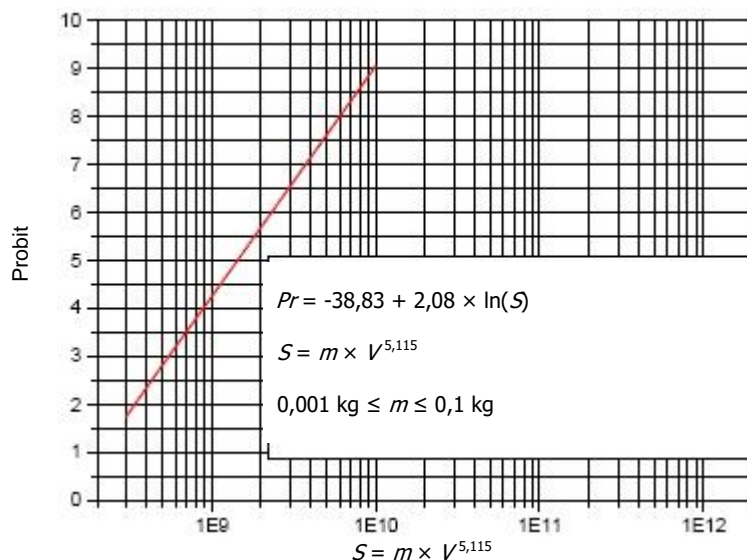
$$Pr = -38,83 + 2,08 \times \ln(S) \quad (59)$$

kde  $S = m \times V^{5,115}$  a  $V$  = rychlost nárazu (m/s). Grafické znázornění je na obrázku 62.

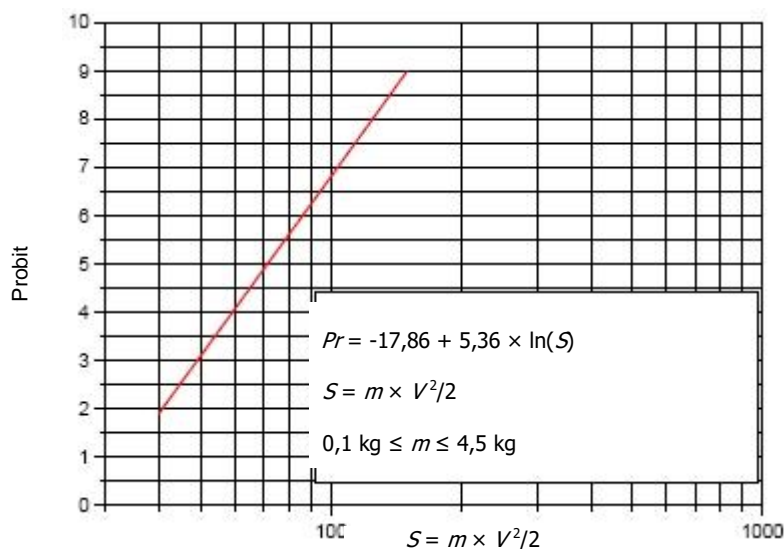
Pro fragmenty hmotnosti  $m$ , kde  $0,1 \leq m \leq 4,5$  kg:

$$Pr = -17,86 + 5,36 \times \ln(S) \quad (60)$$

kde  $S = m \times V^2/2$  a  $V$  = rychlost nárazu (m/s). Grafické znázornění je na obrázku 63.



**OBRÁZEK 62 – Probit pro usmrcení troskami o hmotnosti mezi 0,001 kg až 0,1 kg**

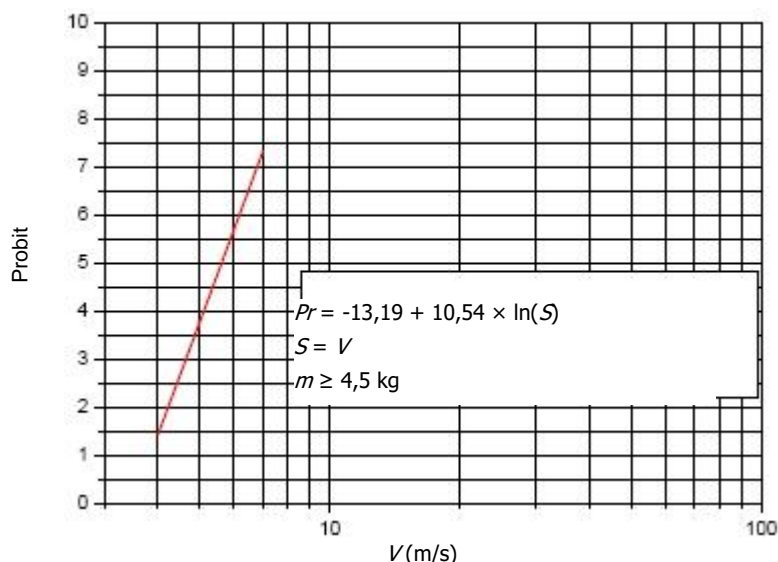


**OBRÁZEK 63 – Probit pro usmrcení troskami o hmotnosti mezi 0,1 kg až 4,5 kg**

Pro fragmenty hmotnosti  $m$ , kde  $m \geq 4,5$  kg:

$$Pr = -13,19 + 10,54 \times \ln(S) \quad (61)$$

kde  $S = V$  a  $V$  = rychlost nárazu. Grafické znázornění je na obrázku 64.



**OBRÁZEK 64 – Probit pro usmrcení troskami o hmotnosti větší než 4,5 kg**

### 8.3.5.3 Švýcarský model usmrcení fragmenty vymrštěnými z podzemních objektů

#### Nechráněné osoby v otevřeném prostoru

Výbuchy v podzemních skladovacích objektech zpravidla vytvářejí velké množství povýbuchových plynů. S výjimkou případů, kdy je objekt utěsněn vysokotlakým uzavíracím zařízením, unikají tyto plyny velkou rychlostí z podzemní chodby. Tento proud plynů unáší velké množství fragmentů z vnitřku podzemního prostoru zahrnující materiál z rozrušených hornin, části munice a obalů apod. Předpokládaný počet fragmentů jako funkce vzdálenosti místa výbuchu od vstupu do podzemních prostor a hmotnosti výbušnin může být stanoven podle postupů uvedených v části 8.2.2.3.1 tohoto standardu.

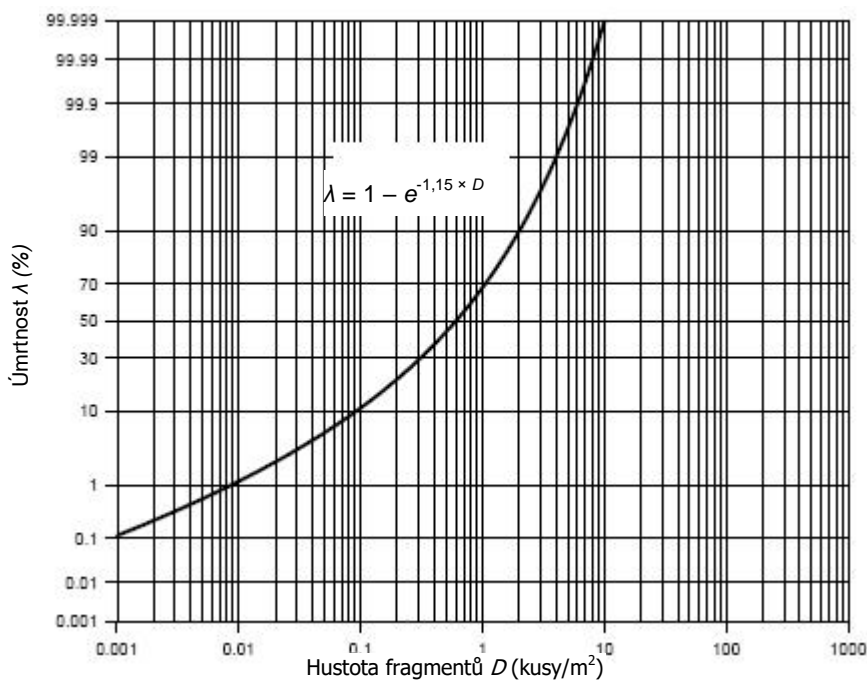
Nebezpečné fragmenty pocházející z prostor podzemních objektů vybudovaných ve skále jsou charakteristické relativně malými úhly dopadu na terén a dopadovými rychlostmi v řádu několika set metrů za sekundu. Nechráněné osoby na otevřeném prostranství, které jsou vystaveny těmto účinkům výbuchu, mohou být smrtelně zraněny, a to v závislosti na dopadové energii fragmentů a na zasažené části těla.

V zásadě může být úmrtnost nechráněných osob  $\lambda$  vypočítána podle rovnice

$$\lambda = 1 - e^{-\beta_D \times D} \quad (62)$$

- kde  $\lambda$  je pravděpodobnost usmrcení osoby fragmenty vymrštěnými z podzemních prostor (v případě, že osoba je skutečně vystavena tomuto účinku výbuchu) (1),
- $D$  - hustota nebezpečných fragmentů ( $\text{kusy}/\text{m}^2$ ),
- $\beta_D$  - parametr pro polohu/orientaci těla (1).

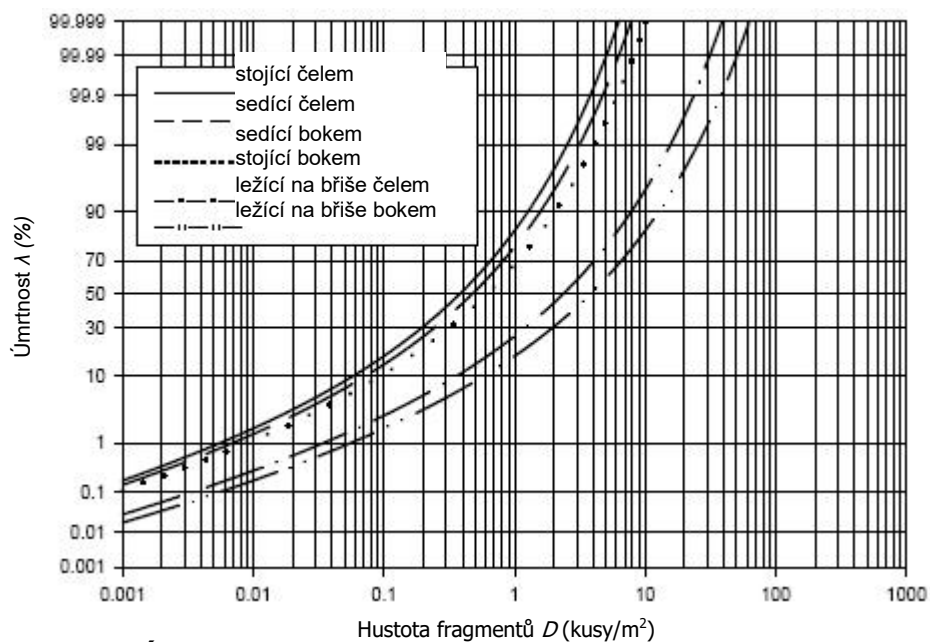
Poloha a orientace ohrožené osoby (stojící, sedící, ležící na břiše, resp. čelem nebo bokem k letícím fragmentům) vzhledem k dráze letu fragmentů nebývá podrobně známa. Předpokládá se tudíž, že se více či méně náhodně vyskytnou různé polohy a orientace. V tomto případě je hodnota parametru  $\beta_D = 1,15$ . Obrázek 65 zobrazuje příslušnou křivku.



**OBRÁZEK 65 – Úmrtnost nechráněných osob způsobená fragmenty z podzemních objektů**

V případech, kdy je přesná poloha a orientace známa a je pro danou situaci významná, může být použit graf uvedený na obrázku 66. Příslušné hodnoty parametru  $\beta_D$  pro polohu/orientaci těla jsou:

- 1,83 = stojící čelem k letícím fragmentům,
- 1,47 = sedící čelem k letícím fragmentům,
- 1,11 = stojící nebo sedící bokem k letícím fragmentům,
- 0,29 = ležící na břicho čelem k letícím střepinám,
- 0,18 = ležící na břicho bokem k letícím střepinám.



**OBRÁZEK 66 – Úmrtnost nechráněných osob způsobená fragmenty z podzemních objektů pro různé polohy/orientace těla**

### 8.3.5.4 Švýcarská metoda stanovení úmrtnosti osob fragmenty vymrštěnými z kráteru

#### Nechráněné osoby v otevřeném prostoru

V případě nedostatečného skalního nadloží podzemního objektu může být krycí vrstva proražena, vytvoří se kráter a hornina (v menším rozsahu i materiál ze stavební konstrukce) bude vymrštěna ve formě fragmentů do okolí. Počet nebezpečných fragmentů může být stanoven jako funkce vzdálenosti od kráteru (a dalších parametrů) v souladu s článkem 8.2.2.4.1 tohoto standardu.

Nebezpečné fragmenty pocházející z kráterů podzemních objektů vybudovaných ve skále jsou charakteristické relativně strmými (velkými) úhly dopadu na terén a – v závislosti na své hmotnosti – dopadovými rychlostmi v řádu několika desítek metrů za sekundu. Nechráněné osoby na otevřeném prostranství, které jsou vystaveny těmto účinkům výbuchu, mohou být smrtelně zraněny, a to v závislosti na dopadové energii fragmentů a na zasažené části těla.

V zásadě může být úmrtnost nechráněných osob  $\lambda$  vypočítána podle rovnice

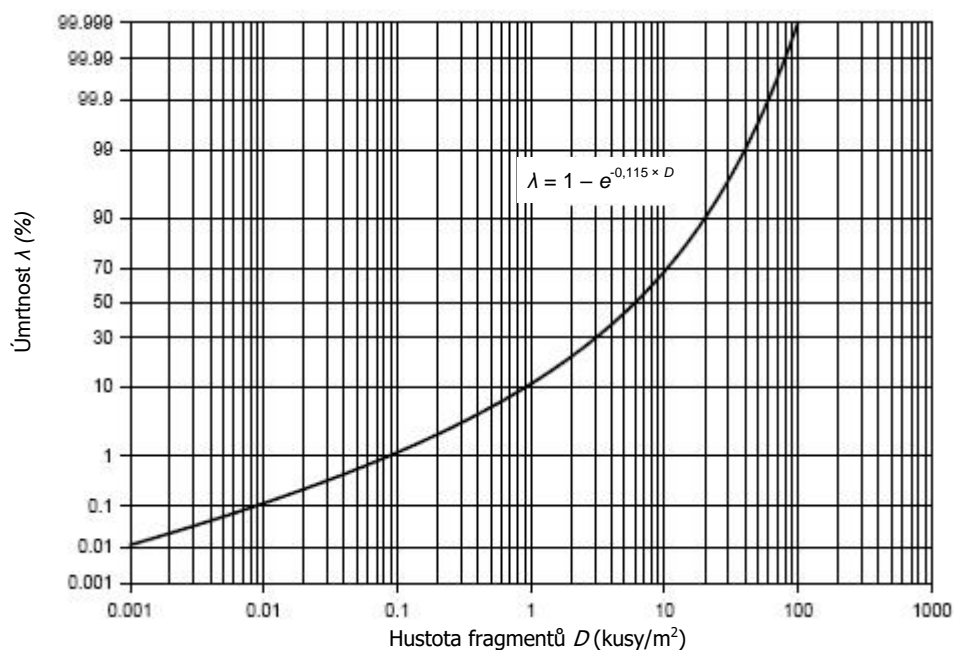
$$\lambda = 1 - e^{-\beta_D \times D} \quad (63)$$

kde  $\lambda$  je pravděpodobnost usmrcení osoby fragmenty vymrštěnými z kráteru (v případě, že osoba je skutečně vystavena tomuto účinku výbuchu) (1),

$D$  - hustota nebezpečných fragmentů ( $\text{kusy}/\text{m}^2$ ),

$\beta_D$  - parametr pro polohu/orientaci těla (1).

Poloha a orientace ohrožené osoby (stojící, sedící, ležící na břiše, resp. čelem, bokem k letícím fragmentům) vzhledem k dráze letu fragmentů nebývá podrobně známa. Předpokládá se tudíž, že se více či méně náhodně vyskytnou různé polohy a orientace. V tomto případě je hodnota parametru  $\beta_D = 0,115$ . Obrázek 67 zobrazuje příslušnou křivku.

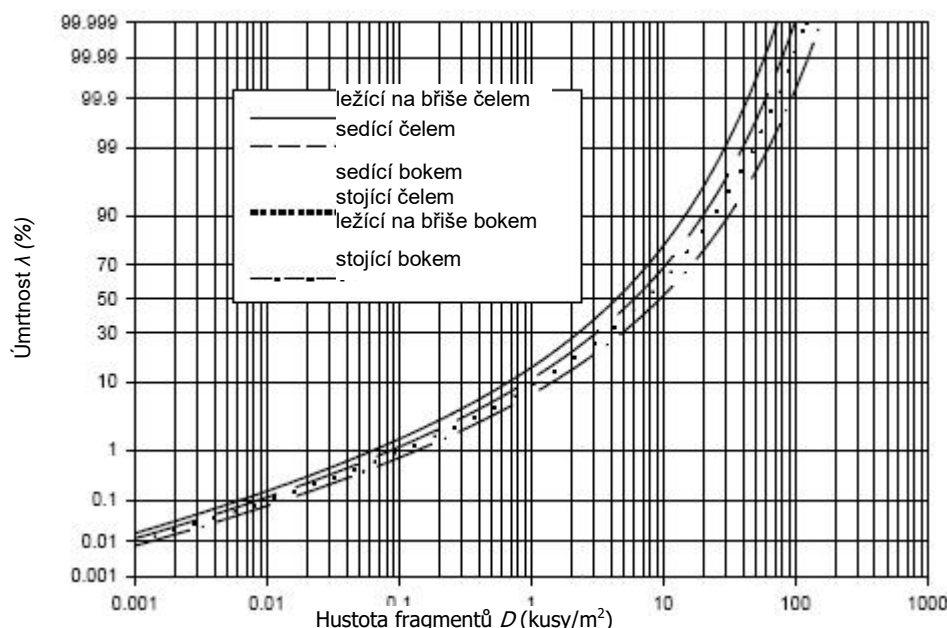


**OBRÁZEK 67 – Úmrtnost nechráněných osob způsobená fragmenty z kráteru**



V případech, kdy je přesná poloha a orientace známa a je pro danou situaci významná, může být použit graf uvedený na obrázku 68. Příslušné hodnoty parametru  $\beta_D$  pro polohu/orientaci těla jsou:

- 0,097 = stojící čelem, sedící bokem nebo ležící na břiše bokem k letícím fragmentům,
- 0,115 = sedící čelem k letícím fragmentům,
- 0,073 = stojící bokem k letícím fragmentům,
- 0,157 = ležící na břiše čelem k letícím střepinám.



**OBRÁZEK 68 – Úmrtnost nechráněných osob způsobená fragmenty z kráteru pro různé polohy/orientace těla**

### 8.3.6 Následky způsobené osobám tepelnými účinky výbuchu

Tepelné účinky jsou ve velké míře omezeny na oblast v těsné blízkosti místa skladování munice. V této oblasti je úmrtnost v důsledku dalších účinků výbuchu (tlaková vlna, fragmenty) větší a pro většinu muničních předmětů rozhodující. Pro materiál třídy nebezpečnosti 1.3 však mohou být tepelné účinky převažující.

#### 8.3.6.1 Nizozemská metoda stanovení úmrtnosti v důsledku tepelných účinků

Probit funkce  $Pr$  pro vztah mezi tepelným zářením a úmrtností je<sup>2</sup>

$$Pr = -36,38 + 2,56 \times \ln(t \times Q^{4/3}) \quad (64)$$

kde  $t$  je doba vystavení účinkům (s),  
 $Q$  - tepelné záření ( $W/m^2$ ).

#### 8.3.6.2 Metoda stanovení úmrtnosti v důsledku tepelných účinků používaná v USA

Metoda SAFER obsahuje postup pro stanovení úmrtnosti v důsledku tepelných účinků, který se skládá ze čtyř kroků:

- Krok 1: Stanoví se faktor tepelného nebezpečí založený na ekvivalentní hmotnosti výbušniny a vzdálenosti mezi PES a ES.

- Krok 2: Stanoví se upravený faktor tepelného nebezpečí kvůli chování PES při výbuchu.
- Krok 3: Stanoví se faktor tepelné ochrany charakterizující tepelnou ochranu, kterou poskytuje ES osobám.
- Krok 4: Vypočítá se pravděpodobnost usmrcení tepelnými účinky  $P_{f(t)}$ .

### Krok 1: Stanovení nominálního faktoru tepelného nebezpečí

Vstupy do kroku 1:

- ekvivalentní hmotnost výbušniny  $W_1$  (kg),
- vzdálenost  $d$  mezi PES a ES (m).

Nominální faktor tepelného nebezpečí  $Z_t$  se vypočítá použitím vstupního množství materiálu třídy nebezpečnosti 1.3.

$$Z_t = \frac{d}{W_1^{1/3}} \quad (65).$$

Výstup z kroku 1:

- faktor tepelného nebezpečí  $Z_t$ .

### Krok 2: Úprava faktoru tepelného nebezpečí

Vstupy do kroku 2:

- vzdálenost  $d$  mezi PES a ES (m),
- upravená hmotnost  $W_a$  vypočítaná z parametrů tlakové vlny (kg).

Vypočítá se upravený faktor tepelného nebezpečí  $Z_{ta}$  ze vztahu

$$Z_{ta} = \frac{d}{W_a^{1/3}} \quad (66).$$

Jestliže neexistuje žádné PES nebo PES je montovaná (prefabrikovaná) kovová budova či je z dutinových tvarovek, pak

$$Z_{ta} = Z_t \quad (67).$$

Výstup z kroku 2:

- upravený faktor tepelného nebezpečí  $Z_{ta}$ .

### Krok 3: Stanovení ochrany poskytované ES

Vstupy do kroku 3:

- konstrukční typ ES,
- procentní podíl skleněných oken  $G_p$  v ES (%).

Vypočítá se faktor tepelné ochrany  $TBF$  pomocí

$$TBF = TBF_0 \times \frac{100 - G_p}{100} \quad (68)$$

kde  $TBF_0$  je nominální faktor tepelné ochrany vycházející z konstrukčního typu ES a je uveden v tabulce 68.

Výstup z kroku 3:

- faktor tepelné ochrany  $TBF$ .

**TABULKA 68 – Nominální faktory tepelné ochrany**

Konstrukční typ ES	Nominální faktor tepelné ochrany $TBF_0$
Železobeton	1,0
Montovaný, železobeton	1,0
Železobeton a železobetonové kvádry	1,0
Ocel a zdivo	1,0
Zpevněné zdivo	1,0
Cihlové zdivo	1,0
Lehký ocelový skelet	0,2
Požáru odolné dřevo	0,2
Dřevo	0,2
Montované buňky / přívěsy	0,2
Železobeton, kancelářský/bytový, vícepodlažní	1,0
Železobeton a zdivo, kancelářský/bytový, vícepodlažní	1,0
Ocelový skelet, kancelářský/bytový, vícepodlažní	0,2
Velký montovaný, kovový	0,2
Vozidlo	0,6

**Krok 4: Vyhodnocení pravděpodobnosti usmrcení tepelnými účinky  $P_{f(t)}$**

Vstupy do kroku 4:

- upravený faktor tepelného nebezpečí  $Z_{ta}$  (z kroku 2),
- faktor tepelné ochrany  $TBF$  (z kroku 3).

Krok 4 se skládá ze dvou dílčích kroků:

**Dílčí krok 1**

S využitím převráceného upraveného faktoru tepelného nebezpečí  $Z_{ta}$  se z S-křivky znázorněné na obrázku 69 stanoví nominální pravděpodobnost usmrcení tepelnými účinky  $P_{f(t0)}$ .

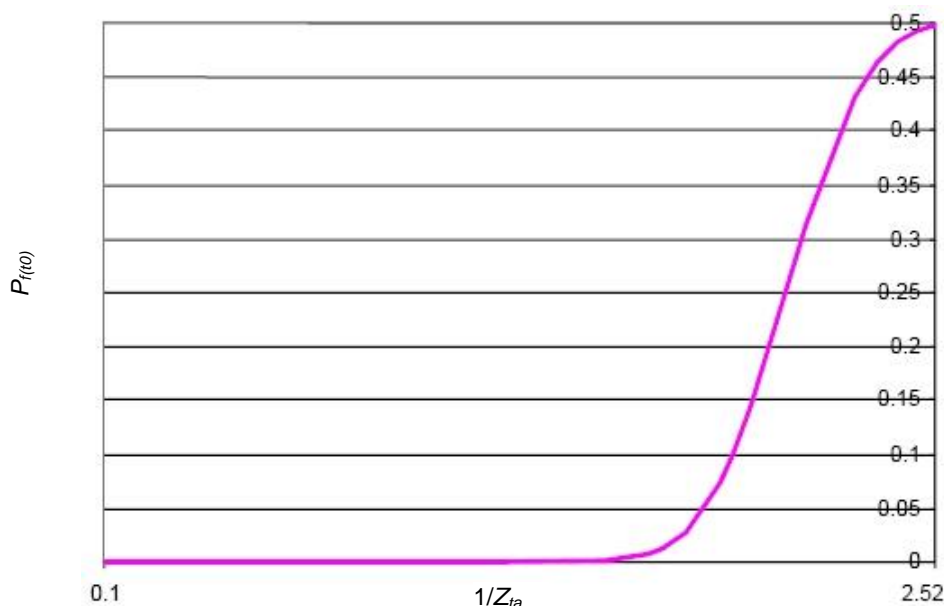
**Dílčí krok 2**

Vypočítá se pravděpodobnost usmrcení tepelnými účinky  $P_{f(t)}$  ze vztahu

$$P_{f(t)} = (1 - TBF) \times P_{f(t0)} \quad (69).$$

Výstup z kroku 4:

- pravděpodobnost usmrcení tepelnými účinky  $P_{f(t)}$ .



**OBRÁZEK 69 – Nominální pravděpodobnost usmrcení tepelnými účinky**

### 8.3.7 Následky pro osoby v důsledku rozbití skla

Tlakové vlny zpravidla rozbijí okna ještě dříve, než začnou působit další mechanismy vzniku škod. Za určitých okolností se mohou skleněné střepy stát letícími fragmenty se svým vlastním specifickým nebezpečím.

#### 8.3.7.1 Metoda SAFER pro stanovení vážných zranění od rozbitých oken (USA)

##### Pravděpodobnost usmrcení v důsledku rozbití oken

SAFER stanovuje pravděpodobnost usmrcení rozbitím oken  $P_{f(g)}$  výpočtem pravděpodobnosti přítomnosti osoby v nebezpečném prostoru následovaným určením pravděpodobnosti vážného poranění, je-li tato osoba uvnitř nebezpečného prostoru. Nakonec se stanoví pravděpodobnost usmrcení vycházející z počtu vážných zranění.

##### Dílčí krok 1

Pro stanovení pravděpodobnosti přítomnosti osoby v nebezpečném prostoru se vypočítá podlahová plocha s potenciálním ohrožením od oken  $PWHFA$  z rovnice

$$PWHFA = 6,858 \times [(FA_{ES} \times \text{poměr stran})^{1/2} + (FA_{ES}/\text{poměr stran})^{1/2}] \quad (70)$$

kde  $FA_{ES}$  je podlahová plocha ES. Poměr stran = 2 pro všechny typy budov kromě montovaných buněk a přívěsů. Poměr stran = 3 pro montované buňky a přívěsy.

##### Dílčí krok 2

Vypočítá se pravděpodobnost přítomnosti osoby v nebezpečném prostoru  $P_{gha}$  ze vztahu

$$P_{gha} = \frac{G_p}{100} \times \left( \frac{PWHFA}{FA_{ES}} \right) \quad (71).$$

Tato rovnice jednoduchým způsobem vyjadřuje procentní podíl přítomného skla  $G_p$  vynásobený podílem ohrožené plochy k celkové ploše.

### Dílčí krok 3

Stanoví se pravděpodobnost rozbití oken využitím standardních diagramů P-I (ve formě znázorněné na obrázku 59), přičemž se použije dopadající tlak a dopadající impulz. SAFER zohledňuje i vlivy PES na tlak  $P$  a impulz  $I$ . Křivka rozbití oken má tvar hyperboly, která je určena standardní rovnicí  $C = (P - A) \times (I - B)$ .

Existují tři skupiny těchto křivek, jedna pro každý druh skla. Tabulky 69 až 71 poskytují konstanty používané k vytvoření každé skupiny hyperbol. Rozbití oken se stanovuje interpolací; jejím výsledkem je předpověď rozbití oken (% rozbitého skla).

**TABULKA 69 – P-I koeficienty pro rozbití dvojitého skla**

Rozbité sklo (%)	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
100	5,875	231,051	938,60
90	4,433	136,066	620,17
70	3,399	55,084	364,17
50	2,641	55,077	162,59
30	2,069	1,386	47,54
10	1,310	1,379	14,27
1	0,724	0,690	4,76

**TABULKA 70 – P-I koeficienty pro rozbití skla zbaveného prutí**

Rozbité sklo (%)	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
100	5,881	186,00	1 890,47
90	4,944	140,244	731,28
70	3,772	68,164	388,74
50	2,923	26,787	225,91
30	2,179	23,829	62,57
10	1,448	0,000	38,03

**TABULKA 71 – P-I koeficienty pro rozbití tvrzeného skla**

Rozbité sklo (%)	A	B	C
100	21,250	1 981,485	53 146,12
90	20,733	1 550,823	29 780,17
70	18,630	904,072	18 499,64
50	17,079	57,401	9 403,61
30	11,908	57,394	1 382,35
10	9,260	57,387	380,33
1	6,895	0,703	332,79
0,1	5,516	0,696	237,71
0,01	4,482	0,690	142,62

Dílčí krok 4

Pro stanovení pravděpodobnosti vážného zranění osoby nacházející se v nebezpečném prostoru se vypočítá základní pravděpodobnost vážného zranění  $P_{base}$  ze vztahu

$$P_{base} = M \times (\% \text{ rozbitého skla})^N \quad (72)$$

kde koeficienty  $M$  a  $N$ , založené na druhu skla v ES, jsou uvedeny v tabulce 72.

**TABULKA 72 – Koeficienty pro vážné zranění jako funkci rozbití skla**

Druh skla	M	N
Zbavené prnutí	$7 \times 10^{-12}$	6,015
Dvojité	$1 \times 10^{-9}$	4,953
Tvrzené	0,0446	1,382

Dílčím krok 5

Základní pravděpodobnost vážného zranění  $P_{base}$  je spojena s určitou ekvivalentní hmotností výbušniny, a proto musí být přizpůsobena poměrné NEWQD vztažené na ES. Opravný koeficient ekvivalentní hmotnosti  $Y_{adj}$  se stanoví pomocí

$$Y_{adj} = (A \times R) + B \times G^{(C \times R \times S)} \quad (73)$$

kde  $R = \ln(Y_a/Y_n)$ ,

$S = (Y_n/Y_a)^{1/3}$ ,

$Y_a$  = upravená hmotnost  $W_a$  (se započtením vlivu PES) (kg),

$Y_n$  = nominální ekvivalentní hmotnost = 22 680 (kg),

$G$  = 100/% rozbitého skla.

Koeficienty  $A$ ,  $B$  a  $C$  jsou uvedeny v tabulce 73 a vycházejí z druhu skla použitého v konstrukci ES.

**TABULKA 73 – Koeficienty pro opravu ekvivalentní hmotnosti**

Druh skla	A	B	C
Zbavené pnutí	0,0905	1,0556	0,5
Dvojité	0,1476	1,1395	0,5
Tvrzené	0,032	1,0072	0,01

#### Dílčí krok 6

Vypočítá se pravděpodobnost vážného zranění osoby nacházející se v nebezpečném prostoru  $P_{pha}$  ze vztahu

$$P_{pha} = P_{base} \times Y_{adj} \quad (74).$$

#### Dílčí krok 7

SAFER počítá s tím, že na třicet vážných zranění v důsledku rozbití oken připadá jedno úmrtí. Pravděpodobnost usmrcení rozbitím oken  $P_{f(g)}$  se proto stanoví pomocí rovnice

$$P_{f(g)} = P_{gha} \times P_{pha} \times \frac{1}{30} \quad (75).$$

#### **8.3.7.2 Nizozemská metoda pro stanovení úmrtnosti od rozbitého skla**

Ze zkoušek, při kterých se odražený maximální přetlak rázové vlny rovnal dvojnásobku dynamického lomového zatížení zkoušených okenních tabulí, vyplynulo, že ve vzdálenosti 1,75 m za tabulí byla 94% pravděpodobnost  $P$  prasknutí lebky. Statické lomové zatížení  $P_{st}$  okenní tabule může být vypočítáno z jejích rozměrů. Faktor dynamického zatížení  $DLF$  je možno stanovit z poměru doby trvání fáze zatížení a periody vlastních vibračních kmitů tabule. 94% pravděpodobnost prasknutí lebky pak bude pro<sup>2</sup>

$$P = (P_{st}/DLF) = 2.$$

Při předpokladu, že k 1% pravděpodobnosti prasknutí lebky dojde při

$$P = (P_{st}/DLF) = 1$$

a dalšímu předpokladu, že v důsledku prasknutí lebky osoba zemře, lze dojít k probit funkci

$$Pr = 2,67 + 5,62 \times \ln(S) \quad (76)$$

kde  $S = DLF \times P_s/P_{st}$

$P_s$  = boční tlak (kPa)

a předpokládá se, že  $DLF$  lineárně roste s  $T_{pos}/T$  do maximální hodnoty 2 pro  $T_{pos}/T = 1,5$ :

pro  $T_{pos}/T < 1,5$ :  $DLF = 1,11 \times T_{pos}/T + 0,33$

pro  $T_{pos}/T \geq 1,5$ :  $DLF = 2,0$

a kde  $T_{pos}$  = doba trvání pozitivní fáze tlakové vlny (s) a  $T = 1/\text{frekvence}$  (s). Hodnoty byly odvozeny pro pravděpodobnosti 1 % a 94 % pro  $S = 1$ , resp.  $S = 2$ .

Z toho může být odvozena pravděpodobnost usmrcení pro osobu nacházející se 1,75 m za okenní tabulí a která je zasažena úlomkem skla do hlavy. Tato pravděpodobnost

může být upravena součinitelem přítomnosti, aby se zohlednila doba, po kterou osoba stojí za rozbíjícím se oknem.

### **8.3.8 Následky otřesů země pro osoby v otevřeném prostoru**

Pro osoby v otevřeném prostoru vystavené otřesům země v důsledku výbuchu v podzemním skladu výbušnin/munice s *NEQ* do 500 tun a náplňovou hustotou do 50 kg/m<sup>3</sup>:

V korigované vzdálenosti větší než 2 m/kg<sup>1/3</sup> se nepředpokládá žádné zranění.

V korigované vzdálenosti od 1 m/kg<sup>1/3</sup> do 2 m/kg<sup>1/3</sup> je pravděpodobné lehké nebo střední zranění. Usmrcení je však nepravděpodobné.

V korigované vzdálenosti menší než 1 m/kg<sup>1/3</sup> převládnu další účinky spojené s proražením nadloží nebo vznikem kráterů.

### **8.3.9 Následky otřesů země pro osoby ve vozidlech**

Pro osoby ve vozidlech vystavené otřesům země v důsledku výbuchu v podzemním skladu výbušnin/munice s *NEQ* do 500 tun a náplňovou hustotou do 50 kg/m<sup>3</sup>:

V korigované vzdálenosti větší než 1,6 m/kg<sup>1/3</sup> se nepředpokládá žádné zranění.

V korigované vzdálenosti od 1 m/kg<sup>1/3</sup> do 1,6 m/kg<sup>1/3</sup> je pravděpodobné lehké zranění. Usmrcení je však nepravděpodobné.

V korigované vzdálenosti menší než 1 m/kg<sup>1/3</sup> převládnu další účinky spojené s proražením nadloží nebo vznikem kráterů.

### **8.3.10 Následky pro osoby způsobené kombinovanými účinky výbuchu**

#### **8.3.10.1 Německá metoda pro usmrcení a zranění vycházející z AASTP-1**

Předpokládaný rozsah zranění byl vztažen ke stupni ochrany *QD*. Předpokládaná zranění osob jsou charakterizována faktorem poranění *IF*, který zahrnuje všechny druhy zranění. Předpokládaná vážná, nevléčitelná zranění včetně usmrcení jsou charakterizována faktorem nevléčitelného poranění *NIF*.

U každé osoby zapojené do scénáře výbuchu se předpokládá, že utrpí zranění začleněné do jednoho ze stupňů zkrácené stupnice zranění AIS. Tabulka 74 uvádí výčet stupňů AIS tak, jak byl vypracován lékařskými odborníky v USA.



**TABULKA 74 – Zkrácená stupnice zranění**

Stupeň AIS	Závažnost zranění	Typ zranění
0	Žádné	Žádné
1	Lehké	Povrchové
2	Střední	Vyléčitelné, vyžaduje lékařské ošetření
3	Vážné	Vyléčitelné, vyžaduje hospitalizaci
4	Těžké	Ohrožení života, ne zcela napravitelné bez lékařské péče
5	Kritické	Nevyléčitelné, ne zcela napravitelné s lékařskou péčí
6	Nepřežitelné	Smrtelné

#### Zranění osob v důsledku účinků výbuchu

Každá osoba v blízkosti výbuchu může s určitou pravděpodobností utrpět zranění. Se vzrůstající vzdáleností mezi PES a ES klesá pravděpodobnost zranění a jeho závažnosti.

Byly odvozeny probit funkce *IF* a *NIF* pro kvantitativní popis předpokládaného zranění při výbuchu. Při jejich formulaci se vycházelo z AASTP-1. Probity *IF* jsou platné pro rozsah faktorů poranění  $0,1 < IF < 0,9$ . Typickým výsledkem je předpoklad, že osm z deseti osob, které se nacházejí v oblasti stupně ochrany  $QD = 9,6 \text{ m/kg}^{1/3}$ , utrpí zranění (odpovídá  $IF = 0,8$ ).

Byly odvozeny probity:

- probit *IF* pro předpoklad zranění všech osob,
- probit *NIF* pro předpoklad vážného nevléčitelného zranění osob.

#### Probit *IF*

$$IF = 9,79 - 1,78 \times \ln(QD) \quad (77)$$

s rozsahem platnosti *IF*:

$$7,2 \text{ m/kg}^{1/3} < QD < 30 \text{ m/kg}^{1/3}$$

$$1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t.}$$

Faktory poranění vypočítané mimo rozsah platnosti mohou být chybné. Hodnoty stupně ochrany  $QD = 7,2$  a  $QD = 30$  vyznačují rozsah platnosti pro probit *IF* mezi faktory poranění  $IF = 0,9$  a  $IF = 0,1$ .

Tabulka 75 ukazuje korelaci mezi faktorem poranění *IF* a stupněm ochrany *QD*. *IF* může být přímo porovnán s formulací uvedenou v AASTP-1, Section VII.

**TABULKA 75 – Korelace mezi *IF* a *QD***

Stupeň ochrany <i>QD</i> (m/kg <sup>1/3</sup> )	Faktor poranění <i>IF</i>	AASTP-1
44,4	0,02	Zranění a usmrcení jsou jako přímý důsledek účinků tlakové vlny velmi nepravděpodobná. Vzniklá zranění budou způsobena hlavně letícími úlomky skla.
22,2	0,25	Zranění a usmrcení jsou jako přímý důsledek účinků tlakové vlny velmi nepravděpodobná. Vzniklá zranění budou způsobena hlavně letícími úlomky skla a/nebo padajícími fragmenty.
14,8	0,5	Vážná zranění osob v otevřeném prostoru účinky tlakové vlny jsou nepravděpodobná. Existuje poměrně vysoká pravděpodobnost, že budou způsobena zranění rozbitím skla a letícími/padajícími fragmenty.
9,6	0,78	Osoby mohou utrpět dočasnou ztrátu sluchu; trvalé poškození sluchových orgánů se nepředpokládá. Další zranění přímými účinky přetlaku tlakové vlny jsou nepravděpodobná, ačkoliv existuje pravděpodobnost zranění od sekundárních účinků, např. přemístění předmětů.
8,0	0,86	Je pravděpodobný vznik vážných zranění osob v důsledku zřícení budov nebo uvolnění přemístěných předmětů. Zranění mohou vést k smrti.
7,2	0,9	Jsou pravděpodobná vážná zranění nebo možné usmrcení osob troskami budov v ES a od přemístění uvolněných předmětů.
3,6		(předpoklad nevyléčitelných zranění všech osob)
2,4		(předpoklad nevyléčitelných zranění všech osob)

Probit *NIF*

$$NIF = 8,50 - 1,78 \times \ln(QD) \quad (78)$$

s rozsahem platnosti *NIF*:

$$3,6 \text{ m/kg}^{1/3} < QD < 14,8 \text{ m/kg}^{1/3}$$

$$1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t.}$$

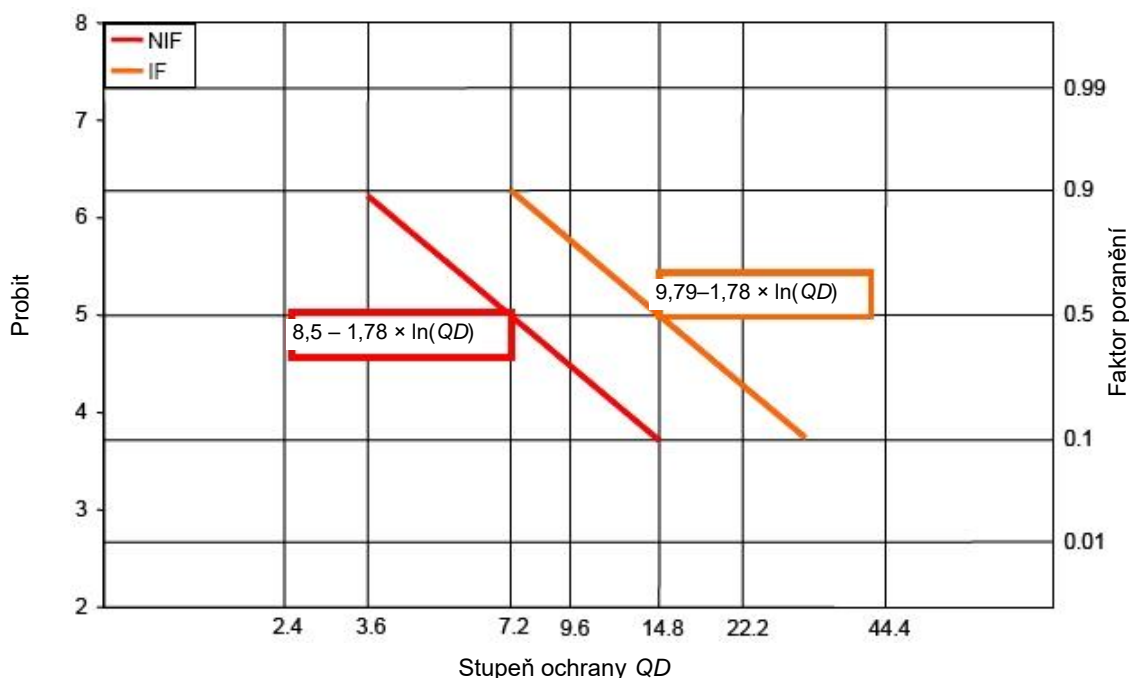
Faktory poranění vypočítané mimo rozsah platnosti mohou být chybné. Hodnoty stupně ochrany  $QD = 3,6$  a  $QD = 14,8$  vyznačují rozsah platnosti pro probit  $NIF$  mezi faktory poranění  $NIF = 0,9$  a  $NIF = 0,1$ .

Tabulka 76 ukazuje korelaci mezi faktorem nevyléčitelného poranění  $NIF$  a stupněm ochrany  $QD$ .  $NIF$  může být přímo porovnán s formulací uvedenou v AASTP-1, Section VII.

**TABULKA 76 – Korelace mezi  $NIF$  a  $QD$**

Stupeň ochrany $QD$ ( $m/kg^{1/3}$ )	Faktor poranění $NIF$	AASTP-1
44,4	(< 0,01)	Nepředpokládají se nevyléčitelná zranění.
22,2	(0,02)	Nevyléčitelná zranění jsou nepravděpodobná.
14,8	0,1	Vážná zranění osob v otevřeném prostoru působením tlakové vlny jsou nepravděpodobná. Existuje poměrně vysoká pravděpodobnost, že budou způsobena zranění rozbitím skla a letícími/padajícími fragmenty.
9,6	0,3	Osoby mohou utrpět dočasnou ztrátu sluchu; trvalé poškození sluchových orgánů se nepředpokládá. Další zranění přímými účinky přetlaku tlakové vlny jsou nepravděpodobná, ačkoliv existuje pravděpodobnost zranění od sekundárních účinků, např. přemístění předmětů.
8,0	0,42	Je pravděpodobný vznik vážných zranění osob v důsledku zřícení budov nebo uvolnění přemístěných předmětů. Zranění mohou vést k smrti.
7,2	0,5	Jsou pravděpodobná vážná zranění nebo možné usmrcení osob troskami budov v ES a od přemístění uvolněných předmětů. Existuje 1% riziko poškození ušních bubínků.
3,6	0,9	Předpokládají se vážná zranění nebo usmrcení osob v ES v důsledku přímých účinků tlakové vlny, zřícení budovy nebo přemístění předmětů.
2,4	(0,98)	(předpokládají se smrtelná zranění)

Obrázek 70 znázorňuje graf probitů  $NIF$  a  $IF$ . Bezrozměrné faktory poranění  $IF$  (pravá přímka) a  $NIF$  (levá přímka) byly zakresleny v závislosti na stupni ochrany  $QD$  v  $m/kg^{1/3}$ .



**OBRÁZEK 70 – Předpokládaná zranění osob dle AASTP-1**

### Úmrtnost osob v důsledku účinků výbuchu

V USA byly odvozeny probit funkce pro kvantitativní popis předpokládané úmrtnosti osob při výbuchu. Charakterizace je provedena prostřednictvím faktoru úmrtnosti  $FF$  vztaheného ke stupni ony  $QD$ . Dalším parametrem je boční tlak  $P_s$ . Základním zdrojem údajů pro probity  $FF$  je spojenecká publikace AASTP-1, v literatuře jsou popsány i předpokládané důsledky<sup>21</sup>.

Stupeň ochrany $QD = 2,4 \text{ m/kg}^{1/3}$	$P_s = 180 \text{ kPa}$	Zóna smrti
Stupeň ochrany $QD = 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}$	$P_s = 70 \text{ kPa}$	$FF = 0,5$ .

Jako výsledek působení přímých účinků tlakové vlny, zřícení budovy nebo přemístění předmětů se předpokládají těžká zranění nebo usmrcení osob v ES.

Stupeň ochrany $QD = 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}$	$P_s = 24 \text{ kPa}$	$FF = 0,1$ .
--	------------------------	--------------

Střepiny, trosky, žhavé oharky nebo jiné předměty včetně porušení konstrukce zdí budovy a stropů pravděpodobně způsobí vážná zranění osob; může dojít k usmrcení určitého počtu lidí.

Stupeň ochrany $QD = 9,6 \text{ m/kg}^{1/3}$	$P_s = 16 \text{ kPa}$	$FF = 0,06$ .
--	------------------------	---------------

Osoby mohou utrpět dočasnou ztrátu sluchu; trvalé poškození sluchových orgánů se nepředpokládá. Další zranění přímými účinky přetlaku tlakové vlny jsou nepravděpodobná. Mohou se vyskytnout smrtelná zranění osob způsobená fragmenty a porušením stavební konstrukce. Rozsah zranění je závislý na provedení a pevnosti konstrukce PES, množství vybuchlé munice a jejich střepinových charakteristikách.

Stupeň ochrany $QD = 14,8 \text{ m/kg}^{1/3}$	$P_s = 9 \text{ kPa}$	$FF = 0,025$ .
---	-----------------------	----------------

<sup>21</sup> Department of the Air Force Manual 91-201. Explosives Safety Standards. 2001

Vážná zranění osob v otevřeném prostoru působením tlakové vlny jsou nepravděpodobná. Existuje poměrně vysoká pravděpodobnost, že budou způsobena zranění rozbitím skla a letícími/padajícími fragmenty. Zranění osob střepinami střel a porušením objektu vystaveného účinkům výbuchu (včetně možnosti usmrcení) bude záviset na konstrukci PES, množství munice, jejích střepinových charakteristikách a pevnosti konstrukce ES. Osoby v budovách mají zajištěnu určitou úroveň ochrany před smrtelným zraněním.

$$\text{Stupeň ochrany } QD = 22,2 \text{ m/kg}^{1/3} \quad P_s = 5 \text{ kPa} \quad FF = 0,01.$$

### Probity $FF$

Probit  $FF-1$ :  $FF-1 = 9,05 - 3,16 \times \ln(QD)$   
 Rozsah platnosti  $FF-1$ :  $2,4 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}$   
 $1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t}$ .

Probit  $FF-2$ :  $FF-2 = 7,37 - 1,85 \times \ln(QD)$   
 Rozsah platnosti  $FF-2$ :  $3,6 \text{ m/kg}^{1/3} < QD \leq 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}$   
 $1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t}$

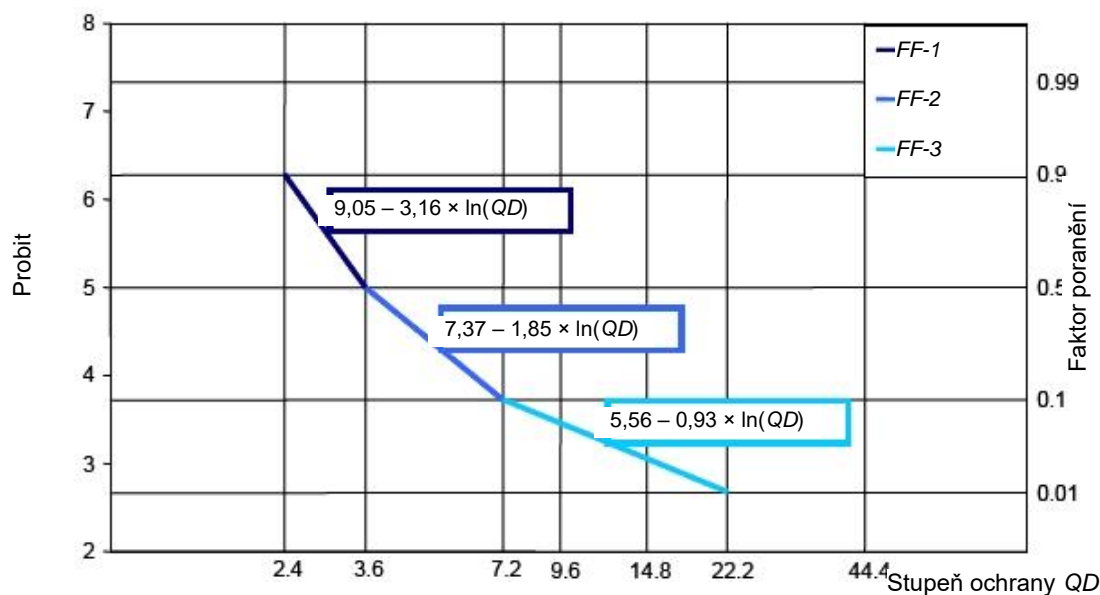
Probit  $FF-3$ :  $FF-3 = 5,56 - 0,932 \times \ln(QD)$   
 Rozsah platnosti  $FF-3$ :  $7,2 \text{ m/kg}^{1/3} < QD \leq 22,2 \text{ m/kg}^{1/3}$   
 $1 \text{ t} \leq Q \leq 100 \text{ t}$ .

Faktory úmrtnosti jsou znázorněny na obrázku 71.

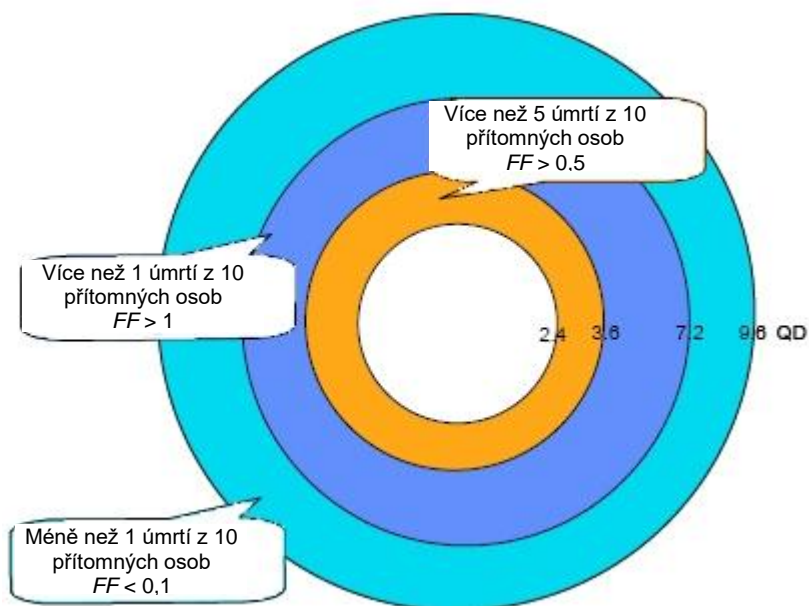
Faktory úmrtnosti vypočítané mimo rozsah platnosti mohou být chybné.

### Graf probitů $FF$

Obrázek 72 představuje předpoklad úmrtnosti v různých pásmech kolem PES. Např. jestliže předpoklad úmrtnosti při  $QD = 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}$  je  $FF = 0,1$ , pak v pásmu  $3,6 \text{ m/kg}^{1/3} \leq QD \leq 7,2 \text{ m/kg}^{1/3}$  je  $FF > 0,1$  a roste na  $FF = 0,5$ . Je třeba si uvědomit, že stupnice  $QD$  v grafu může být při znalosti  $Q$  snadno změněna na stupnici v metrech.



**OBRÁZEK 71 – Předpokládaná úmrtnost osob při výbuchu**



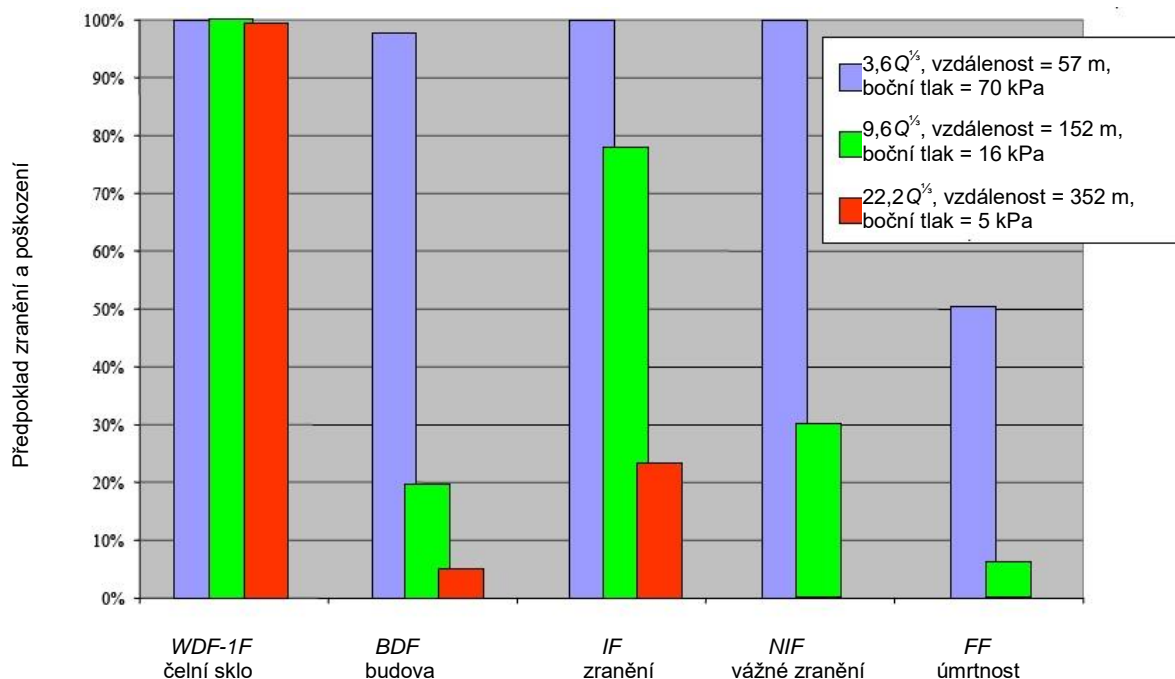
Stupeň ochrany <i>QD</i>	<i>FF</i>
< 2,4	> 0,9
2,4	0,9
< 3,6	> 0,5
< 7,2	> 0,1
< 9,6	< 0,1
22,2	0,01

**OBRÁZEK 72 – Rozsahy *QD* pro předpokládanou úmrtnost**

Příklad scénáře

Uvažuje se otevřený sklad s  $NEQ = 4\,000$  kg výbušnin třídy nebezpečnosti 1.1. Výsledná srovnání poškození budov a zranění osob jsou uvedena na obrázcích 72 a 73.

Podle AASTP-1 nejsou při stupni ochrany  $QD = 3,6 \text{ m/kg}^{1/3}$  nezpevněné budovy a nechráněné osoby přípustné. Probity EMI ukazují, že nezpevněné budovy se blíží úplné demolici a veškerá okna jsou samozřejmě rozbitá. Předpokládá se, že všechny osoby utrpí vážná zranění a pět z deseti osob bude zraněno smrtelně (viz obrázek 73).



**OBRAZEK 73 – Srovnání stupňů ochrany**

Při stupni ochrany  $QD = 9,6 \text{ m/kg}^{1/3}$  může být předpokládáno, že nezpevněné budovy utrpí poškození hlavních konstrukčních prvků. Opravy mohou stát dvacet procent nákladů na celkovou obnovu budovy.  $QD = 9,6 \text{ m/kg}^{1/3}$  má být zpravidla minimální vzdálenost, ve které je povolen pobyt nechráněným pracovníkům, pokud jejich pracovní povinnosti výslovně nesouvisí s PES. Probity EMI naznačují, že všechna okna budou rozbitá a nezpevněné budovy budou z dvaceti procent poškozené. Předpokládá se, že osmdesát procent osob bude zraněno, z toho třicet procent vážně. Méně než deset procent osob bude zraněno smrtelně. Z dostupných databází není možno procentní podíl smrtelně zraněných přesněji určit (viz obrázek 73).

Při stupni ochrany obydlých budov  $QD = 22,2 \text{ m/kg}^{1/3}$  utrpí nezpevněné budovy lehké poškození. Okna a dveřní rámy budou zničeny. Náklady na opravu budou činit pět procent nákladů na celkovou obnovu budovy. Vzniklá zranění budou v zásadě způsobena rozbitými okny a letícími/padajícími fragmenty. Probity EMI ukazují, že všechna okna na čelní straně budou rozbitá a nezpevněné budovy budou z pěti procent poškozené. Předpokládá se, že kolem 23 % osob bude zraněno. Pravděpodobnost vážných a smrtelných zranění není uváděna, protože takto zraněných se předpokládá maximálně do jednoho procenta všech přítomných (viz obrázek 73).

#### 8.4 Vystavení účinkům výbuchu (ohrožení výbuchem)

Vystavení účinkům výbuchu (ohrožení výbuchem) je třetím hlavním členem v rovnici rizika spojeného s výbušninami. Je přímo úměrné počtu osob a době, po kterou jsou vystaveny účinkům.

Při výpočtu rizika na ročním základě je vystavení účinkům výbuchu definováno jako doba v průběhu jednoho roku, po kterou je jednotlivec ohrožen místem potenciálního výbuchu (PES). Cílem analýzy ohrožení je zjistit, kolik osob je v daném místě vystaveno účinkům PES a po jakou dobu se v tomto místě nacházejí.

Vystavení účinkům (ohrožení) se zpravidla vyjadřuje v jednotkách, které spojují lidi a čas, jako jsou člověkohodiny nebo člověkoroxy. Pro individuální riziko je

předpokládaný počet osob jedna a používají se jednoduché jednotky měření času (např. hodiny, dny nebo roky). Vystavení účinkům může být vyjádřeno v jednotkách času nebo procentního podílu delšího časového úseku. Jeden týden za rok se pak rovná 1/52 nebo přibližně 2 %. Ohrožení jednotlivé osoby je např. zpravidla zlomek menší než jedna a může být vyjádřeno jako pravděpodobnost. Ohrožení skupiny osob je součtem jednotlivých ohrožení a zpravidla se měří jako předpokládaná hodnota pro daný počet ohrožených lidí. Pro jednotlivou osobu se maximální individuální vystavení účinkům (ohrožení) používá pro stanovení rizik a průměrné zase pro výpočet skupinových rizik.

V dalším textu je uveden příklad stanovení ohrožení.

#### 8.4.1 Poměrné ohrožení

Poměrné ohrožení dělníka  $E_p$  je podíl doby, po kterou bude dělník skutečně na místě výkonu práce. Např.

$$E_p = \frac{\text{hodiny odpracované za den} \times \text{dny odpracované za týden} \times \text{týdny}}{\text{týdnů za rok} \times \text{dnů za týden} \times \text{hodin za}} \quad (79).$$

Např. dělník, který pracuje 8 hodin denně, 5 dní v týdnu a 45 týdnů v roce, bude mít poměrné ohrožení  $[(8 \times 5 \times 45)/(52 \times 7 \times 24)] = 0,20$ .

Individuální ohrožení může být použito pro znázornění podílu doby, po kterou budou místní obyvatelé skutečně přítomní ve svých domech. Zpravidla se předpokládá nejhorší hodnota blízká 1,0.

U velmi krátkých dob ohrožení může tato metoda průměrování rizik zprůměrováním dob ohrožení vést k nepřijatelným výsledkům. V takových případech bývá vhodnější zabývat se „rizikem události“ než „ročním rizikem“.

#### 8.4.2 Proměnlivé ohrožení

V některých případech je ohrožení popsáno podrobnějším časovým rozvrhem. Pro dané PES může být potřebné např. definovat:

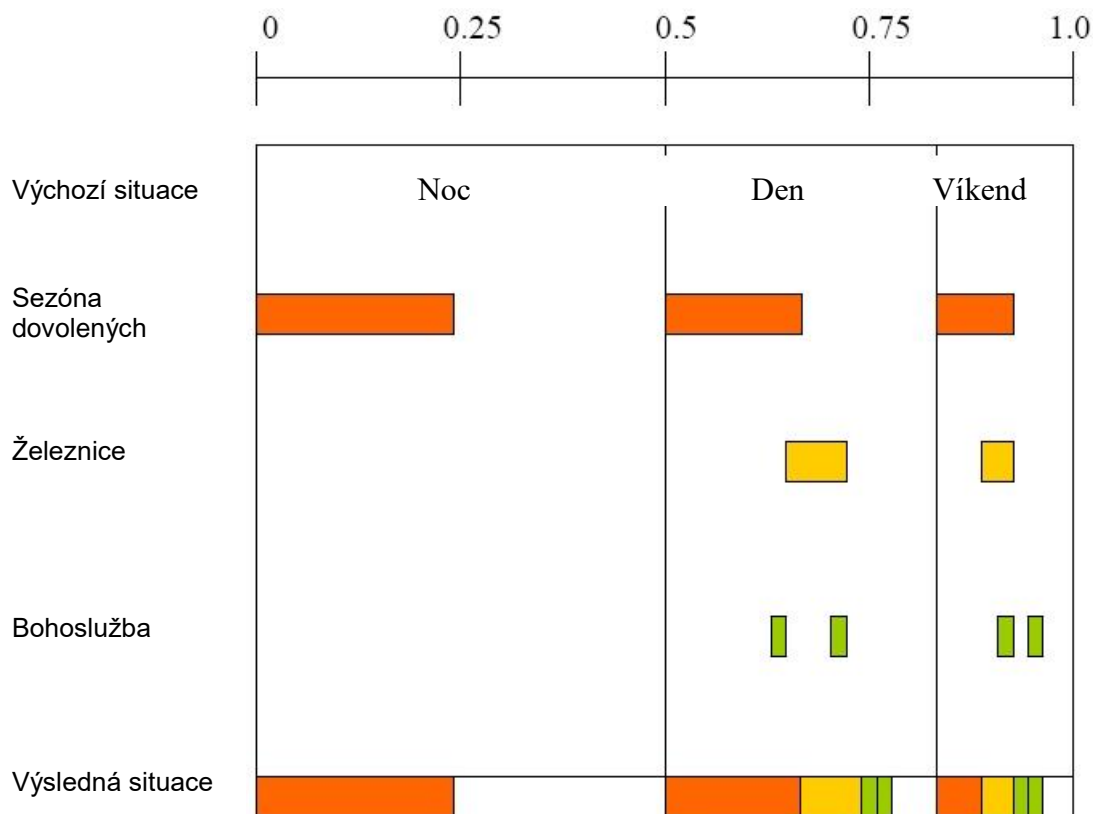
- počet osob žijících v ohroženém domě,
- počet vlaků a počet cestujících projíždějících denně kolem PES,
- počet automobilů a počet cestujících projíždějících kolem PES během dne, noci a o víkendech.

Při analýze ohrožení se berou v úvahu následující parametry vztahující se k poloze ES:

- počet osob venku (mimo dům), např. ve volném terénu, na sportovních hřištích, zahradách, horských stezkách,
- počet osob v budovách (rozlišují se různé konstrukční typy),
- počet osob v automobilech,
- počet osob ve vlacích.

Obrázek 74 uvádí příklad takového časového rozvrhu pro konkrétní PES. Pro tento postup se typický týden rozdělí na časové elementy ohrožení, během nichž se předpokládá konstantní počet ohrožených osob i objektů. Časový rozvrh umožňuje vyhodnotit tyto aspekty při stanovení rizik s využitím poměrných ohrožení popsanych výše.





**OBRÁZEK 74 – Příklad analýzy situací**

### 8.4.3 Ohrožení vozidel

V několika zemích byly vypracovány metody pro stanovení ohrožení a výsledného rizika pro osoby ve vozidlech pohybujících se poblíž PES. Níže popsaná metoda je používána ve Švýcarsku.

Potřebné výchozí informace:

$NC$  = počet vozidel projíždějících kolem PES za danou dobu,

$NO$  = průměrný počet cestujících v jednom automobilu,

$AV$  = průměrná rychlost automobilů.

1. Silnice se rozdělí na určitý počet vhodných úseků o délce  $L_x$ .
2. Vypočítá se průměrná vzdálenost  $D$  mezi automobily na silnici:  
 $D = (1/NC) \times AV$ .
3. Vypočítá se počet ohrožených osob  $PE_x$  v úseku o délce  $L_x$ :  
 $PE_x = (L_x/D) \times NO$ .
4.  $PE_x$  se umístí do bodu  $P_x$ , který se nachází ve středu  $L_x$ .
5. Vypočítá se úmrtnost  $\lambda$  osob v automobilech v bodu  $P_x$  v závislosti na vzdálenosti  $P_x$  od PES.
6. Vypočítá se riziko  $R_x$  v  $P_x$ :  
 $p_e$  = pravděpodobnost události,  
 $R_x = PE_x \times \lambda \times p_e$ .

7. Vypočítá se celkové riziko silnice  $R_R$  sečtením rizik ve všech úsecích silnice:

$$R_R = \sum R_x.$$

Tento postup výpočtu rizik na silnicích je vhodný až do okamžiku, kdy změna rozsahu následků ve zkoumaném časovém období už není významná. Pokud je to důležité (např. pro krizové plánování), musí být pro  $F-N$  kritéria/křivky nebo pro averzi vůči riziku podle tohoto švýcarského postupu při stanovení rizik zahrnuty do výpočtu další činitele:

- hustota provozu se mění v průběhu dne, stejně jako během týdne i roku;
- vzdálenost mezi automobily je proměnlivá. Je možné si všimnout, že existuje tendence vozidel vytvářet na silnici skupiny s malými vzdálenostmi mezi sebou.

## 8.5 Hodnocení rizika

Tato část standardu podává přehled o metodách používaných pro spojování nebo agregaci částí rovnice rizika. Zabývá se i správnou interpretací a nakládání s nejistotou.

### 8.5.1 Agregace

Předcházející části standardu popisují prvotní části hodnocení rizik. Agregace je matematické spojení různých částí větší rovnice. Tato část se zabývá metodami používanými pro výpočet individuálního  $IR$  a kolektivního  $CR$  rizika.

#### Součet $P_{fle}$

Vícenásobné mechanismy zranění nebo usmrcení jednotlivé osoby musí být pro stanovení pravděpodobnosti usmrcení při dané události  $P_{fle}$  sečteny. Použijí se pravidla pro spojování vzájemně nezávislých pravděpodobností (tj.  $P_1 + (1 - P_1) \times P_2 + (1 - P_1) \times (1 - P_2) \times P_3 + \dots$ ).

#### Individuální riziko

Je zřejmé, že pokud někdo není přítomen na místě vystaveném účinkům výbuchu (ohroženém výbuchem), riziko usmrcení je nulové, dokonce když četnost událostí a pravděpodobnost usmrcení jsou velké. Riziko pro jednu osobu  $IR$  od jednotlivého PES může být vyjádřeno jako

$$IR = P_e \times P_{fle} \times E_p \quad (80)$$

- kde  $IR$  je individuální riziko (za rok),  
 $P_e$  - pravděpodobnost události (za rok),  
 $P_{fle}$  - pravděpodobnost usmrcení pro danou událost (0 až 1),  
 $E_p$  - poměrné ohrožení (0 až 1).

Je-li jednotlivá osoba ohrožena několika PES, potom příspěvky jednotlivých rizik mohou být pro vytvoření celkového individuálního rizika sloučeny

$$IR = 1 - \left\{ \prod_{PES_i} \left( 1 - [P_e \times P_{fle} \times E_p]_i \right) \right\} \quad (81)$$

nebo pro situace, kdy všechna rizika jsou malá a současně probíhající události mohou být přerušeny, mohou být příspěvky individuálních rizik přičteny

$$IR \cong \sum_{PES_i} \left( [P_e]_i \times [P_{fle}]_i \times [E_p]_i \right) \quad (82)$$

nebo je-li  $E_p$  konstantou

$$IR = E_p \times \left\{ \sum_{PES_i}^{PES_n} ([P_e]_n \times [P_{f|e}]_n) \right\} \quad (83).$$

### Riziko pro více osob (vycházející z průměrného ohrožení osob) nebo kolektivní riziko

Obdobné výrazy jako výše uvedené mohou být odvozeny pro zjištění předpokládaného počtu usmrcených při jednotlivé nehodové události, ale pokud se osoby nacházejí v rozsahu vzdáleností míst vystavených účinkům výbuchu (ohrožených míst) ES. V takovém případě bude existovat jen jedna četnost událostí, ale protože je zde několik ES, bude existovat několik hodnot  $P_{f|e}$  a rozdílné počty osob přítomných v každém ES. Předpokládá se časový úsek jednoho roku.

Obecně je kolektivní riziko  $CR$  od jednoho PES součtem individuálních rizik od tohoto PES

$$CR \cong \sum_{All\ individuals} IR \text{ (z jednoho PES)} \cong \sum_{All\ individuals} ([P_e] \times [P_{f|e}] \times [E_p]) \quad (84).$$

Pro určení předpokládaného (průměrného) počtu usmrcených za rok od několika PES dostaneme kolektivní riziko

$$CR = \sum_{All\ individuals} \left\{ 1 - \left[ \prod_{PES_i}^{PES_n} (1 - [P_e \times P_{f|e} E_p]_n) \right] \right\} \quad (85)$$

nebo pro situace, kdy všechna rizika jsou malá a současně probíhající události mohou být přerušeny, zjednodušeně

$$CR \cong \sum_{All\ individuals} \sum_{PES_i}^{PES_n} ([P_e]_n \times [P_{f|e}]_n \times [E_p]_n) \quad (86).$$

### Určení rizika (v jednom PES) založené na skutečném ohrožení osob

Výpočet kolektivních rizik vycházející z průměrného ohrožení osob dostatečně přesně nepopisuje všechny situace. Například by rozhodovací orgán mohl nedostatečně zohlednit situace, kdy se počet ohrožených osob mění v čase (např. je-li mnoho osob ohroženo po krátkou dobu), nebo když místo není trvale používáno (typickým příkladem by mohl být kostel, ve kterém je mnoho lidí ohroženo pouze několik hodin týdně). Tomuto problému se lze vyhnout výpočtem rizika založeném na skutečném ohrožení osob, závislém na časovém měřítku. Tento postup rozčleňuje každý den/týden/rok na určitý počet charakteristických časových úseků (situací)  $S$  s relativní (bezrozměrnou) dobou trvání  $D$ , které jsou specifické pro dané místo. Předpokládá se, že v každém časovém úseku je osoba buď přítomná, nebo ne, tzn. že  $E_p$  pro každou osobu v každém časovém úseku  $S$  je buď 1 nebo 0. Riziko se pak vypočítá nejprve pro každý časový úsek ( $R_s$ ) a celkové riziko pro celý den/týden/rok se následně získá sečtením rizik od všech situací

$$R_s = P_e \times D_s \times \left\{ \sum_{All\ individuals} ([P_{f|e}] \times [E_p \text{ (v situaci } S)]) \right\} \quad (87)$$

$$\text{kde } \sum_1^s D_s = 1$$

$$\text{a celkové riziko pro jedno PES} = \sum_1^s R_s .$$

Tento postup nejen umožňuje rozhodovacímu orgánu získat jasný obraz, kolik osob je během každého časového úseku v riziku, ale i ukázat maximální počet předpokládaných úmrtí v každé situaci.

#### Averze vůči velkému počtu usmrčených

Některé země zahrnují do svých odhadů rizik činitel, který odráží averzi, kterou má mnoho lidí k nehodám s velkým počtem mrtvých. Tento tzv. součinitel averze se určuje na základě diskusí a konzultací a přeměňuje riziko na vnímané riziko (Švýcarsko a Norsko). Je důležité objasnit, zda averze bude aplikována na každý případ a jaké odůvodnění bude v kladném případě zvoleno. Některé státy volí projednávání svých rizikových rozhodnutí s vyloučením jakéhokoliv součinitele averze a výslovně neberou v úvahu nehody s katastrofálními následky.

Averze vůči riziku bere v úvahu skutečnost, že jedna nehoda s mnoha mrtvými je posuzována jako mnohem závažnější než větší počet nehod s pouze několika usmrčenými (i když celkový počet mrtvých je v obou případech stejný). Účelem zohlednění averze vůči riziku je pomoci zabránit velkým nehodám nebo dokonce katastrofám. V takovýchto modelech je vnímané kolektivní riziko *PCR* počítáno zvětšením normálního kolektivního rizika *CR* pro definovanou skupinu osob součinitelem averze rizika *A*; tento součinitel je funkcí počtu předpokládaných úmrtí

$$PCR = CR \times A \quad (88).$$

V případech, kdy výpočet rizika vychází ze skutečného ohrožení osob závislého na časovém měřítku, musí být součinitel averze stanoven a použit pro riziko každé situace  $R_s$ . Vnímané riziko  $PR_s$  tedy bude

$$PR_s = R_s \times A \quad (89)$$

a vnímané kolektivní riziko

$$PCR = \sum_1^s (PR)_s \quad (90).$$

### **8.5.2 Interpretace a použití**

Kvantitativní hodnocení rizik QRA má celou škálu použití a využití. QRA neposkytuje přesné odpovědi a ani to není možné z důvodů přirozené proměnlivosti nebo nejistoty, které jsou neodmyslitelnou součástí této metody. Níže jsou uvedeny aktuálně používané obecné metody.

#### Srovnání s pevně stanovenými kritérii

Tato metoda používá QRA k poskytnutí kvantitativního měřítka rizika a poté srovnává riziko s předem stanovenými kritérii. Tato metoda bývá používána pro dosažení rozhodnutí, zda pokračovat či nepokračovat v činnosti, která má zjištěné riziko. Takovými činnostmi by mohlo být umístění zařízení s výbušninami, provedení nebezpečné operace nebo použití určitého přístavu pro přepravu výbušnin. Zatímco tato srovnání slouží pro dosažení rozhodnutí „jde/nejde“, proces dosažení tohoto rozhodnutí není obecně založen pouze na samotných kritériích. Mnohem obvyklejší je spíše postup informovaného rozhodnutí, kdy je nejistota ve výpočtu srovnána s kritériem a potřebou předmětné činnosti. Země používající tento přístup si vypracovaly specifická kritéria vycházející z kulturních a národních zřetelů.

### Srovnání s alternativními postupy (činnostmi)

Jednou z nejvýraznějších oblastí využití QRA je řízení rizik. Klasifikace rizik je velmi účinným nástrojem pro volbu ekonomických řešení (např. snížení rizika bezpečnostními opatřeními nebo alternativními scénáři versus náklady). Kromě toho tento postup usnadňuje zachování mnoha parametrů, které vymezují riziko jako konstantní veličinu a mění pouze ty faktory, které jsou u předmětných činností rozdílné. To v podstatě eliminuje průvodní nejistotu a zajišťuje mnohem větší důvěru v závěry dosažené srovnáním.

### Srovnání s dalšími riziky

Obvyklým využitím QRA je porovnání hodnocených rizik dotyčného scénáře s dalšími známými riziky.

#### **8.5.3 Analýza nejistoty**

Obecná povaha QRA zahrnuje nejistoty mnoha druhů. Tyto nejistoty mají svůj původ ve výchozích údajích, znalostech analytiků, přesnosti modelování a proměnlivosti reálného světa. Většina ze současných uživatelů QRA pro rizika spojená s výbušninami připouští, že v analýze existují významné nejistoty a aktivně hledá metody jejich snižování. Nicméně nejistota o velikosti jedné směrodatné odchylky  $\sigma$  (tj. jedné řádové hodnoty) při současné úrovni poznání existuje.

Svou vlastní nejistotu má každý člen rovnice rizika. Matematického objasnění této nejistoty může být dosaženo výpočtem nebo měřením nejistoty u každé z hlavních proměnných a agregací těchto nejistot za použití statistických agregačních postupů. Matematická metoda zvolená pro tyto výpočty nejistoty se mění podle algoritmů v základním modelu. Protože nejistota může existovat v části analýzy rizik, široce používanou metodou výpočtu nejistoty je stanovení takových parametrů, které mají největší nejistoty, a jejich vyčíslení. Toto je přípustný postup, protože v analýze nejistoty několik málo proměnných dominuje celkové nejistotě. Klíčem k úspěchu tohoto přístupu je správně identifikovat rozhodující nejistoty.

Jiným přístupem je přímo určit některé z faktorů nejistoty využitím metod Monte Carlo. Tato koncepce může být úspěšná, jestliže řídicí nejistoty jsou správně identifikovány. Celý postup může vést k výpočetně náročné analýze vyžadující dlouhou dobu zpracování. To je třeba si uvědomit při kladení požadavků především ze strany rozhodovacích orgánů, aby výhody nebyly zastíněny nevýhodou velké složitosti a pracnosti.

(VOLNÁ STRANA)

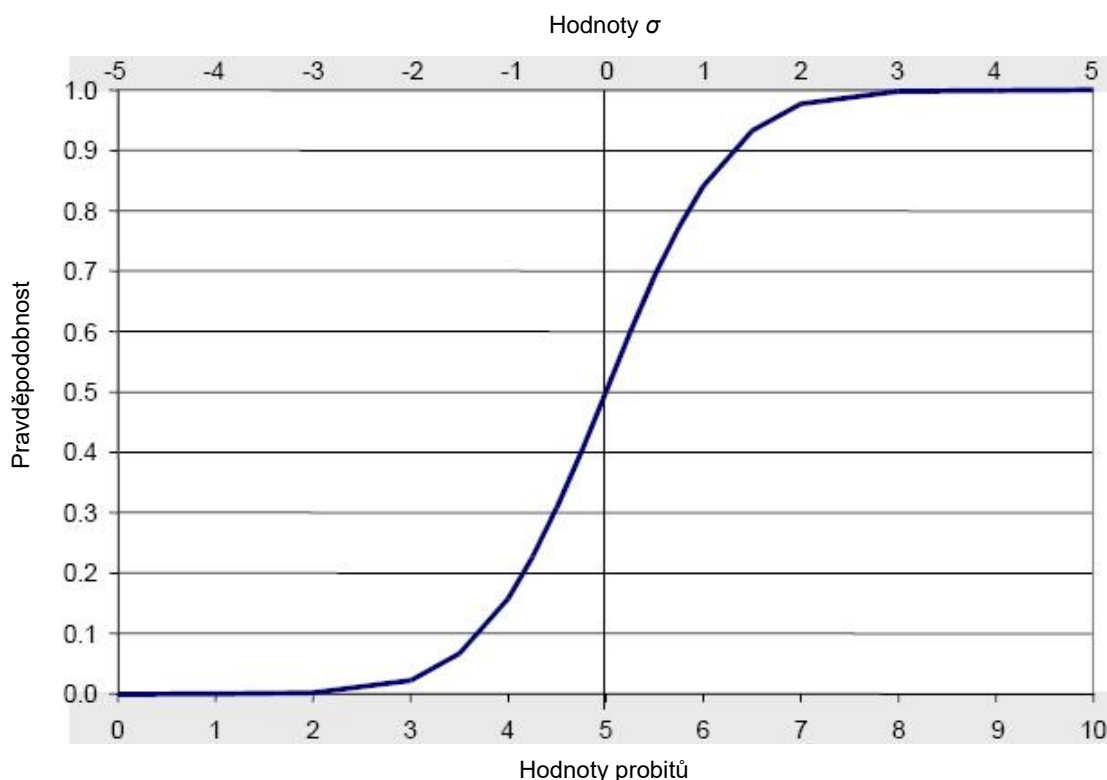
## PŘÍLOHY

**Příloha A**  
(informativní)

### Probit funkce

Specifickým protokolem používaným některými zeměmi je probit funkce. Obecně může být probit funkce převedena na standardní normální rozdělení. Matematicky je hodnota probitu  $Pr$  rovna hodnotě směrodatné odchylky plus 5 ( $\sigma + 5$ ) za použití standardního normálního rozložení. Mezní hodnoty pravděpodobnosti pro probity jsou tudíž  $\pm 5\sigma$ .

Obrázek 75 znázorňuje metodu převodu používanou pro probit funkce v tomto standardu.



Probit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pravděpodobnost	0	$3 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-2}$	0,16	0,50	0,84	0,977	0,9986	0,9999	1

**OBRÁZEK 75 – Převod mezi probity a standardním normálním rozdělením**

Probit funkce, které jsou odvozeny z experimentálních údajů, uvádějí do vzájemného vztahu pravděpodobnost nežádoucího účinku (usmrcení) a jednu proměnnou, která spojuje příslušné přispěvatele. Obecný tvar logaritmické probit funkce je

$$Pr = a + b \times \ln(S) \quad (91)$$

kde  $a$  a  $b$  jsou konstanty a  $S$  je proměnná. V závislosti na hodnotě  $S$  určuje velikost probitu pravděpodobnost nežádoucího účinku (usmrcení).

Nejběžnější forma probitů je vhodná pro hodnoty pravděpodobnosti mezi 1 % až 99 %. Pro hodnoty v tomto rozmezí může být pro stanovení pravděpodobnosti využita vyhledávací tabulka. Tabulka 77 definuje hodnoty probitů jako funkci



pravděpodobnosti. Například hodnota probitu 4,90 odpovídá pravděpodobnosti 46 % a hodnota probitu 3,25 ( $\sigma = 1,75$ ) se rovná pravděpodobnosti 4 %.

**TABULKA 77 – Hodnoty probitů pro pravděpodobnosti 1 % až 99 %**

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

U některých aplikací se může oblast zájmu nacházet pod pravděpodobností 1 %. Stejná koncepce může být rozšířena i pod tuto 1% hodnotu. Tabulka 78 definuje pravděpodobnost jako funkci hodnot probitů menších než 5. Například probit 1,3 odpovídá pravděpodobnosti  $1 \times 10^{-4}$ .

**TABULKA 78 – Pravděpodobnosti spojené s hodnotami probitů pod 5 (menší než 50 %)**

Hodnota probitu	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46
3	$2,3 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	$4,5 \times 10^{-2}$	$5,5 \times 10^{-2}$	$6,7 \times 10^{-2}$	$8,1 \times 10^{-2}$	$9,7 \times 10^{-2}$	0,12	0,14
2	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$4,7 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$8,2 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$
1	$3,2 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$7,2 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-4}$	$6,9 \times 10^{-4}$	$9,7 \times 10^{-4}$
0	0	$4,8 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-6}$	$3,4 \times 10^{-6}$	$5,4 \times 10^{-6}$	$8,5 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$

(VOLNÁ STRANA)

(VOLNÁ STRANA)

Účinnost českého obranného standardu od: **30. října 2010**

Změny:

Změna číslo	Účinnost od	Změnu zapracoval	Datum zapracování	Poznámka

**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: 2019, obsahuje 98 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  
[www.oos.army.cz](http://www.oos.army.cz)

**NEPRODEJNÉ**

---