

**RISK CONSULT, spol. s r. o.**  
**inžinierska, poradenská a obchodná spoločnosť**

**Račianska 72, 831 02 Bratislava**  
tel/fax : 00421 2 444605 83, E-mail : [riskconsult@nexta.sk](mailto:riskconsult@nexta.sk)

---

Projekt vypracovaný v zmysle zmluvy o dielo  
č. 113/2001/2.3 medzi MŽP SR a RISK CONSULT, spol. s r. o.

**METODICKÁ PRÍRUČKA  
PRE ZARAĐOVANIE RIZIKOVÝCH PODNIKOV S PODPRAHOVÝMI  
MNOŽSTVAMI VYBRANÝCH NEBEZPEČNÝCH LÁTOK  
A PRE PREDBEŽNÝ ODHAD RIZIKA V PODNIKoch  
PODLIEHAJÚCICH REŽIMU ZÁKONA O ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÁCH**

spracovatelia

**Ing. Ján Kandráč, CSc., RNDr. Dušan Skarba, JUDr. Ing. Štefan Úradníček**

**Spolupracovníci :** Ing. Ivan Zmajkovič, RISK CONSULT, spol. s r. o.  
Marcela Bernadičová, RISK CONSULT, spol. s r. o.  
Eva Slobodová, RISK CONSULT, spol. s r. o.

Číslo zmluvy u zhotoviteľa : RC-E01/2001  
Číslo zmluvy u objednávateľa : 113/2001/2.3  
Číslo štúdie : RC-E11/2001 (Revízia 0)  
Číslo výtlačku : 6

**BRATISLAVA**  
november 2001

**RISK CONSULT, spol. s r. o.**  
**inžinierska, poradenská a obchodná spoločnosť**

**Račianska 72, 831 02 Bratislava**  
tel/fax : 00421 2 444605 83, E-mail : [riskconsult@nexta.sk](mailto:riskconsult@nexta.sk)

---

Projekt vypracovaný v zmysle zmluvy o dielo  
č. 113/2001/2.3 medzi MŽP SR a RISK CONSULT, spol. s r. o.

**METODICKÁ PRÍRUČKA  
PRE ZARAĐOVANIE RIZIKOVÝCH PODNIKOV S PODPRAHOVÝMI  
MNOŽSTVAMI VYBRANÝCH NEBEZPEČNÝCH LÁTOK  
A PRE PREDBEŽNÝ ODHAD RIZIKA V PODNIKOCH  
PODLIEHAJÚCICH REŽIMU ZÁKONA O ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÁCH**

Metodická príručka pozostáva zo štyroch častí :

1. časť – Metodika a postup pre posudzovanie rizikovosti podnikov s podprahovými množstvami vybraných nebezpečných látok
2. časť - Program prevencie závažných priemyselných havárií a bezpečnostný riadiaci systém
3. časť –Spôsob informovania verejnosti prevádzkovateľom, resp. okresným úradom
4. časť – Inšpekčná a iná kontrolná činnosť

spracovatelia

1. časť - Ing. Ján Kandráč, CSc., RNDr. Dušan Skarba
2. – 4. časť - JUDr. Ing. Štefan Úradníček

**BRATISLAVA**  
november 2001

## OBSAH

Strana

### ANOTÁCIA

Predslov spracovateľov

Obecné pojmy a definície

1. časť ..... 4

2. – 4. časť ..... 97

### PRÍLOHY k 1. ČASTI

PREKLAD METODICKEJ PRÍRUČKY IAEA-TECDOC-727

***Príručka pre klasifikáciu a stanovenie priorít rizík vyplývajúcich zo závažných havárií vo výrobných a príbuzných priemyselných odvetviach***

UKÁŽKY APLIKÁCIE METODIKY NA JEDNODUCHÉ TECHNOLOGIE

### PRÍLOHA k 4. ČASTI

# **METODICKÁ PRÍRUČKA PRE ZARAĐOVANIE RIZIKOVÝCH PODNIKOV S PODPRAHOVÝMI MNOŽSTVAMI VYBRANÝCH NEBEZPEČNÝCH LÁTOK A PRE PREDBEŽNÝ ODHAD RIZIKA V PODNIKOKCH PODLIEHAJÚCICH REŽIMU ZÁKONA O ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÁCH**

Ing. Ján Kandráč, CSc. a kol. <sup>(1)</sup>

## *Anotácia*

Predkladaný projekt je venovaný vypracovaniu metodickej príručky pre zaraďovanie rizikových podnikov s podprahovými množstvami vybraných nebezpečných látok a pre predbežný odhad rizika v podnikoch podliehajúcich režimu zákona o závažných haváriách. V prvej časti príručky je metodika a postup pre posudzovanie rizikovosti podnikov s podprahovými množstvami nebezpečných látok. Druhá časť je venovaná tvorbe, obsahu, zavádzaniu a aktualizácii programu prevencie závažných priemyselných havárií a bezpečnostného riadiaceho systému. Tretia časť príručky rieši problematiku informovania verejnosti o závažnej priemyselnej havárii. V štvrtej časti sú prezentované a zdôvodnené postupy plánovania, vykonávania a vyhodnocovania inšpekčnej a kontrolnej činnosti v podnikoch podliehajúcich režimu zákona o prevencii závažných priemyselných havárií. V prílohách metodickej príručky sú zachytené vybrané návrhy postupov a vzorové riešenia pre predbežný odhad rizika závažnej havárie pre účely spracovania oznámenia.

<sup>(1)</sup> Ing. Ján Kandráč, CSc. patrí medzi popredných odborníkov v Slovenskej republike, zaoberajúcich sa problematikou spoľahlivosti a bezpečnosti prevádzky priemyselných zariadení. V rokoch 1972-77 absolvoval Elektrotechnickú fakultu Slovenskej vysokej školy technickej (EF SVŠT) v Bratislave a od roku 1976 sa venoval problematike hodnotenia spoľahlivosti a pravdepodobnostného hodnotenia bezpečnosti jadrovo-energetických zdrojov. V 80 - tých rokoch sa intenzívne venoval problematike modelovania a analýz vplyvov vonkajších udalostí (požiare, záplavy ap.) na bezpečnosť prevádzky rizikových technológií. V rokoch 1989-93 viedol práce zamerané na zvýšenie požiarnej bezpečnosti jadrovo-energetických zdrojov, v rámci čiastkových úloh štátneho plánu ÚŠP RVT A 01-159-821 "Bezpečnosť jadrových elektrární". V súčasnosti je technickým riaditeľom spoločnosti RISK CONSULT, spol. s r. o., ktorá sa zaoberá projekciou a hodnotením priemyselných rizík. Je špecialistom v oblasti hodnotenia rizika prevádzky výrobných zariadení a autorom vyše dvesto spoľahlivostných a požiaro-bezpečnostných správ, auditov a analýz, hlavne pre jadrové elektrárne (JE) v Slovenskej a Českej republike (SR, ČR), JE v Maďarsku a Arménsku, chemické, petrochemické, strojárenské a plynárske prevádzky, ako aj špeciálne technológie v SR a ČR. Je zároveň úradujúcim podpredsedom Slovenskej spoločnosti pre propagáciu vedy a techniky, člena Zväzu slovenských vedeckotechnických spoločností a riaditeľom sekcie rizikových analýz Slovenskej Asociácie pre ochranu majetku a osôb.

## **Predslov spracovateľov**

*Predkladaná metodická príručka je systematickým pokračovaním prípravných prác zameraných na vytvorenie potrebných metodických postupov a nástrojov pre prijatie a aplikáciu požiadaviek zákona o prevencii závažných havárií s prítomnosťou vybraných nebezpečných látok (zákon o závažných haváriách) v Slovenskej republike (SR).*

*Prvé práce v oblasti identifikácie podnikov s vybranými nebezpečnými látkami v SR a v oblasti prípravy metodiky pre hodnotenie rizika týchto podnikov boli realizované na základe objednávky Ministerstva životného prostredia (MŽP) SR v roku 2000 a poukázali na potrebu dôslednej prípravy štátnej správy a podnikovej sféry na splnenie požiadaviek pripravovaného zákona o závažných haváriách.*

*Európska únia (EÚ), Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj (OECD), Európska hospodárska komisia Organizácie spojených národov (EHK OSN), Medzinárodná organizácia práce (MOP) a Svetová zdravotnícka organizácia (WHO), v spolupráci s ďalšími medzinárodnými organizáciami a združeniami vedomí si dôležitosť riešenia tejto problematiky prijali v posledných rokoch viaceré medzinárodné dohovory a právne úpravy zamerané nielen na identifikovanie, lokalizovanie a minimalizovanie priemyselných rizík, ale taktiež na vytvorenie potrebných identifikačných a hodnotiacich postupov a nástrojov.*

*Transpozíciou príslušných právnych úprav EÚ do právneho poriadku SR, teda aj Smernice Rady č. 96/82/ES o kontrole nebezpečenstiev veľkých havárií zahŕňajúcich nebezpečné látky (Smernica SEVESO II) sa sleduje zabezpečenie nevyhnutných predpokladov a podmienok pre prístupenie SR k uvádzaným medzinárodným dohovorom.*

*V rámci prípravy zákona o závažných haváriách a o pripravenosti na ich zdoľávanie v SR sa ukázalo, že formulácia cieľov tohto zákona bola oveľa jednoduchšia ako následné definovanie a úprava spoločných princípov, postupov a požiadaviek, ako aj doplňujúcich (špecifických) povinností prevádzkovateľov a podnikov, v ktorých sú prítomné vybrané nebezpečné látky. Ukázalo sa, že viaceré podniky, ale aj prevádzkovatelia veľkých rizikových chemických a petrochemických technológií v SR majú zatiaľ neúplné znalosti v oblasti systematického a hlavne komplexného hodnotenia rizika, čo by mohlo nepriaznivo narušiť proces implementácie príslušnej smernice EÚ do právneho poriadku SR.*

*Hlavne z posledne uvádzaného dôvodu vyplynula pre MŽP SR potreba prípravy a tvorby samostatných metodických postupov a príručiek naväzujúcich na zákon o závažných haváriách.*

*Predkladaná metodická príručka má za cieľ predstaviť, stanoviť (určiť) zásady a zaviesť objektívne, jednotné a systematické postupy hodnotenia rizika závažnej havárie už pre účely oznámenia o zaradení podniku, kedy na základe vyhodnotenia možnosti vzniku kumulatívnych a synergických účinkov okresný úrad môže rozhodnúť o zaradení medzi rizikové podniky aj takého podniku (podniku s podprahovými množstvami vybraných nebezpečných látok), ktorého vzájomná poloha k inému rizikovému podniku, ktorý podlieha pripravovanému zákonu zvyšuje riziko vzniku závažnej priemyselnej havárie. V praxi to znamená, že okresný úrad môže rozhodnúť o zaradení príslušného podniku do kategórie A alebo B, alebo o jeho preradení z kategórie A do kategórie B, aj keď celkové množstvo vybraných nebezpečných látok v tomto podniku bude menšie ako prahové množstvo pre zaradenie do príslušnej kategórie.*

Posledne uvádzaná skutočnosť je na prvý pohľad špecifická, avšak len plná aplikovateľnosť postupov hodnotenia rizika v podmienkach SR a kompatibilita týchto postupov s obdobnými postupmi v EÚ vytvorí nevyhnutné predpoklady pre dôsledné a komplexné odborné naplnenie požiadaviek zákona o závažných haváriách.

Ukazuje sa, že už v etape predbežného odhadu rizika závažnej havárie bude nevyhnutné aj v SR pristúpiť k zhodnoteniu dôsledkov reprezentatívnych havarijných scenárov, čo povedie už k aplikácii kvantitatívnych metód hodnotenia rizika. Z tohto dôvodu sa môže stať, že pre špecifické prípady zoskupenia veľkých priemyselných aglomerácií (priemyselných parkov), ale aj pre prípady sústredenej lokalizácie menších podnikov s vybranými nebezpečnými látkami a pre prípady podnikov, ktoré sú umiestnené v blízkosti osobitne citlivých častí životného prostredia (sídlné aglomerácie, chránené územia, dôležité infraštruktúry ap.) kumulatívna hodnota pravdepodobnosti výskytu závažnej havárie môže dosiahnuť neprijateľné (neakceptovateľné) hodnoty a bude potrebné navrhovaný metodický postup (postup hodnotenia prezentovaný v pripravovanej vykonávacej vyhláške pre hodnotenie rizika na účely oznámenia) spracovať detailnejšie už so zohľadnením špecifických iniciačných a rozvojových havarijných scenárov.

Predkladaná metodická príručka prezentuje v prílohe detailnejšiu metodiku a postup hodnotenia rizika pre účely predbežného odhadu rizika, ktorá je vlastne prekladom materiálu Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) „Príručky pre klasifikáciu a stanovenie priorít rizík vyplývajúcich zo závažných havárií vo výrobných a príbuzných priemyselných odvetviach“.

Táto príručka bola spracovaná v rámci spoločného programu (MAAE, UNEP, UNIDO a WHO) posudzovania a riadenia zdravotných a environmentálnych rizík vyplývajúcich z energetiky a iných komplexných priemyselných systémov a ako je v nej výslovne uvedené jej metódy a výsledky sa môžu použiť len na relatívnom základe a absolútne hodnoty rizika by nemali byť samostatne použité.

Z tohto dôvodu je v 1. časti predkladanej metodickéj príručky prezentovaná metodika predbežného odhadu rizík reprezentatívnych havarijných scenárov, ktorá oveľa detailnejšie sa zameriava na charakterizovanie tých prvkov, ktoré zvyšujú pravdepodobnosť vzniku závažnej priemyselnej havárie a rozsah jej následkov až po charakteristiku „domino“ efektu.

Ďalšie časti predkladanej metodickéj príručky riešia už požiadavky zadania v požadovanom rozsahu s príslušnými komentármi a vzorovými aplikáciami.

Ing. Ján Kandráč, CSc., RNDr. Dušan Skarba, JUDr. Ing. Štefan Úradníček

**RISK CONSULT, spol. s r. o.**  
**inžinierska, poradenská a obchodná spoločnosť**

**Račianska 72, 831 02 Bratislava**  
tel/fax : 00421 2 444605 83, E-mail : [riskconsult@nexta.sk](mailto:riskconsult@nexta.sk)

---

Projekt vypracovaný v zmysle zmluvy o dielo  
č. 113/2001/2.3 medzi MŽP SR a RISK CONSULT, spol. s r. o.

**METODICKÁ PRÍRUČKA  
PRE ZARAĐOVANIE RIZIKOVÝCH PODNIKOV S PODPRAHOVÝMI  
MNOŽSTVAMI VYBRANÝCH NEBEZPEČNÝCH LÁTOK  
A PRE PREDBEŽNÝ ODHAD RIZIKA V PODNIKOCH  
PODLIEHAJÚCICH REŽIMU ZÁKONA O ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÁCH**

**1. časť – Metodika a postup pre posudzovanie rizikovosti podnikov  
s podprahovými množstvami vybraných nebezpečných látok**

spracovatelia

Ing. Ján Kandráč, CSc., RNDr. Dušan Skarba

**BRATISLAVA**  
november 2001

## Obecné pojmy a definície

**Ochrana zdravia** - je súhrn opatrení spočívajúcich v predchádzaní vzniku a šíreniu ochorení a v obmedzovaní ich výskytu a iných porúch zdravia, v zlepšovaní zdravia prostredníctvom starostlivosti o zdravé životné podmienky, pracovné podmienky a zdravý spôsob života a vo výkone štátneho zdravotného dozoru.

**Bezpečnosť** - je charakterizovaná ako vlastnosť objektu (technológie, činnosti ap.) neohrozovať ani osoby a ani okolie.

**Nebezpečenstvo** - je definované ako vlastnosť objektu spôsobiť neočakávaný negatívny jav. Je to skrytá vlastnosť alebo schopnosť materiálu, stroja, pracovnej činnosti, zapríčiniť vznik poškodenia, škody. Je to zdroj možného zranenia alebo poškodenia zdravia.

**Ohrozenie** - je definované ako schopnosť aktivovať nebezpečenstvo, ktoré vyplýva z vlastnosti objektu (napr. únik nebezpečných látok ap.).

**Riziko** - je definované ako súčin pravdepodobnosti vzniku nežiadúceho negatívneho javu a jeho následkov (dôsledkov).

**Rizikové faktory** - sú definované ako technické alebo humánne parametre objektov, prípadne činností, ktoré ovplyvňujú riziko.

**Analýza rizika** - je definovaná ako určenie posudzovaného systému, zisťovanie nebezpečenstva, ohrozenia a rizika.

**Kontrola rizika** - je definovaná ako posúdenie bezpečnosti systému a prijatie zodpovedajúcich opatrení.

**Hodnotenie rizika** - je definované ako súhrn postupov na ohodnotenie rizika ako miery ohrozenia, počas vykonávania analyzovanej činnosti, a to určenie pravdepodobnosti vzniku nežiadúceho negatívneho javu a jeho následkov (dôsledkov) a ich vzájomnú kombináciu.

**Akceptovateľné riziko** - je definované ako také riziko, ktoré zainteresované subjekty pri zohľadnení všetkých prevádzkových a humánnych podmienok sú ochotné znášať, t. j. početnosť negatívneho javu je v hodnotách, ktoré možno akceptovať a dôsledky sú v rozsahu, ktorý je únosný pre príslušnú osobu alebo skupinu osôb.

**Poškodenie a škoda** - sú definované ako dôsledok negatívneho javu a vyjadrujú fyzikálne alebo biologické znehodnocovanie zdravia, objektov alebo okolia a životného prostredia.

**Škoda** - je každá ľubovoľným spôsobom vzniknutá zmena, ktorá je minimálne jednou osobou (jedným subjektom) považovaná (pociťovaná) za nepríjemnú.



## Úvod

V tejto prvej časti metodologickej príručky pre zaradovanie rizikových podnikov s podprahovými množstvami vybraných nebezpečných látok a pre predbežný odhad rizika v podnikoch podliehajúcich režimu zákona o závažných haváriách je popísaná základná metodika hodnotenia rizika, ktorá je zachytená v prílohe k tejto časti v doslovnom preklade z metodologickej príručky Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) IAEA-TECDOC-727. V samotnej práci je zachytená metodika a postup pre posudzovanie rizikovosti podnikov s podprahovými množstvami nebezpečných látok.

Predbežný odhad rizík reprezentatívnych havarijných scenárov je zameraný k naplneniu obsahu charakteristiky prvkov zvyšujúcich pravdepodobnosť vzniku závažnej priemyselnej havárie a rozsah jej následkov až po charakteristiku domino efektu.

Kvantitatívne charakteristiky rizika vzniku závažnej priemyselnej havárie vyúsťujú do odhadu zóny havarijného plánovania s cieľom získania podkladov pre vonkajší havarijný plán. Hodnotenie predbežného rizika reprezentatívnych havarijných scenárov vytvára predpoklady pre zamerania pozornosti tak prevádzkovateľa ako aj kontrolných orgánov na možnosti vzniku kumulatívnych a synergických javov. Podmienkou použitia kvantitatívnych metód vyhodnotenia vzniku kumulatívnych a synergických účinkov je nevyhnutné pre určenie zóny havarijného plánovania. Zóna havarijného plánovania vymedzuje oblasť do ktorej prevádzkovateľ vnáša stupeň mieru rizika v dôsledku svojej činnosti s vybranými nebezpečnými látkami a súčasne vymedzuje oblasť, pre ktorú je okresným úradom spracovaný vonkajší havarijný plán s podporou kvantitatívnych údajov jednotlivých podnikov, ktoré získali na základe vypracovania vnútro podnikových havarijných plánov. Zóna havarijného plánovania vymedzuje tiež oblasť, ktorej obyvateľom poskytuje okresný úrad informácie o preventívnych bezpečnostných opatreniach a požadované chovanie občanov v prípade vzniku závažnej priemyselnej havárie.

Na základe vyhodnotenia vzniku kumulatívnych a synergických účinkov okresný úrad môže rozhodnúť o zaradení podniku, ktorého vzájomná poloha k inému podniku, ktorý podlieha tomuto zákonu zvyšuje riziko vzniku závažnej priemyselnej havárie, do kategórie A alebo B alebo preradení z kategórie A do kategórie B aj keď celkové množstvo vybraných nebezpečných látok je menšie ako prahové množstvo pre zaradenie do príslušnej kategórie.

Kvantitatívne metódy predbežného hodnotenia rizika vzniku a následkov závažnej priemyselnej havárie vychádzajú z kvantitatívnej analýzy rizika chemického procesu - procesu identifikácie rizika a následným kvantitatívnym ocenením následkov a frekvencie havárie a ich kombináciou ( Chemical Process Quantitative Risk Analysis - CPQRA - kvantitatívna analýza rizika chemického procesu ) a ktorá je blízka pravdepodobnostnému oceneniu rizika ( Probabilistic Risk Assessment )

## Definície špecifických pojmov k tejto časti

**Tlaková vlna výbuchu** ( Blast wave ) tlakový pulz formujúci sa pri výbuchu.

**Ohraničený výbuch** ( Confined explosion ) ohraničený výbuch v dôsledku geometrie ohraničenia alebo prekážok.

**"Výkon" výbuchu** ( Explosion "efficiency" ) pomer energie vo výbuchovej vlne k hodnote energie teoreticky dosiahnuteľnej z tepla horením, obyčajne vyjadrená v percentách.

**"Sila" výbuchu ( prínos energie výbuchom )** ( Explosion power ) suma energie uvoľnenej výbuchom v pomere k energii zhodnej z odpovedajúceho TNT ( trinitrotoluénu ) vyjadrená v percentách.

$$\text{"sila" výbuchu} = \text{hmotnosť} * \text{TNT ekvivalent} * \text{"výkon"}$$

$$\text{"sila" výbuchu} * \text{hmotnosť} = \text{"sila" výbuchu} * \text{hmotnosť} / 100$$

**Fragmenty - úlomky** ( Missiles ) úlomky alebo celky systémov, ktoré sú vytvárané uvoľnením energie pri výbuchu.

**Vzdialená oblasť** ( Far field ) vzdialená oblasť - územie pre dosah účinkov výbuchu kde pokles pretlaku je rovnaký ako z výbuchu TNT.

**Stred výbuchu** ( Epicentre ) - priestor - územie - poloha, ktorá bola stanovená ako stred výbuchu.

**Domino efekt** je pokračujúca udalosť ( udalosti ) s následkami predchádzajúcej havárie ( havárií ) s narastajúcimi následkami ( zvyšovanie následkov ) prvej ( prvých ) havárií, pričom udalosť vedie k závažnej priemyselnej havárii.

## Druhy výbuchových reakčných premien - charakteristiky :

**Deflagrácia** - výbuchová reakčná premena zmesi horľavých plynov a pár v zmesi s oxidovadlom ( spravidla vzduchom ) s rýchlosťou šírenia reakčného pásma v mm/s až do 100 m/s s relatívne dlhou dobou nárastu tlaku. Vo väčšine prípadov reakčná premena prebieha so zápornou kyslíkovou bilanciou ( v nadbytku reakčnej zložky a nedostatku oxidovadla – spravidla vzduchu ). Tlakový prejav dosahuje hodnôt v rozsahu približne 0,06 až 0,08 MPa, pričom významnou, na rozdiel od explozívneho horenia a detonácie, je podtlaková fáza deflagračnej reakčnej premeny čo do jej absolútnej hodnoty a doby jej trvania. Generovanie významnej podtlakovej fázy vyvoláva smerovanie deštruktívnych prejavov smerom k centru reakčnej premeny na rozdiel od významných tlakových účinkov explozívneho horenia a detonácie kde pôsobí tlaková a rázová vlna.

**Explozívne horievanie** výbuchová reakčná premena, vyznačujúca sa existenciou reakčného pásma, ktoré sa pohybuje reakčným systémom - zmes plynu alebo pár so vzduchom - rýchlosťou v cm/s až v m/s až do hodnôt rádovo 100 m/s, pričom spravidla neprekročí rýchlosť zvuku. Rýchlosť šírenia reakčného pásma je vždy nižšia ako rýchlosť zvuku v danom prostredí. Deštruktívne tlaky generované touto reakčnou premenou dosahujú hodnôt 0,7 až 1,0 MPa.

**Detonácia** najvyššia forma výbuchovej reakčnej premeny reakčného systému - zmes plynu pár so vzduchom, pri ktorej sa úzke reakčné pásmo - plameňové čelo, pohybuje systémom rýchlosťou vždy väčšou ako rýchlosť zvuku v danom prostredí. Rýchlosť tohto pásma - nazývaná detonačná rýchlosť, dosahuje hodnôt v rozmedzí 1000 až 3000 m/s v reakčných systémoch tvorených zmesou technického plynu a vzduchu ako oxidačnej zložky za určitých definovaných pomerov. Detonačná výbuchová reakčná premena je vždy sprevádzaná generovaním rázovej vlny, ktorá sa šíri od miesta vzniku detonácie do okolia. Efektívne deštruktívne tlaky dosahujú pre plynné médiá hodnôt do 2 MPa.

Z pohľadu číselných hodnôt generovaného pretlaku jednotlivých štádií výbuchovej reakčnej premeny a rýchlosti šírenia reakčného pásma ide skôr o ilustratívne delenie, ktoré nemá ostré ohraničenie, jednotlivé štádiá výbuchovej reakčnej premeny môžu byť realizované len v jednotlivých štádiách alebo môžu byť realizované súčasne.

#### **UVCE - VCE efekt**

**( Unconfined Vapor Cloud Explosion – výbuch neohraničeného oblaku plynov alebo pár - VCE výbuch ohraničeného oblaku plynov a pár )**

Charakteristiky UVCE efektu, ktoré sú potrebné pre hodnotiace postupy stanovenia súboru modelových havarijných scenárov sú nasledovné :

- množstvo horľavej látky ( plynu alebo pár kvapalín ) ktoré sa uvoľní do voľného priestoru s ohľadom na vlastnosti látok, spôsob a charakter jej transformácie do oblaku,
- druh reakčného média, výbuchového tepla, skupenstva a ďalších termodynamických vlastností a podmienok pred únikom média,
- zdroj iniciácie oblaku v definovanej koncentrácii a stupeň výbuchovej reakčnej premeny,
- deštruktívne a tepelné účinky reakčnej premeny oblaku závisia od jeho rozmerov, vzdialenosti centra reakčnej premeny k sledovanému objektu, reliéfu terénu a významnou mierou od atmosferických a meteorologických podmienok.

Modelové havarijné scenáre UVCE efektu v konečnom efekte stanovujú množstvo reakčného média v oblaku, alebo koncentráciu toxickéj látky, ktoré po iniciácii podľahe definovanému stupňu výbuchovej reakčnej premeny, ktorá generuje tlakový účinok na okolie. Tento tlakový účinok pôsobí deštruktívne na okolie a môže spôsobiť stav eskalácie havarijného stavu až vo forme domino efektu.

Stanovenie modelových tlakových prejavov v priestore, ktorý oblak reakčného média môže za definovaných meteorologických pomerov dosiahnuť je vlastne finále celého modelového procesu pre tvorený scenár. Významné z pohľadu stanovenia miery ohrozenia okolia do ktorého sa oblak reakčného média dostane je tlakové pôsobenie, ktoré je potrebné v scenári charakterizovať prostredníctvom polynómu poklesu tlaku tlakovej a rázovej vlny, vrátane hodnotenia odrazených tlakov, ktoré môžu dosahovať dvoj až šesť násobok tlaku v primárnej tlakovej alebo rázovej vlne. Stanovenie tlakového pôsobenia v okolí výbušného oblaku je možné prostredníctvom softwarových nástrojov s určitým stupňom profesionálneho prístupu.

Účinky UVCE efektu môžu mať významný dopad na okolie podniku a spravidla prekračujú hranice podniku.

## **BLEVE efekt**

( **Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion - výbuch pár vriacej kvapaliny** )

Pri hodnotení a modelovaní účinkov BLEVE efektu ako reprezentatívneho havarijného scenára ide o riešenie problému najmä tepelných účinkov nežiadúcej oxidačno redukčnej premeny zmesi plynov, pár a kvapaliny uvoľnenej pod vysokým tlakom zo skladového objektu po jeho dlhšej časovej tepelnej expozícii, resp. vygenerovaným reakčným teplom. Uvedený proces je možné charakterizovať postupnosťou nasledovných identifikačných znakov :

- nahrievanie zásobníka plameňom s horľavou kvapalinou alebo skvapalneným plynom, pary ktorých tvoria so vzduchom výbušnú alebo horľavú zmes,
- v zásobníku s rastúcou teplotou stúpa tlak pár, ktoré v určitom stave môžu byť uvoľnené trhlinou v plášti zásobníka ( Jet fire – raketový plameň – ako medzi stupeň BLEVE, ktorý pôsobí významný smerový tepelný účinok na okolie),
- po dosiahnutí určitých tepelných a tlakových pomerov vo vnútri zásobníka dochádza k prudkému zovretiu pár kvapalnej fázy v jej objeme ( TLOC – Total Loss of Containment – celkové uvoľnenie obsahu ) a prudkému uvoľneniu celého obsahu zásobníka v typicky guľovom tvare ( Fireball ) s hemisférickou rozľáznosťou na povrchu ktorého nastáva prudké horievanie zmesi pár a plynov kvapaliny so vzduchom s typicky zápornou kyslíkovou bilanciou ( intenzívne uvoľňovanie sadzí),
- významné parametre fireballu pre bezpečnostné parametre vnútropodnikového havarijného plánu je jeho doba života a priemer, ktoré sú závislé na hmotnosti látky v zásobníku,
- významný je tiež tepelný radiálny tok v priestore, ktorého tepelný dosah má dominantné postavenie u tohto reprezentatívneho havarijného scenára,
- vyššie popísaný dej reprezentatívneho havarijného scenára môže byť realizovaný aj v dôsledku prudkého uvoľnenia reakčného tepla ( zmes čpavku s acetaldehydom ), látok s výraznými hodnotami generovaného tepla za krátky čas.

Tlakové účinky BLEVE efektu spravidla neprekračujú hranice podniku, hodnotenie účinkov za hranice podniku by malo byť sústredené na veľkosť a dosah tepelného toku.

## Boil over ( Prevretie cez )

Reprezentatívny havarijný scenár vytvorený následkom rastu teploty ( spravidla plameňa pri vzniku požiaru na alebo v okolí zásobníka ) pôsobiacej na zásobník ( spravidla neuzatvorený ) s horľavými kvapalinami ( viskóznejšie kvapaliny, ropa, oleje ), ktoré sú v zásobníku rozdelené v dôsledku rozdielných merných hmotností. Následkom rastu teploty zväčšujú svoj objem z uvoľňujúcich sa pár kvapalnej zložky, ktorá je súčasťou skladovaného média a má vyššiu hustotu, ale nižší bod varu ako prevažný objem skladovanej kvapaliny. Kvapalná zložka podmieňujúca tento stav zvyčajne pozostáva z vody, ako produktu kondenzácie, resp. ako prirodzená zložka skladovanej kvapaliny. Táto zložka je zvyčajne usadená na dne zásobníka z titulu relatívne väčšej mernej hmotnosti. Prevažný objem skladovanej kvapaliny má spravidla vyšší bod varu, ako usadená zložka. Teplotné pole zahrievanej fázy s vyšším bodom varu ako voda, dosiahne vodnú fázu usadenej vrstvy, voda sa začína vyparovať a skladovaná kvapalina je vytláčaná vznikajúcou parou zo zásobníka procesom spenenia u kvapalín viskózneho povahy.

Vytláčanie kvapaliny zo zásobníka môže byť rozdelené do troch etáp :

- 1) Slop over – vyvretie je diskontinuálne penenie horľavej kvapaliny cez okraj zásobníka na jednej strane zásobníka,
- 2) Suvislé vypenenie cez plochy povrchu skladového zásobníka s pomerne nízkou intenzitou je charakterizované efektom roll over – Froth over – prevalenie peny cez okraj zásobníka,
- 3) Najnebezpečnejším stavom havarijného scenára vyššie uvedeného typu je Boil over - prudké vypenenie – vyvretie celého objemu zásobníka rozšírenie plameňov až tvorba fireballu vo vznose s tendenciou hemisférickej rozťažnosti, ktorý môže vzniknúť pri vysokej intenzite ohrevu zásobníka. Z pohľadu hodnotenia dôsledkov všetkých typov prevretí skladovaných kvapalín sú významné :

- veľkoplošné rozšírenie požiaru
- veľká pravdepodobnosť rozsiahlych ekologických škôd
- tepelná transmisivita z fireballu



Obr.č.1 Štádia Boil ovru

## Prehustená zóna

Ako bude uvedené nižšie sledujeme výskyt zón a hodnotíme pravdepodobnosť výskytu prvkov, ktoré zvyšujú pravdepodobnosť a rozsah následkov závažnej priemyselnej havárie.

Ak sme označovali výbuch pár ( plynov ) neohraničeného oblaku výbušnej atmosféry ako UVCE "U - unconfined" máme tým na mysli neohraničený oblak - bez prekážok. Myslí sa tým voľný priestor. Ak posudzujeme prítomnosť prehustenej zóny a tým prvky pravdepodobnosti zvýšenia rozsahu a následkov havárie používame označenie VCE - výbuch oblaku pár ( plynov ) výbušnej atmosféry. Rozdielnosť označenie uvedených pojmov má ďalekosiahly fyzikálny zmysel obzvlášť k veľkosti vygenerovaného pretlaku - deštruktívneho pretlaku, na ktorého hodnotu majú významný vplyv práve prvky, ktoré sa vyskytujú v prehustenej zóne. Pracujeme v prostredí čiastočne ohraničenom v dôsledku prítomnosti prehustenej zóny a tým prvky zvyšujúce pravdepodobnosť - odrazené tlaky, tlaky obtekania prekážok majú podstatne iný priebeh a veľkosť. Práve tieto sú dominantné a vystupujú ako najdôležitejší prvok, ktorý zvyšuje pravdepodobnosť a rozsah závažnej havárie vrátane rozvoja domino efektu. V predbežnom hodnotení rizík je potrebné tieto momenty charakterizovať, kvantifikácia bude realizovaná v hodnotení rizík a v tvorbe havarijného plánu.

## VCE efekt : výbuch pár ( plynov ) oblaku výbušnej atmosféry

V nasledujúcich aspektoch je vyjadrená postupnosť podmienok, ktoré musia byť naplnené k vzniku VCE efektu :

- prítomnosť prehustenej zóny - technologická časť, obývané územie alebo iné územie, ktoré je potrebné ohodnotiť vo vzťahu k možným tlakovým a tepelným následkom VCE efektu, pričom tieto môžu vytvoriť stav zvyšovania účinkov VCE efektu a následne k vzniku závažnej priemyselnej haváriei,
- zložka - látka - vybraná nebezpečná látka - musí zahŕňať : vybrané nebezpečné látky kategórií nebezpečných vlastností 4. výbušná, 5. mimoriadne výbušná, 6. horľavá, 7a vysoko horľavá látka, 7b vysoko horľavá kvapalina, 8. mimoriadne horľavá ( v zmysle zákona č.163/2001 a Tabuľky II zákona o závažných priemyselných haváriách ).
- ak uvoľnená výbušná látka môže byť priamo odparovaná a rozptyľovaná do atmosféry ( plynné látky alebo aerosól ) alebo ak tlak pár danej látky je väčší ako 0,1 MPa , spôsobenie stavu vytvorenia VCE - minimálne množstvo látky je :
  - 0,1 ton pre veľmi reaktívne látky
  - 0,5 ton pre priemerne a nízko reaktívne látky,
- z iného pohľadu hodnotenia pre iné druhy látok, ktoré vytvárajú oblaky pri odparovaní z kaluže, minimálne množstvá látky sú väčšie ako vyššie uvedené. Ak sú poveternostné podmienky priaznivé pre rozvoj oblaku ( stabilná atmosféra, Pasquilova stabilita atmosféry F a rýchlosť vetra  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Tabuľka č.1 udáva minimálne množstvá uvoľnených látok na to, aby bolo možné a opodstatnené predpokladať vznik VCE efektu. Toto sú hodnoty pre typické havarijné scenáre : vytvorenie kaluže po havarijnom úniku látky pri teplote  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  na betónový podklad pričom kaluž nie je ohraničená. Tieto hodnoty sú podávané ako informatívne.

**Tabuľka č. 1 Minimálne uvoľnené množstvá látky ako predpoklad pre VCE efekt**

Uvoľnené množstvo látky [ ton ]			
	Vysoko reaktívna látka	Priemerne reaktívna látka	Nízko reaktívna látka
$P_{(\text{tlak pár})}$ pracovná teplota $>0,1\text{MPa}$ alebo plynné látky	0,1	0,5	1
$0,05 < P_{(\text{tlak pár})} < 0,1 \text{ MPa}$	$> 2$	$> 5$	$> 10$
$0,01 < P_{(\text{tlak pár})} < 0,5 \text{ MPa}$	$> 5$	$> 10$	$> 40$
$P_{(\text{tlak pár})} < 0,1 \text{ MPa}$	$> 40$		

Pre kaluže s ohraničením ( napr.: záchytná jímka ), alebo pre iné typy podkladov ( piesok, mokrá zem a pod.) sú definované iné limity množstiev, ktorých doporučené množstvá sú uvedené v tabuľke č. 2. Tieto množstvá sa dotýkajú minimálnych plôch kaluží požadovaných pre predpoklad vzniku VCE.

**Tabuľka č. 2 Minimálna plocha kaluže pre predvídanie VCE**

<b>Plocha kaluže [ m<sup>2</sup> ]</b>			
	Vysoko reaktívna Látka	Priemerne reaktívna látka	Nízko reaktívna látka
$0,05 < P_{(\text{tlak pár})} < 0,1$ MPa	> 200	> 500	> 1000
$0,01 < P_{(\text{tlak pár})} <$ $0,5 \text{ MPa}$	> 500	> 1000	> 4000
$P_{(\text{tlak pár})} < 0,1 \text{ MPa}$	> 4000	-	-

Najdôležitejší a hlavný efekt výbuchu neohraničeného oblaku pár alebo plynu v zmesi so vzduchom je tlakový nárast.

**Hodnota pretlaku 16 kPa je stanovená ako doporučená hranica [ 1 ], ktorá ak ja prekročená je nutné uvažovať s vážnym poškodením budov a zariadení.**



**Tabuľka č. 3 Charakteristiky tlakových účinkov**

<b>Pretlak v tlakovej vlne <math>\Delta p_1</math> / kPa /</b>	<b>Účinky</b>
0,5 0,5 – 5	žiadne poškodenie, rôzny stupeň vybitia okien
0,7 5,0 - 20	50 % vybitých okien, zničenie okien, poškodenie stavieb, poranenie osôb sklom
7 – 14	Poškodenie obloženia z vlnitého plechu , oceli, hliníka. Drevené panelové obloženie. Poškodenie nastáva na v hlavných spojoch. Drevené panely sú vrhnuté do vnútra budovy. Poškodenie ľahkých stavieb, poranenie osôb odlietajúcim sklom.
10 - 30	Čiastočné rozrušenie stavieb, ľahké poškodenie organizmu.
14 – 21	Rozbitie betónových, alebo škarobetónových stenových nevystužených panelov hrúbky 20 až 30cm.
20 - 30	Značné rozrušenie mestských stavieb.
20 - 150	Rozrušenie vnútorných ľahkých priečok, väčšie fyziologické poškodenie organizmu.
34	Prasknutie ušných bubienkov.
48 - 55	Rozrušenie tehlových nevystužených stien 20 - 30cm hrubých. Zbortenie menej odolných kamenných, tehlových a drevených budov, prevrátenie železničných vozňov, poškodenie elektrickej siete.
60 - 70	Rozrušenie ľahkých železobetónových stavieb.
100	Úplné rozbitie stavieb a výnimkou železobetónových stavieb bezpečných proti zemetraseniu. Smrť priemerného organizmu človeka
150 – 200	Smrť organizmu, rozrušenie železobetónových stavieb bezpečných proti zemetraseniu.
200 -300	Rozrušenie ocelových mostov.

**V nasledovných častiach je sumarizovaný odhad pretlaku, ktorý vytvára predpoklady pre naplnenie a požiadavku hodnotiť VCE efekt:**

1)

- identifikácia prehustených zón v podniku alebo v jeho blízkosti -

prehustené zóny sú charakterizované ako miesta v ktorých sú koncentrované zariadenia ( budovy, technologické časti, obývaná zóna, zóna s hustým lesným porastom - parkom a následne obývaná lokalita ) a ktoré vytvárajú početné prekážky ( nádrže, tepelné výmenníky ), ktoré podporujú zvýšenie rýchlosti plameňového čela výbuchovej reakčnej premeny dôsledkom čomu je významné zvýšenie pretlaku v čele tlakovej alebo rázovej vlny. V skutočnosti generovanie pretlaku je spojené so stupňom výbuchovej reakčnej premeny - deflagrácie ( významná podtlaková fázy ) explozívneho horenia ( je generovaná tlaková vlna - nižšia absolútna hodnota pretlaku s dlhším časovým pôsobením ako rázová vlny ) a detonácie ( rázová vlna - vyššia absolútna hodnota pretlaku s kratším časovým pôsobením ako pri explozívnom horení ). Veľkosť pretlaku u vyššie uvedených stupňov výbuchovej reakčnej premeny je významne ovplyvnená druhom, veľkosťou a počtom prekážok, obecné charakterizované pojmom - percento zahradenia ( prekážková hustota - hustota zóny ).

### **Postup na identifikáciu prehustených zón - prekážková hustota, ktorá predurčuje kvalitu a rovnako aj kvantitu požiadavky hodnotenia VCE efektu.**

Postup sa riadi nasledovnými zásadami :

- procesné sekcie sú celkove hlavné prehustené zóny pretože prezentujú najpočetnejšiu skupinu prekážok ( nádoby, potrubia ). Následkom toho je hustota prekážok veľká a tým sa stáva daná zóna vysoko prehustená,

- z iného pohľadu - pre zóny zásobníkov ( priestory nakládky - vykládky, miesta odstavovania ) hustota zariadení a hodnotenie zahradenia je veľmi zložitá je teda potreba ju stanoviť ako miesto - zónu prehustenia aj keď toto stanovenie je veľmi obtiažne. Vznikla požiadavka ohodnotiť počet prekážok, radov a stanovenie stupňa zahradenia - blokovacieho priemeru v obecnej podobe. Odvolávajúc sa na prameň [2] a [3] boli predložené nasledovné definície :

- **vysoké zahradenie** odpovedá najmenej trom prekážkovým radom s blokovacím priemerom prekážok väčším ako 40 %, ( pod prekážkovým radom sa rozumie geometrický tvar usporiadania technologickej zástavby )

- **mierne zahradenie** odpovedá dvom alebo trom prekážkovým radom s blokovacím priemerom prekážok medzi 10 až 40 %,

- **nízke zahradenie** odpovedá jednému alebo dvom prekážkovým radom s blokovacím priemerom nižším ako 10 %.

**Obecne je doporučované, ak zóna má byť považovaná za prehustenú a prehodnocovaná vo vzťahu k vzniku VCE mala by spĺňať kritériá pre vysoké a mierne zahradenie.**

Vyššie uvedené konštatovanie môže byť významné pre akúsi otvorenú budovu s dostatočným stupňom zahradenia a môže byť obkolesená inou prehustenou zónou. Voľný priestor (bez prekážok) väčšej šírky ako 10 m vedie k definovaniu dvoch odlišných prehustených zón (v skutočnosti 10 m široký voľný priestor bude dôvod na významné spomalenie plameňového čela). Vyššie uvedený moment bude zvažovaný v odpovedi na otázku, či vytvorený oblak s obsahom výbušnej atmosféry môže byť iniciovaný v niektorej prekážkovej zóne lokalizovanej v rámci prehustenej zóny v rámci  $\pm 200$  m rozmedzia zariadenia - procesných sekcií v ktorej sa vyskytuje možnosť uvoľnenia vybranej nebezpečnej látky, schopnej vytvoriť podmienky pre VCE. Rozsah 200 m bol volený z dôvodov obecných podmienok dosiahnuteľnosti hraníc zápalnosti v tomto dĺžkovom rozmedzí a pretože v známych a analyzovaných priemyselných haváriách [4,5], ide o rozmedzie vzdialeností medzi zdrojom úniku vybranej nebezpečnej látky a miestom iniciácie, pričom v analyzovaných haváriách málo kedy presiahol 200 m. Ide o dohodnutú vzdialenosť, ktorá je všeobecne akceptovaná, aj keď nie vždy napĺňa požiadavky bezpečnosti vo vzťahu k ohrozeniu.

Odhad objemu oblaku s výbušnou atmosférou je jeden z významných parametrov v každej hodnotenej prehustenej zóne. Objem výbušného oblaku je len predpokladaný a môže byť jeho maximálny objem rovný objemu prehustenej zóny - voľnému objemu. Základ a druh povrchu prítomného v prehustenej zóne (betón, piesok a pod.) znásobuje objem výbušnej atmosféry vrátane priemernej výšky zariadení v zóne. V závislosti na hustote výbušnej atmosféry v prehustenej zóne priemerná výška oblaku dosahujúca spravidla vzdialenosť  $\pm 200$  m v špičke dosahuje hodnotu 6 m (súvisí s meraním meteorologických parametrov). Objem výbušného oblaku je teda zvažovaný do maximálneho voľného objemu - celkového objemu prehustenej zóny bez počítaného objemu zariadenia. Toto hypotetické určenie je iba slabo precenené - nadhodnotené, vzhľadom k tomu, že uplatňujeme výpočet pretlaku z hmotnosti obsahu nebezpečnej látky.

2)

Vyššie definovaný objem v prehustenej zóne a reaktivita uvoľnenej vybranej nebezpečnej látky (nízka, priemerná a vysoká) podáva charakteristiky sústredenia pozornosti pre hodnotenie VCE efektu. Bezprostredné stanovenie vzdialenosti kde bude dosiahnutý pretlak 16 kPa od miesta iniciácie je možné realizovať postupom výpočtu na základe polynómov pre vzdušný a pozemný výbuch, alebo prostredníctvom grafu č.1. Graf č.1 predstavuje nástroj, ktorý vznikol spojením závislosti objemu prehustenej zóny a vzdialenosti kde je dosiahnutá hodnota pretlaku 16 kPa.

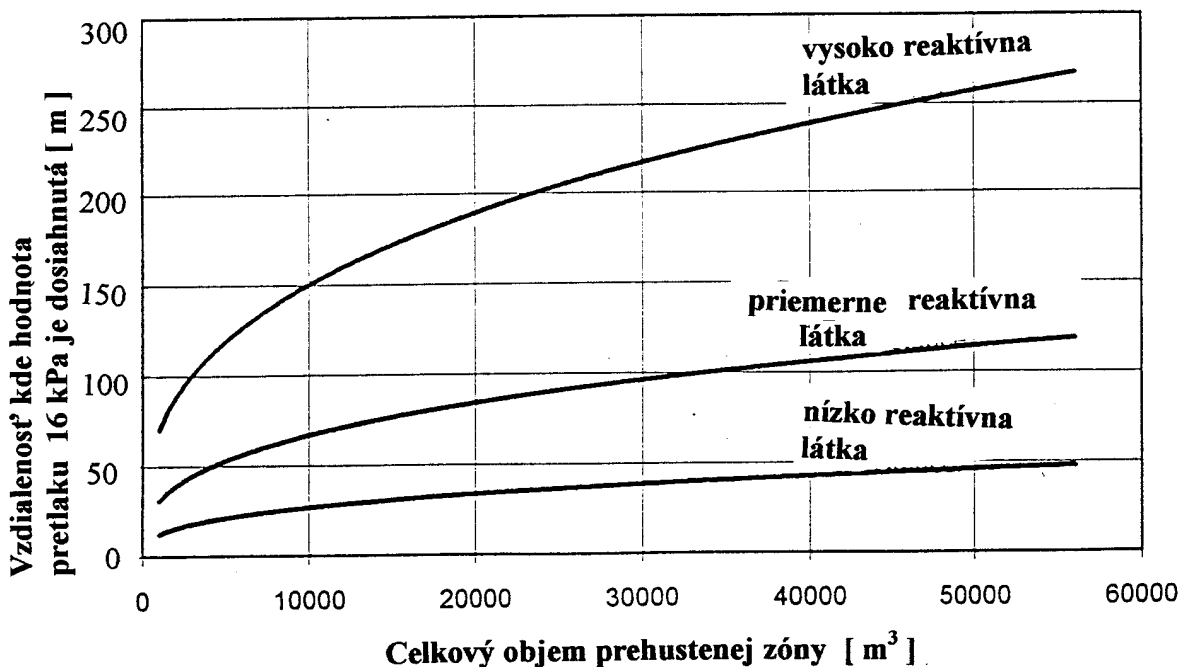
Tabuľa č. 4 špecifikuje reaktivitu niektorých často sa vyskytujúcich výbušných látok. Je vhodné poznamenať, že zmes vybranej nebezpečnej látky definovanej v databáze má
--

rozdielnu reaktivitu pri rôznom obsahu výbušnej látky v rámci medzí výbušnosti - navodiť hodnoty  $(d_p/d\tau)_{max}$ . Reaktivita výbušnej látky je v tomto prípade definovaná vo vzťahu k maximálnemu výbušnému tlaku, ktorý vznikne za atmosferických podmienok pri stochiometrickej koncentrácii obsahu výbušnej látky vo vzduchu [ 6 ].

**Tabuľka č.4 Príklady látok zaradených medzi nízko, priemerne a vysoko reaktívne**

Látka	Reaktivita	Látka	Reaktivita	Látka	Reaktivita
Acetaldehyd	priemerná	Oxid uhoľnatý	nízka	Sírovodík	vysoká
Acetylén	vysoká	Dichlóropropén	nízka	Metán	nízka
Acetonitril	priemerná	Dietylamin	priemerná	Metanol	priemerná
Akrylonitril	priemerná	Dimetylamin	priemerná	Metyl akrylát	vysoká
Allyl alkohol	vysoká	Epichlóhydrín	nízka	Metyl bromid	nízka
Allyl chlorid	nízka	Etán	priemerná	Metyl chlorid	nízka
Amoniak	nízka	Etén	priemerná	Metyl formát	vysoká
Anilín	priemerná	Etyl merkaptán	vysoká	Propán	priemerná
Benzén	vysoká	Etyl chlorid	nízka	Propén	priemerná
Butadién 1,3	priemerná	Etyl formát	vysoká	Propylén oxid	vysoká
n- Bután	priemerná	Etylén diamín	priemerná	Rozpúšťadlová nafta	vysoká
Butén-1	priemerná	Etylén oxid	vysoká	Vinyl acetát	vysoká
Sírouhlík	vysoká	Formaldehyd	vysoká	Vinyl chlorid	priemerná

VCE:



Graf č. 1 Kritériá pre určenie vzdialenosti účinku VCE

## POŽIAR kaluže ( Pool fire )

Požiar kaluže - pool fire je hodnotený ak sú splnené nasledovné podmienky :

- uvoľnená látka patrí do nasledovnej kategórie nebezpečných vlastností vybraných nebezpečných látok vybrané nebezpečné látky kategórií nebezpečných vlastností 6. horľavá, 7a vysoko horľavá látka, 7b vysoko horľavá kvapalina, 8. mimoriadne horľavá ( v zmysle zákona č.163/2001 a Tabuľky II zákona o závažných priemyselných haváriách ).
- množstvo látky musí byť také, že horenie musí trvať najmenej 15 minút [ 2 ]. .

### Odhad trvania požiaru

Táto metóda odhadu trvania požiaru je založená na poznatkoch o rýchlosti vyhorievania posudzovaných látok. Tabuľka č.5 poskytuje údaje pre niektoré skvapalnené plyny, uhľovodíky a alkoholy.

**Tabuľka č. 5 Rýchlosť vyhorievania pre niektoré látky [ 2 ]**

Látky	Rýchlosť vyhorievania $m_{\infty}$ [ kg/ m <sup>2</sup> s ]
<b>Skvapalnené plyny</b>	
Skvapalnený zemný plyn ( LNG )	0,078
Skvapalnené uhľovodíkové plyny ( LPG )	0,099
<b>Uhľovodíky</b>	
Bután	0,078
Hexán	0,074
Heptán	0,101
Benzén	0,085
Benzín	0,055
<b>Alkoholy</b>	
Metanol	0,017
Etanol	0,015

**Metóda pre výpočet doby trvania požiaru je charakterizovaná nasledovne :**

1. Ohodnotenie odhorievania z kaluže **povrchu S** je v súlade s celkovým uvoľneným množstvom látky. Pre skvapalnené plyny je hustota pre látku daná bodom varu. Pre ostatné látky je daná okolitou teplotou.
2. Vypočítame hmotnosť odhorenej látky v priebehu stanoveného času

$$m_c = m_{\infty} * S * dt$$

S - plocha kaluže [ m<sup>2</sup>]

m<sub>c</sub> - hmotnosť odhorenej látky [kg]

m<sub>∞</sub> - rýchlosť vyhorievania [ kg/ m<sup>2</sup> s ]

3. Vypočítame zostávajúcu hmotnosť

$$m_r = m_T - m_c$$

m<sub>r</sub> - zostávajúca hmotnosť látky [kg]

m<sub>T</sub> - celkové uvoľnené množstvo látky v kaluži [kg]

4. Odhadneme novú plochu kaluže v súlade so zostávajúcou hmotnosťou látky
5. Ideme na nasledovný časový krok

Čo sa týka veľkosti plochy kaluže je limitovaná ( napr.: 5 m<sup>2</sup> ), kroky 2 a 5 sú opakované. Odhad času požiaru je daný súčtom časových krokov. Ak tento čas je kratší ako 10 až 15 minút zariadenie nebude považované - hodnotené na nebezpečenstvo vzniku odhorievania z kaluže - pool fire. Napriek vyššie uvedenému dané zariadenie - zásobník môže byť vybraný ako základ iného kritéria nebezpečnosti napr.: VCE efektu.

**Metóda pre odhad vzdialenosti účinku ( efektu ) pool fire**

Za účelom odhadu účinkov pool fire je potrebné zhodnotiť celý rad faktorov, ktoré je možné usporiadať do nasledovných krokov.

1. Hodnotenie priemeru kaluže požiaru .
2. Výber parametrov odolnosti na tepelný radiačný prah ( úroveň ), ktoré odpovedajú na jednotlivé sekundárne zariadenia jednotlivo a na bezpečnostný systém existujúci na jednotlivých zariadeniach.
3. Výber kritérií ( hodnotenia ), ktoré odpovedajú danej látke.
4. Rozhodnutie o vzdialenosti na ktorú je úroveň radiácie určená.

**Ohodnotenie priemeru požiaru kaluže**

Priemer požiaru kaluže môže byť určený nasledovne:

· určíme rovnaké priemery nádrží čo sa týka vzdialeností od nádrže, plameň ktorej posudzujeme,

· ak musíme zohľadniť ohraničenie kaluže, ekvivalentný priemer kaluže je vypočítaný nasledovne :

$$D = \frac{4 * \text{plocha ohraničenia}}{\text{obvod ohraničenia}} \quad [ \text{ m } ]$$

· Ak ohraničenie kaluže neexistuje, požiar kaluže je posudzovaný ako kruhový a jeho priemer je určený za definovaných podmienok nasledovne :

◇ keď rozširovanie kaluže má tendenciu rýchleho smerovania a minimálna výška  $h_{\min.}$  kvapaliny vo vrstve je závislá od kvality pôdy. Tabuľka č.6 udáva hrúbky kaluže pre určité druhy pôdy - povrchy zeme [7]. Pre chýbajúce precízne údaje o povrchoch zeme, betón je hodnotený ako maximum rozptylu kaluže a ( $h_{\min.} = 1$ ),

**Tabuľka č. 6 Hrúbka vrstvy kvapaliny v kaluži v súlade s kvalitou pôdy**

Charakteristika pôdy	$h_{\min.}$ [ cm ]
Betón	1
Priemerná pôda	3
Suchá piesková pôda	20
Humus - piesková pôda	15
Ťažká pôda	5

◇ priemer kaluže odhorievania kvapaliny môže byť vypočítaný z maximálneho objemu havarijného výtoku :

$$\text{priemer} = 2 * \sqrt{\frac{\text{objem}}{\pi * h_{\min.}}}$$

◇ maximálny havarijného výtoku kvapaliny môže byť približne určený nasledovne :

- v prípade nádrže je to objem uvoľnený v priebehu pol hodiny pre ostro lemovaný rozsiahly zlom potrubia,
- v prípade potrubia je to maximálny objem medzi dvomi ventilmi ( ak ide o automaticky nastaviteľné bezpečnostné systémy ) alebo objem vyplývajúci z výtoku iba formálneho ( zanedbateľného ) podielu výtoku v priebehu pol hodiny.

**Poznámka :** pre stlačené kvapalné plyny množstvo látky v kaluži je uvoľnené množstvo mínus odparený podiel z výtoku ( napr.: pre propán je to iba 35 % z uvoľneného množstva )

**Výber odolnosti úrovne tepelnej radiácie v zhode s jednotlivými sekundárnymi zariadeniami a bezpečnostných systémov aplikovaných v jednotlivých zariadeniach.**

Porovnanie jednotlivých druhov sekundárných zariadení ( tie, ktoré sú vystavené tepelnému radiačnému žiareniu ), ktoré sú ohrozené účinkami požiaru z kaluže a zhodnosť v bezpečnostných systémoch jednotlivých zariadení popisuje literatúra [ 8 ]. Horné hodnoty schopnosti zniesť tepelné radiačné zaťaženie udáva tabuľka č.7.

**Tabuľka č. 7 Horná úroveň radiačného toku pre jednotlivé rozdielne zariadenia.**

<b>Jednotlivé sekundárne zariadenia</b>	<b>Horná úroveň tepelného radiačného toku pre jednotlivé nechránené zariadenia [ kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Horná úroveň tepelného radiačného toku pre jednotlivé chránené zariadenia [ kW/m<sup>2</sup>]</b>
Tlakové zásobníky	8	44
Beztlakové zásobníky	8	32
Kryogénny zásobník	8	32
Procesné zariadenie	8	32
Zariadenia nakladania /vykladania	8	-

### **Výber vhodných kritérií pre uvažované látky**

Návrh vhodných kritérií na približné určenie vzdialeností účinkov, ktorá určí pravdepodobnú úroveň tepelnej radiácie ako príčiny sekundárných havárií je dosiahnutá čo sa týka :

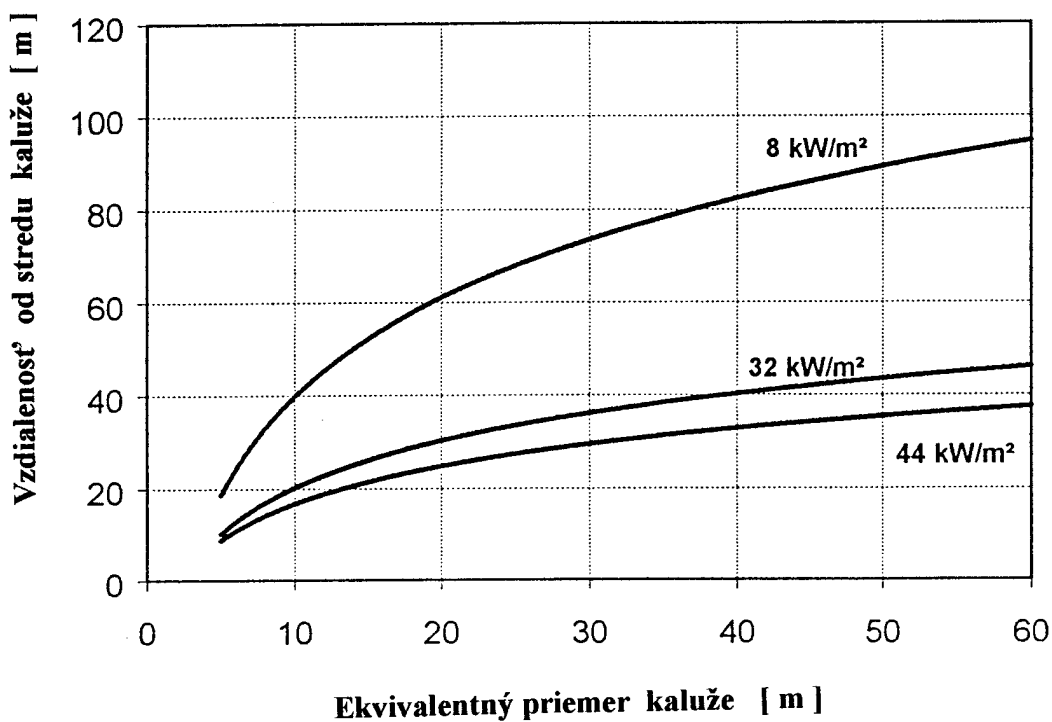
- ľahkých uhľovodíkov
- oxidov a látok obsahujúcich dusík ( etylén oxid, propylén oxid, akrylonitril.....)
- alkoholy a aldehydy ( metanol, zmes formaldehydu s alkoholom),
- benzíny,
- palivové oleje

V praxi výber vhodných kritérií v spojení na kategórie látok , ktoré majú fyzikálno-chemické vlastnosti bližšie na tieto látky je reálne komplikované pre charakteristiku pool fire.

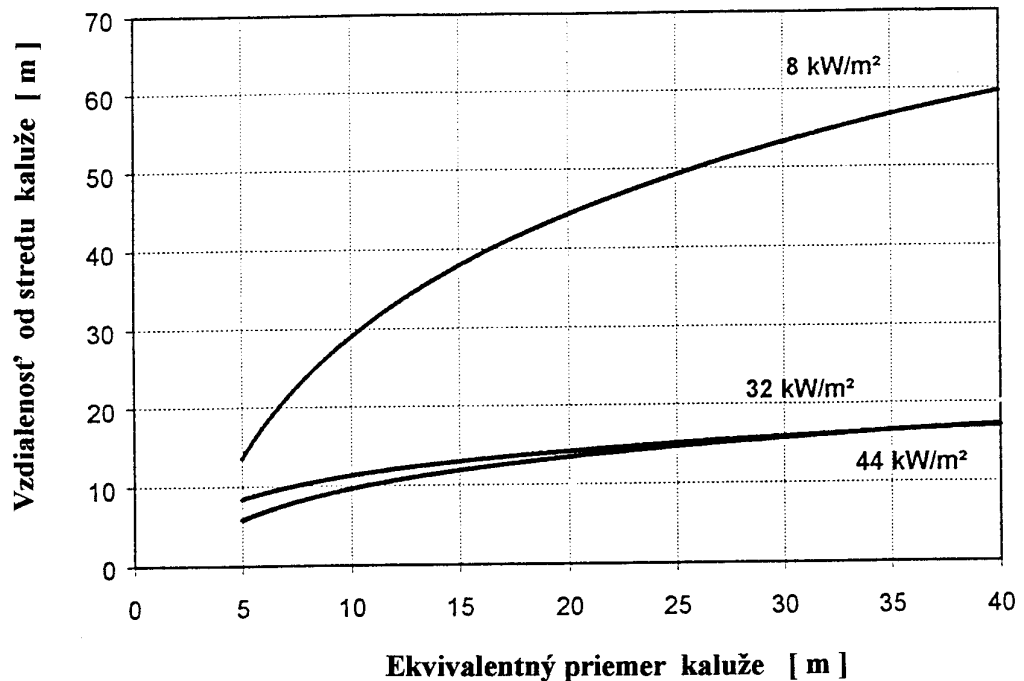


### Stanovenie vzdialenosti, kde je úroveň tepelnej radiácie dosiahnutá.

Príklady zhodných kritérií, čo sa týka odhorievania z kaluže ľahkých uhľovodíkov a benzínov sú prezentované na grafoch č. 2 a 3. Radičná úroveň sa posudzuje s ohľadom na stred kaluže.



Graf č. 2 Odhorievanie z kaluže - zhodné kritériá pre ľahké uhľovodíky



Graf č. 3 Odhorievanie z kaluže - zhodné kritériá pre benzíny

## Požiar nádrže

Požiadavky na hodnotenie možnosti vzniku a dôsledkov požiaru nádrže sú na predbežné hodnotenie rizík zhodné ako pre pool fire. Rovnako tak určenie dosahu účinkov je zhodné ako pri požari kaluže. V tomto prípade je priemer kaluže nahradený priemerom nádrže a ak je to nevyhnutné je uvažovaná aj výška plameňa.

## Výbuch nádrže

Spravidla dĺžka - "raketového" plameňa ( Jet flame ) nepresahuje 50 m [ 8 ]. Jednako ale strata toku plameňa sa zdá pomerne náhla [ 9 ], radiačný tok  $15 \text{ kW/m}^2$  je dosiahnutý

## Požiar nádrže

Požiadavky na hodnotenie možnosti vzniku a dôsledkov požiaru nádrže sú na predbežné hodnotenie rizík zhodné ako pre pool fire. Rovnako tak určenie dosahu účinkov je zhodné ako pri požiaru kaluže. V tomto prípade je priemer kaluže nahradený priemerom nádrže a ak je to nevyhnutné je uvažovaná aj výška plameňa.

## Výbuch nádrže

Spravidla dĺžka - "raketového" plameňa ( Jet flame ) nepresahuje 50 m [ 8 ]. Jednako ale strata toku plameňa sa zdá pomerne náhla [ 9 ], radiačný tok  $15 \text{ kW/m}^2$  je dosiahnutý približne 50 m od plameňa. A tak pre 50 m dlhý jet fire, približný odhad účinku je na vzdialenosť približne 100 m.

## Plameň

Z pohľadu predbežného hodnotenia rizík - účinky plameňa budú charakterizované obdobne ako požiar kaluže ( z pohľadu vlastností jednotlivých látok a ich množstiev ). Aj iné druhy reprezentatívnych havarijných scenárov môžu privodiť plameň, čo je potrebné brať do úvahy z pohľadu jednotlivých zariadení napr. jet fire, výbuch, VCE efekt a pod. Pre zásobníky na pevné produkty bude braný do úvahy aj účinok tepelnej radiácie.

**BLEVE** - Boil Liquid Expanding Vapor Explosion - výbuch pár vriacej kvapaliny.

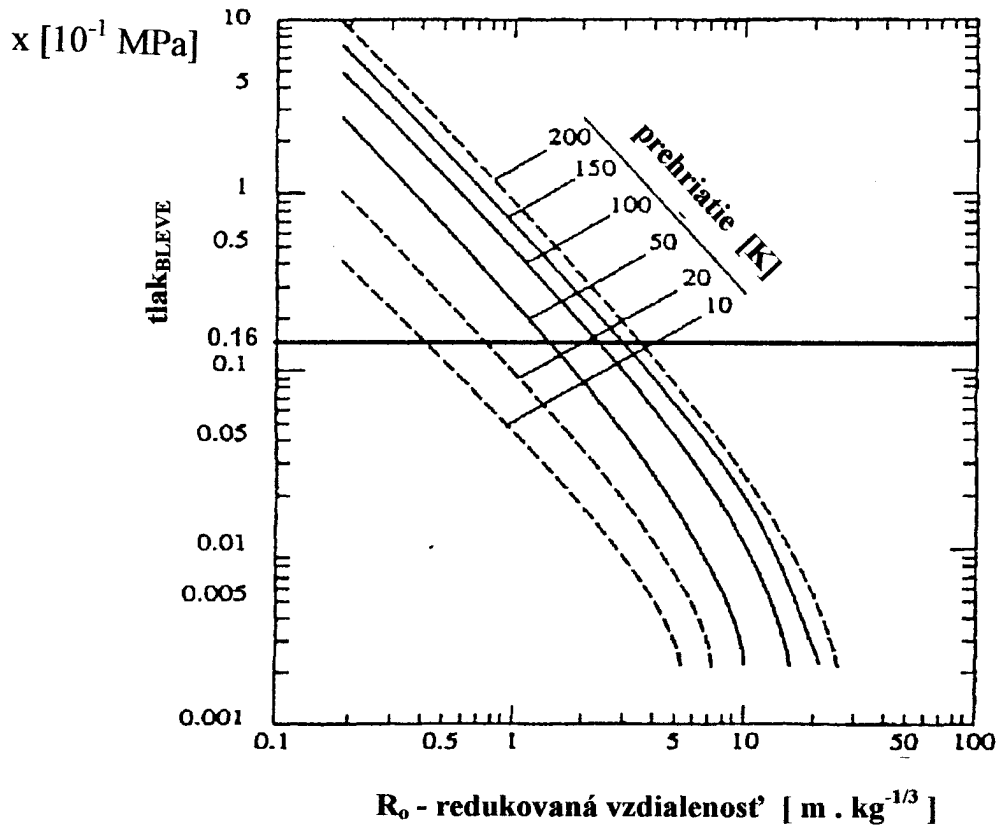
Prvým dôsledkom BLEVE je výbuch zvláštneho prejavu, vrátane rozletu trosiek častí zásobníka. Rovnako platí pre dosah účinkov tlakovej vlny hodnota hranice pretlaku 16 kPa. Odhad dosahu tlakových účinkov pre predbežné hodnotenie rizík BLEVE môže byť realizované prostredníctvom grafu č. 4, ktorý vyjadruje vzťah pretlaku  $\Delta p_1$  proti redukovanej vzdialenosti. Vykreslený zvláštny ohyb krivky spôsobuje prehriatie látky. Maximum prehriatia je rovné rozdielu medzi teplotou na ktorý tlak pár v nádrži látky bol dosiahnutý pri prasknutí tlakom a bodom varu pri atmosferickom tlaku pre danú látku. Ak je tlak pri ktorom nádoba praskla známy prehriatie môže byť vypočítané za pomoci grafu č.4 v ktorom je vyjadrená závislosť dolnej hranice tlaku pár kvapaliny oproti teplote. Ak je tlak prasknutia nádoby neznámy, musí byť vykonaný tlakový test ( môže sa vychádzať z projektovej dokumentácie a v nej stanovených parametroch). Škála bezpečných tlakov môže byť posúdená hrubým odhadom tlaku prasknutia nádoby.

Napríklad pre zásobníky na propán a bután, môže byť základ [ 7 ] tabuľka č.8

**Tabuľka č. 8**

	<b>Propán</b>	<b>Bután</b>
Tlak prasknutia [ MPa ]	1,8	1,0
Teplota pri ktorej tlak pár odpovedá tlaku prasknutia ( T, °C )	53	80
Bod varu pri atmosferickom tlaku ( T <sub>b</sub> , °C )	- 42	- 1
Prehriatie ( T - T <sub>b</sub> ) [ °C ]	95	81

Vyššie uvedenú závislosť predstavuje graf č.4 pre známe prehriatie a pre daný pretlak  $\Delta p_1$  ( 16 kPa ) - dolná hranica významného poškodenia stavby [ 10 ] a pre dosiahnutú redukovanú vzdialenosť.



Graf č. 4 BLEVE - pretlak, ktorý je zapríčinený výbuchom pár vriacej kvapaliny [ 9 ]

$$R_o = \frac{r}{(2 * W_{v1,0})^{1/3}} \text{ redukovaná vzdialenosť}$$

$r$  = vzdialenosť dosahu tlaku od epicentra [ m ]

$W_{v1,0}$  = hmotnosť pár [ kg ]

## Výbuch a projekcia "striel" fragmentov

Tabuľka č.9 udáva vzdialenosti doletov fragmentov havárií. Neprekročená hranica doletu sa zhoduje do 80 % zo "striel". Hodnoty zodpovedajúce do 100 % sú dané informatívne.

Tabuľka č. 9 udáva vzdialenosti projekcie - doletov "striel" - fragmentov samostatne 80 až 100 % "striel", ktoré prekonal vzdialenosť a hodnoty v tabuľke môžu byť interpretované nasledovne : v známych haváriách, ktoré sa reálne udiali a pri ktorých boli hodnotené dolety fragmentov 80 % vytvorených "striel" - fragmentov prešlo - preletelo vzdialenosť menšiu alebo rovnú 350 m

### Tabuľka č. 9 : Efekt vzdialeností doletu "striel" - fragmentov z jednotlivých zariadení havárií, ktoré reálne vznikli

Typ zariadenia	80 %	100 %
<b>Tlakové nádoby</b>		
<b>horizontálne zásob. ( valce )</b>		
LPG	200	1200
Etylén oxid	430	1500
Vinyl chlorid ( monomér )	170	1000
Amoniak	100	200
<b>guľové zásobníky</b>		
LPG	250	1000
Etylén oxid	500	-
Vinyl chlorid ( monomér )	250	-
Amoniak	125	-
<b>Atmosferické zásobníky</b>	100	300
<b>Procesné zariadenia</b>		
reaktory	350	600
kolóny	850	1100
kotle	130	250

V údajoch, ktoré boli k dispozícii pre guľové nádoby nie je rozdielnosť medzi látkami. Nie sú uvedené množstvá látok ani veľkosti objemu zásobníkov. Obecne guľové zásobníky vytvárajú väčšie vzdialenosti doletov "striel".

## BOIL OVER

Hodnotenie vzniku boilovru - prevretie cez ( okraj zásobníka ) je charakterizované stanovením tzv. PBO faktorom ( propensity boil over ), ktorý je možné vypočítať na základe nasledujúceho vzťahu :

$$\text{PBO} = \left[ \left( 1 - \frac{393}{\text{TBOIL}_{\text{HC}}} \right) * \left( \frac{\Delta T_{\text{boil}}}{60} \right)^2 * \left( \frac{\gamma_{\text{HC}}}{0,73} \right) \right]^{1/3}$$

kde :  $\text{TBOIL}_{\text{HC}}$  - priemerná teplota látky v zásobníku [ K ]

$\Delta T_{\text{boil}}$  - rozmedzie bodu nad 393 [ K ]

$\gamma_{\text{HC}}$  - kinematická viskozita pri 393 K [ cSt ]

Medzi známymi haváriami vysoké nebezpečenstvo - pravdepodobnosť vzniku boilovru je zaznamenávané pre látky s PBO vyšším alebo rovným 0,6 [ 10,11 ]

**Na základe definovaného krytéria v predbežnom hodnotení rizík je potrebné podrobiť hodnoteniu iba nádrže obsahujúce látky s faktorom PBO > 0,6.**

### Tabuľka č. 10 Hodnoty faktora PBO pre niektoré látky

Názov a pripomenúť, že ide o orientačné informácie parametrov látok.

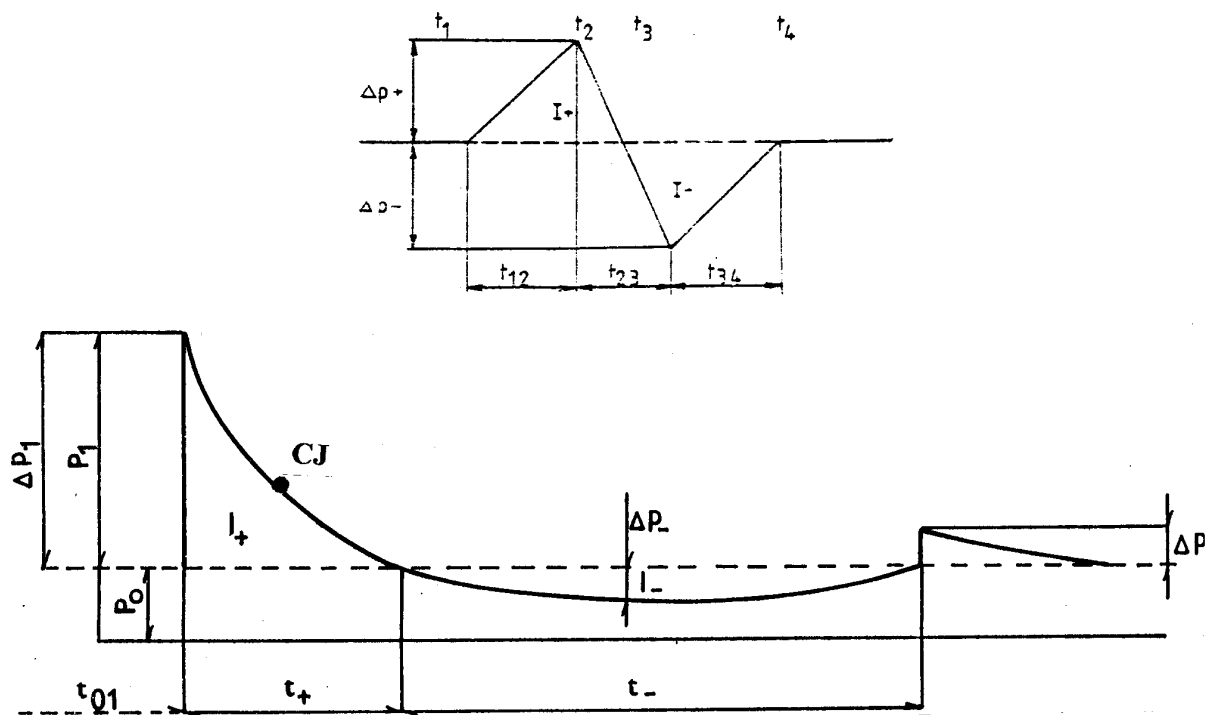
Uhľovodíky	Faktor PBO	Vznik boilovru
Ťažký surový olej	6,76	áno
Priemerný surový olej	4,21	áno
Pohonná hmota 2 s vyššou hustotou	3,48	áno
Pohonná hmota 1 s nižšou hustotou	3,03	áno
Nafta	1,20	áno
<b>Látky pod hranicou PBO = 0,6</b>		
Petrolej	0,53	nie
Nafta	0,29	nie
Benzín	- 0,25	nie

Prevretie prehriatych uhľovodíkov má významný efekt pre boilover. Polomer 85 m odhorievania z kaluže pool fire v prípade ťažkých uhľovodíkov ( ohrev zásobníkov odhorievaním z kaluže uvedeného polomeru ) je hodnotený a považovaný za stav možného vzniku boilovru.

### Parametre tlakových ( rázových ) vln.

Základné intenzitné charakteristiky vzdušných rázových vln, ktoré majú vzťah k ich deštruktívnej schopnosti sú :

- pretlak na čele vlny  $\Delta p_1$  v /kPa/, resp. /MPa/,
  - doba trvania pretlakovej fázy  $t_+$  v /ms/, výnimočne v /s/,
  - impulz pretlakovej časti rázovej vlny  $I_+$  v /Pa.s/, resp. /kPa.s/,
- ostatné charakteristiky, majúce vzťah k podtlakovej fáze tlakovej vlny sú označované so znamienkom mínus -  $p_-$ ,  $t_-$ ,  $I_-$ .



Obr. 2 Charakteristiky klasickej vzdušnej rázovej vlny, šíriacej sa vzdušným priestorom.

Reálny časový priebeh tlaku vo vzdušných rázových vlnách býva v reálnych podmienkach často, resp. prakticky vždy podstatne komplikovanejší. Je poznačený najčastejšie výskytom väčšieho počtu maxim tlaku. Tento prejav vzniká následkom odrazu rázovej vlny od rôznych objektov a v dôsledku odchýlky od ideálne vytvorenej koncentračnej „štruktúry“ geometrickej formy výbušného oblaku.

Je zrejmé, že celkový  $p(t)$  priebeh je mnoho parametrický, k úplnému popisu tlakovej vlny by bolo potrebné poznať charakteristiky  $p^+$ ,  $p^-$ ,  $I^+$ ,  $I^-$ ,  $t^+$ ,  $t^-$ , navyše aj časové úseky  $t_1 - t_2$  - doba vzostupu pretlaku do maximálnej hodnoty,  $t_2 - t_4$  - časový úsek medzi maximom pretlaku a podtlakom, prípadne  $t_4 - t_5$  doba vyrovnaní podtlaku do východiskovej hodnoty atmosferického tlaku.

Z technického hľadiska väčšinou postačuje definovať hodnoty  $p^+$ ,  $p^-$ , ďalej  $I^+$ ,  $I^-$ , a  $t^+$ ,  $t^-$ .

Rázová vlna, ktorej tlakové parametre sú vo forme deštrukčných prejavov na mieste havárie, vzniká najmä pri sférickej detonácii, pričom má značný dosah. Pri výpočte pôsobiacich parametrov rázovej vlny na zariadenia - objekty je nevyhnutné rešpektovať vzťah doby pôsobenia pretlakovej fázy  $t^+$  a periódy kmitov objektu - konštrukcie T. Maximálny tlak rázovej vlny v tomto prípade je doporučované stanovovať hodnotou efektívneho detonačného tlaku - deštrukčného tlaku, pričom kritériom deštrukcie je stav pri ktorom tlak na fronte vlny presahuje charakteristickú veličinu deštrukčného tlaku. Pritom hodnoty deformácie, pnutia, rýchlosti pohybu súčastí objektu (konštrukcie), sú úmerné maximálnemu tlaku vlny  $\Delta p_1$ . Budeme uvažovať prípad vzniku deštrukcie pri reakčnej premene generujúcej rázovú vlnu.

Obrázok č. 2 charakterizuje stanovenie pretlaku v čele tlakovej vlny  $\Delta p_1 = p_1 - p_0$ , kde  $p_0$  je atmosferický tlak,  $p_1$  - absolútna hodnota pretlaku v čele rázovej vlny. Sú používané rôzne vzťahy, ktoré sú závislé na redukovanej vzdialenosti  $R_0$  definovanej :

$$R_0 = r / W^{1/3} \quad / \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1/3} /$$

kde  $r$  - je vzdialenosť od centra reakčnej premene /m/ (rozvoja tlakového pôsobenia, dosah ktorého hodnotíme - bližšie vysvetlenie je v nasledujúcej časti textu)

$W$  - je ekvivalentná hmotnosť v prepočte na TNT - trinitrotoluén (odpovedajúca hmotnosť plynu v zmesi - energia).

Pokiaľ udávame  $W$  pre vzdušný výbuch a chceme poznať pretlak rázovej vlny pri pozemnom výbuchu, je treba vykonať transformáciu

$$R_0 = r / 0,5 W^{1/3} \quad / \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1/3} /$$

Nižšie uvádzané vzťahy majú len dokumentačný charakter, aby bola zrejmá podstata z ktorej sa vychádza pre definovanie postupu získavania údajov z miesta havárie.

Overené vzťahy sú :  $\Delta p_1 / \text{kPa} /$

9.

$$\Delta p_1 = 0,75 \times 10^{-1} \frac{E^{1/3}}{R - H} + 2,2 \times 10^{-2} \frac{E^{2/3}}{R^2 - H^2} + 5,7 \times 10^{-3} \frac{E}{R^3 - H^3}$$

Uvedený vzťah platí pre  $10 H \geq R \geq 2H$  (platnosť nerovnosti bola preverovaná výpočtom a experimentálne, pričom nebol potvrdený celý rozsah platnosti).

kde



E - je energia reakčnej premeny (W - je ekvivalentná hmotnosť v prepočte na TNT - trinitrotoluén - odpovedajúca hmotnosti plynu v zmesi - energia).

R - je vzdialenosť od centra výbuchu ( odpovedá r [ m ] )

H - výška oblaku( meraná po predpokladané centrum reakčnej premeny - maximum tlakového pôsobenia ).

Najčastejšie používaný polynóm pre pozemný výbuch

$$\Delta p_1 = 93,2/R_o + 383/R_o^2 + 1275/R_o^3$$

platí pre  $2 < R_o < 300$

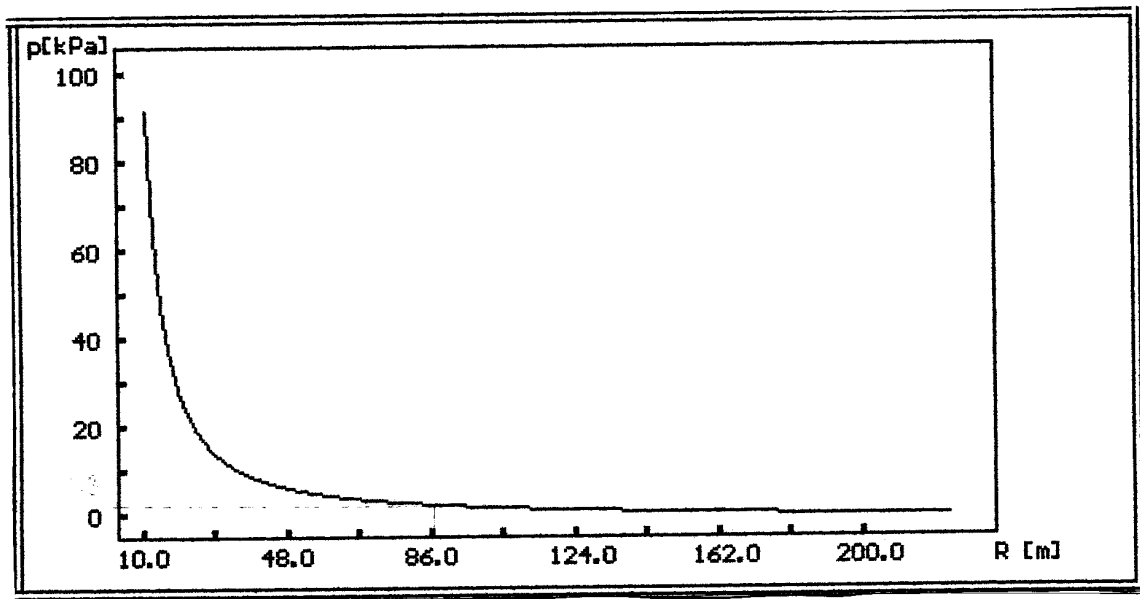
## Príklad modelových scenárov VCE

### Hodnotenie tlakových účinkov po vzniku výbuchovej reakčnej premeny na úrovni explozívneho horenia

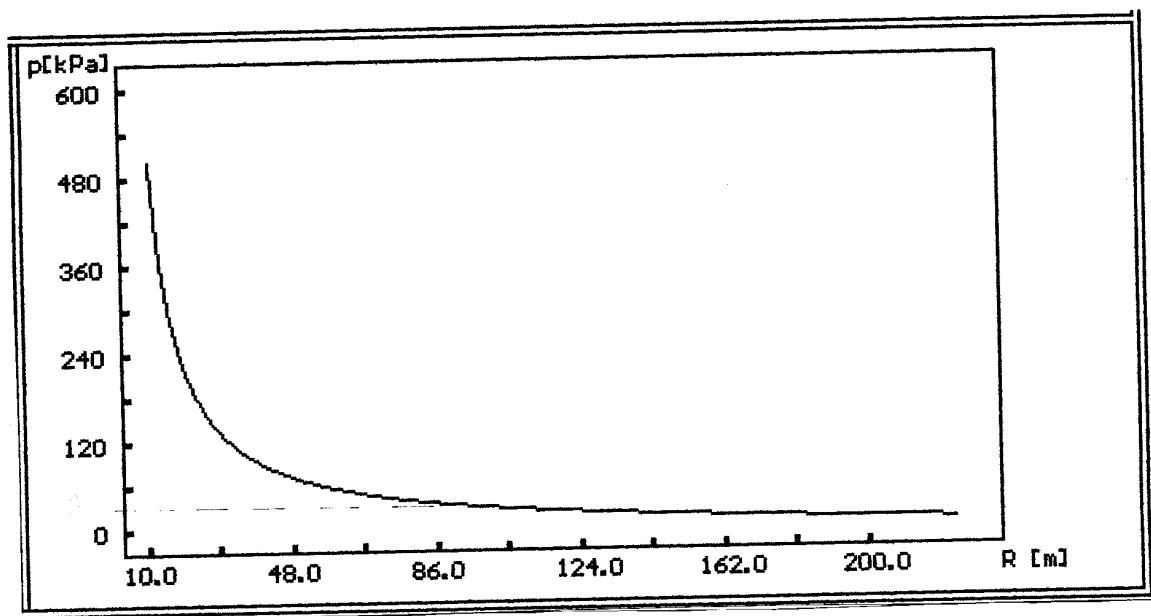
Tento krok hodnotenia vychádza z modelových stavov VCE pri ktorých boli charakterizované vzdialenosti s dosahom oblaku pár komponentov uhl'ovodíkov v zmesi so vzduchom v koncentráciách, ktoré naplňajú hodnotu koncentračného obsahu na úrovni dolnej medze výbušnosti. Je potrebné poznamenať, že množstvo zreagovanej zmesi pár komponentov uhl'ovodíkov so vzduchom a teda bezprostredný obsah komponentu je významne nižší. Hovoríme o stupni konverzie kvapalnej fázy komponentu do oblaku. Tento sa pohybuje v rozmedí 2 až 5 % z uvoľneného množstva komponentu. Preto nižšie uvedené grafické priebehy poklesu tlaku vzdušnej tlakovej vlny vychádzajú z pomerne malého množstva komponentu, ktoré podľahne výbuchovej reakčnej premene. Obecne zmes pár benzínových komponentov so vzduchom spravidla podľahne výbuchovej reakčnej premene typu explozívneho horenia, čím nie sú vytvorené predpoklady pre najvyššiu formu výbuchovej reakčnej premeny – detonácie.

Vzhľadom na vytvorený reálny priebeh výtoku benzínových komponentov – uvoľnenie prúdu kvapalnej a dispergovanej fázy do voľného priestoru z potrubia rozmerove rozstrek kvapalnej fázy bude naplňať parametre jednak vzdušného a pozemného výbuchu. Rozdiel spočíva v tom, že vzdušným výbuchom dosiahneme generovanie tlakového prejavu na definovanú vzdialenosť s polovičným množstvom komponentu obsiahnutého v oblaku zmesi pár komponentov so vzduchom v porovnaní s výbuchom pozemným. S oboma variantmi je nevyhnutné počítať z dôvodu, že potrubné systémy blendingu autobenzínov sú uložené vo výške 0,8 m a obecne výtok komponentov môže prebiehať po celom obvode potrubia.

Nižšie uvedené poklesy tlaku vzdušnej tlakovej vlny boli získané prostredníctvom softwarového produktu, ktorého matematický model bol experimentálne overený a limitovaný pre rozsahy redukovaných vzdialeností. Reálne pôsobiaci pretlak na krivke poklesu so vzdialenosťou je v tzv. CJ bode, ktorý je približne v strede fázy významného poklesu tlaku. Výpočty poklesu tlaku vo vzdušnej tlakovej vlně generovanej výbuchovou reakčnou premenou na úrovni explozívneho horenia boli riešené prostredníctvom obsahu výbuchového tepla pár benzínu a neboli členené na zložky komponentov (bután, pentán atď.) z dôvodu pomerne malých rozdielov v hodnotách výbuchového tepla. Presnosť hodnotenia tlakových prejavov v pomerne zložitej geometrii nie je ovplyvnená týmto zjednodušením.



Graf č. 5 Pokles tlaku vzdušnej tlakovej vlny so vzdialenosťou pri pozemnom výbuchu oblaku zmesi pár benzínu so vzduchom s obsahom 10 kg.



Graf č. 6 Pokles tlaku vzdušnej tlakovej vlny so vzdialenosťou pri vzdušnom výbuchu oblaku zmesi pár benzínu so vzduchom s obsahom 10 kg.

Príklad analýzy tlakových prejavov po vzniku výbuchovej reakčnej premeny zmesi pár benzínu so vzduchom vychádza z hodnotenia výbuchovej reakčnej premeny na úrovni explozívneho horenia v polohe pozemného výbuchu ( graf. č. 5 a vzdušného výbuchu ( graf č.6). Oba posledne uvedené grafy znázorňujú pokles tlakovej vlny v priestore ( za predpokladu, že nedochádza k odrazu primárnej tlakovej vlny ). Graf č.5 znázorňuje pokles tlakovej vlny so vzdialenosťou pri pozemnom výbuchu , pričom z príkladu je zrejmé, že vo vzdialenosti 86 m od epicentra výbuchu je možné očakávať pretlak 3,3 kPa, čo je hodnota pretlaku, ktorá nemá vážnejšie účinky na okolie. Z grafu č. 6 je zrejmé, že pri poklese tlaku v tlakovej vlně generovanej pri vzdušnom výbuchu, pri tom istom obsahu pár benzínu v oblaku ( 10 kg ), hodnota pretlaku v zhodnej vzdialenosti od epicentra výbuchu t.j. 86 m je 30 kPa. Účinky tohto pretlaku v porovnaní s účinkami pretlaku 3,3 kPa je možné zhodnotiť na základe tabuľky č. 3

Vyššie uvedený príklad dokumentuje postup ako v priestoroch s technologickou zástavbou hodnotiť maximálne dosahy tlakových účinkov na okolie v zmysle predbežného hodnotenia rizík kumulatívnych a synergických efektov na okolitú technologickú zástavbu až po parametre účinkov na okolité podniky resp. zariadenia. Detailnejší prístup k analýze tlakového pôsobenia bude vykonaný v analýze rizík, kde by mali byť hodnotené aj odrazené tlaky.

## Príklad modelových scenárov pre BLEVE

### Tepelné účinky

K charakteristike tepelných účinkov po vzniku havarijných stavov - úniku komponentov benzínu resp. benzínov sme pristupovali v určitom priblížení k stavom vzniku BLEVE efektu ( Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion – výbuch pár vriacej kvapaliny ). Ide len o priblíženie, pretože naplniť obsah BLEVE v potrubnom systéme je možné definovať len tak, že po vzniku kaluže na betóne dôjde jej zapáleniu a intenzívny plameň pôsobí na časť pretlakového potrubia, ktoré nie je narušené. Prudké uvoľnenie média napr.: na spoji potrubí po intenzívnom vyžíhaní môže vytvoriť uvoľnenie časti média v podobe JET fire ( raketový plameň ) alebo v podobe fireballu ( ohnivá guľa ). Pre aspoň približné ohodnotenie sme vykonali hodnotenie vzniku a účinkov fireballu v množstve uvoľneného média 20 kg a 40 kg média.

### Základné matematické vzťahy pre charakteristiku BLEVE

Pitblado ( TNO ) uvádza 13 publikovaných korelácií pre výpočet priemeru fireballu ako funkciu celkového hmotnostného uvoľnenia LPG. Vzťah TNO ( Pietersen a Huerta ) poskytuje dobrý celkový záber sledovaných údajov, ale v zdroji údajov je pomerne veľký rozptyl. Ako najvyprofilovanejšie vzťahy pre charakteristiku parametrov BLEVE je možné prezentovať :

$$\text{maximálny priemer fireballu : } D_{\max} = 6,48 \times M^{0,325} \quad (\text{ m })$$

$$\text{doba života fireballu : } t_{\text{BLEVE}} = 0,825 \times M^{0,26} \quad (\text{ s } ) \quad ( t_{\text{BLEVE}} = 0,258 \times M^{0,349} )$$

$$\text{stred výšky fireballu : } H_{\text{BLEVE}} = 0,75 \times D_{\max} \quad (\text{ m })$$

$$\text{počiatočný základ úrovne priemeru fireballu : } D_{\text{initial}} = 1,3 \times D_{\max} \quad (\text{ m })$$

M - v kg

Vzdialenosť odpovedajúca smrteľnému pásmu ( priemerná mortalita 1 % z ohňa ) :

$$D_S = 3,12 \times M^{0,425} \text{ ( m )}$$

Vzdialenosť odpovedajúca pásmu pre významné opálenie :

$$D_{OP} = 4,71 \times M^{0,425}$$

posledné dva vzťahy platia pre objemy od 120 do 500 m<sup>3</sup>, vzťahy boli uplatnené pri havárii v Mexiku City a Fejzine

Tieto vzťahy nezahrňujú hodnotu množstva kyslíka pre spaľovací proces. Toto množstvo sa mení a môže výrazne ovplyvňovať veľkosť fireballu. Počiatočný priemer fireballu sa používa na opis krátkeho trvania základnej úrovne hemisférického stavu do stavu pokiaľ hemisféru nezdvihnú vztlakové sily do určitej výšky.

Tepelná radiácia produkovaná ohniskom fireballu je definovaná :

$$Q_R = \tau E F_{21}$$

kde

$Q_R$  - je tepelná radiácia získaná čiernym povrchom ohniska ( kW/m<sup>2</sup> )

$\tau$  - transmisivita ( bezrozmerná vel.)

$E$  - povrch emitujúci tepelné žiarenie ( kW/ m<sup>2</sup> )

$F_{21}$  - faktor pohľadu ( bezrozmerná vel.)

Atmosferická transmisivita „ $\tau$  „ je významný faktor, nakoľko tepelná radiácia je absorbovaná a pohlcovaná atmosférou. tento fakt spôsobuje redukciu radiácie pôsojacej na sledovaný terč. Niektoré modely termálnej radiácie ignorujú tento účinok - redukciu. Prijímajú predpoklad, že hodnota  $\tau = 1$  pre prenos tepelnej radiácie. Pre väčšie vzdialenosti ( nad 20 m ) kde môže absorbcia tepelnej radiácie predstavovať 20 až 40 % ignorovanie redukcie tepelnej transmisivity výrazne nadhodnotí hodnotu dosiahnutej tepelnej radiácie na definovanú vzdialenosť. Simpson ( 1984) a Pitblado ( 1986), Pietersej a Huerta ( 1985) doporúčujú použiť teoretický vzťah pre vplyv atmosferickej vlhkosti :

$$\tau = 2,02 ( P_w \cdot X )^{-0,09}$$

kde  $\tau$  - je transmisivita tepelnej energie atmosférou ( časť prenesenej energie od 0 do 1),

$P_w$  - je parciálny tlak vodných pár ( N/m<sup>2</sup>),

$X$  - je dĺžka dráhy - vzdialenosti od plameňa.

Príklad :

**20 kg propánu ( LPG ) vo fireballe**

maximálny priemer fireballu :  $D_{\max} = 17,15 \text{ ( m )}$

doba života fireballu :  $t_{\text{BLEVE}} = 1,79 \text{ ( s )}$

stred výšky fireballu :  $H_{\text{BLEVE}} = 12,86 \text{ ( m )}$

počiatočný základ úrovne  
priemeru fireballu :  $D_{\text{initial}} = 22,30 \text{ ( m )}$

Vzdialenosť odpovedajúca smrteľnému pásnu ( priemerná mortalita 1 % z ohňa ):

$$D_S = 11,14 \text{ ( m )}$$

Vzdialenosť odpovedajúca pásnu pre významné opálenie obsluhy :

$$D_{\text{OP}} = 16,82 \text{ ( m )}$$

#### **40 kg propánu ( LPG ) fireballe**

maximálny priemer fireballu :  $D_{\max} = 21,49 \text{ ( m )}$

doba života fireballu :  $t_{\text{BLEVE}} = 2,60 \text{ ( s )}$

stred výšky fireballu :  $H_{\text{BLEVE}} = 16,11 \text{ ( m )}$

počiatočný základ úrovne  
priemeru fireballu :  $D_{\text{initial}} = 27,93 \text{ ( m )}$

Vzdialenosť odpovedajúca smrteľnému pásnu ( priemerná mortalita 1 % z ohňa ):

$$D_S = 14,96 \text{ ( m )}$$

Vzdialenosť odpovedajúca pásnu pre významné popálenie obsluhy :

$$D_{\text{OP}} = 22,56 \text{ ( m )}$$

## Literatúra

- 1/ Explosion in the Process Industries. Institution of Chemical Engineers, Rugby, Warwickshire CV21 3HQ, UK - 1994.
- 2/ Répertoire des produits dangereux - Tome 1. Guide orange des sapeurs-pompiers Genevois, 2<sup>ème</sup> édition, 2000.
- 3/ Mudan K.S. Thermal Radiation Hazards from hydrocarbon Pool Fires, Prog. Energy Combustion Sci., Vol.10, pp.59-80, 1984.
- 4/ Levert J.M., Delvosalle C., Anstett P.A., Benjelloun F., Pons P., Verriest C. Méthodologie d'analyse des effets domino en milieu industriel - Rapport final -Ministère de l'Emploi et du travail - Administration de la Sécurité du Travail - Inspection technique - ( Contrat de gré á gré CRC/WPS/07/95) - Faculté Polytechnique de Mons - Juillet 1996.
- 5/ Wiekema B.J., Vapor Cloud Explosions - an analysis based on accidents - Journal of Hazardous Materials, 8, pp.295 - 328, 1994.
- 6/ Baker Q.A., Tang M.J., Ephraim A.S., Silva G.J. Vapor Cloud Analysis, Process Safety Progress ( Vol.15, n<sup>o</sup>2), Summer, pp.106 - 109, 1996.
- 7/ Pietersen C.M. Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City, 19 Nov.1984.
- 8/ Lees F.P., Loss prevention in the process industries - Butterworth - Heinemen, 1996 ( 2<sup>nd</sup> edition).
- 9) Hoftijzer G. Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material ( Liquids and Gases), Part II - Chapter 6 : Heat Radiation. Report of the committee for the Prevention of Disasters, First Edition 1979 -( The Yellow Book : TNO ).
- 10) Mavrothalassitis G. Les accidents d'origine thermique : causes et conséquences - Chair AIB-Vincote 1996 - Maitrice des risques industriels majeurs - Préventio des effets thermoques et mécaniques - Faculté Polytechnique de Mons ( Belgique ) - 7 mars 1996.
- 11) Levert J.M., Delvosalle C., Benjelloun F. SEVEX - Les industries á risque majeur en Région Wallonne ( Rapport de Synthèse, Volume 1) - Ministère de la Région Wallonne - Faculté Polytechnique de mons- Janvier, 1992.

***Príručka pre klasifikáciu a stanovenie priorít rizík  
vyplývajúcich zo závažných havárií vo výrobných a príbuzných  
priemyselných odvetviach***

*Spoločný program posudzovania a riadenia zdravotných a environmentálnych  
rizík vyplývajúcich z energetiky a iných komplexných priemyselných systémov*

*Spoločne pod záštitou IAEA, UNEP, UNIDO, WHO*

Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (IAEA)



## PREDSLOV

Základnou podmienkou zvyšovania životnej úrovne je vo všetkých krajinách priemyselný rozvoj. Vyžaduje to budovanie rafinérií, elektrární a iných veľkých priemyselných komplexov. Avšak zdravie ľudí môže byť priamo alebo nepriamo pravidelným vypúšťaním znečisťujúcich látok z priemyselných zariadení ovplyvnené. Životné prostredie je nepriaznivo ovplyvnené emisiami z elektrární a akumuláciou priemyselných odpadov. Vypúšťanie toxických látok môže mať nedozerne následky pre zdravie i životné prostredie. Rad závažných priemyselných havárií v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch vyzdvihol potrebu lepšieho riadenia rizík pri bežných priemyselných činnostiach a pri haváriách.

Snahy zaoberať sa s týmito rizikami boli v minulosti zriedkavé, ak vôbec nejaké boli. Niektoré podniky sú dobre zariadené na riadenie environmentálnych nebezpečí, kým iné nie sú. Niektoré štúdie o riadení rizík sa sústredili na nebezpečenstvá pre zamestnancov a niektoré na nebezpečia pre životné prostredie - napr. znečistenie, kým iné sa sústredili na havarijné plánovanie pre prípad závažnej havárie. Len veľmi málo štúdií zohľadňovalo všetky riziká.

Ak sa riziká dajú komplexne posudzovať a riadiť, potom sa zriedkavé zdroje dajú efektívnejšie využiť a priemyselný rozvoj je ľahší. Najmä rozvojové krajiny môžu veľa získať zo zavedenia vhodnej metódy riadenia rizík spojených s priemyselným rozvojom.

IAEA, Environmentálny program Organizácie spojených národov (UNEP), Organizácia pre priemyselný rozvoj Organizácie spojených národov a Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) sa rozhodli v roku 1986 spojiť svoje sily s cieľom používať integrovanú komplexnú metódu riadenia rizík. Spoločný program spája odborníkov a odborné znalosti z oblastí zdravia, životného prostredia, priemyslu a energetiky - životne dôležitých oblastí pre efektívne riadenie rizík.

Účelom Spoločného programu je vytvoriť komplexnú metódu pre identifikáciu, stanovenie priorít a minimalizáciu priemyselných rizík v danej zemepisnej oblasti. Toto je jeden z radu dokumentov, ktoré sú v mene štyroch účastníckych organizácií OSN určené na publikáciu.

## ÚVOD

Spoločný program posudzovania a riadenia zdravotných a environmentálnych rizík vyplývajúcich z energetiky a iných komplexných priemyselných systémov sa zameriava na podporu a uľahčenie implementácie integrovaného posudzovania a riadenia rizík vo veľkých priemyselných oblastiach. V rámci tejto iniciatívy sa podarilo zhromaždiť postupy a metódy posudzovania environmentálnych a zdravotných rizík, transfer poznatkov a skúseností pri aplikácii týchto postupov a metód a pri implementácii integrovanej metódy riadenia rizík medzi krajinami.

Program bol zabezpečený štyrmi organizáciami OSN: IAEA, Environmentálny program Organizácie spojených národov (UNEP) v rámci programu Povedomie a pripravenosť na nebezpečenstvá na miestnej úrovni (APELL), Organizácia pre priemyselný rozvoj Organizácie spojených národov (UNIDO) a Svetová zdravotnícka organizácia (WHO).

Organizácie OSN, ktoré prevzali záštitu nad týmto programom, boli už niekoľko rokov zapojené do aktivít zameraných na posudzovanie a riadenie environmentálnych a zdravotných rizík, na prevenciu závažných havárií a na pripravenosť núdzové stavy. Táto príručka vznikla na základe skúseností z týchto činností s cieľom pomôcť pri klasifikácii a stanovení priorít rizík vo veľkých priemyselných oblastiach tak, aby mohlo byť na základe priorít vykonané podrobné posúdenie rizík. Je to v súlade s potrebou optimalizovať alokáciu zdrojov pri procesoch posudzovania a riadenia rizík.

Návrh príručky bol v obmedzenom rozsahu rozoslaný na pripomienkovanie a validáciu navrhnutých metód. Je treba zdôrazniť, že práca s hrubými odhadmi a priemernými scenármi havárií, ako sú v tejto metóde použité, nemôže dať odpoveď na otázky, ako je napríklad maximálny počet ľudí, ktorí môžu byť pri havárii usmrtení alebo zranení, alebo maximálna vzdialenosť, v ktorej sa ešte prejavia účinky. Metóda môže byť napríklad užitočná pri stanovení priorít opatrení v oblasti havarijnej pripravenosti, ale táto metóda je menej užitočná pri vypracúvaní konkrétneho havarijného plánu pre (vybranú) priemyselnú činnosť.

Niekoľko krajín dalo svoje pripomienky v období august 1991 až máj 1992 (Kolumbia, India, Taliansko, Holandsko, Švajčiarsko, USA), ktoré boli v tejto správe zohľadnené. Výsledok je tento konečný technický dokument.

Tento dokument je v skutočnosti treťou generáciou rankingových (zoraďovacích) metód. Metódou prvej generácie je inventarizačný postup, ktorý vyvinul D. van den Brand pre provinciu Južné Holandsko a je dostupná len v Holandsku. Metódu druhej generácie na objednávku vyvinula TNO Environmental and Energy Research, Holandsko a vychádzala prevažne z myšlienok D. van den Branda, predstaviteľa vládneho orgánu v Holandsku. Táto metóda druhej generácie bola preložená do niekoľkých jazykov a volá sa Sprievodca nebezpečných priemyselných činností (The Guide to Hazardous Industrial Activities). Súčasný dokument predstavuje metódu tretej generácie a hoci využíva veľa rovnakých technických údajov, má svoje vlastné zameranie a rôzne dôležité dodatky, ako aj takzvaný metódu "krok za krokom", ktorá sa predtým nepoužívala.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	5
1.1. Prehľad .....	5
1.2. Rozsah príručky .....	5
1.3. Oblasti použitia .....	6
2. NÁČRT METÓDY A POSTUP .....	7
3. KLASIFIKÁCIA TYPOV ČINNOSTÍ A ZOZNAMY .....	9
4. URČENIE DÔSLEDKOV ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ NA ĽUDÍ .....	16
4.1. Príklad .....	25
5. URČENIE PRAVDEPODOBNOSTÍ ZÁVAŽNEJ HAVÁRIE V PRÍPADE FIXNÝCH ZARIADENÍ .....	26
5.1. Príklad .....	30
6. URČENIE PRAVDEPODOBNOSTÍ ZÁVAŽNEJ HAVÁRIE V PRÍPADE PREPRAVY NEBEZPEČNÝCH LÁTOK .....	31
6.1. Príklad .....	36
7. URČENIE SPOLOČENSKÉHO RIZIKA .....	36
7.1. Príklad .....	37
8. STANOVENIE PRIORÍT RIZÍK .....	38
9. POZNÁMKA K IMPLEMENTÁCII .....	39
PRÍLOHA I: ZOZNAM LÁTOK .....	40
PRÍLOHA II: DODATOČNÉ PODKLADY .....	47

# 1. ÚVOD

## 1.1. PREHLAD

V rozvinutých i rozvojových ekonomikách existuje rastúca potreba, aby bolo zabezpečené to, že riziká pre ľudí, vlastníctvo a životné prostredie vyplývajúce z umiestnenia a prevádzky potenciálne nebezpečných a znečisťujúcich priemyselných podnikov a súvisiacich činností, sú riadne posudzované a riadené. Integrácia bezpečnostných a rozvojových aspektov do zohľadnenia spoločenských a hospodárskych úžitkov pre spoločnosť je v záujme väčšiny vlád. Rovnako existuje potreba zabezpečiť účinné a optimálne rozdelenie obmedzených zdrojov v procesoch posudzovania a riadenia rizík. Z tohto hľadiska sa stáva klasifikácia a stanovenie priorít rôznych rizík pre ďalšie podrobné posudzovanie záležitosťou rastúceho významu.

Hlavným cieľom tejto príručky je prezentovať celkovú metódu a súvisiace postupy pre stanovenie priorít v rámci rôznych zdrojov rizika s cieľom zamerať sa na podrobné posudzovanie na základe priorít rizík.

## 1.2. ROZSAH PRÍRUČKY

- (a) Metódy a postupy načrtnuté v tejto príručke sa aplikujú na riziká vyplývajúce zo závažných havárií vo fixných zariadeniach nakladajúcich s, skladujúcich a spracúvajúcich nebezpečné látky s dôsledkami mimo zariadení a pri preprave nebezpečných látok cestnou, železničnou, potrubnou a vnútrozemskou vodnou dopravou. Zohľadňovanými rizikami sú zdravotné riziká vyplývajúce z požiarov, explózií a únikov toxických látok za hranice nebezpečných zariadení. Riziká pre zamestnancov nie sú zohľadnené. Riziká vyplývajúce z havárií pre prírodné prostredie tiež nie sú zohľadnené.
- (b) Pojem "riziko" sa pri interpretácii príručky definuje z hľadiska dôsledkov i pravdepodobností neželaných následkov (nebezpečných udalostí). Individuálne riziko úmrtia je definované ako pravdepodobnosť toho, že za rok zomrie jeden člen verejnosti v dôsledku vystavenia sa účinkom činnosti. Spoločenské riziko je definované ako vzťah medzi počtom usmrtených ľudí počas jednej havárie a pravdepodobnosťou toho, že toto číslo bude prekročené. Klasifikačné schéma uvedená v tejto príručke sa vzťahuje na koncept spoločenského rizika, hoci bol opísaný len hrubý graf charakteristík skutočného spoločenského rizika.
- (c) Vstupy použité pri stanovení dôsledkov havárií uvedených v tejto príručke sú také, že maximálne dôsledky by mohli byť väčšie ako opísané. Dôsledky a pravdepodobnosť scenárov, pomocou ktorých sa dôsledky stanovia, sa vzťahujú na seba. Stanovenia dôsledkov vychádzajú z priemerných poveternostných podmienok a 100 % -nej úmrtnosti v oblasti definovanej na základe určitých kritérií (napr. požiare, explózie).

Neistoty pri použitých kritériách (napr. hodnoty  $LC_{50}$ ), ako aj relatívne obmedzený vplyv niektorých daných účinkov v zasiahnutej oblasti (napr. tepelné žiarenie a pretlak v dôsledku explózií oblakov pár) vedú k hrubým odhadom účinkov, ktoré boli vybrané s cieľom čo najvhodnejšie a najlogickejšie porovnať riziká rôznych priemyselných činností.

### 1.3. OBLASTI POUŽITIA

Veľké priemyselné oblasti (pozri Obr. 1) zahŕňajú veľké množstvo zdrojov rizík a činností rôznej povahy a rozsahu. Tieto zdroje môžu zahŕňať činné výrobné podniky, sklady, prepravné činnosti, atď. To isté sa týka úrovne jednotlivého podniku, kde existuje veľký počet zdrojov rizika rôznej veľkosti.

V ideálnom prípade by kumulatívne posudzovanie rizík malo zahŕňať podrobnú analýzu nebezpečia a kvantitatívne posudzovanie rizík všetkých priemyselných zariadení a sprievodných činností. Avšak v mnohých prípadoch, z dôvodu obmedzených zdrojov a nedostatku času, je potrebné predbežné hodnotenie rôznych rizík, aby sa dalo určiť, ktoré činnosti by mali byť podrobené podrobnému hodnoteniu rizík a kde by mali byť zdroje umiestnené, aby sa dosiahol maximálny úžitok.

Hlavné predpoklady tejto metódy sú:

- Pri určovaní pravdepodobností a dôsledkov havárií boli použité len najdôležitejšie premenné (napr. hustota obyvateľstva, bezpečnosť dopravy, frekvencia nakladania/vykladania).
- Posudzovanie dôsledkov a pravdepodobností bolo vykonané prostredníctvom použitia kategórií, ktoré sa navzájom líšia jedným stupňom škály.

Predpoklady kritérií úmrtnosti sú

- Na území, kde sa fyzikálne a toxické účinky odhadujú na 50 - 100 % úmrtnosť, je úmrtnosť 100 %.
- Mimo tohto územia sa nepočíta so žiadnym úmrtím.
- Zmierňujúce faktory závisia na použitej látke.

Predpoklady výpočtu dôsledkov sú:

- Zohľadnenie troch typických kategórií účinkov: kruhový (napr. výbuch), polkruhový (napr. ťažký mrak), predĺžený (napr. disperzia).
- Účinky vo vzdialenosti do 10 000 m.
- Látkové kategórie pre horľavé, výbušné a toxické látky, je potreba až päť podkategórií (pre toxické látky).
- Výpočty pre rôzne činnosti vzťahujúce sa k spracovaniu, uskladneniu a preprave látok.

Predpoklady výpočtu pravdepodobností sú:

- Priemerné pravdepodobnosti zlyhaní vychádzajú z historických štatistík.
- Korekčné koeficienty sa vzťahujú na rozdiely medzi priemyselnými činnosťami.
- Vývoj metódy za použitia konceptu "indexu pravdepodobnosti)" (pozri kapitolu 5)

Metóda rozlišuje medzi rizikami vyplývajúcimi z priemyselných činností, ktoré sa môžu líšiť do jedného stupňa škály.

**Metódy a výsledky uvedené v tejto príručke sa môžu použiť s cieľom:**

- (a) poskytnúť predbežný generalizovaný kvantitatívny prehľad rôznych rizík vo veľkých priemyselných oblastiach, vychádzajúc z konceptu (zdravotného) spoločenského rizika;
- (b) umožniť zoradenie rôznych zdrojov rizika pre ďalšiu podrobnú analýzu.

**METÓDY A VÝSLEDKY UVEDENÉ V TEJTO PRÍRUČKE SA MÔŽU POUŽIŤ LEN NA RELATÍVNYM ZÁKLADE.**

**ABSOLÚTNE HODNOTY RIZIKA BY NEMALI BYŤ SAMOSTATNE POUŽITÉ**

**Metódy a výsledky uvedené v tejto príručke by sa nemali použiť na:**

- (a) posudzovanie rizík jednotlivých zariadení alebo ako východisko pre riadenie rizík;
- (b) rozhodovanie o umiestnení nebezpečných zariadení alebo plánovanie trás prepravy nebezpečných látok, ak rozhodovanie závisí na rozdieloch, pre ktoré sa vyžaduje podrobnejšia analýza;
- (c) vypracovanie posudku bezpečnosti konkrétneho zariadenia alebo činnosti alebo posudku prijateľnosti jeho rizika;
- (d) porovnávanie absolútnych hodnôt a kritérií alebo úrovni prijateľnosti rizika;
- (e) vypracovanie havarijného plánu pre konkrétnu situáciu, kde také "riziká" existujú (napr. podnik v obývanej oblasti, preprava nebezpečných látok blízko obývaných oblastí).

## **2. NÁČRT METÓDY A POSTUP**

Metóda vychádza z klasifikácie nebezpečných činností v záujmovom území prostredníctvom kategorizácie dôsledkov a pravdepodobností výskytu závažnej havárie. Kategorizácia dôsledkov vedie užívateľa metódy k výpočtu približných počtov úmrtí spôsobených haváriou v zariadení alebo pri preprave nebezpečných látok. Stanovenie pravdepodobností využíva informácie o pravdepodobnostiach havárií (počet výskytov na činnosť za rok). Výsledky sa dajú prezentovať v grafickej forme v systéme osí x - y, kde os x znázorňuje triedy dôsledkov a os y triedy pravdepodobnosti. Všetky nebezpečné činnosti v území môžu byť potom klasifikované a znázornené vo forme matice. Ak už bolo kritérium alebo niekoľko kritérií prijateľnosti spoločenského rizika vytvorených, užívateľ môže v matici identifikovať všetky činnosti, ktoré nespĺňajú podmienky. Výsledkom tejto úlohy je zoznam činností, ktorých riziká sa musia ďalej podrobnejšie analyzovať, prednostne pred inými činnosťami.

S cieľom určiť kategórie účinkov bol vytvorený súbor predpokladov a užívateľ ich musí poznať:

- Intenzita zdroja je maximálne možná.
- Pre východzie výpočty rozptýlenia toxických plynov bola vybraná trieda stability počasia D s rýchlosťou vetra 5 m/s. Je treba zdôrazniť, že toto nie je najhoršia situácia, ale len vykonaný predpoklad, ktorý zohľadňuje priemerné poveternostné podmienky na účely porovnávania toxických, horľavých a výbušných látok.
- Kritériá úmrtnosti pri požiaroch:

100% -ná úmrtnosť osôb nachádzajúcich sa v oblasti požiaru. Nárast tepla nie je v tejto príručke zohľadnený. Nárast tepla 5-10 kW/m<sup>2</sup> za 30 s môže spôsobiť vážne zranenia, avšak väčšina zranení nebude smrteľná (1%).

- Kritériá úmrtnosti pri explóziách:

Pri explózii mraku pár sa predpokladá 100% -ná úmrtnosť osôb nachádzajúcich sa v horiacom mraku; predpokladá sa, že kritérium zapálenia je dolná hranica horľavosti (t.j. zapálenie vzniká pri koncentrácii pár  $\geq$  LFL (*dolná hranica horľavosti*)). Pretlak sa neberie do úvahy. Pretlak (bg deflagrácia voľného mraku pár max 0,3 bar) môže spôsobiť vážne zranenia v dôsledku mechanického poškodenia, hoci percento úmrtí je relatívne nízke. Pri explóziách sa predpokladá 100%-ná úmrtnosť v bezprostrednej blízkosti centra detonácie, čo znamená pretlak  $> 1$  bar a vysokú hustotu lietajúcich častí.

- Kritérium úmrtnosti pri toxických mrakoch:

100%-ná úmrtnosť osôb vystavených aspoň 30 minút koncentrácii  $\geq$  LC<sub>50</sub> pre ľudí. Hoci je tento odhad v rámci definovaného zasiahnutého územia nadhodnotený, mimo neho, kde ešte stále môžu byť prítomné smrtiace koncentrácie, je tento odhad podhodnotený.

Tabuľka I uvádza úlohy, ktoré treba vykonať a zodpovedajúce kapitoly tejto príručky.

TABUĽKA I. PREHĽAD HLAVNÝCH ÚLOH SPOJENÝCH S KLASIFIKÁCIOU RIZÍK A SPÔSOBOM STANOVENIA PRIORÍT .

Úlohy	Kapitola príručky
Klasifikácia typu činnosti a zoznamy	3
Stanovenie dôsledkov	4
Stanovenie pravdepodobností	
Fixné zariadenia	5
Preprava	6
Stanovenie spoločenského rizika	7
Stanovenie priorít rizík	8

Ďalej je uvedený zosumarizovaný opis jednotlivých krokov postupu.

- Klasifikácia typu činnosti a zoznamy

Keď už boli určené hranice a hlavné všeobecné charakteristiky oblasti, musia sa zozbierať základné informácie o nebezpečných zariadeniach a o všetkých trasách a spôsoboch prepravy nebezpečných látok (ďalej len “nebezpečné činnosti”). Z týchto činností by mali byť vybrané len tie, ktoré predstavujú pre verejnosť nebezpečie, a mali by sa o nich získať podrobnejšie informácie. Príslušné nebezpečné látky by mali byť potom spísané a oklasifikované.

- Stanovenie externých dôsledkov závažnej havárie na ľudí

Táto metóda vychádza zo stanovenia dôsledkov (t.j. počtu úmrtí mimo zariadenia), ktoré môže spôsobiť závažná havária v prípade každej analyzovanej činnosti prostredníctvom násobenia zasiahutej oblasti a hustoty obyvateľstva na tomto území a použijúc určitý počet korekčných koeficientov. Tieto koeficienty zohľadňujú: vzdialenosť k najbližšiemu obývanému územiu, rozloženie obyvateľstva v obývanom území a možné zmierňujúce opatrenia.

- Stanovenie pravdepodobností závažných havárií

#### *Fixné zariadenia*

Metóda vychádza zo stanovenia pravdepodobnosti závažných havárií v prípade každej analyzovanej činnosti prostredníctvom odvodu priemerného (štandardného) indexu pravdepodobnosti (absolútna hodnota logaritmu počtu výskytov havárie tejto “štandardnej” činnosti) a prostredníctvom zohľadnenia niekoľkých korekčných parametrov indexu pravdepodobnosti. Tieto parametre predstavujú vplyv frekvencie nakladania/vykladania, bezpečnostných systémov v súvislosti s horľavinami a pravdepodobnosti smeru vetra k obývaným územiám v zasiahnutej zóne.

#### *Preprava nebezpečných látok*

Metóda vychádza z priemerného (štandardného) indexu pravdepodobnosti pre každú nebezpečnú látku (alebo skupinu látok) zistenú v každej časti analyzovanej cestnej, železničnej, vnútrozemskej vodnej a potrubnej dopravy a z použitia určitých korekčných parametrov pre tento štandardný index pravdepodobnosti. Tieto parametre predstavujú vplyv bezpečnostných podmienok prepravného systému, intenzity prepravy a pravdepodobnosti smeru vetra k obývaným územiám v zasiahnutej zóne.

- Stanovenie spoločenského rizika

Každá činnosť sa klasifikuje podľa stupnice dôsledkov a stupnice pravdepodobností. Týmto spôsobom sa všetky nebezpečné činnosti v území zhromaždia a vyjadria v jednej matici pravdepodobností a dôsledkov.

- Stanovenie priorít rizík

Kritérium (alebo kritériá) prijateľnosti spoločenského rizika sa musia definovať ešte pred vykonaním úlohy. V matici môžu byť reprezentované tak, aby sa všetky činnosti, ktoré nespĺňajú kritériá, dali ľahko rozlíšiť. Činnosti, ktoré nespĺňajú kritérium (alebo kritériá) potom podliehajú ďalšej podrobnejšej analýze pred činnosťami, ktoré kritérium (alebo kritériá) splnili.

### **3. KLASIFIKÁCIA TYPOV ČINNOSTÍ A ZOZNAMY**

Táto príručka slúži užívateľovi ako nástroj na identifikáciu a zaradenie nebezpečných činností a nebezpečných látok pomocou tabuliek. Príloha I uvádza užitočný zoznam nebezpečných látok. V dokumentu sú látky označené referenčným číslom.

#### **POSTUP**

- Definovať hranice územia, charakterizovať územie. Podstatné sú mapy rôznych mierok.

Vybrané územie je napríklad územie pod správou jedného (miestneho) správneho orgánu alebo územie s dôležitými priemyselnými činnosťami alebo dôležitými obývanými územiami. Normálne dosahuje rozlohu 10 - 200 km<sup>2</sup>.



Túto príručku je tiež možné použiť na stanovenie priorít v prípade osobitných priemyselných činností v krajine (napr. zoraďovacie (nákladné) stanice, v tomto prípade však užívateľ potrebuje len informácie a tabuľky tejto príručky týkajúce sa zoraďovacích (nákladných) staníc, to isté platí pre čpavkový reťazec, t.j. jeho výroba, skladovanie a preprava, v tomto prípade je treba použiť len informácie a tabuľky týkajúce sa čpavku a špecifickej činnosti, v závislosti na zámeroch užívateľa).

- Zhromaždiť informácie o všetkých nebezpečných činnostiach v tomto území. Rozdeliť ich na (fixné) zariadenia a prepravu: názov, umiestnenie, typ, výroba, skladovacie podmienky; názov, skupenstvo a množstvo nebezpečných látok. Môže sa použiť kontrolný zoznam uvedený v Tabuľke II.

Identifikácia nebezpečných látok používaných pri výrobe zahŕňa stanovenie možnej tvorby druhotných nebezpečných látok prostredníctvom chemických reakcií alebo fyzikálnych procesov.

- Zaradiť činnosti do typov podľa kontrolného zoznamu uvedeného v Tabuľke II.
- Z klasifikačnej schémy vylúčiť nebezpečné činnosti, ktoré nepredstavujú priamu ujmu verejnosti z dôvodu vzdialenosti od obývaných území; kritérium výberu zariadení i prepravy sú uvedené v Tabuľke III(a).
- Zo štúdie vylúčiť trasy so zriedkavou prepravou nebezpečných látok - kritérium intenzity prepravy sú uvedené v Tabuľke III(b).
- V prípade vnútrozemskej vodnej dopravy ignorovať prepravu rozpustných kvapalín (tlak pár < 1 bar pri 20 °C) a prepravu látok s hustotou väčšou ako 1 kg/dm<sup>3</sup> (hustota väčšia ako hustota vody). Poznať produkty, ktoré môžu s vodu reagovať, v tomto prípade treba určiť množstvo nebezpečného produktu reakcie, ktorý môže uniknúť.
- Vybrané cesty, železnice, vnútrozemské vodné cesty a potrubia rozdeliť do úsekov po 1 km (pravdepodobnostné údaje uvedené v tejto príručke sa vzťahujú na 1 km úseky). Úseky, ktoré nespĺňajú kritérium separačnej vzdialenosti od obývaných území v Tabuľke III(a), možno opomenúť. Na každom úseku určiť miesto, ktoré je k obývaným územiám najbližšie. V prípade železničnej prepravy musí byť osobitná pozornosť venovaná zoraďovacím (nákladným) staniciam. Pri vodnej doprave musí byť osobitná pozornosť venovaná prístavom.
- Zohľadniť súpis nebezpečných látok a okolie zariadenia. Opatrne určiť množstvo, ktoré by sa reálne mohlo v havárii vyskytnúť.

Ak zariadenie má medzi skladovacími zásobníkmi pre nebezpečné látky fyzické a účinné oddelenie, zohľadňované množstvo pre stanovenie je obsah najväčšieho zásobníku (ostatné zásobníky nezväčšujú zdroj). Fyzickým oddelením sa rozumie dostatočná vzdialenosť medzi skladovacími zásobníkmi. Účinným oddelením sa rozumie existencia oddelených zapustených zásobníkov alebo existencia automatických bezpečnostných ventilov v potrubiach spájajúcich zásobníky. Otvorené prepojenie zásobníkov alebo prepojenie manuálne ovládanými ventilmi sa nedá považovať za dostatočné fyzické/účinné oddelenie.

TABUĽKA II. KONTROLNÝ ZOZNAM

	Činnosť	Najdôležitejšia látka	Referenčné číslo (Tabuľka IV)
<b>Skladovanie palív</b>	Dodacia stanica	Benzín	6
	Čerpacia stanica Medzisklad	Benzín a LPG	7
		Benzín	6
	Hlavný sklad	LPG	7, 9
		Ropa	1, 3
		Benzín	4, 6
		LPG	7, 9, 10, 11
Uskladnenie plynov v tlakových fľašiach	Zemný plyn	10, 11	
	Rôzne plyny	13	
<b>Spracovanie a skladovanie palív</b>	Rafinéria	LPG propán	7, 9
	Alkylácia	Fluorovodík	31
		Butylén	7, 9
	Krakovanie	Etylén	12
		Etylén oxid	30
		Propylén	7, 9
Vynilchlorid		7, 9	
<b>Preprava palív</b>	Potrubná	LPG propán	8
		Zemný plyn	12
		Benzín	5
	Vnútrozemská vodná	Ropa	2
		LPG (tlakom)	9
		LPG (chladoom)	11
		Benzín	6
	Železničná/Cestná	Ropa	3
		LPG	7
		Benzín	6
	Ropa	4	
<b>Veľké chladiace zariadenia</b>	Bitúinky, mliekárne, pivovary, margarín, zmrzlina, čokoládovne, sklady mäsových výrobkov, rýb, ovocia, kvetov, zimné štadióny	čpavok	31

<b>Potraviný pochutiny</b>	<b>a</b> Cukrovary	Oxid siričitý	31
	Mlyny	Metylbromid	32
	Výroba olejov a tukov	Hexán	1, 3
	Výroba kvasníc, liehovary	Horľavé kvapaliny	4, 6
	Výroba kakaa	Hexán	1, 3
<b>Špecifické základné produkty</b>	Kožiarsky priemysel	Akroleínové kyseliny	18, 21
	Drevársky priemysel	Formaldehyd	32
	Papierenský priemysel	Etylén oxid	30
		Epichlórhydrín	16, 17
	Gumárenský priemysel	Styrén	4, 6
		Akrylonitril	18, 21
	Textilný priemysel	Etylén oxid	30
<b>Metalurgia, elektronický priemysel</b>	Vysoké pece	Formaldehyd	32
		Alkylfenoly	32
<b>Špecifické chemikálie</b>		Oxid uhoľnatý	31
		Čpavok	31
	Povrchová úprava	Arzénovodík	43
		Čpavok	31, 36
		Spaliny	43
	Kyselina sírová	Oxidy síry	45
	Syntetické živice	Etylén oxidy	30
		Chlór	32
		Akrylonitril	18, 21
		Fosgén	33
		Formaldehyd	32
	Plasty/syntetické materiály	Vynilchlorid	7, 9
		Akrylonitril	18, 21
		Chlór	32
	Farby/farbivá	Spaliny	46
	Phosphene	33	
	Rozpúšťadlá	4, 6	
	Spaliny	46	
Chlórfluórovodíky (CFC)	Chlorovodík	40, 42	
	Chlór	32	
	Fluorovodík	31	
Chlór	Chlór	32, 37	
Vynilchlorid	Chlór	32	

	Vynilchlorid	7, 9
	Chlorovodík	40, 42

	Čpavok	Čpavok	32, 36
	Chlorovodík	Chlorovodík	40, 42
		Chlór	32
	Vlákná	Sírouhlík	18
		Sírovodík	32
	Lieky/farmaceutické výrobky	Chlór	32
		Rozpúšťadlá	4, 6
	Polymerizácia	Butylén	7, 9
		Etylén	12
		Propán	7, 9
		Vinylacetát	1, 3
	Syntetické vlákna	Metanol	1, 3
	Chlóralkali	Chlór	32
		Vodík	12
<b>Pesticídy</b>	Výroba surovín	Fosgén	33
		Izokyanáty	26, 29
		Chlór	32
		Spaliny	43
	Výroba a skladovanie	Spaliny	43
	Predaj a skladovanie	Spaliny	43
		Metylbromid	32
<b>Výbušniny</b>	Výroba a skladovanie	Rôzne	14
	Muničné sklady	Rôzne	14, 15
<b>Verejné priestranstvá a zariadenia</b>	Vodné diela	Chlór	32
	Skladovanie pesticídov	Spaliny	43
<b>Prístavné zariadenia</b>	Kontajnery	Rôzne	a
	Zásobníky (sklady)	Rôzne	a
<b>Preprava</b>	Potrubia	Chlór	41
		Čpavok	40
		Etylén oxid	40
		Chlorovodík	41, 41
	Cesty a železnice	Horľavé plyny <sup>b</sup> : 23, 236, 239	7
	(aj nákladné stanice)	Horľavé kvapaliny <sup>b</sup> : 33, 336, 338, 339, 333,	

<sup>a</sup> Pozri špecifické referenčné čísla v Prílohe I

<sup>b</sup> Medzinárodné klasifikačné kódy pre dopravu (tiež v Tabuľke IV)

<sup>b</sup> Medzinárodné klasifikačné kódy pre dopravu (tiež v Tabuľke IV)

	x338, x323, x423, 445, 539	6
	Vysoko toxické plyny <sup>b</sup> : 26, 265,	32
	266	
	Stredne toxické plyny <sup>b</sup> : 236, 31	
	268, 286	
	Toxické kvapaliny <sup>b</sup> : 336, 66, 19	
	663	
Vodná preprava	Výbušniny <sup>b</sup> : 1.1, 1.5	14
	Horľavé plyny <sup>b</sup> : 23, 236, 239	9 <sup>c</sup> , 11 <sup>d</sup>
	Horľavé kvapaliny <sup>b</sup> : 33, 336,	
	338	
	339, 333, x338,	
	x323, x423,	
	446, 539	6
	Vysoko toxické plyny <sup>b</sup> : 26, 265,	32 <sup>c</sup> , 37 <sup>d</sup>
	266	
	Stredne toxické plyny <sup>b</sup> : 236, 31 <sup>c</sup> , 36 <sup>d</sup>	
	268, 286	
	Toxické kvapaliny <sup>b,e</sup> : 336, 66, 20	
	663	

<sup>c</sup> Pod tlakom

<sup>d</sup> Chladené

<sup>e</sup> Nerozpustné; hustota  $\leq 1 \text{ kg/dm}^3$

TABUĽKA III(a). KRITÉRIÁ PRE VÝBER PRIEMYSELNÝCH ČINNOSTÍ ZAHRNUTÝCH DO ŠTÚDIE

(a) Kritérium vzdialenosti od obývaných území<sup>a</sup> (prvé obydlia)

Priemyselná činnosť		Vzdialenosť od obývaných území (m)	
Fixné zariadenia	horľavé látky alebo výbušniny	< 1000	
	konkrétne:		
	• benzínové čerpadlo	< 50	
	• LPG stanica	< 100	
	• potrubie s horľavou kvapalinou	< 50	
	• sklady tlakových fliaš (25 - 100 kg)	< 100	
	toxické látky	< 10 000	
	konkrétne:		
	• chladiace zariadenia	< 100	
	• sklady pesticídov určených na predaj	< 50	
Preprava	LPG	po železnici/ceste	< 200
		po vode	< 500
	benzín	po železnici/ceste	< 50
		po vode	< 200
	ropa	po železnici/ceste	< 25
		po vode	< 100
	toxické látky	po železnici/ceste	< 3000
		po vode	< 3000

<sup>a</sup> Hodnoty sa vzťahujú na maximálne možné množstvá (a v prípade toxických látok na maximálnu toxicitu), ktoré v normálnej priemyselnej praxi existujú.

(b) Kritérium intenzity prepravy

Priemyselná činnosť		Intenzita prepravy (počet jednotiek/rok)	
Preprava	Plyny po:	ceste	> 50
		železnici	> 500
		na nákladných staniciach	> 50
		vode	> 500
	Kvapaliny po:	ceste	> 50
		železnici	> 5000
		na nákladných staniciach	> 50
		vode	> 50
	Výbušniny po:	ceste	> 20
		železnici	> 200
		na nákladných staniciach	> 20
		vode	> 20

#### 4. URČENIE DÔSLEDKOV ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ NA ĽUDÍ

Po zhromaždení a zaradení dostatočného množstva informácií o nebezpečných činnostiach v oblasti podľa kapitoly 3 sa môžu pre vybranú činnosť vypočítať vonkajšie dôsledky závažných havárií.

Vonkajšie dôsledky v zmysle tejto príručky znamenajú: počet obetí medzi ľuďmi, ktorí bývajú alebo pracujú v oblasti okolo zariadenia, kde sa nebezpečná činnosť vykonáva alebo okolo cesty/železnice/vodnej cesty/potrubia, ktorými sa nebezpečná látka prepravuje.

Vonkajšie dôsledky ( $C_{a,s}$ , počet obetí/havária) havárie spôsobenej látkou (dolný index s) pre každú identifikovanú činnosť (dolný index a) sa dá vypočítať pomocou rovnice (1):

V prípade (fixných) zariadení sa musia zohľadniť s jednou výnimkou všetci ľudia bývajúci alebo pracujúci v okolí zariadenia.

V prípade prepravných trás, podobne ako pri (fixných) zariadeniach, sa užívateľ musí rozhodnúť, či chce zohľadniť ľudí cestujúcich po ceste. Ak zohľadní motoristov, atď., musí si byť vedomý dopravných zápch, ktoré sú dôsledkom havárie samotnej.

$$C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_m$$

kde:

A = zasiahnuté územie (hektáre; 1 ha = 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>);

δ = hustota obyvateľstva v obývanej oblasti v rámci zasiahnutého územia (osoby/ha);

f<sub>A</sub> = korekčný koeficient územia vyjadrujúci rozdelenie obyvateľstva v zasiahnutom území;

$f_m$  = korekčný koeficient vyjadrujúci zmierňujúce účinky.

## POSTUP

- Vybrať jednu z činností.
- Ak môže viac ako jedna látka z tej istej činnosti spôsobiť škodu nezávisle na iných látkach, je treba ju analyzovať samostatne. Ak sa vyskytuje skupina látok spolu, je treba ich zohľadniť ako jednu (rovnocennú) látku. Ak je horľavá látka aj toxická, je treba zohľadniť oba účinky. Po dodržaní tohto postupu bude zrejmé, či sú horľavé vlastnosti v porovnaní s toxickými dôležité alebo nie.
- Klasifikovať činnosť pomocou Tabuliek IV (a) a IV (b). (Tabuľka IV (b) sa vzťahuje na látky prepravované potrubím).

Látky sa môžu ďalej zadeliť podľa:

- typu možného poškodenia (horľavosť, výbušnosť a toxicita)
- všeobecných fyzikálnych a chemických vlastností a
- typu činnosti.

Látky sa potom môžu klasifikovať podľa množstva vyskytujúceho sa v havárii (Tabuľka IV (a)).

V prípade potrubia je kľúčovým parametrom pre klasifikáciu jeho priemer (Tabuľka IV (b)).

Definícia kategórií (tried) účinkov je uvedená v Tabuľke V. kategorizácia sa vykonáva prostredníctvom dvoch kategórií účinkov: maximálna vzdialenosť účinkov (metre) a zasiahnuté územie (hektáre).

Obrázky 2 a 3 ilustrujú postup v dvoch prípadoch významnosti:

Obrázok 2 znázorňuje príklad kruhového zasiahnutého územia (kategória zasiahnutého územia I - typická pre výbuchy),

Obrázok 3 znázorňuje príklad zasiahnutého územia zodpovedajúceho výseku kruhu (kategória zasiahnutého územia III - typická pre úniky toxických látok, pozri Tabuľky IV a V).

- Zaznamenať maximálnu vzdialenosť účinkov (týka sa písmen A - H) a zasiahnutého územia (týka sa rímskych číslic I - III a písmen A - H) z Tabuľky V.
- Určiť rozdelenie obyvateľstva v kruhovom území, ktorého polomerom je maximálna vzdialenosť účinkov. Určiť hustotu obyvateľstva v najdôležitejšej časti (častiach).

Ak nie je hodnota známa alebo ak nie sú dostatočné časové alebo personálne podmienky, určenie hustoty obyvateľstva v obývaných územiach sa môže urobiť podľa Tabuľky VI na základe všeobecného opisu územia.



TABUĽKA IV (a). KLASIFIKÁCIA LÁTOK PODĽA KATEGÓRIÍ ÚČINKOV

Ref. číslo	Typ látky	Opis látky	Zariadenie/preprava
1	Horľavá kvapalina	Tlak pár < 0,03 bar pri 20 °C	Sklad – zapustené zásobníky
2 <sup>a</sup>			Potrubie
3			Ostatné
4		Tlak pár ≥ 0,03 bar pri 20 °C	Sklad – zapustené zásobníky
5 <sup>a</sup>			Potrubie
6			Ostatné
7	Horľavý plyn	Skvapalnený tlakom	Nadzemný sklad, železnica/diaľnica
8 <sup>a</sup>			Potrubie
9			Ostatné
10		Skvapalnený chladosm	Sklad – zapustené zásobníky
11			Ostatné
12 <sup>a</sup>			Potrubie
13	Pod tlakom	Sklad tlakových fliaš (25 - 100 kg)	
14	Výbušniny	Voľne ložené (zapričiňujú jednu explóziu) V obaloch (napr. granáty)	
15			
16	Toxická kvapalina	Málo toxická	Sklad – zapustené zásobníky
17			Ostatné
18			Sklad – zapustené zásobníky
19		Stredne toxická	Železnice/diaľnice – preprava
20			Vodná preprava
21			Ostatné
22		Vysoko toxická	Sklad – zapustené zásobníky
23			Železnice/diaľnice - preprava
24			Vodná preprava
25		Ostatné	
26		Extrémne vysoko toxická	Sklad – zapustené zásobníky
27			Železnice/diaľnice - preprava
28			Vodná preprava
29	Ostatné		
30	Toxický plyn	Skvapalnený tlakom: málo toxický	
31			stredne toxický
32			vysoko toxický
33		veľmi vysoko toxický	
34		extrémne toxický	
35		Skvapalnený tlakom: málo toxický	
36		stredne toxický	

<sup>a</sup> Kategórie pre potrubie sú uvedené v Tabuľke IV (b)

37		vysoko toxický	
38		veľmi vysoko toxický	
39		extrémne toxický	
40 <sup>a</sup>		V potrubí: stredne toxický	
41 <sup>a</sup>		vysoko toxický	
42 <sup>a</sup>		pod tlakom > 2,5 bar vysoko toxický	
43			
44		Toxické spaliny	z pesticídov
45			z hnojív
46			z kyseliny sírovej z plastov (s obsahom chlóru)

<sup>a</sup> Kategórie pre potrubie sú uvedené v Tabuľke IV (b)

TABUĽKA IV (a) (pokračovanie)

Ref. číslo	Množstvo (t)								
	0,2-1	1-5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000	> 10000
1	-	-	-	-	-	A I	B I	B I	C I
2 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	A I	B I	C I	D II	X	X
4	-	-	-	-	-	B I	C II	C II	D II
5 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	B II	C II	D II	E II	X	X
7	-	A I	B I	C I	D I	E I	X	X	X
8 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	B II	C III	C III	D III	E III	X	X	X
10	-	-	-	-	-	B I	C II	C II	D II
11	-	-	-	B II	C II	D II	E II	X	X
12 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	C III	C II	C I	C I	X	X	X
14	A I	B I	B I	C I	C I	D I	X	X	X
15	B III	B III	C III	C I	C I	D I	X	X	X
16	-	-	-	-	-	A II	A II	B II	C III
17	-	-	-	A III	A II	B II	C II	C II	C II
18	-	-	-	A III	B III	D III	E III	F III	F III
19	-	A II	C III	D III	X	X	X	X	X
20	-	B II	D III	E III	F III	G III	X	X	X
21	-	B II	C III	D III	E III	F III	F III	X	X
22	-	-	A II	B III	C III	E III	F III	G III	G III
23	B II	C II	D III	E III	X	X	X	X	X
24	C II	D II	E III	F III	G III	H III	X	X	X
25	B II	C II	D III	E III	F III	G III	G III	X	X
26	A II	B II	C III	E III	F III	G III	G III	H III	H III
27	C II	D III	E III	F III	X	X	X	X	X
28	D III	E III	F III	G III	H III	H III	X	X	X
29	C III	D III	E III	F III	G III	H III	H III	X	X
30	-	-	A II	A I	B II	B I	C III	C II	X
31	-	-	B II	C II	D III	E III	F III	F III	X
32	C II	D III	E III	E III	F III	F III	G III	X	X
33	D III	E III	F III	G III	G III	G III	X	X	X
34	E III	F III	G III	H III	H III	X	X	X	X
35	-	-	-	A II	A II	B II	B II	B II	C II
36	-	A II	B II		D III	D III	D III	E III	F III
				<b>C II</b>					
37	B II	C II	D III	E III	E III	E III	F III	G III	X
38	D III	E III	F III	F III	G III	G III	X	X	X

<sup>a</sup> Symboly: X znamená, že kombinácia danej látky a daného množstva v praxi neexistuje; - znamená zanedbateľné účinky.

39	E III	F III	G III	H III	H III	X	X	X	X
40 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	B II	D III	E III	E III	X	X
44	-	A II	A II	C III	E III	F III	F III	X	X
45	-	-	B II		C III	D III	D III	X	X
				<b>A II</b>					
46	-	-	-	A II	C III	D III	D III	X	X

TABUĽKA IV (b). KLASIFIKÁCIA PODĽA KATEGÓRIÍ ÚČINKOV LÁTOK PRÚDIACICH V PODZEMNÝCH POTRUBIACH MIMO ZARIADENÍ

Ref. čís	Typ látky	Opis látky	Priemer <sup>b</sup> (m)	Kategória
2	Horľavá kvapalina	Tlak pár pri 20°C < 0,03 bar	> 0,2	A I
5		Tlak pár pri 20°C ≥ 0,03 bar	0,2 – 0,4 > 0,4	A I B II
8	Horľavý plyn	Skvapalnený tlakom	< 0,1	C I
			0,1 – 0,2 > 0,2	D I E I
12		Pod tlakom	0,2 – 1	A I
			> 1	B I
40	Toxický plyn	Stredne toxický	< 0,1	E III
			0,1 – 0,2	F III
41		Vysoko toxický	< 0,1	F III
			0,1 – 0,2	G III
	Tlak > 25 bar, vysoko toxický	< 0,02	D III	
		0,02 – 0,04 0,04 – 0,1	E III F III	

Obrázky 2 a 3 ako príklady uvádzajú dve obývané územia nachádzajúce sa v kruhovej oblasti, ktorej polomer je maximálny dosah účinkov (R). Ak je zasiahnuté územie kruh (Obr. 2, kategória územia I), musia sa zohľadniť všetky obývané územia v tejto kruhovej oblasti, ktorého polomer je maximálny dosah účinkov. Dôsledok havárie je potom rovný celkovému počtu obetí na všetkých zohľadnených územiach. Ak je zasiahnuté územie kruhový výsek (t.j. zasiahnuté územie kategórie II a III - príklad kategórie III je na Obr. 3), užívateľ si musí vybrať sektor, v ktorom sú vypočítané dôsledky C<sub>a,s</sub> maximálne.

- Určenie korekčného koeficientu územia f<sub>A</sub>.

Tento koeficient je percento zasiahnutého obývaného územia A (t.j. pomer obývaného zasiahnutého územia a celkového zasiahnutého územia). Príklady sú uvedené na Obr. 2 a 3.

<sup>a</sup> Symboly: X znamená, že kombinácia danej látky a daného množstva v praxi neexistuje; - znamená zanedbateľné účinky.

<sup>b</sup> Priemer najväčšieho potrubia

Správne určiť toto percento môže byť ťažké alebo zdĺhavé, ak nie sú k dispozícii novšie mapy alebo ak sú hranice obývaných území zložité.

Spôsob, ako tento problém vyriešiť je vypočítať približnú plochu obývaných území a vydeliť ich zasiahnutým územím A. Takto približne určené územie môže byť najmenšia časť kruhového výseku, ktorý obsahuje obývané územie. Výpočet možno urobiť v troch krokoch. Pre každé obývané územie:

**obrázok**

Kroky	Opis
(1)	Určenie zasiahnutého územia A a maximálny dosah účinkov R (Tabuľka V)
(2)	Identifikácia obývaných území (PA) a zasiahnutých obývaných území (APA); určenie hustoty obyvateľstva $\delta$ (Tabuľka VI)
(3)	Určenie minimálnej a maximálnej vzdialenosti ( $R_{\min}$ a $R_{\max}$ ) obývaných území od nebezpečnej činnosti
(4)	Určenie percenta celkového zasiahnutého obývaného územia (APA) (alebo približne - súčtu šrafovaných plôch) z dotknutého územia (A) (alebo určenie $f_A$ z Tabuľky VII)

Obr. 2 Znárodnenie určenia dôsledkov pre zasiahnuté územie kategórie I.

**Obrázok**

Symboly	Opis
R	Maximálny dosah účinkov (Tabuľka V)
A	Zasiahnuté územie (Tabuľka V)
PA	Obývané územie
APA	Zasiahnuté obývané územie (hustota obyvateľstva $\delta$ z Tabuľky VI)
$R_{\min}$	Minimálna vzdialenosť obývaného územia od nebezpečnej činnosti
$R_{\max}$	Maximálna vzdialenosť ( $\leq R$ ) obývaného územia od nebezpečnej činnosti
$\theta$	Uhol zasiahnutého sektora
$\alpha$	Uhol sektora vrátane zasiahnutých obývaných území

Obr. 3 Znárodnenie určenia dôsledkov pre zasiahnuté územie kategórie III. Musí sa vybrať sektor, ktorý bude mať najvyšší počet vypočítaných obetí.

TABUĽKA V. KATEGÓRIE ÚČINKOV: MAXIMÁLNA VZDIALENOSŤ A ZASIAHNUTÉ ÚZEMIE

Kategória dosahu účinkov (m)		Kategória zasiahnutej plochy (ha) <sup>a</sup>		
		I	II	III
<b>A</b>	<b>0 – 25</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,02</b>
<b>B</b>	<b>25 – 50</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>

<sup>a</sup> 1 ha = 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>

<b>C</b>	<b>50 – 100</b>	<b>3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>
<b>D</b>	<b>100 – 200</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>E</b>	<b>200 – 500</b>	<b>80</b>	<b>40</b>	<b>8</b>
<b>F</b>	<b>500 – 1000</b>	-	-	<b>30</b>
<b>G</b>	<b>1000 – 3000</b>	-	-	<b>300</b>
<b>H</b>	<b>3000 – 10000</b>	-	-	<b>1000</b>

Poznámka:

Veľké písmená A-H predstavujú kategórie dosahu účinkov v rastúcom poradí; rímske číslice I - III predstavujú kategórie zasiahnutého územia v klesajúcom poradí. Každá kategória dosahu účinkov je definovaná rozsahom hodnôt pre zodpovedajúci maximálny dosah účinkov v metroch. Každá kategória zasiahnutého územia je definovaná jedinou hodnotou, ktorá je určená zasiahnutou plochou územia v hektároch.

- Označenie I zodpovedá kruhovému územiu s maximálnym dosahom účinkov ako priemerom kruhu (kruhový účinok sa predpokladá v prípade explózie výbušniny);
- Označenie II zodpovedá polkruhovému územiu (typický je mrak ťažko horľavého plynu, ktorého zapálenie sa oneskorilo alebo mrak vznikol z výparov veľkej kaluže);
- Označenie III zodpovedá približne 1/10 plochy kruhu (predĺžený mrak, ktorý vznikol rozptýlením). Kategória dosahu účinkov sa dá zistiť pre každú kombináciu s kategóriou zasiahnutého územia. Výnimku pre kategóriu F, G, H, ktoré sú len pre kategóriu zasiahnutého územia III, sa vysvetľuje tak, že tieto dosahy (vzdialenosti) sa vzťahujú len na rozptýlenie veľkého množstva toxických plynov v predĺžených mrakoch (pozri Obr. 4).
- Vypočítať pomer  $f_r$  ( $\leq 1$ ) kruhového územia, v ktorom je zahrnutá obývaná zóna (v rámci maximálneho dosahu účinkov R), k ploche kruhu, ktorého polomer je dosah účinkov:

$$f_r = (R_{\max}^2 - R_{\min}^2) / R^2$$

kde  $R_{\max}$  ( $\leq R$ ) je vonkajší polomer (t.j. maximálna vzdialenosť obývanej zóny od nebezpečnej činnosti) a  $R_{\min}$  je vnútorný polomer (t.j. minimálna vzdialenosť obývanej zóny od nebezpečnej činnosti);

- Vypočítať pomer  $f_\alpha$  ( $\leq 1$ ) uhla  $\alpha$ , v ktorom sa nachádza obývaná zóna k uhlu  $\theta$  zasiahnutého sektora ( $\theta = 360^\circ$  pre kategóriu zasiahnutého územia I;  $\theta = 180^\circ$  pre kategóriu zasiahnutého územia II;  $\theta \approx 36^\circ$  pre kategóriu zasiahnutého územia III):

$$f_\alpha = \alpha / \theta$$

Korekčný koeficient územia je výsledok týchto čiastkových koeficientov:

$$f_A = f_r \cdot f_\alpha$$

obrázok

Obr. 4 Znárodnenie kategórií zasiahnutého územia

TABUĽKA VI. HUSTOTA OBYVATEĽSTVA

opis územia	hustota (osoby/ha)
poľnohospodárske oblasti, rozptýlené obydlia	5
individuálne obydlia	10
dediny, tiché obytné zóny	20
obytné zóny	40
rušné obytné zóny	80
mestské územie, nákupné centrá, centrá miest	160

TABUĽKA VII. KOREKČNÝ KOEFICIENT  $f_A$  ZOHLADŇUJÚCI ROZLOŽENIE HLAVNÝCH OBÝVANÝCH ÚZEMÍ V KRUGU, KTORÉHO POLOMER JE MAXIMÁLNY DOSAH ÚČINKOV

Kategória zasiahnutého územia	Obývaná časť kruhového územia (%)				
	100 %	50 %	20 %	10 %	5 %
I	1	0,5	0,2	0,1	0,05
II	1	1	0,4	0,2	0,1
III	1	1	1	1	1

TABUĽKA VIII. KOREKČNÝ KOEFICIENT ( $f_m$ ) ZOHLADŇUJÚCI ZMIERŇUJÚCE OPATRENIA

Látky (referenčné čísla)	Koeficient
Horľaviny (1 - 12)	1
Horľaviny (13)	0,1
Výbušniny (14, 15)	1
Toxická kvapalina (16 - 29, 43 - 46)	0,05
Toxický plyn (30 - 34, 40 - 42)	0,1
Toxický plyn (35 - 39)	0,05

Tieto koeficienty sú založené na tom, či:

- majú byť prijaté opatrenia v závislosti na:
  - spôsobe, ako sa účinky prejavujú, trvaní účinkov (napríklad časový úsek medzi haváriou a okamihom, kedy sa určený účinok prejaví);
- či majú ľudia v zasiahnutom území možnosť sa chrániť alebo ukryť.

Dokonca aj keď nie je vhodné použitie tejto zjednodušenej metódy pre výpočet  $f_A$ , na hrubý odhad tohto koeficienta je možné použiť Tabuľku VII. Tabuľka uvádza  $f_A$  ako funkciu kategórie zasiahnutého územia a obývanej časti kruhovej plochy, ktorej polomer je maximálny dosah účinkov.

- Určiť korekčný koeficient  $f_m$  (navrhnuté hodnoty sú v Tabuľke VIII).

Tento korekčný koeficient zohľadňuje možné zmierňujúce opatrenia, ktoré môžu ľudia vykonať, ako je napríklad evakuácia, kryty, atď. Tieto opatrenia sú silne závislé na type havárie a v nej sa vyskytujúce látky.

Napríklad v prípade výbuchu sú možnosti zmierňujúcich opatrení obmedzené a preto sa nepoužije žiadna korekcia ( $f_m = 1$ ). Výnimkou je navrhnutá hodnota pre uskladnenie tlakových fliaš s horľavými plynmi - referenčné číslo 13 - pre ktoré je  $f_m = 0,1$  z toho dôvodu, že vybuchujú nie naraz, ale postupne.

Dôvody pre navrhnuté malé hodnoty pre toxické látky sú:

- čas, po ktorý musí byť osoba vystavená účinkom na to, aby sa prejavili smrteľné účinky
- čas, ktorý je potrebný pre rozptýlenie na veľkú vzdialenosť
- varovanie zápachom

Ohrozené osoby môžu potom prijať účinné ochranné opatrenia ako je útek, úkryt, atď.

- Vypočítať vonkajšie dôsledky  $C_{a,s}$  pomocou rovnice (1).
- Rovnica (1) používa na stanovenie počtu ľudí (vnútri a vonku) v zasiahnutej oblasti A koeficienty A,  $\delta$  a  $f_A$ .

Dôsledky sa dajú určiť spočítaním ľudí v zasiahnutej oblasti, ako je uvedené v Tabuľke V. Zohľadnené územie v Tabuľke V je územie v určitej vzdialenosti (maximálna vzdialenosť podľa jednej z kategórií A - H) a určitého tvaru (kruhové územie I, polkruhové územie II, predĺžený mrak III).

Určenie maximálnych dôsledkov v prípade kategórií zasiahnutého územia II a III je možné po stanovení smeru vetra, následne sa spočíta maximálny počet ľudí v zasiahnutých územiach.

Použitím tejto metódy sa dajú vypustiť nasledovné kroky: “určenie rozdelenia obyvateľstva” a “určenie korekčného koeficienta zasiahnutého územia  $f_A$ ”.

Vonkajšie dôsledky  $C_{a,s}$  sa dajú potom vypočítať jednoduchou rovnicou  $N \cdot f_m$ .

- Zopakovať vyššie uvedený postup pre všetky nemobilné činnosti a prepravné trasy.

#### 4.1 PRÍKLAD

Sklad benzínu obsahuje 2000 t tejto látky. Pozostáva so zapustených nádrží. Blízka dedina by mohla byť závažnou haváriou zasiahnutá; jej hustota obyvateľstva je okolo 20 osôb/ha. Minimálna vzdialenosť dediny od skladu je 30 m. Dedina sa rozkladá do vzdialenosti 100 m od skladu. Dedina zaberá 20 % územia v okruhu 100 m od skladu.

*Riešenie*

Príloha I

Tabuľka II (kontrolný zoznam)

a Tabuľka IV (a): Sklad benzínu so zapustenými nádržami (referenčné číslo 4).

Tabuľka IV (a): 2000 t: Kategória účinkov = CII

Tabuľka V Kategória účinkov CII zodpovedá maximálnemu dosahu účinkov = 100 m a zasiahnuté územie = 1,5 ha

Tabuľka VI: Hustota obyvateľstva v dedine = 20 osôb/ha



Tabuľka VII: Korekčný koeficient rozdelenia obyvateľstva = 0,4 (kategória zasiahnutého územia II, časť plochy, kde sú obydlia je 20 % kruhovej plochy s polomerom 100 m).

Tabuľka VIII: Korekčný koeficient vyjadrujúci zmiernujúce opatrenia = 1 (horľavá látka, referenčné číslo 4)

Určenie počtu obetí:

$$1,5 \text{ (ha)} \cdot 20 \text{ (osôb/ha)} \cdot 0,4 \cdot 1 = 12 \text{ obetí}$$

## 5. URČENIE PRAVDEPODOBNOTÍ ZÁVAŽNEJ HAVÁRIE V PRÍPADE FIXNÝCH ZARIADENÍ

Aby sa dala vypočítať pravdepodobnosť ( $P_{i,s}$ , počet havárií/rok) havárií s výskytom nebezpečných látok (dolný index s), je pre každé nebezpečné zariadenie (dolný index i), ktoré zapríčini dôsledky, ktoré boli stanovené v kapitole 4 potrebné vypočítať príslušný tzv. index pravdepodobnosti ( $N_{i,s}$ ).

$N_{i,s}$  sa dá vypočítať pomocou rovnice (2)

$$N_{i,s} = N_{i,s}^* + n_l + n_f + n_o + n_p$$

kde:

$N_{i,s}^*$  = priemerný index pravdepodobnosti pre zariadenie a látku;

$n_l$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti zohľadňujúci frekvenciu nakladania a vykladania

$n_f$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti zohľadňujúci bezpečnostné systémy spojené s horľavými látkami

TABUĽKA IX PRIEMERNÉ INDEXY PRAVDEPODOBNOTI ( $N_{i,s}^*$ ) PRE (FIXNÉ) ZARIADENIA

Látky (referenčné čísla)	Činnosť	
	Skladovanie	Výrobné zariadenie
<b>Horľavá kvapalina</b> (1 – 3)	<b>8</b>	<b>7</b>
<b>Horľavá kvapalina</b> (4 – 6)	<b>7</b>	<b>6</b>
<b>Horľavý plyn</b> (7)	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>Horľavý plyn</b> (9)	<b>7</b>	<b>6</b>
<b>Horľavý plyn</b> (10, 11)	<b>6</b>	-
<b>Horľavý plyn</b> (13)	<b>4</b>	-
<b>Výbušnina</b> (14, 15)	<b>7</b>	<b>6</b>
<b>Toxická kvapalina</b> (16 – 20)	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Toxický plyn</b> (30 – 34)	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>Toxický plyn</b> (35 – 39)	<b>6</b>	-
<b>Toxický plyn</b> (42)	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Produkty spaľovania</b> (43 – 46)	<b>3</b>	-

$n_o$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti zohľadňujúci bezpečnostné riadiace a organizačné systémy

$n_p$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti zohľadňujúci smer vetra k obývaným územiám

V rámci tejto metodológie je  $N$  definované ako “index pravdepodobnosti”. Tento “index pravdepodobnosti” je vždy spätý s ekvivalentnou hodnotou pravdepodobnosti  $P$ . Vzťah medzi  $N$  a  $P$  je

$$N = | \log_{10} P |$$

## POSTUP

- Vybrať jednu z činností.
- Ak môže viac ako jedna látka z tej istej činnosti spôsobiť škodu nezávisle na iných látkach, je treba ju analyzovať samostatne. Ak sa vyskytuje skupina látok spolu, je treba ich zohľadniť ako jednu (rovnocennú) látku.
- Vybrať priemerný index pravdepodobnosti pre každú nebezpečnú látku (alebo skupinu látok) identifikovaných pre každú z činností (Tabuľka IX).
- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_1$  (Tabuľka X (a)).

Tento parameter vyjadruje frekvenciu nakladania/vykladania nebezpečných látok v zariadení.

- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_f$  (Tabuľka XI).

Tento parameter sa používa len pre horľavé látky. Zohľadňuje existenciu bezpečnostných systémov a počet skladovaných fliaš.

## TABUĽKA X(a). KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_1$ ) PRE FREKVENCIU NAKLADANIA/VYKLADANIA

Frekvenciu nakladania/vykladania <sup>a</sup> (za rok)	Parameter
1 - 10	+ 0,5
10 - 50	0
50 - 200	-1
200 - 500	-1,5
500 - 2000	-2

## TABUĽKA X(b). KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_1$ ) PRE FREKVENCIU NAKLADANIA/VYKLADANIA (pokračovanie)

Odhliadnuc od činností nakladania/vykladania sú v prístave možné kolízie lodí navzájom, ktoré môžu poškodiť nakladanú/vykladanú loď.

<sup>a</sup> Pre všetky činnosti okrem potrubí a skladovania tlakových fliaš (referenčné číslo 13). Pri výpočte dôsledkov je dôležité si uvedomiť množstvo nebezpečnej látky v plnej/prázdnej nádrži na lodi, železnici/ceste, železničnej cisterne/autocisterne alebo nádrži na čerpacej stanici /autocisterne. V prípade lode je tiež dôležité zohľadniť možnosť kolízie v prístave (pozri tabuľku X (b))

(I)	Počet lodí prechádzajúcich v prístave za rok:	
	300 - 3000	-3
	3000 - 30 000	-4
	30 000 - 300 000	-5
(II)	Počet nakladaných/vykladaných lodí za rok:	
	30 - 300	-2
	300 - 3 000	-3
	3 000 - 30 000	-4
(III)	Priemerný čas nakladania/vykladania:	
	1 hodina	0
	3 hodiny	-0,5
	10 hodín	- 1
Index pravdepodobnosti sa dá stanoviť takto:		
$10 + (I) + (II) + (III)$		
Výpočet dôsledkov sa vykoná na základe obsahu jednej (priemernej) nádrže v (priemernej) nakladanej/vykladanej lodi.		

**TABUĽKA XI. KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_f$ ) PRE HORĽAVINY**

Látka (referenčné číslo)	Bezpečnostné oparenia - počet tlakových fliaš	Parameter
Horľavý plyn (7, 13)	Samočinné hasiace zariadenie	+ 0,5
Horľavý plyn (10)	Dvojitý obal	+ 1
Horľavý plyn (13)	Požiarna stena	+ 1
	Samočinné hasiace zariadenie	+ 0,5
	5 - 50 skladovaných tlakových fliaš	+ 1
	50 - 500 skladovaných tlakových fliaš	0
	>500 skladovaných tlakových fliaš	- 1

**TABUĽKA XII. KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_o$ ) PRE ORGANIZAČNÚ BEZPEČNOSŤ<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Tu je zahrnutých niekoľko faktorov: bezpečnostný riadiaci systém, vek zariadenia, dokumentácia a postupy, bezpečnostná kultúra, vzdelávanie, havarijné plánovanie, atď.

Nadpriemerné bezpečnostné opatrenia	+ 0,5
Priemerné bezpečnostné opatrenia	0
Podpriemerné bezpečnostné opatrenia	- 0,5
Nedostatočné bezpečnostné opatrenia	- 1
Neexistujúce bezpečnostné opatrenia	- 1,5

TABUĽKA XIII. KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_p$ ) PRE SMER VETRA SMEROM K OBÝVANÉMU (OBÝVANÝM) ÚZEMIU (ÚZEMIAM) V ZASIAHNUTEJ ZÓNE

Kategória zasiahnutého územia	Časť územia (%), kde žijú ľudia				
	100%	50%	20%	10%	5%
I	0	0	0	0	0
II	0	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5
III	0	+ 0,5	+ 0,5	+ 1	+ 1,5

TABUĽKA IX. PREVOD INDEXU PRAVDEPODOBNOTI (N) NA PRAVDEPODOBNOTŤ ( $P_i$  udalosť/rok)<sup>b</sup>

N	P	N	P	N	P
0	$1 \cdot 10^0$	5	$1 \cdot 10^{-5}$	10	$1 \cdot 10^{-10}$
0,5	$3 \cdot 10^{-1}$	5,5	$3 \cdot 10^{-6}$	10,5	$3 \cdot 10^{-11}$
1	$1 \cdot 10^{-1}$	6	$1 \cdot 10^{-6}$	11	$1 \cdot 10^{-11}$
1,5	$3 \cdot 10^{-2}$	6,5	$3 \cdot 10^{-7}$	11,5	$3 \cdot 10^{-12}$
2	$1 \cdot 10^{-2}$	7	$1 \cdot 10^{-7}$	12	$1 \cdot 10^{-12}$
2,5	$3 \cdot 10^{-3}$	7,5	$3 \cdot 10^{-8}$	12,5	$3 \cdot 10^{-13}$
3	$1 \cdot 10^{-3}$	8	$1 \cdot 10^{-8}$	13	$1 \cdot 10^{-13}$
3,5	$3 \cdot 10^{-4}$	8,5	$3 \cdot 10^{-9}$	13,5	$3 \cdot 10^{-14}$
4	$1 \cdot 10^{-4}$	9	$1 \cdot 10^{-9}$	14	$1 \cdot 10^{-14}$
4,5	$3 \cdot 10^{-5}$	9,5	$3 \cdot 10^{-10}$	14,5	$3 \cdot 10^{-15}$

- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_o$  (Tabuľka XII)

Tento parameter zodpovedá organizačným a riadiacim bezpečnostným aspektom, ako sú vek zariadenia, kvalita bezpečnostného riadiaceho systému, existencia a kvalita bezpečnostných postupov, kvalita a prax údržby a existencia evakuačných a havarijných

Hoci je známe, že pre stanovenie rizika sú tu opísané faktory dôležité, nie je možné vypracovať všeobecnú metódu, ktorá by ich všetky zohľadňovala. V tejto oblasti sú činné Technica UK a Leidenská univerzita v Holandsku, ale len v rozsahu obmedzeného počtu podrobných špecifických štúdií. Takéto špecifické analýzy neboli predmetom tejto príručky.

<sup>b</sup> N je absolútna hodnota logaritmu P ( $N = | \log_{10} P |$ ).

plánov, atď. Určovaniu tohto parametra by sa mala venovať dostatočná pozornosť, najmä ak sa zariadenie nedá priamo navštíviť a prehliadnúť.

- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_p$  (Tabuľka XIII)

Tento parameter zohľadňuje pravdepodobnosť smeru vetra smerom k obývaným územiám, ktoré boli predtým identifikované ako najdôležitejšie v kruhovom území, ktorého polomer je maximálny dosah účinkov.

Parameter sa neaplikuje na havárie so symetrickými účinkami (t.j. kruhové zasiahnuté územie, kategória zasiahnutého územia I, typické pre výbuchy).

V prípade zasiahnutých území nepokrývajúcich kruh (kategórie zasiahnutého územia II a III, typické pre rozptýlené nebezpečné látky), musí užívateľ zohľadniť rovnaký kruhový výsek, aký bol zohľadnený pre korekčnú koeficient  $f_p$  pri postupe uvedenom v kapitole 4.

Ak zasiahnuté územie nepokrýva kruh, ale ľudia bývajú všade okolo činnosti, je parameter nulový (pozri Obr. 5).

Hodnoty uvedené v Tabuľke XIII sú vypočítané za predpokladu rovnakého rozdelenia pravdepodobností smerov vetra pri náraste jeho sily.

- Vypočítať index pravdepodobnosti  $N_{i,s}$  podľa rovnice (2).
- Previest' index pravdepodobnosti na pravdepodobnosť  $P_{i,s}$  pomocou tabuľky XIV alebo priamo pomocou definície N.
- Opakovať všetky tieto kroky pre všetky nemobilné činnosti.

## 5.1. PRÍKLAD

Sklad 1700 40 kg tlakových fliaš obsahujúcich propán-bután má ochrannú požiarňu stenu a automatické hasiace zariadenie. Minimálna vzdialenosť medzi skladoom a obývaným územím je 10 m. Obývané územie zaberá asi 15% kruhovej plochy medzi 10 a 100 m od skladu.

### Riešenie

#### Príloha I

Tabuľka II (Kontrolný zoznam)

a Tabuľka IV (a): Uskladnenie horľavých plynov (referenčné číslo 13).

Tabuľka IV (a) a Tabuľka V: Celková hmotnosť plynu =  $0,04 \cdot 1700 = 68t$ ; kategória účinkov a zasiahnutého územia = CII (dosah účinkov - 100; zasiahnuté územie = 3 ha).

Tabuľka IX: Štandardný index pravdepodobnosti = 4

Tabuľka X (a): Vynechá sa (pozri poznámku k Tabuľke X (a)).

Tabuľka XI: Musia sa zohľadniť tri korekčné parametre indexu pravdepodobnosti pre horľavé látky:  
požiarňu ochranná stena = + 1  
automatický hasiaci systém = + 0,5  
viac ako 500 skladovaných tlakových fliaš = - 1

Celkový korekčný parameter pre horľaviny = + 0,5

Tabuľka XII: Korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre bezpečnostné riadiace systémy, atď.: určíme, že pre túto činnosť = - 0,5.

Tabuľka XIII: Korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre rozdelenie obyvateľstva v kruhovom území a pravdepodobnosť určitého smeru vetra = 0 (kategória zasiahnutého územia = I).

Stanovenie pravdepodobnosti výskytu (z Tabuľky XIV):

$$4 + 0,5 - 0,5 = 4, \text{ čo zodpovedá } 10^{-4} \text{ havárií/rok}$$

## 6. URČENIE PRAVDEPODOBNOSTÍ ZÁVAŽNEJ HAVÁRIE V PRÍPADE PREPRAVY NEBEZPEČNÝCH LÁTOK

Aby sa dala vypočítať pravdepodobnosť ( $P_{t,s}$  - počet havárií/rok) havárií počas prepravy (dolný index t) nebezpečných látok (dolný index s), ktoré vyústia do dôsledkov, ktoré boli určené v kapitole 4, musí sa najprv stanoviť index pravdepodobnosti  $N_{t,s}$ .

$N_{t,s}$  sa dá vypočítať pomocou rovnice (3):

$$N_{t,s} = N_{t,s}^* + n_c + n_{t\delta} + n_p \quad (3)$$

kde:

$N_{t,s}^*$  = priemerný index pravdepodobnosti pre prepravu látok

$n_c$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre bezpečnostné podmienky prepravného systému

$n_{t\delta}$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre hustotu dopravy

$n_p$  = korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre smer vetra k obývaným územiam

V tejto metodológii je N definované ako “index pravdepodobnosti”. Tento “index pravdepodobnosti” je vždy späť s hodnotou pravdepodobnosti P.

Vzťah medzi N a P je:

$$N = | \log_{10} P |$$

### POSTUP

- Vybrať jednu trasu (cesta/železnica/vodná cesta/potrúbie); vybrať 1 km úsek tejto trasy; v rámci tohto úseku zohľadniť najnebezpečnejšie miesto z hľadiska nepriaznivej kombinácie vysokej hustoty obyvateľstva a nízkej bezpečnosti dopravy (pozri tiež kapitolu 3).
- Ak sa po tejto trase prepravuje viacero nebezpečných látok, je treba ich analyzovať oddelene.
- V Tabuľke XV vybrať priemerný index pravdepodobnosti pre každú nebezpečnú látku alebo skupinu látok (pozri tiež Tabuľku XVI, ktorá uvádza zoznam medzinárodných prepravných kódov pre horľavé, toxické a výbušné látky). Toto sa musí urobiť pre každú identifikovanú časť analyzovanej trasy.
- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_c$  (Tabuľka XVII).

Tento parameter zohľadňuje bezpečnostné podmienky prepravného systému. Tabuľka je rozdelená na dve. Tabuľka XVII (a) udáva celkové korekčné parametre (priemer korešponduje so skôr definovanými); Tabuľka XVII (b) udáva korekčné parametre pre železničnú dopravu. Osobitnú pozornosť treba venovať nákladným železničným staniciam v blízkosti priemyselných oblastí.

- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_{t\delta}$  (Tabuľka XVIII).

Tento parameter zohľadňuje hustotu dopravy, t.j. počet prepravných jednotiek (automobilových cisterien, železničných vozňov, vlečných člnov, atď.) za rok, používaných na prepravu nebezpečných látok alebo počet, s ktorými sa za rok manipuluje na nákladnej stanici (železničnej). Pre podzemné potrubie  $n_{t\delta} = 1$ , pretože sa používa neustále.

Úloha stanovenia hustoty dopravy môže byť ťažká a zdĺhavá. Pretože táto metóda umožňuje len predbežný a rýchly odhad, odporúča sa, aby užívateľ, ktorý má len obmedzené informácie, vykonal najprv podrobnejšiu analýzu dopravy na úseku trasy len vtedy, keď významne prispieva k riziku pre verejnosť.

- Určiť korekčný parameter indexu pravdepodobnosti  $n_p$  (Tabuľka XIX).

Tento parameter, opísaný v kapitole 5, zohľadňuje smer vetra a rozdelenie obyvateľstva v kruhovom území, ktorého polomer je maximálny dosah účinkov.

TABUĽKA XV. PRIEMERNÉ INDEXY PRAVDEPODOBNOTI ( $N_{t,s}^*$ ) PRE HAVÁRIE PRI PREPRAVE<sup>a</sup>

Látky (referenčné číslo)	Preprava			
	Cesta	Železnica	Voda <sup>b</sup>	Potrubié
Horľavá kvapalina (2)				6
Horľavá kvapalina (5)				5
Horľavá kvapalina (6)	8,5	9,5	8	
			10	
Horľavý plyn (7)	9,5	10,5		
Horľavý plyn (8)				6
Horľavý plyn (9)			11	
Horľavý plyn (11)			10	
Horľavý plyn (12)				6
Výbušnina (14)	9	10	9 <sup>c</sup>	
Toxická kvapalina (19, 23, 27)	7,5	8,5		
Toxická kvapalina (20, 24, 28)			7	
			9	
Toxický plyn (31, 32)	9,5	10,5	10	
Toxický plyn (36, 37)			9	6
Toxický plyn (40, 41, 42)				5 <sup>d</sup>

TABUĽKA XVI. MEDZINÁRODNÉ PREPRAVNÉ KÓDY (IMDG - RID - ADR - ADNT)

Látka	(Referenčné číslo)	Medzinárodný prepravný kód
Horľavý plyn	7	kombinácia prvej číslice 2 a číslice 3
Horľavá kvapalina	6	kombinácia prvej číslice 3 a číslice 3
Vysoko toxický plyn	32	26 265 266
Stredne toxický plyn	31	236 268 286
Toxická kvapalina	19	kombinácia prvej číslice 3 a číslice 6
		kombinácia prvej číslice 2 (a niekedy 8)
Výbušnina	14	1.1 1.2 1.5

V prípade len toxických látok je potrebné pracovať len s kódmi OSN v kombinácii so zoznamom látok v Prílohe I.

<sup>a</sup> Tabuľka udáva iba hodnoty, ktoré sú potrebné pre túto príručku

<sup>b</sup> Vnútrozemské vodné cesty

<sup>d</sup> Pre látky, ktoré sú v styku s vodou veľmi korozívne



TABUĽKA XVII. KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_c$ )  
PRE BEZPEČNOSTNÉ PODMIENKY PREPRAVNÉHO SYSTÉMU

(a) všeobecne

	Cesta	Železnica (b)	Lod'	Potrubie
Bezpečný <sup>a</sup>	+ 1		+ 0,5	+ 1
Priemerný <sup>b</sup>	-		-	-
Nie bezpečný <sup>c</sup>	- 1		- 0,5	- 1

<sup>a</sup> Príklady: Trasy bez križovatiek, trasy s riedkou alebo žiadnou dopravou  
Cesty so samostatnými jazdnými pruhmi  
Vodné cesty: široké, priame  
Potrubia vybavené novou regulačnou technikou a s osobitnými opatreniami.

<sup>b</sup> Hodnoty sa používajú, ak nie je možné trasu zaradiť do zvyšných dvoch kategórií.

<sup>c</sup> Príklady: Trasy známe častými nehodami.  
Cesty s križovatkami s intenzívnou dopravou, s rozdvojeniami, ostrými ohybmi, bez semaforov, s klzkou dlažbou.  
Vodné cesty: klukaté, s križovatkami, s prevádzkou trajektov, s kotviskami pre prekládku tovaru, s prekážkami - ako sú mosty a plavebné komory  
Potrubie: ak je staré, so zastaralou regulačnou technikou, ak ich poloha nie je presne známa alebo ak nie sú označené.

Skutočné hodnoty pre "bezpečné" a "nie bezpečné" môžu v skutočnosti mať dokonca väčšiu odchýlku ako údaje uvedené v tabuľke.

(b) Železničná preprava

Štandardná voľná trať		-
Nákladná vlečka <sup>d</sup>		- 1
Nákladná (zoraďovacia) stanica	vagóny púšťané zo svahu	- 3
	ťahané rušňom a voľne púšťané vagóny	- 3
	vagóny ťahané rušňom	- 2
	zoraďované vagóny sú v zlom stave <sup>e</sup>	- 1
	nákladné stanice sú v zlom stave <sup>f</sup>	- 1

<sup>d</sup> najmä bočné trate k zariadeniam

<sup>e</sup> často sa vyskytuje únik látok

<sup>f</sup> voľný vstup do areálu, znečistená pôda, manuálna práca, atď.

TABUĽKA XVIII KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_{t\delta}$ ) PRE HUSTOTU DOPRAVY

Počet vozidiel/loží za rok	Parameter
10 - 50	- 1,5
50 - 200	- 2
200 - 500	- 2,5
500 - 2000	- 3
2000 - 5000	- 3,5
5000 - 20000	- 4

TABUĽKA XVIII KOREKČNÝ PARAMETER INDEXU PRAVDEPODOBNOTI ( $n_p$ ) PRE SMER VETRA K OBÝVANÉMU ÚZEMIUM (ÚZEMIAM) V ZASIAHNUTOM ÚZEMÍ.

Kategória zasiachnutého územia	Časť územia (%), kde žijú ľudia				
	100%	50%	20%	10%	5%
I	0	0	0	0	0
II	0	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5
III	0	+ 0,5	+ 0,5	+ 1	+ 1,5

TABUĽKA XX. PREVOD INDEXU PRAVDEPODOBNOTI (N) NA PRAVDEPODOBNOTŤ ( $P_i$  udalost'/rok)<sup>a</sup>

N	P	N	P	N	P
0	$1 \cdot 10^0$	5	$1 \cdot 10^{-5}$	10	$1 \cdot 10^{-10}$
0,5	$3 \cdot 10^{-1}$	5,5	$3 \cdot 10^{-6}$	10,5	$3 \cdot 10^{-11}$
1	$1 \cdot 10^{-1}$	6	$1 \cdot 10^{-6}$	11	$1 \cdot 10^{-11}$
1,5	$3 \cdot 10^{-2}$	6,5	$3 \cdot 10^{-7}$	11,5	$3 \cdot 10^{-12}$
2	$1 \cdot 10^{-2}$	7	$1 \cdot 10^{-7}$	12	$1 \cdot 10^{-12}$
2,5	$3 \cdot 10^{-3}$	7,5	$3 \cdot 10^{-8}$	12,5	$3 \cdot 10^{-13}$
3	$1 \cdot 10^{-3}$	8	$1 \cdot 10^{-8}$	13	$1 \cdot 10^{-13}$
3,5	$3 \cdot 10^{-4}$	8,5	$3 \cdot 10^{-9}$	13,5	$3 \cdot 10^{-14}$
4	$1 \cdot 10^{-4}$	9	$1 \cdot 10^{-9}$	14	$1 \cdot 10^{-14}$
4,5	$3 \cdot 10^{-5}$	9,5	$3 \cdot 10^{-10}$	14,5	$3 \cdot 10^{-15}$

- Vypočítať index pravdepodobnosti  $N_{t,s}$  pomocou rovnice (3).
- Previesť index pravdepodobnosti na pravdepodobnosť  $P_{i,s}$  pomocou Tabuľky XX alebo priamo pomocou definície N.
- Ak je časť cesty/železnice/vodnej cesty/potrubia vystavená riziku havárie z dôvodu prepravy nebezpečných látok (pozri Obr. 6 a 7), musia byť vypočítané pravdepodobnosti pre každú látku zoskupené podľa tried zranení (definované v časti o spoločenskom riziku). Takto získané pravdepodobnosti, ktoré sa vzťahujú k tej istej triede zranení, sa musia sčítať. Číslo vypočítané pre každú triedu je pravdepodobnosť havárie na kilometer trasy a

<sup>a</sup> N je absolútna hodnota logaritmu P ( $N = | \log_{10} P |$ ).

rok, ktorá vyústi do určitého počtu obetí spadajúcich do rozsahu, ktorý je charakterizovaný triedou samotnou.

- Všetky kroky zopakovať pre všetky identifikované časti komerčných trás.

## 6.1. PRÍKLAD

Analyzujú sa riziká spojené s cestou dlhou 10 km. Preprava nebezpečných látok zahŕňa: 4000 cisternových automobilov s LPG za rok 200 cisternových automobilov stredne toxickým plynom (napr. čpavok) za rok. Pozornosť analyzujúcej osoby je zameraná na jednu časť, dlhú cca 1200 m, s nedostatočnou bezpečnosťou dopravy a husto obývaným územím na jednej strane cesty.

### Riešenie

Príloha I

Tabuľka II (kontrolný zoznam)

a Tabuľka IV (a): LPG je tlakom skvapalnený horľavý plyn: referenčné číslo pre  $S_1 = 7$ .

Čpavok je stredne toxický plyn. Referenčné číslo pre  $S_2 = 31$ .

Tabuľka IV (a) a Tabuľka V: Hmotnosť prepravovaného LPG je v rozsahu 10 - 50 t/cisternu, kategória účinkov a zasiahnutej plochy pre  $S_1 = CI$  (maximálny dosah účinkov 100 m, zasiahnutá plocha = 3 ha).

Hmotnosť prepravovaného čpavku je v rovnakom rozsahu, kategória účinkov a zasiahnutej plochy pre  $S_1 = CII$  (maximálny dosah účinkov 100 m, zasiahnutá plocha = 1,5 ha).

Tabuľka XV: Priemerný index pravdepodobnosti: pre  $S_1$  a  $S_2 = 9,5$ .

Tabuľka XVII: Korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre bezpečnostné podmienky analyzovanej časti cesty: pre  $S_1$  a  $S_2 = -1$ .

Tabuľka XVIII: Korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre hustotu dopravy: pre  $S_1 = -3,5$   
pre  $S_2 = -2$ .

Tabuľka XIX: Korekčný parameter indexu pravdepodobnosti pre rozdelenie obyvateľstva a smer vetra: pre  $S_1 = 0$  (kategória zasiahnutého územia = I)  
pre  $S_2 = +0,5$  (kategória zasiahnutého územia = II; 50% obývané).

Stanovenie pravdepodobnosti havárie (z Tabuľky XX):

pre  $S_1$ :  $9,5 - 1 - 3,5 = 5 \implies 10^{-5}$  udalosti/rok;

pre  $S_2$ :  $9,5 - 1 - 2 + 0,5 = 7 \implies 10^{-7}$  udalosti/rok.

## 7. URČENIE SPOLOČENSKÉHO RIZIKA

Pre každú analyzovanú činnosť (zariadenie alebo časť cesty/železnice/vodnej cesty/potrúbia) bola vypočítaná dvojica čísel (alebo viac ako dvojica v prípade rôznych kategórií látok, ako bolo uvedené skôr): (i) počet obetí (kapitola 4) a (ii) pravdepodobnosť závažnej havárie, ktorá

vyústi do tohto počtu obetí (kapitolu 5 a 6). Riziko pre verejnosť z týchto činností sa určí kombináciou oboch čísel (pozri Obr. 8).

## POSTUP

- Zatriediť každú činnosť pomocou škály tried dôsledkov a škály tried pravdepodobnosti. Sú definované nasledovne:

### **triedy dôsledkov:**

0 - 25  
26 - 50  
51 - 100  
101 - 250  
251 - 500  
> 500      obetí/havária

**triedy pravdepodobností:** po jednom ráde parametra: počet havárií za rok.

- Ak určitá činnosť predstavuje pre verejnosť riziko vyplývajúce z jednotlivých látok, ktoré môžu zapríčiniť haváriu nezávisle na sebe, je treba spočítať riziká tých látok, ktoré majú rovnakú triedu dôsledkov (príklad je v kapitole 7.1.)
- Umiestniť všetky zatriedené činnosti do matice pravdepodobností a dôsledkov pre klasifikáciu rizík (príklad je na Obr. 9).  
Takto sa v jednej bunke matice objavia všetky činnosti, ktoré majú rovnakú triedu rizika. Všetky nebezpečné činnosti v sledovanom území sú uvedené v jednej matici pravdepodobností a dôsledkov.

obrázok

os x: dôsledky (obete/havária)  
os y: pravdepodobnosť (havárie/rok)

Obr. 9 Matica pravdepodobností a dôsledkov pre klasifikáciu rizika (s príkladom).

## 7.1. PRÍKLAD

Určité územie bolo analyzované pomocou metodológie vysvetlenej v kapitolách 3 - 6. Na časti cesty dlhej cca 1 km boli identifikované dve činnosti, ktoré predstavujú pre obyvateľstvo riziko: sklad LPG a preprava štyroch nebezpečných látok (ktoré sú tu označené symbolmi T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> a T<sub>4</sub>). Bola vypočítaná nasledovná dvojica hodnôt (C = obete/havária a P = ročná pravdepodobnosť havárie):

Sklad LPG:             $C_{LPG} = 120$  obetí/havária  
                              $P_{LPG} = 3 \cdot 10^{-5}$  havárií/rok

Preprava po ceste:     $C_{T1} = 6$  obetí/havária

$$P_{T1} = 10^{-5} \text{ havárií/rok}$$

$$C_{T2} = 50 \text{ obetí/havária}$$

$$P_{T2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ havárií/rok}$$

$$C_{T3} = 4 \text{ obetí/havária}$$

$$P_{T3} = 10^{-4} \text{ havárií/rok}$$

$$C_{T2} = 45 \text{ obetí/havária}$$

$$P_{T2} = 10^{-6} \text{ havárií/rok}$$

obrázok

Obr. 10. Varianty pre kritériá prijateľnosti spoločenského rizika.

*Riešenie*

- $C_{T1}$  a  $C_{T3}$  patria do triedy havárií, ktorá vyústi do počtu obetí  $< 25$
- $C_{T2}$  a  $C_{T4}$  patria do triedy havárií s 26 - 50 obeťami/havária.

Potom,

$$P_{T1} + P_{T3} \approx 10^{-4} \text{ havárií/rok}$$

$$P_{T2} + P_{T4} \approx 4 \cdot 10^{-6} \text{ havárií/rok}$$

- Výsledky sa teraz dajú interpretovať pomocou matice pravdepodobností a dôsledkov, ktorá dáva celkový obraz o riziku na danom území (Obr. 9).

## 8. STANOVENIE PRIORÍT RIZÍK

Kritérium (alebo kritériá) prijateľnosti spoločenských rizík sa musia definovať ešte predtým, ako sa bude úloha riešiť.

Podľa Obr. 8, kategórie s najväčším rizikom sú v pravom hornom rohu matice pravdepodobností a dôsledkov, t.j. činnosť s relatívne vysokou pravdepodobnosťou a vážnymi dôsledkami. Avšak je treba zohľadniť, že koncept spoločenského rizika v sebe nesie to, že riziko s vážnejšími dôsledkami a menšou pravdepodobnosťou je vnímané ako vážnejšie v porovnaní s rizikom s menej vážnymi dôsledkami a vyššou pravdepodobnosťou.

Kritériá prijateľnosti sa môžu stanoviť rôznym spôsobom:

- stanovením prahu len pre triedy pravdepodobnosti (Obr. 10 (a)) alebo
- stanovením prahu len pre triedy dôsledkov (Obr. 10 (b)) alebo
- zohľadnením kombinácie oboch tried (Obr. 10 (c)).

POSTUP

- V matici pravdepodobností a dôsledkov identifikovať všetky činnosti, ktoré nespĺňajú vybrané kritériá (t.j. všetky činnosti, ktorých vypočítané riziko je za hranicou prijateľnosti).
- Zoznam všetkých týchto činností je výsledným produktom tejto úlohy.

## **9. POZNÁMKA K IMPLEMENTÁCII**

- Stanovenie kritéria alebo súboru kritérií potrebných na určenie priorít činností, ktorých riziká sú posudzované podrobnejšie a prednostne pred ostatnými činnosťami, je záležitosťou jednotlivých krajín.

**Úlohou tejto príručky nie je odporúčať žiadne konkrétne kritérium pre prijateľnosť alebo tolerovateľnosť rizika.**

- Všeobecným odporúčaním môže byť, že činnosť s rizikom relatívne vážnych dôsledkov a vysokou pravdepodobnosťou a činnosť s rizikom relatívne vážnych dôsledkov a nízkou pravdepodobnosťou by mali byť posúdené v porovnaní s činnosťou s rizikom menej vážnych dôsledkov a vysokou pravdepodobnosťou podrobnejšie.
- Môžeme sa dopracovať k dvom možnostiam konečného riešenia:  
Prípád (i): Činnosti sú v matici pravdepodobností a dôsledkov roztrúsené, čo umožňuje klasifikáciu a stanovenie priorít priamo podľa vyššie uvedených princípov.

Prípád (ii): Všetky činnosti sú na jednej strane (nad alebo pod) čiary kritéria prijateľnosti pravdepodobnosti a dôsledkov. V tomto prípade by sa pre ďalšie stanovenie priorít malo použiť dodatočné kritérium. Toto by malo byť stanovené len na základe dôsledkov alebo len na základe pravdepodobnosti alebo posunutím čiary kritéria prijateľnosti pravdepodobnosti a dôsledkov na nižšie hodnoty.

## PRÍLOHA I: ZOZNAM LÁTOK

Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
1-3	Horľavé kvapaliny tlak pár < 0,3 bar pri 20° C (teplota vzplanutia > 20° C)	Allylalkohol Anilín Benzaldehyd Benzylchlorid Butanol Butyldiglykol dichlórbenzén Dichlórpropén Nafta Dietylkarbonát Dimetylformamid Etanolamín Etyl mravčan Etylglykolacetát Etylsilikát Etylénchlórhydrín Etylénglykol Vykurovací olej Furfural Furylkarbinol Izoamylalkohol Izobutanol Izopropanol Metylbutylketón Metylglykol Metylglykolacetát Naftalén Nitrobenzén Ropa Fenol Styrén Trioxán Xylén

Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
1-3	Horľavé kvapaliny tlak pár < 0,3 bar pri 20° C (teplota vzplanutia ≤ 20° C)	Acetal Acetaldehyd Acetón Acetonitril Benzén Benzilchlorid Butanedión Butanol Butanón Butylchlorid Butylmrvčan Cyklohexén Dichlóretán Dichlórpropán Dietylamín Dietylketón Dietylkarbonát Dimetylcyklohexán Dioxán Etanol Etylacetát Etylakrylát Etylbenzén Etylmrvčan Heptán Hexán Izobutylacetát Izobutyléter Metanol Metylacetát Metylcyklohexán Metylizobutylketón Metylmetakrylát Metylpropionát Metylvinylketón Oktán Piperidín Propylacetát Pyridín Toluén Trietylamín Vinylacetát



Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
4-6	Horľavé kvapaliny tlak pár $\geq 0,3$ bar pri 20° C	Sírouhlík Kolódiový roztok Cyklopentán Dietyléter Etylbromid Izopropén Izopropylalkohol Metylmravčan Ťažký benzín (ligroín) Kondenzát zemného plynu Pentán Benzín Propanol (propylalkohol) Propylénoxid
7-9	Horľavé plyny skvapalnené tlakom	1,3-butadién Bután Butén Cyklopropán Difluóretán Dimetyléter Etán Etylchlorid Izobután Izobutylén LPG Metyléter Propadién Propán Propylén
10, 11	Horľavé plyny skvapalnené chladoom*	Etén Metán Metylacetylén Zemný plyn (LPG)
12	Horľavé plyny pod tlakom	Etylén Vodík Metán Metylacetylén Zemný plyn (LPG)
13	Horľavé plyny v tlakových fľašiach	Acetylén Bután Vodík LPG Propán

\* Pozri tiež zoznam horľavých plynov skvapalnených tlakom (referenčné čísla 7 - 9)

Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
4-6	Výbušniny	Dusičnan amónny (hnojivo typu A1) Munícia Nitroglycerín TNT
16, 17	Málo toxické kvapaliny	Acetylchlorid Allylamín Allylbromid Allylchlorid Chlóropikrín Dichlóroetyléter Dimetylhydrazín Dimetylsulfid Epichlórhidrín Etánetiol Etylizokyanát Etylrichlórsilán Pentakarbonyl železa Izopropylamín Metakroleín Metylhydrazín Oxid osmičelý Perchlórmetyltiol <b>Phosphorous oxychlorid</b> Chlorid fosforitý Sulfurylchlorid Tetraetylolovo Tetrametylolovo Trichlórsilán Vynilidénchlorid

Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
18-21	Stredne toxické kvapaliny	Akroleín Akrylonitril Bróm Carbon sulphide Chlóracetaldehyd Chlórmetyléter Kyánbromid Dimetyldichlórsilán Etylchlórmravčan Etylénimín Izobutylamín Metylchlórtoamate Metyldichlórsilán Metyljodid Metyltrichlórsilán Kyselina dusičná (dymivá) Óleum (dymivá kyselina sírová) Pentaborán Propylénimín Propylénoxid Clorid ciničitý
22, 25	Vysoko toxické kvapaliny	Kyanovodík Oxid dusičitý Oxid sírový Tetrabutlamín
26, 29	Veľmi vysoko toxické kvapaliny	Metylizokyanát Nikelkarbonyl Pentafluorid síry
30,35	Málo toxické plyny	Etylamín Etylénoxid Vynilchlorid
31, 36, 40	Stredne toxické plyny	Čpavok Fluorid boritý Oxid uhoľnatý Fluorid chloritý Dimetylamín Fuorovodík Fluorid dusitý Perchloryl fluorid Silán Oxid siričitý Trimetylamín Vynilbromid

Referenčné číslo	Typ látky	Látka (príklady)
18-21	Vysoko toxické plyny	Chlorid boritý Carbonylsufid Chlór Oxid chloričitý Dichlóracetylén Formaldehyd Hexafluóracetón Bromovodík Chlorovodík Sírovodík Metylbromid Metylchlorid Oxid dusnatý Fluorid kremičitý Sulfurylfluorid Tetrahydrid cínu
33, 38	Veľmi vysoko toxické plyny	Bóretán Karbonylchlorid karbonylfluorid Kyán Dimetyléter Fluór Ketén Oxygéndifluorid Fosgén Fosfín Stibín Fluorid siričitý Fluorid telúrový
34, 39	Extrémne toxické plyny	Arzénovodík Selénovodík Ozón Fluorid selénový

V prípade látok, ktoré nie sú v tomto zozname uvedené, sa trieda toxicity určí nasledovne:

- (a) Považovať za kvapalinu, ak je tlak pár < 1 bar pri 20° C;
- (b) Považovať za plyn, ak je tlak pár > 1 bar pri 20° C;
- (c) Spočítajte parametre a a b odvodené z nižšie uvedených tabuliek pre LC<sub>50</sub> a fyzikálne vlastnosti a porovnajte s:

Súčet a + b	Trieda toxicity
6	Nízka
7	Stredná
8	Vysoká
9	Veľmi vysoká
10	Extrémna

LC <sub>50</sub> pre krysy, 4 hod, v ppm	Parameter a
0,01 - 0,1	8
0,1 - 1	7
1 - 10	6
10 - 100	5
100 - 1000	4
1000 - 10 000	3
10 000 - 100 000	2

Fyzikálne vlastnosti	Parameter b	
Kvapaliny (tlak pri 20° C)	< 0,05 bar	1
	0,05-0,3 bar	2
	0,3-1 bar	3
Skvapalnený plyn stlačený bod varu	> 265 K	3
	< 265 K	4
Skvapalnený plyn schladený bod varu	> 245 K	3
	< 245 K	3

## PRÍLOHA II: DODATOČNÉ PODKLADY

Príručka pre klasifikáciu a stanovenie priorít rizík vyplývajúcich zo závažných havárií vo výrobnej sfére a príbuzných odvetviach vychádza z myšlienok, ktoré siahajú viac ako 10 rokov dozadu. Vykonalo sa veľa príliš nákladných a časovo náročných analýz rizík bez toho, aby zodpovedali tieto otázky: (a) venovalo sa úsilie najdôležitejším priemyselným činnostiam? (b) bolo úsilie venované s tým vedomím, že konečným výsledkom bude rozhodovanie s cieľom zlepšiť situáciu?

Dnešná situácia sa vyznačuje rastúcimi skúsenosťami najmä v oblasti analýzy rizika. V súčasnosti len niekoľko stoviek odborníkov vo svete je schopných posúdiť potrebu podrobnej analýzy, zohľadňujúc pri tom potrebu zredukovať relatívne vážne riziká. Tento obmedzený počet odborníkov je pri veľkých investičných projektoch, ktoré sú potrebné na získanie celového prehľadu, v ťažkej situácii. Príručky, ako je táto, sú napísané s cieľom pomôcť riešiť tento problém.

Táto príručka je zameraná na niekoľko (konfliktných) cieľov:

- (1) Príručka musí byť pre užívateľa ľahko použiteľná
- (2) Príručka musí zohľadňovať rôznosť skúmaných (rizík) priemyselných činností.
- (3) Príručka by mala obsiahnuť všetky druhy priemyselných činností
- (4) Príručka musí byť logická a vedecky vypracovaná
- (5) Užívateľ by nemal potrebovať príliš veľa východných informácií
- (6) Užívateľ sa musí rozhodnúť, aká miera dôležitosti by mala byť rizikám priemyselných činností priradená

Je zrejmé, že pri tvorbe tejto príručky boli robené i kompromisy. Porovnávanie výsledkov metód z tejto príručky a výsledkov špecifických podrobných analýz rizika je ako porovnávanie mapy mierky 1:200 000 s mapou mierky 1:10 000. Ľudia potrebujú obe mapy, ale dôvody ich používania sú rôzne, a to je to, čo treba zdôrazniť.

Ako bolo uvedené skôr, písanie príručky, ako je táto, sa dá len na obmedzenom priestore. Hlavným problémom pripísaní príručky však je to, ako skombinovať informácie z podrobných analýz, skúsenosti z praxe a príručky prvej generácie. Riešenie tohto problému a zber údajov z už vykonaných prác trvalo roky.

V Holandsku pred viac ako desiatimi rokmi sa začala používať kvantitatívna analýza rizika pre tzv. chemické priemyselné činnosti. Táto metóda sa výraznejšie používa v Holandsku ako vo väčšine ostatných krajín. Otvorene sa hovorí o otázkach spojených s individuálnym rizikom a spoločenským rizikom. Táto metóda sa stále viac a viac používa v rozhodovacích procesoch a politických otázkach (budúce opatrenia, určenie zón, havarijné plánovanie, atď.). Boli vykonané podrobnejšie štúdie počnúc integrálnou LP6 (zrejme má byť LPG) štúdiou a štúdiou prepravy čpavku a chlóru. Prostredníctvom implementácie Seveso smernice bolo vykonaných veľa rôznych analýz rôznych priemyselných činností. Navyiac, v systéme povolení bolo už bežnou praxou posudzovať riziká spôsobené haváriou. Vývoj počas minulého roka bol silne zameraný na riziká vyplývajúce z prepravy nebezpečných látok. Boli vyvinuté metódy posudzovania týchto rizík. Väčšina z nich, ako táto príručka, sa používa ako prvý všeobecný plánovací postup.

Metódy z tejto príručky vychádzajú z profesionálnej skúsenosti a odborných posudkov. Väčšina vedeckých poznatkov, dokonca mnoho použitých čísel, bolo dostupných, hoci nikdy neboli týmto spôsobom zosumarizované (v metóde krok za krokom).

## FILOZOFIA

Reťaz je taká silná, aké je silné jej najslabšie ohnivko. Posudzovanie rizika je ako reťaz rôznych modelov: modely pre posudzovanie pravdepodobnosti, modely na výpočet účinkov rôznych vybraných scenárov a modelov opisujúcich poškodenia vyplývajúce z určitých účinkov (napr. probit funkcie pre toxické látky). Je známe, že dokonca veľmi podrobná analýza rizika sa musí vysporiadať s neurčitostami, napr. pravdepodobnosť zapálenia, vplyv údržby alebo otázka, ako využiť údaj z pokusov na krysách (napr. hodnoty  $LC_{50}$ ).

Dokonca aj podrobná analýza rizika má obmedzenia, ak sa používa absolútnym spôsobom, avšak výsledky ako sú tieto, sa používajú preto, lebo neexistuje žiadna iná praktická alternatíva.

## PRÍLOHA

### UKÁŽKY APLIKÁCIE METODIKY NA JEDNODUCHÉ TECHNOLOGIE

#### Zadanie 1

Pri výrobe polypropylénu sa používajú nasledujúce vybrané nebezpečné látky.: propylén 6 ton, amoniak 6 ton, metanol 20 ton, vodík 0,15 ton a tietylamin 0,3 tony. Okrem výrobného zariadenia prevádzka výroby polypropylénu väčšinu látok má aj v skladovacej zásobe a to v množstvách propylénu 10 ton, amoniaku 50 ton, metanol 40 ton, a tietylamin 0,3 tony. Jedine vodík je privádzaný potrubím s priemerom 0,2 m, pod tlakom 800 Pa.

#### Rozdelenie prevádzky do činností.

Osobitne budeme robiť výpočet súhrnného vyjadrenia závažnosti následkov závažnej havárie a priemerného koeficientu vzniku havárie a pre technológiu alebo výrobné zariadenie, osobitne pre skladové kapacity a osobitne pre potrubnú trasu.

#### 1. Výpočet pre skladové hospodárstvo

S využitím tabuľky 1 prílohy č.1 určíme číselný kód jednotlivých skladovaných látok.

Tabuľka a

Skladovaná látka	Číselný kód	Pozn.
propylén	7	Horľavý plyn skvapalnený tlakom
amoniak	30	Jedovatý plyn, skvapalnený tlakom
metanol	1	Horľ. kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
trietylamin	1	Horľ. kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C

Pomocou tabuľky IIa určíme podľa číselného kódu látky a množstva kódové označenie účinkov závažnej havárie a pomocou tabuľky II definujeme vzdialenosť účinkov havárie polomerom zóny ohrozenia R a celkovej zasiahnutej plochy S.

Množstvo trietylaminu a metanolu je príliš nízke a tabuľka IIa neuvádza pre ne žiadne kódové označenie závažnej havárie, preto ich z ďalšieho výpočtu pre sklady vylúčime.

Tabuľka b

Skladovaná látka	Číselný kód	Množstvo v t	Kódové označenie	R (m)	S (ha)
propylén	7	10	C I	0-100	3
amoniak	30	4	F III	0-1000	30
metanol	1	40	príliš malé množstvo	-	-
trietylamin	1	0,3	príliš malé množstvo	-	-

Teraz pre jednotlivú látku vypočítame súhrné vyjadrenie závažnosti následkov závažnej havárie N podľa vzorca

$$N = S \cdot h \cdot f_s$$

V tomto prípade pre R=100 m máme v tejto vzdialenosti umiestnený velín s 10 osobami, ktoré tam majú trvalé pracovné miesto. Hustotu zaľudnenia vypočítame podelením počtu ohrozených osôb plochou kruhu s polomerom R.

$$S_R = \pi R^2 / 2$$

$$S_R = \pi 100^2 / 2 = 15708 \text{ m}^2 = 1,57 \text{ ha}$$

$$h = 10 / 1,57 = 6,37 \text{ osoby/ha}$$

Korekčný faktor je výhodné použiť.



Velín je od príslušného zariadenia vzdialený asi 50 m ( $R_{\min}= 50$  m) a siaha asi do vzdialenosti 65 m od zariadenia ( $R_{\max}= 65$  m). Uhol  $\alpha$  je v tomto prípade  $30^\circ$  a  $\Theta$  je pre kategóriu požiaru - I daný  $360^\circ$ . So zohľadnením týchto údajov:

$$f_\alpha = \alpha / \Theta$$

$$f_\alpha = 30^\circ / 360^\circ = 0,083$$

$$f_r = (R_{\max}^2 - R_{\min}^2) / R^2$$

$$f_r = (65^2 - 50^2) / 100^2 = 0,173$$

$$f_s = f_r \cdot f_\alpha = 0,173 \cdot 0,083 = 0,01$$

$$N = S \cdot h \cdot f_s$$

$$N = 3,6 \cdot 37,0 \cdot 0,01 = 0,191$$

$$N^2 = 3,65 \cdot 10^{-2}$$

Rovnako postupujeme pre ďalšie látky. Výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka c

Parameter	Propylén	Amoniak
R (m)	100	500
S (ha)	3	8
$S_R$ (ha)	1,57	-
počet osôb	10	-
h (os/ha)	6,37	30
$\alpha$ ( $^\circ$ )	30	-
$\Theta$ ( $^\circ$ )	360	-
$R_{\max}$	65	-
$R_{\min}$	50	-
$f_\alpha$	0,083	-
$f_r$	0,173	-
$f_s$	0,01	1
N	0,191	240
$N^2$	$3,65 \cdot 10^{-2}$	57600
$10^{-3}/N^2$	$2,74 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
$10^{-4}/N^2$	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$

Podľa tabuľky Va určíme priemerný index pravdepodobnosti vzniku závažnej havárie P pre propylén pre sklady je 6 a rovnako aj v prípade amoniaku. Výsledný priemerný koeficient vzniku havárie je súčtom jednotlivých priemerných koeficientov pre jednotlivé látky.

$$P = P_{\text{prop}} + P_{\text{amon}} = 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-6}$$

Pri vyslovení záverov sa porovná vyhláškou stanovená hodnota  $10^{-3}/N^2$  pre existujúce zariadenie a  $10^{-4}/N^2$  pre nové zariadenie, ktorá by mala byť väčšia ako priemerný koeficient závažnej havárie.

$2,74 \cdot 10^{-2} > 2 \cdot 10^{-6}$  v prípade propylénu, ale  $1,7 \cdot 10^{-8} < 2 \cdot 10^{-6}$  pre prípad amoniaku. Tu sa bude musieť vykonať detailnejšia bezpečnostná analýza.

## 2. Výpočet pre výrobné zariadenia

Pri výpočte budeme postupovať rovnakým postupom, ako sme použili pri výpočte skladov. S využitím tabuľky I prílohy č.1 určíme číselný kód jednotlivých skladovaných látok.

Tabuľka d

Látka v technológii	Číselný kód	Pozn.
propylén	7	Horľavý plyn skvapalnený tlakom
amoniak	30	Jedovatý plyn, skvapalnený tlakom
metanol	1	Horľ. kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
trietylamin	1	Horľ. kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
vodík	9	Horľ. plyn skvapalnený tlakom pre technológiu

Pomocou tabuľky Ia určíme podľa číselného kódu látky a množstva kódové označenie účinkov závažnej havárie a pomocou tabuľky II definujeme vzdialenosť účinkov havárie polomerom zóny ohrozenia R a celkovej zasiahnutej plochy S.

Množstvo trietylamínu a metanolu je príliš nízke a tabuľka Ia neuvádza pre ne žiadne kódové označenie závažnej havárie, preto ich z ďalšieho výpočtu znovu vylúčime.

Tabuľka e

Látka v technológii	Číselný kód	Množstvo v t	Kódové označenie	R (m)	S (ha)
propylén	7	6	BI	0-50	0,8
amoniak	30	6	D III	0-200	1
metanol	1	20	príliš malé množstvo	-	-
trietylamín	1	0,3	príliš malé množstvo	-	-

V prípade propylénu je v dosahu  $R=50$  m umiestnený velín s 10 osobami, ktoré tam majú trvalé pracovné miesto. Velín je od príslušného zariadenia vzdialený asi 45 m ( $R_{\min}=45$  m) a siaha asi do vzdialenosti 60 m od zariadenia, ale v tomto prípade je  $R_{\max}=R$ , lebo velín nie je celý v zóne ohrozenia, nachádza sa len na jej okraji ( $R_{\max}=R=50$  m). Uhol  $\alpha$  je v tomto prípade  $20^\circ$ .

Čo sa týka amoniaku vo vzdialenosti 1000 m od zariadenia je obytná štvrť, ktorá s počtom obyvateľov od 5 000 do 20 000 a niekoľko administratívnych budov. Potom podľa tabuľky IV určíme hustotu zaľudnenia 30. Korekčný faktor vzhľadom na to, že zaľudnené plochy sú rozptýlené okolo príslušného zariadenia, budeme považovať za jednotkový. Výsledky pre obe látky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka f

Parameter	Propylén	Amoniak
R (m)	50	1 000
S (ha)	0,8	30
$S_R$ (ha)	0,39	-
počet osôb	10	-
h (os/ha)	25,64	30
$\alpha$ ( $^\circ$ )	20	-
$\Theta$ ( $^\circ$ )	360	-
$R_{\max}$	50	-
$R_{\min}$	45	-
$f_\alpha$	0,056	-
$f_r$	0,190	-
$f_s$	0,01	1
N	0,205	900
$N^2$	$4,20 \cdot 10^{-2}$	810000
$10^{-3}/N^2$	$2,38 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^{-9}$
$10^{-4}/N^2$	$2,38 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-10}$

Podľa tabuľky Va určíme priemerný index pravdepodobnosti vzniku závažnej havárie P pre propylén pre sklady je 6 a rovnako aj v prípade amoniaku. Výsledný priemerný koeficient vzniku havárie je súčtom jednotlivých priemerných koeficientov pre jednotlivé látky.

$$P = P_{\text{prop}} + P_{\text{amon}} = 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-6}$$

Ako vidíme  $2,38 \cdot 10^{-2}$  je hodnota, ktorú by mala spĺňať existujúca prevádzka, pri porovnaní s priemerným koeficientom vzniku havárie  $2 \cdot 10^{-6}$  to aj spĺňa. Avšak pri porovnaní hodnoty, ktorú by mala prevádzka spĺňať vzhľadom na amoniak  $1,23 \cdot 10^{-9}$ , vidíme, že prevádzka kritérium nespĺňa, lebo  $1,23 \cdot 10^{-9} < 2 \cdot 10^{-6}$ . Pre danú prevádzku sa bude musieť vykonať detailnejšia bezpečnostná analýza.

Výpočet pre potrubnú trasu s vodíkom.

Podľa tabuľky IIb a priemer potrubia medzi 0,2 a 1 m sme určili číselný kód látky 12, horľavý plyn pod tlakom. Kódové označenie závažnej havárie vyčítame tiež v tej tabuľke a je to AI.

Pre AI zodpovedajú R = 0-25m a S=0,2.

V tejto vzdialenosti však nikto nepracuje ani nikto nebýva, čiže hustota zaľudnenia je nulová a tým pádom aj parameter N je nulový. Výpočet je v tomto kroku ukončený.

## Zadanie 2

Pri technológii sa nachádzajú skladové zásobníky, ktoré obsahujú nasledujúce vybrané nebezpečné látky: acetón 1640 ton, fenol 800 ton, etylbenzén 3000 ton, xylén 3000 ton, benzín 5800 ton, metanol 1800 ton, etanol 300 ton, etylén 850 ton, propylén 2500 ton, propán 850 ton a bután v celkovom množstve 3000 ton.

### 1. Výpočet

S využitím tabuľky 1 prílohy č.1 určíme číselný kód jednotlivých skladovaných látok.

Tabuľka a

Skladovaná látka	Číselný kód	Pozn.
acetón	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
fenol	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
etylbenzén	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
xylén	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
benzín	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
kumén	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
metanol	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
etanol	1	Horľavá kvapalina, tlak pár < 0,03 MPa pri 20°C
etylén	7	Horľ. plyn skvapalnený takom, sklad nadz. zásobníky
propylén	7	Horľ. plyn skvapalnený takom, sklad nadz. zásobníky
propán	7	Horľ. plyn skvapalnený takom, sklad nadz. zásobníky
bután	7	Horľ. plyn skvapalnený takom, sklad nadz. zásobníky

Pomocou tabuľky IIa určíme podľa číselného kódu látky a množstva kódové označenie účinkov závažnej havárie a pomocou tabuľky II definujeme vzdialenosť účinkov havárie polomerom zóny ohrozenia R a celkovej zasiahnutej plochy S.

Tabuľka b

Skladovaná látka	Číselný kód	Množstvo v t	Kódové označenie	R (m)	S (ha)
acetón	1	1640	B I	50	0,8
fenol	1	800	A I	25	0,2
etylbenzén	1	3000	B I	50	0,8
xylén	1	3000	B I	50	0,8
benzín	1	5800	B I	50	0,8
metanol	1	1800	B I	50	0,8
etanol	1	300	A I	25	0,2
etylén	7	850	E I	500	80
propylén	7	2500	E I	500	80
propán	7	850	E I	500	80
bután	7	3000	E I	500	80

Teraz pre jednotlivú látku vypočítame súhrné vyjadrenie závažnosti následkov závažnej havárie N podľa vzorca

$$N = S.h.fs$$

V tomto prípade pre acetón, metanol, benzén vo vzdialenosti 50 m máme umiestnený velín s 5 osobami, ktoré tam majú trvalé pracovné miesto. Hustotu zaľudnenia vypočítame podelením počtu ohrozených osôb plochou kruhu s polomerom R.

$$SR = \pi R^2 / 2$$

$$SR = \pi 50^2 / 2 = 3927 \text{ m}^2 = 0,39 \text{ ha}$$

$$h = 5 / 0,39 = 15,27 \text{ osoby/ha}$$

Korekčný faktor je výhodné použiť.

Velín je od príslušného zariadenia vzdialený asi 40 m ( $R_{\min} = 40 \text{ m}$ ) a siaha asi do vzdialenosti 55 m od zariadenia ( $R_{\max} = 50 \text{ m}$ ). Uhol  $\alpha$  je v tomto prípade  $10^\circ$  a  $\Theta$  je pre kategóriu požiaru - I daný  $360^\circ$ . So zohľadnením týchto údajov:

$$f_\alpha = \alpha / \Theta$$

$$f_\alpha = 5 / 360^\circ = 0,014$$

$$f_r = (R_{\max}^2 - R_{\min}^2) / R^2$$

$$f_r = (50^2 - 40^2) / 50^2 = 0,360$$

$$f_S = f_r \cdot f_\alpha = 0,014 \cdot 0,360 = 0,010$$

$$N = S \cdot h \cdot f_S$$

$$N = 0,39 \cdot 15,27 \cdot 0,010$$

$$N^2 = 12,22 \cdot 10^{-2}$$

Rovnako postupujeme pre ďalšie látky. Výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka c

Parameter	acetón	metanol	benzén	etylén	propylén	propán	bután
R (m)	50	50	50	500	800	500	500
S (ha)	0,8	0,8	0,8	80	80	80	80
SR (ha)	0,39	0,39	0,39	39,27	39,27	39,27	39,27
počet osôb	12	6	18	68	10	18	18
h (os/ha)	30,36	15,28	45,84	1,73	0,25	0,46	0,46
$\alpha$ (°)	5	10	10/5	20/10/15	10	5/10	5/10
$\Theta$ (°)	360	360	360	360	360	360	360
R <sub>max</sub>	50	48	45/50	100/220/499	420	300/450	300/450
R <sub>min</sub>	40	32	30/40	86/212/489	410	292/445	292/445
f <sub>α</sub>	0,014	0,028	0,028/0,014	0,056/0,028/0,042	0,028	0,028/0,014	0,028/0,014
f <sub>r</sub>	0,360	0,512	0,450/0,360	0,010/0,014/0,032	0,033	0,018/0,019	0,018/0,019
f <sub>S</sub>	0,005	0,012	0,013	2,3.10 <sup>-3</sup>	0,001	7,8.10 <sup>-4</sup>	9,6.10 <sup>-4</sup>
N	0,121	0,140	0,477	0,368	0,08	0,062	0,077
N <sup>2</sup>	1,47.10 <sup>-2</sup>	1,97.10 <sup>-2</sup>	0,2273	0,1354	6,4.10 <sup>-3</sup>	3,9.10 <sup>-3</sup>	5,9.10 <sup>-3</sup>
10-3/N <sup>2</sup>	6,80.10 <sup>-2</sup>	5,08.10 <sup>-2</sup>	4,4.10 <sup>-3</sup>	7,4.10 <sup>-3</sup>	0,165	0,256	0,1695
10-4/N <sup>2</sup>	6,80.10 <sup>-3</sup>	5,08.10 <sup>-3</sup>	4,4.10 <sup>-4</sup>	7,4.10 <sup>-4</sup>	0,016	0,026	0,070

Podľa tabuľky Va určíme priemerný index pravdepodobnosti vzniku závažnej havárie P pre vybrané nebezpečné látky s číselným kódom 7 v skladoch je 6, pre látky s číselným kódom 1 je 8. Výsledný priemerný koeficient vzniku havárie je súčtom jednotlivých priemerných koeficientov pre jednotlivé látky.

$$P = \sum P_i = 7 \times 1.10^{-6} + 2 \times 1.10^{-8} = 7,02.10^{-6}$$

Pri vyslovení záverov sa porovná vyhláškou stanovená hodnota 10-3/N2 pre existujúce zariadenie a 10-4/N2 pre nové zariadenie, ktorá by mala byť väčšia ako priemerný koeficient závažnej havárie. Hodnoty vypočítané pre všetky látky sú väčšie ako stanovená hodnota 7,02.10<sup>-6</sup> a teda skladovacie kapacity daných látok sú vyhovujúce.

### Zadanie 3

Zariadenie etylénovej výroby obsahuje vybrané nebezpečné látky v týchto približných množstvách.: metán 2 tony, vodík 30 ton, etylén 1000 ton, etán 20 ton, propylén 600 ton, propán 20 ton, n-bután 20 ton a benzín 300 ton.

V skladovacích zariadeniach patriacich ku komplexu sú umiestnené tieto množstvá vybraných nebezpečných látok: etylén 500 ton, pentán 4 tony, benzín 420 ton, metanol 5 ton a vykurovací olej 200 ton.

#### Rozdelenie do činností.

Osobitne budeme robiť výpočet priemerného koeficientu vzniku havárie a pre technológiu alebo výrobné zariadenie a osobitne pre skladové kapacity.

#### 1. Výpočet pre skladové hospodárstvo

S využitím tabuľky 1 prílohy č.1 určíme číselný kód jednotlivých skladovaných látok.

Tabuľka a

Skladovaná látka	Číselný kód	Pozn.
etylén	7	Horľavý plyn skvapalnený tlakom
pentán	4	Horľ. kvapalina, tlak pár $\geq 0,03$ MPa pri 20°C
benzín	4	Horľ. kvapalina, tlak pár $\geq 0,03$ MPa pri 20°C
metanol	1	Horľ. kvapalina, tlak pár $< 0,03$ MPa pri 20°C
vykurovací olej	1	Horľ. kvapalina, tlak pár $< 0,03$ MPa pri 20°C

Pomocou tabuľky IIa určíme podľa číselného kódu látky a množstva kódové označenie účinkov závažnej havárie a pomocou tabuľky II definujeme vzdialenosť účinkov havárie polomerom zóny ohrozenia R a celkovej zasiahnutej plochy S.

Množstvo pentánu a metanolu je príliš nízke a tabuľka IIa neuvádza pre ne žiadne kódové označenie závažnej havárie, preto ich z ďalšieho výpočtu pre sklady vylúčime.

Tabuľka b

Skladovaná látka	Číselný kód	Množstvo v t	Kódové označenie	R (m)	S (ha)
etylén	7	500	E I	0-500	80
pentán	4	4	príliš malé množstvo	-	-
benzín	4	420	B I	0-50	0,8
metanol	1	5	príliš malé množstvo	-	-
vykurovací olej	1	200	A I	0-25	0,2

Teraz pre jednotlivú látku vypočítame súhrné vyjadrenie závažnosti následkov závažnej havárie N podľa vzorca

$$N = S \cdot h \cdot f_s$$

V tomto prípade pre R=500m máme v tejto vzdialenosti umiestnené 2 velíny so 40 osobami, ktoré tam majú trvalé pracovné miesto. Hustotu zaľudnenia vypočítame podelením počtu ohrozených osôb plochou kruhu s polomerom R.

$$S_R = \pi R^2 / 2$$

$$S_R = \pi 500^2 / 2 = 392\,699 \text{ m}^2 = 39,27 \text{ ha}$$

$$h = 40 / 39,27 = 1,02 \text{ osoby/ha}$$

Korekčný faktor je možné použiť.

Velín je od príslušného zariadenia vzdialený v rozmedzí 20 m ( $R_{\min} = 20 \text{ m}$ ) až 500 m ( $R_{\max} = 500 \text{ m}$ ). Uhol  $\alpha$  je v tomto prípade  $300^\circ$  a  $\Theta$  je pre kategóriu požiaru - I daný  $360^\circ$ . So zohľadnením týchto údajov:

$$f_\alpha = \alpha / \Theta$$

$$f_\alpha = 300^\circ / 360^\circ = 0,833$$

$$f_r = (R_{\max}^2 - R_{\min}^2) / R^2$$

$$f_r = (500^2 - 20^2) / 500^2 = 0,998$$

$$f_s = f_r \cdot f_\alpha = 0,998 \cdot 0,833 = 0,832$$

$$N = S \cdot h \cdot f_s$$

$$N = 80 \cdot 1,02 \cdot 0,832 = 67,89$$

$$N^2 = 4609,21$$

Rovnako postupujeme pre ďalšie látky. Výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka c

Parameter	etylén	benzín	vykurovací olej
R (m)	500	50	25
S (ha)	80	0,8	0,2
$S_R$ (ha)	39,27	0,39	0,10
počet osôb	40	4	4
h (os/ha)	1,02	10,19	40,73
$\alpha$ ( $^\circ$ )	300	120	180
$\Theta$ ( $^\circ$ )	360	360	360
$R_{\max}$	500	50	25
$R_{\min}$	20	45	15
$f_\alpha$	0,833	0,333	0,50
$f_r$	0,998	0,190	0,64
$f_s$	0,832	0,064	0,32
N	67,89	$51,60 \cdot 10^{-2}$	2,61
$N^2$	4609,21	$26,63 \cdot 10^{-2}$	6,79
$10^{-3}/N^2$	$2,17 \cdot 10^{-7}$	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$1,47 \cdot 10^{-4}$
$10^{-4}/N^2$	$2,17 \cdot 10^{-8}$	$2,72 \cdot 10^{-4}$	$1,47 \cdot 10^{-5}$

Podľa tabuľky Va určíme priemerný index pravdepodobnosti vzniku závažnej havárie P pre etylén v skladoch je 6, pre benzín 7 a pre vykurovací olej 8. Výsledný priemerný koeficient vzniku havárie je súčtom jednotlivých priemerných koeficientov pre jednotlivé látky.

$$P = P_{\text{etylén}} + P_{\text{benz}} + P_{\text{volej}} = 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-8} = 1,11 \cdot 10^{-6}$$

Pri vyslovení záverov sa porovná vyhláškou stanovená hodnota  $10^{-3}/N^2$  pre existujúce zariadenie a  $10^{-4}/N^2$  pre nové zariadenie, ktorá by mala byť väčšia ako priemerný koeficient závažnej havárie.

Hodnoty vypočítané pre benzín a vykurovací olej  $2,72 \cdot 10^{-3}$ ,  $1,47 \cdot 10^{-4}$  pre existujúce zariadenie a  $2,72 \cdot 10^{-4}$ ,  $1,47 \cdot 10^{-5}$  pre nové zariadenie  $> 1,11 \cdot 10^{-6}$ . Avšak v prípade etylénu je hodnota  $2,17 \cdot 10^{-7}$  pre existujúce a  $2,17 \cdot 10^{-8}$  pre nové zariadenia  $< 1,11 \cdot 10^{-6}$ . Bude musieť vykonať detailnejšia bezpečnostná analýza.

## 2. Výpočet pre výrobné zariadenia

Pri výpočte budeme postupovať rovnakým postupom, ako sme použili pri výpočte skladov. S využitím tabuľky I prílohy č.1 určíme číselný kód jednotlivých skladovaných látok.

Tabuľka d

Látka v technológii	Číselný kód	Pozn.
metán	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
vodík	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
etylén	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
etán	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
propylén	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
propán	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
bután	9	Horľavý plyn skvapalnený tlakom, ostatné
benzín	6	Horľ. kvapalina, tlak pár $\geq 0,03$ MPa pri 20°C

Pomocou tabuľky Ia určíme podľa číselného kódu látky a množstva kódové označenie účinkov závažnej havárie a pomocou tabuľky II definujeme vzdialenosť účinkov havárie polomerom zóny ohrozenia R a celkovej zasiahnutej plochy S.

Množstvo vodíka a metanolu je príliš nízke a tabuľka Ia neuvádza pre ne žiadne kódové označenie závažnej havárie, preto ich z ďalšieho výpočtu pre sklady vylúčime.

Tabuľka e

Látka v technológii	Číselný kód	Množstvo v t	Kódové označenie	R (m)	S (ha)
metán	9	2	B II	50	0,4
vodík	9	30	C III	100	0,3
etylén	9	1000	E III	500	8
etán	9	20	C III	100	0,3
propylén	9	600	E III	500	8
propán	9	20	C III	100	0,3
bután	9	20	C III	100	0,3
benzín	6	300	D II	200	6

Rovnakým postupom, ako pri skladoch vytvoríme nasledujúcu tabuľku:

Tabuľka f

Parameter	metán	vodík	etylén	etán	propylén	propán	bután	benzín
R (m)	50	100	500	100	500	100	100	200
S (ha)	0,4	0,3	8	0,3	8	0,3	0,3	6
$S_R$ (ha)	0,39	1,57	39,27	1,57	39,27	1,57	1,57	6,28
počet osôb	30	30	60	30	60	40	40	4
h (os/ha)	76,39	19,11	1,53	19,11	1,53	25,48	25,48	0,64
$\alpha$ (°)	30	20	-	30	-	18	180	5
$\Theta$ (°)	180	36	-	180	-	36	36	180
$R_{max}$	50	80	-	50	-	92	100	183
$R_{min}$	30	60	-	30	-	30	30	170
$f_\alpha$	0,167	0,556	-	0,167	-	5,00	5,00	0,028
$f_r$	0,640	0,280	-	0,640	-	0,756	0,91	0,115
$f_s$	0,107	0,156	1	0,107	1	3,782	4,55	0,003
N	19,56	0,89	12,24	0,61	12,24	5,78	34,78	$6,1 \cdot 10^{-4}$
$N^2$	382,43	0,80	149,82	0,37	149,82	33,43	1209,66	$3,8 \cdot 10^{-7}$
$10^{-3}/N^2$	$2,61 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$2,67 \cdot 10^{-3}$	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$2,99 \cdot 10^{-5}$	$8,27 \cdot 10^{-7}$	2631,58
$10^{-4}/N^2$	$2,61 \cdot 10^{-7}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$6,67 \cdot 10^{-7}$	$2,67 \cdot 10^{-3}$	$6,67 \cdot 10^{-7}$	$2,99 \cdot 10^{-6}$	$8,27 \cdot 10^{-8}$	263,16

Podľa tabuľky Va určíme priemerný index pravdepodobnosti vzniku závažnej havárie. P pre výrobu všetkých dotknutých látok je 6. Výsledný priemerný koeficient vzniku havárie je súčtom jednotlivých priemerných koeficientov pre jednotlivé látky.

$$P = \sum_i P_i = P_{\text{metán}} + P_{\text{vodík}} + P_{\text{etylén}} + P_{\text{etán}} + P_{\text{prop}} + P_{\text{propán}} + P_{\text{bután}} + P_{\text{benzín}}$$

$$P = 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-6}$$

Ako vidíme  $8 \cdot 10^{-6}$  je hodnota, ktorú by mala spĺňať existujúca prevádzka.  
 Po porovnaní výsledkov pre posudzované látky vidíme, že čísla pri metáne, etyléne, propyléne a butáne sú menšie a teda došlo k ich prekročeniu aj pri kritériu pre existujúce aj pre nové zariadenie. Látky vodík, etán, propán a benzín sú pri uvažovaných množstvách a ich umiestnení akceptovateľné. Pre danú prevádzku sa bude musieť vykonať detailnejšia bezpečnostná analýza.