

Prevence závažných havárií II.

Aleš BERNATÍK

T



toxický

E



výbušný

F



vysoce hořlavý

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství

Prevence závažných havárií II.

Dr. Ing. Aleš Bernatík

Obsah:

1.	Předmluva.....	3
2.	Systém prevence závažných havárií.....	5
2.1.	<i>Bezpečnostní program</i>	6
2.2.	<i>Bezpečnostní zpráva</i>	10
2.3.	<i>Plán fyzické ochrany</i>	11
2.4.	<i>Vnitřní havarijní plán</i>	12
2.5.	<i>Vnější havarijní plán</i>	13
2.6.	<i>Informování veřejnosti</i>	13
2.7.	<i>Související systémy řízení</i>	14
3.	Kvantitativní hodnocení rizik.....	17
3.1.	<i>Obecný princip hodnocení rizik závažných havárií</i>	17
3.2.	<i>Přijatelnost rizika</i>	20
3.3.	<i>Vybrané programy pro modelování následků havárií</i>	25
3.4.	<i>Kvantitativní analýza rizik chemického procesu</i>	30
3.5.	<i>Kvantitativní analýza rizik metodikou „Purple Book“</i>	33
3.5.1	Frekvence poruch zařízení	33
3.5.2	Modelování úniků a rozptylů.....	34
3.5.3	Modelování expozic a poškození.....	40
3.5.4	Výpočet a prezentace výsledků	46
4.	Metodologie ARAMIS.....	48
5.	Spolehlivost lidského činitele.....	52
6.	Hodnocení rizik přepravy nebezpečných látek	57
6.1.	<i>Výběr závažných úseků tras</i>	57
6.1.1	Mezní hodnoty pro silnice	57
6.1.2	Mezní hodnoty pro železnice	59
6.2.	<i>Detailní QRA přepravy</i>	62
6.2.1	Silniční přeprava	62
6.2.2	Železniční přeprava.....	67
6.2.3	Přeprava potrubím.....	68
7.	Závěr.....	70
8.	Literatura	71
	Příloha č. 1: Příklad analýzy rizik skladu amoniaku.....	72
	Příloha č. 2: Příklad analýzy rizika strojovny chlazení.....	84
	Příloha č. 3: Příklad analýzy rizik přepravy amoniaku	98

1. Předmluva

Tento učební text navazuje na první díl „Prevence závažných havárií I.“ a shrnuje informace o systému řízení bezpečnosti a kvantitativním hodnocení rizik. V úvodní části jsou předloženy základní požadavky na zpracování dokumentů „Bezpečnostní program prevence závažných havárií“ a „Bezpečnostní zpráva“, které představují základ systému prevence závažných havárií.

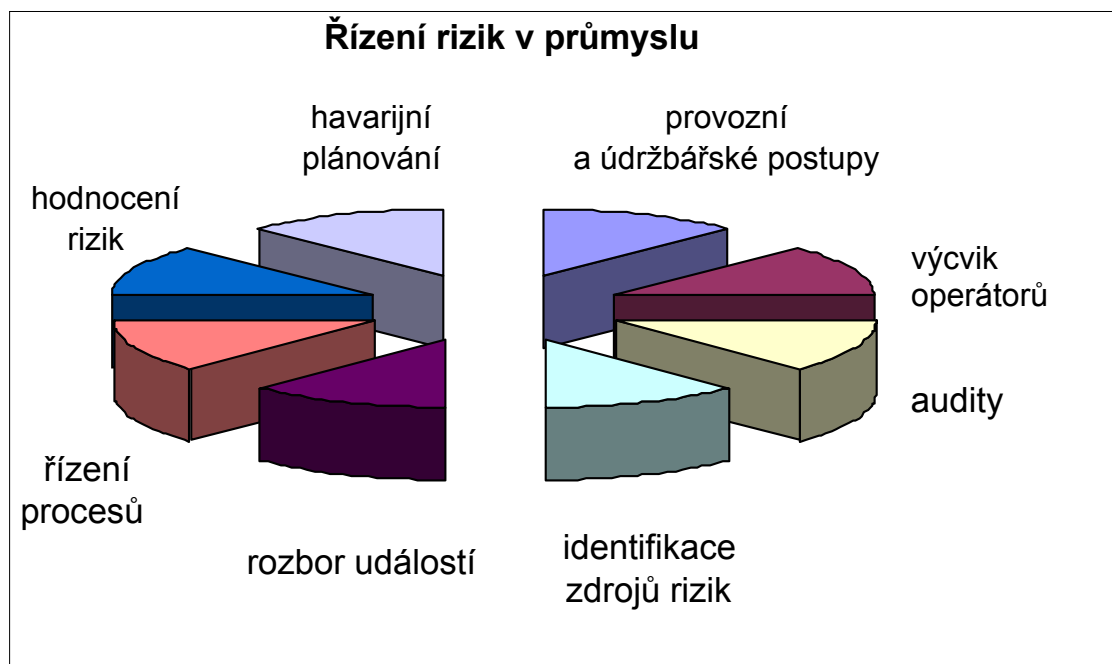
V další části publikace je představeno detailní hodnocení rizik na příkladech z praxe. Především je rozebírán u nás oblíbený holandský přístup z publikace „Purple Book“, dále pak nově vyvinutá evropská metodika ARAMIS a část publikace je věnována hodnocení rizik při přepravě nebezpečných látek.

Tato publikace je určena především studentům předmětů „Analýza nebezpečí a rizik“ a „Prevence havárií a nehod“ a tvoří základ k předmětům „Technologie a jejich rizika II.“ a „Bezpečnost technologií II.“.

2. Systém prevence závažných havárií

Potřeba hodnocení a řízení rizik závažných havárií vyplývá z několika faktorů, především z mnoha havárií proběhlých v minulosti a tím i tlaku na snižování rizik různých technologických zařízení. Dále pak z nutnosti prevence havárií při územním plánování, tj. schvalování umístění nových zařízení ve vztahu k obydleným nebo chráněným územím, z nutnosti zlepšování havarijní připravenosti, apod. Provedení hodnocení rizik a následná opatření na snížení rizik mohou přispět k předcházení vzniku havárií, snižování následků havárií na lidských životech, majetku a životním prostředí, případně mohou předejít nevhodnému umístění nového zařízení v blízkosti obyvatelstva nebo chráněného území z hlediska ochrany životního prostředí. Takové hodnocení rizik je vhodné provádět jak v přípravné fázi výstavby nového zařízení, tak při vyšetřování závažné havárie pro předcházení opakování havárie nebo ve fázi provozování zařízení, kdy hodnocení rizik přispívá k lepší informovanosti o zdrojích rizika, následcích havárie a ohrožených cílových skupinách. Vytvořené scénáře havárií slouží ke zlepšování havarijních plánů a připravenosti na účinný zásah v případě havárie.

Hodnocení rizik je součástí celkového řízení rizik v průmyslových podnicích. Na následujícím obrázku jsou shrnuty všechny základní oblasti managementu rizik. Je zřejmé, že kromě identifikace zdrojů rizik a hodnocení rizik přispívají k prevenci a řízení rizik další činnosti, především provoz a údržba zařízení, trénink operátorů, audity, vyšetřování nehod, havarijní plánování.



Obrázek č. 1: Schéma částí managementu rizik v průmyslovém podniku [1]

V České republice je systém prevence závažných havárií stanoven v zákoně č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií [2] pro objekty a zařízení, v nichž jsou umístěny vybrané nebezpečné chemické látky. Cílem je snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek v objektech a zařízeních a v jejich okolí.

Provozovatel objektu nebo zařízení zařazeného do skupiny A je povinen zpracovat bezpečnostní program prevence závažné havárie a na základě výsledků analýzy a hodnocení rizik závažné havárie v něm uveďte:

- zásady prevence závažné havárie,
- strukturu a systém řízení bezpečnosti zajišťující ochranu zdraví a životů lidí, hospodářských zvířat, životního prostředí a majetku.

Provozovatel objektu nebo zařízení zařazeného do skupiny B je povinen zpracovat bezpečnostní zprávu, ve které uvede:

- informace o systému řízení u provozovatele s ohledem na prevenci závažné havárie,
- informace o složkách životního prostředí v lokalitě objektu nebo zařízení,
- technický popis objektu nebo zařízení,
- postup a výsledky identifikace zdrojů rizik (nebezpečí), analýz a hodnocení rizik a metody prevence,
- opatření pro ochranu a zásah k omezení dopadů závažné havárie,
- aktualizovaný seznam nebezpečných látek,
- jmenovitě uvedené právnické osoby a fyzické osoby, podílející se na vypracování bezpečnostní zprávy.

Detailní popis obsahu bezpečnostního programu a bezpečnostní zprávy je stanoven ve vyhlášce č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií [3].

2.1. Bezpečnostní program

Podle této vyhlášky se struktura systému řízení bezpečnosti a prevence závažné havárie v bezpečnostním programu člení na:

- a) celkové cíle a zásady prevence závažné havárie,
- b) systém řízení bezpečnosti,
- c) organizaci prevence závažné havárie,
- d) řízení provozu objektu nebo zařízení,
- e) řízení změn v objektu nebo zařízení,

- f) havarijní plánování,
- g) sledování plnění programu,
- h) kontrolu a audit.

Rozsah a způsob zpracování dokumentů bezpečnostní program a bezpečnostní zpráva je uveden v přílohách vyhlášky č. 256/2006 Sb. Jednotlivé kapitoly bezpečnostního programu lze charakterizovat v souladu s touto vyhláškou následujícím způsobem:

(1) Celkové cíle a zásady prevence závažné havárie:

- a) vycházejí z analýz a hodnocení rizik závažné havárie a stanoví se rámcově tak, aby vždy jasně a srozumitelně směřovaly k zajištění odpovídající struktury a funkčnosti systému prevence závažné havárie a řízení bezpečnosti pro každou z oblastí uvedených výše (body c) – h)),
- b) musí odpovídat charakteru zdrojů nebezpečí,
- c) mohou být součástí programů bezpečnosti práce a ochrany životního prostředí, pokud jsou vyjádřeny a zpracovány v odpovídající struktuře a rozsahu.

(2) Systém řízení bezpečnosti je součástí celkového řízení objektu a zahrnuje vytvoření a zavedení ukazatelů, parametrů a kritérií potřebných pro následné hodnocení účinnosti realizovaných opatření.

(3) Organizace prevence závažných havárií umožňuje v objektech splnění stanovených cílů. Pro dosažení cílů se plánují potřebné technické, finanční a lidské zdroje. Organizace prevence závažných havárií:

- a) zabezpečuje, že jsou na všech úrovních řízení stanoveny úkoly a povinnosti pracovníků podílejících se na omezování rizik závažných havárií a stanovena odpovědnost jednotlivých osob za plnění úkolů,
- b) zahrnuje i zajištění odpovídajícího řízení lidských zdrojů, tj. výběr pracovníků pro činnosti přímo ovlivňující možnost vzniku závažné havárie, zabezpečení potřebné výchovy a výcviku zaměstnanců objektu nebo zařízení a v případě potřeby i zaměstnanců spolupracujících organizací pracujících na území objektu,
- c) zahrnuje i stanovení činností vyžadujících zvláštní výcvik a výcvik příslušných zaměstnanců,
- d) zahrnuje v objektech a zařízeních zajištění účasti zaměstnanců při přípravě programu, jeho zavádění a naplňování.

(4) Řízením provozu objektu nebo zařízení se zajišťuje, že:

- a) jsou zpracovány, přijaty a zavedeny postupy k bezpečnému provádění všech z hlediska bezpečnosti důležitých činností, včetně údržby a trvalého nebo přechodného zastavení provozu objektu nebo zařízení,
- b) postupy, instrukce a metody pro zajištění bezpečného výkonu činností jsou připravovány ve spolupráci se zaměstnanci, kteří je budou provádět,
- c) psané postupy, instrukce a metody se pravidelně aktualizují a zpřístupňují všem zaměstnancům, jejichž činnosti se dotýkají. Dokumentace může v jednotlivých bodech odkázat na související interní předpisy.

(5) Řízením změn v objektu nebo zařízení je zajištěno, že:

- a) jsou zpracovány, přijaty a zavedeny bezpečné postupy pro plánování a provádění změn stávajících objektů, zařízení nebo provozů včetně skladování. Plánované změny se posuzují z hlediska jejich vlivu na bezpečnost provozu,
- b) pozornost je věnována především změnám v personálním obsazení, technickém řešení, technologických postupech, programovém vybavení a změnám vnějších podmínek, které mohou ovlivnit vznik a následky závažných havárií,
- c) postupy pro řízení změn jsou využívány i při návrhu a realizaci nových výrobních a skladovacích zařízení a procesů.

(6) Havarijním plánováním se mimo jiné zajišťuje, že se přijmou, zavedou a dokumentují:

- a) postupy zjišťování předpokládaných havarijních situací vycházejících ze zjištěných zdrojů rizik závažných havárií,
- b) způsoby ověřování a posuzování, zda havarijní plány a opatření pro ochranu a zásah k omezení dopadů závažné havárie odpovídají zjištěným havarijním situacím.

(7) Sledováním plnění programu se zajišťuje, že jsou:

- a) zavedeny a dokumentovány postupy pro průběžné sledování plnění stanovených úkolů vyplývajících z programu,
- b) průběžně sledovány dosahované výsledky plnění úkolů a tyto se dále porovnávají se stanovenými cíli tak, aby mohly být zjištěny odchylky plnění úkolů a analyzovány jejich příčiny,
- c) stanoveny, zavedeny a dokumentovány postupy pro provádění nápravných opatření,

d) zavedeny systémy hlášení o nehodách (poruchy, havárie), včetně nehod bez následků, především těch, které vznikly v souvislosti se selháním ochranných systémů,

e) stanoveny postupy evidence a vyšetřování nehod, včetně nehod bez následků, a postupy pro provádění nápravných opatření.

(8) Kontrolou a auditem se zajišťuje, že jsou:

a) přijaty a zavedeny postupy pro periodické a systematické prověřování a hodnocení plnění programu a efektivnosti systému řízení bezpečnosti a prevence závažné havárie,

b) výsledky kontrol a další zjištění dokumentovány,

c) výsledky kontrol projednávány vedením provozovatele a na jejich základě je případně aktualizován program a z něho vyplývající činnosti,

d) stanoveny audity, které jsou prováděny nezávislou organizací. Výsledky auditu slouží jako objektivní ukazatel funkce systému řízení bezpečnosti a prevence závažné havárie.

Dokument bezpečnostní program obsahuje následující hlavní části a kapitoly.

Obsah bezpečnostního programu

ČÁST I. - Základní informace o objektu nebo zařízení

ČÁST II. - Prezentace postupu a výsledku provedené analýzy a hodnocení rizik závažné havárie u objektu nebo zařízení zařazeného ve skupině A

ČÁST III. - Popis systému prevence závažné havárie včetně celkových cílů a zásad prevence závažné havárie

1. Celkové cíle a zásady prevence závažné havárie

1.1 Písemné prohlášení o politice prevence závažné havárie

1.2 Informace o veřejné přístupnosti písemného prohlášení

1.3 Uvedení cílů a zásad pro všechny systémové části

2. Systém řízení bezpečnosti

3. Organizace prevence závažných havárií

3.1 Informace k organizaci a plánování potřebných zdrojů

3.2 Informace k lidským zdrojům, tj. pracovníkům podílejícím se na omezování rizik závažných havárií

3.3 Informace k zajištění odpovídajícího řízení lidských zdrojů

3.4 Informace o identifikaci a stanovení činností vyžadujících zvláštní výcvik a o zajištění tohoto výcviku

3.5 Informace o účasti zaměstnanců při přípravě programu, jeho zavádění a naplňování

4. Řízení provozu objektu nebo zařízení
5. Řízení změn v objektu nebo zařízení
6. Havarijní plánování
7. Sledování plnění programu
8. Kontrola a audit

ČÁST IV. - Závěrečné shrnutí

Z dokumentu by mělo jednoznačně vyplývat, že je v podniku zajištěna vysoká úroveň ochrany člověka a životního prostředí odpovídajícími prostředky, vnitřním uspořádáním a řídicími systémy.

2.2. Bezpečnostní zpráva

Průmyslové podniky zařazené do skupiny B zpracovávají bezpečnostní zprávu (zpracovávají rovněž bezpečnostní program, který je součástí bezpečnostní zprávy), vnitřní havarijní plán, podklady pro vnější havarijní plán a spolupracují na informování veřejnosti v zóně havarijního plánování. Dokument bezpečnostní zpráva obsahuje následující hlavní části a kapitoly.

Obsah bezpečnostní zprávy

ČÁST I. - Základní informace o objektu nebo zařízení

ČÁST II. - Popisné, informační a datové části dokumentu bezpečnostní zprávy

1. Technický popis objektu nebo zařízení

- 1.1 Popis způsobu řízení objektu (organizační struktura)
- 1.2 Informace o základním členění objektu na jednotlivá zařízení
- 1.3 Přehled umístěných nebezpečných látek v objektu nebo zařízení
- 1.4 Informace o technologii
- 1.5 Informace o provozních činnostech a procesech spojených s rizikem závažné havárie
- 1.6 Popis instalovaných detekčních zařízení a monitorovacích systémů
- 1.7 Popisy vnitřního a vnějšího zajištění služeb rozhodujících pro bezpečnost provozu objektu

2. Informace o složkách životního prostředí v lokalitě objektu nebo zařízení

- 2.1 Popis okolí a životního prostředí v lokalitě objektu nebo zařízení
- 2.2 Informace o průmyslových a skladových objektech a přepravních komunikacích, které mohou být v souvislosti s objektem nebo zařízením provozovatele zdrojem rizika závažné havárie nebo mohou být naopak zasaženy závažnou havárií z objektu nebo zařízení provozovatele

2.3 Meteorologické charakteristiky

2.4 Vodohospodářské, hydrogeologické a geologické charakteristiky okolí objektu

ČÁST III. - Prezentace postupu a výsledku provedené analýzy a hodnocení rizik závažné havárie u objektu nebo zařízení zařazeného ve skupině B

ČÁST IV. - Popis systému prevence závažné havárie včetně celkových cílů a zásad prevence závažné havárie (bezpečnostní program)

ČÁST V. - Popis preventivních bezpečnostních opatření k omezení možnosti vzniku a následků závažné havárie

1. Přehled instalovaných technických bezpečnostních systémů snižujících riziko vzniku závažné havárie
2. Informace o provedeném posouzení přiměřenosti bezpečnostních a ochranných opatření
3. Popis vlastních ochranných a zásahových prostředků sloužících ke zmírnění a omezení následků závažné havárie, včetně disponibilních lidských zdrojů
4. Popisy smluvně zajištěných ochranných a zásahových prostředků sloužících ke zmírnění a omezení následků závažné havárie, včetně disponibilních lidských zdrojů
5. Informace k systémům vyrozumění a provádění zásahu

ČÁST VI. - Závěrečné shrnutí

Dokument by měl obsahovat všechny informace v souvislosti se zajištěním prevence závažné havárie v objektu s tím, že musí být zřejmé vazby uvnitř objektu i směrem k jeho okolí, rizika a opatření k jejich omezení.

Na závěr této části publikace je vhodné upřesnit základní rozdíly mezi bezpečnostními dokumenty – programem a zprávou. Bezpečnostní program je potřeba chápat jako dokument popisující řízení rizik (management) v průmyslovém podniku především z organizační stránky. Bezpečnostní zpráva je kromě části o řízení rizik zaměřena na popis detailních technických informací o podniku a jeho okolí, které umožňují posoudit přijatelnost rizik.

2.3. Plán fyzické ochrany

Provozovatel objektu nebo zařízení, jež je zařazeno do skupiny A nebo skupiny B je povinen zpracovat plán fyzické ochrany objektu nebo zařízení. V plánu fyzické ochrany provozovatel uvede bezpečnostní opatření, kterými jsou:

- a) analýza možností neoprávněných činností a provedení případného útoku na objekty nebo zařízení,

- b) režimová opatření (např. vstupní a výstupní režim osob, věcí a dopravních prostředků),
- c) fyzická ostraha (např. smluvně bezpečnostními službami nebo vlastními zaměstnanci),
- d) technické prostředky (např. oplocení, mříže, kamerové systémy, elektrické zabezpečovací systémy, atd.).

Plán fyzické ochrany zasílá provozovatel objektu nebo zařízení krajskému úřadu a Policii České republiky na vědomí.

2.4. Vnitřní havarijný plán

Vnitřní havarijný plán obsahuje popis:

- a) zajištění havarijní připravenosti informačních, materiálních, lidských a ekonomických zdrojů pro případ vzniku závažné havárie,
- b) způsobu snižování následků a zvládnání možné závažné havárie,
- c) opatření zajišťující monitoring a sanaci místa závažné havárie.

Vnitřní havarijný plán se průběžně aktualizuje a prověřuje praktickými cvičeními. O výsledku různých typů praktických cvičení se vede dokumentace a v jejím rámci písemné zápisy s uvedením zjištěných nedostatků včetně termínů jejich odstranění. Dokumentace je součástí vnitřního havarijního plánu.

Z hlediska rozsahu má vnitřní havarijný plán předepsány tyto části:

- informativní,
- operativní,
- ostatní plány pro řešení mimořádných událostí zpracované provozovatelem a schválené podle zvláštních předpisů.

Mezi ostatní plány lze zařadit plány konkrétních činností, které obsahují monotematické plány činností s přímou návazností na scénáře havárií a tvoří tak relativně autonomní doplněk havarijních plánů. Jedná se zejména o

- traumatologický plán (plán péče o zraněné),
- plány varování zaměstnanců,
- plány individuální ochrany,
- evakuační plány a plány ukrytí zaměstnanců,
- a další.

2.5. Vnější havarijní plán

Současně s předložením návrhu bezpečnostní zprávy a vnitřního havarijního plánu je provozovatel objektu zařazeného do skupiny B povinen vypracovat a předložit krajskému úřadu také písemné podklady pro stanovení zóny havarijního plánování a zpracování vnějšího havarijního plánu. Dále musí provozovatel spolupracovat s krajským úřadem a jím pověřenými organizacemi na zajištění havarijní připravenosti v oblasti vymezené vnějším havarijním plánem.

Písemné podklady pro stanovení zóny havarijního plánování a zpracování vnějšího havarijního plánu obsahují:

- identifikační údaje provozovatele,
- jméno a příjmení fyzické osoby odpovědné za zpracování podkladů,
- popis závažné havárie, která může vzniknout v objektu a jejíž dopady se mohou projevit mimo objekt nebo zařízení provozovatele,
- přehled možných dopadů závažné havárie na život a zdraví lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek, včetně způsobů účinné ochrany před těmito dopady,
- přehled preventivních bezpečnostních opatření vedoucích ke zmírnění dopadů závažné havárie,
- seznam a popis technických prostředků využitelných při odstraňování následků závažné havárie, které jsou umístěny mimo objekt provozovatele,
- další nezbytné údaje vyžádané krajským úřadem, například podrobnější specifikaci technických prostředků na odstraňování dopadů závažné havárie, podrobnější plán únikových cest a evakuačních prostorů, atd.

Zásady pro vymezení zóny havarijního plánování a rozsah a způsob vypracování vnějšího havarijního plánu jsou stanoveny ve vyhlášce č. 103/2006 Sb. V příloze této vyhlášky je uveden postup pro stanovení parametru R představující minimální poloměr pro stanovení výchozí hranice zóny havarijního plánování (kružnice opsaná kolem objektu). Uvedený postup vychází z metody IAEA-TECDOC-727.

2.6. Informování veřejnosti

Informaci veřejnosti v zóně havarijního plánování zpracovává a poskytuje krajský úřad. Informace jsou podávány písemnou formou a obsahují údaje o nebezpečí závažné havárie, včetně možného domino efektu, o preventivních bezpečnostních opatřeních, opatřeních na zmírnění dopadů a o žádoucím

chování obyvatel v případě vzniku závažné havárie. Krajský úřad projedná s provozovatelem jeho účast při zpracování informace.

Rozsah informace určené veřejnosti v zóně havarijního plánování:

- identifikace objektu nebo zařízení,
- identifikace krajského úřadu, včetně spolupracujících subjektů podávajících informaci,
- informace o zařazení objektu do příslušné skupiny, údaje o schválení příslušné havarijní dokumentace a o provedení kontroly a jejích výsledcích,
- jednoduchý popis výrobní činnosti a částí objektu nebo zařízení provozovatele,
- seznam (hlavních) nebezpečných látek,
- informace označující zdroje rizik závažné havárie; včetně potenciálních následků závažné havárie na život a zdraví lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek v zóně havarijního plánování,
- informace o způsobu varování lidí v případě vzniku závažné havárie a informace o způsobu poskytování dalších informací lidem,
- informace o žádoucím chování lidí v případě vzniku závažné havárie,
- popis opatření provozovatele k omezení následků závažné havárie v objektu a jeho spojení na vnější zásahové a záchranné prostředky a služby,
- popis vnějšího, popřípadě krajského havarijního plánu, včetně žádoucího chování lidí vyžadovaného těmito dokumenty,
- podrobnosti o tom, kde mohou být obdrženy další důležité informace.

2.7. *Související systémy řízení*

V oblasti systémů řízení podniků souvisí s prevencí závažných havárií několik metodických návodů, mezi významné patří:

- British Standards Institute (1996) BS 8800 Guide to occupational health and safety management systems, United Kingdom.
- OHSAS 18001:99 - Systém managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (Occupational Health and Safety Assesment Series)
- ISO 14001:1996 - systém environmentálního managementu (EMS).
- NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 761/2001 o dobrovolné účasti organizací v systému řízení podniků a auditu z hlediska ochrany životního prostředí (EMAS II).
- ISO 9001:2000 – systém řízení jakosti (QMS).

- Program “Bezpečný podnik“ vyhlášený ministrem práce a sociálních věcí ČR v roce 1996.

Jako příklad je citován EMAS II:

I-A.4.7 Přípravenost na mimořádné události a reakce na ně

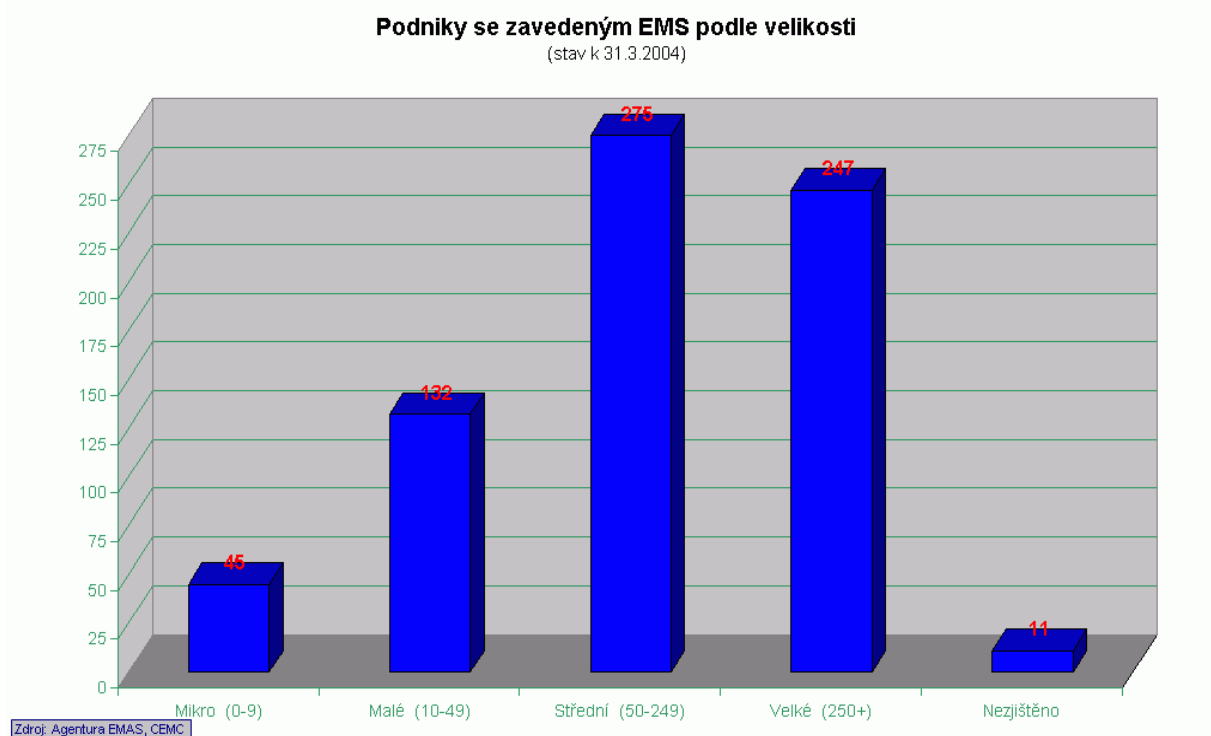
Organizace musí vytvořit a udržovat postupy pro zjištění možných nehod a mimořádných událostí a odpovídající reakci na ně a pro prevenci a zmírnění dopadů na životní prostředí, které s nimi mohou souviset.

Organizace v případě nutnosti přezkoumá a reviduje svou připravenost na mimořádné události a postupy pro reakci na ně, zejména po nehodách nebo mimořádných událostech.

Organizace rovněž pravidelně tyto postupy testuje, pokud je to možné.

Pro úplnost je potřeba dodat, že environmentální systémy řízení jsou zaváděny v celé řadě podniků, což dokládají následující údaje. K 30.9. 2003 je uváděno 537 evidovaných společností v ČR se zavedeným ISO 14001 nebo EMAS [4]. Pro Českou republiku jsou údaje o zavedených EMS (ISO 14001 + EMAS) shrnuty v grafu (viz Obrázek č. 2) podle velikosti podniků (počtu zaměstnanců). Počet společností se zavedeným EMS celosvětově (stav z prosince 2003):

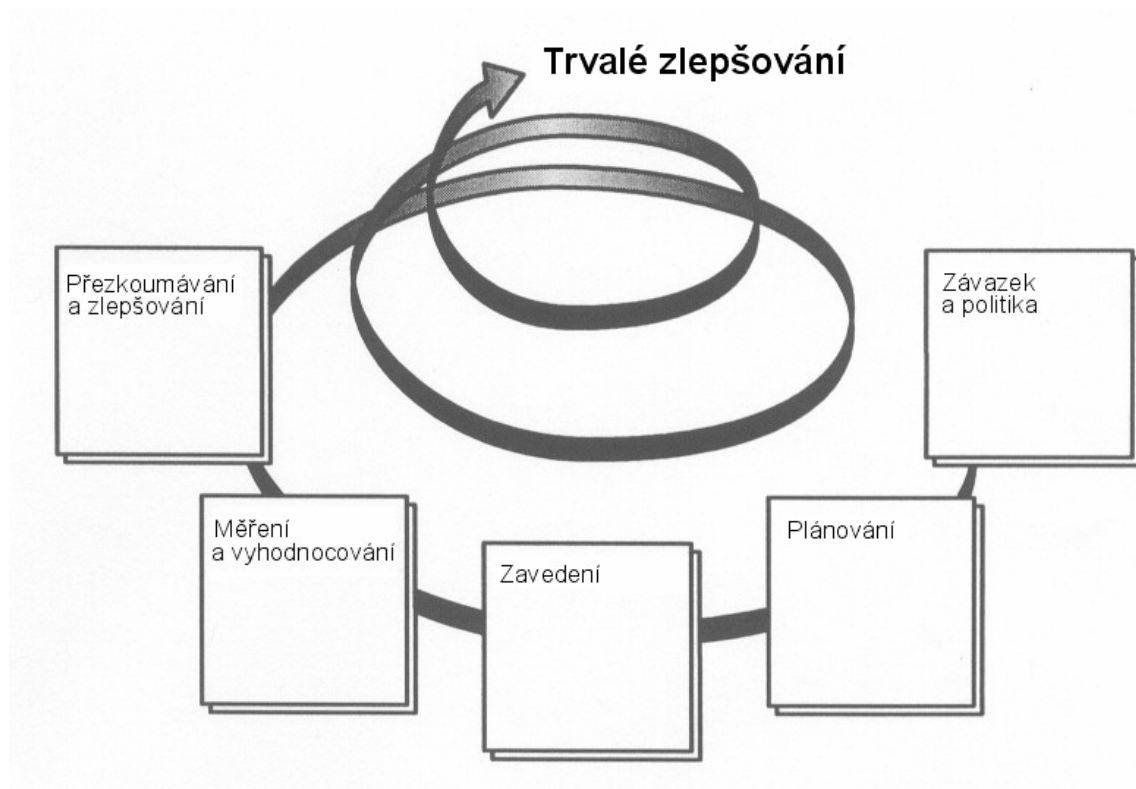
- s certifikací ISO 14001 – 61 170,
- se zavedeným EMAS – 3 623.



Obrázek č. 2: Počet podniků v ČR s EMS podle velikosti (počtu zaměstnanců).

Z tohoto počtu přes 500 podniků se zavedeným EMS ve srovnání s přibližně 150 průmyslovými podniky zařazenými pod účinnost zákona o prevenci závažných havárií je zřejmé, že kromě velkých společností je potřeba hodnocení a řízení rizik závažných havárií také u menších podniků, především takzvaných malých a středních podniků (SMEs).

Celý systém prevence závažných havárií je nastaven v souladu s ostatními systémy řízení podniku a měl by vést k principu trvalého zlepšování. Tento obecně platný princip známý jako Demingův cyklus je znázorněn na následujícím obrázku.

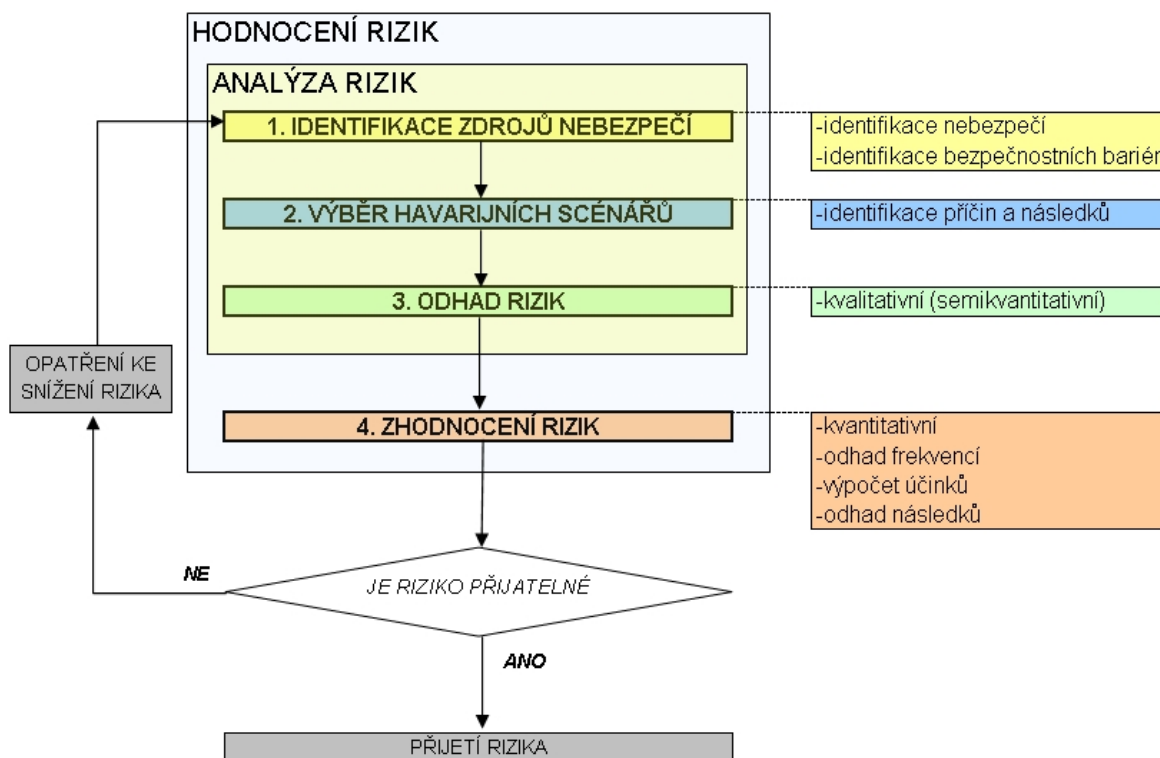


Obrázek č. 3: Princip trvalého zlepšování

3. Kvantitativní hodnocení rizik

3.1. Obecný princip hodnocení rizik závažných havárií

Obecný postup hodnocení rizik závažných havárií je znázorněn na následujícím obrázku, který se zaměřuje na vysvětlení rozdílů mezi pojmy analýza rizik a hodnocení rizik.



Obrázek č. 4: Proces hodnocení rizik dle ISO/IEC 73:2002 [5]

Metody hodnocení rizik lze rozdělovat na kvalitativní a kvantitativní. Další dělení metod může být rozlišováno do tří kategorií [6]:

- deterministické – založené na kvantifikaci následků havárie;
- probabilistické – založené na pravděpodobnosti nebo frekvenci havárie;
- kombinace deterministického a probabilistického přístupu.

Obecně lze konstatovat, že deterministické metody se používají pro analýzu celého průmyslového podniku, kdežto probabilistické metody pro analýzu vybrané části podniku vyžadující podrobnější a tím i náročnější analýzu. Provedení hodnocení rizik umožňuje celá řada metod, které jsou modifikacemi několika nejvyužívanějších, publikace „Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants“ [6] shrnuje 62 nejznámějších metod hodnocení rizik. Kvantitativní hodnocení rizik závažných havárií bylo publikováno v různých příručkách, mezi nejvýznamnější publikace v této oblasti

lze jmenovat Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Hazard identification, assessment and control, 2005 [7], Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis – CPQRA, 1989 [8] a Guidelines for Quantitative Risk Assessment - “Purple Book”, 1999 [9]. Vybrané informace z těchto příruček budou uvedeny níže.

Detailní hodnocení rizik je vyžadováno v zákonu o prevenci závažných havárií pro průmyslové podniky zařazené do skupiny B a to v rámci zpracování bezpečnostní zprávy. Vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií upřesňuje následující zásady analýzy a hodnocení rizik závažné havárie.

Analýza a hodnocení rizik se provádí pro:

- a) objekt nebo zařízení počínaje fází zpracování projektové dokumentace až po likvidaci objektu nebo zařízení,
- b) normální i mimořádné provozní podmínky včetně možného selhání lidského činitele,
- c) možnosti vnějšího ohrožení.

Rozsah možných škod se vyjadřuje pro ohrožení:

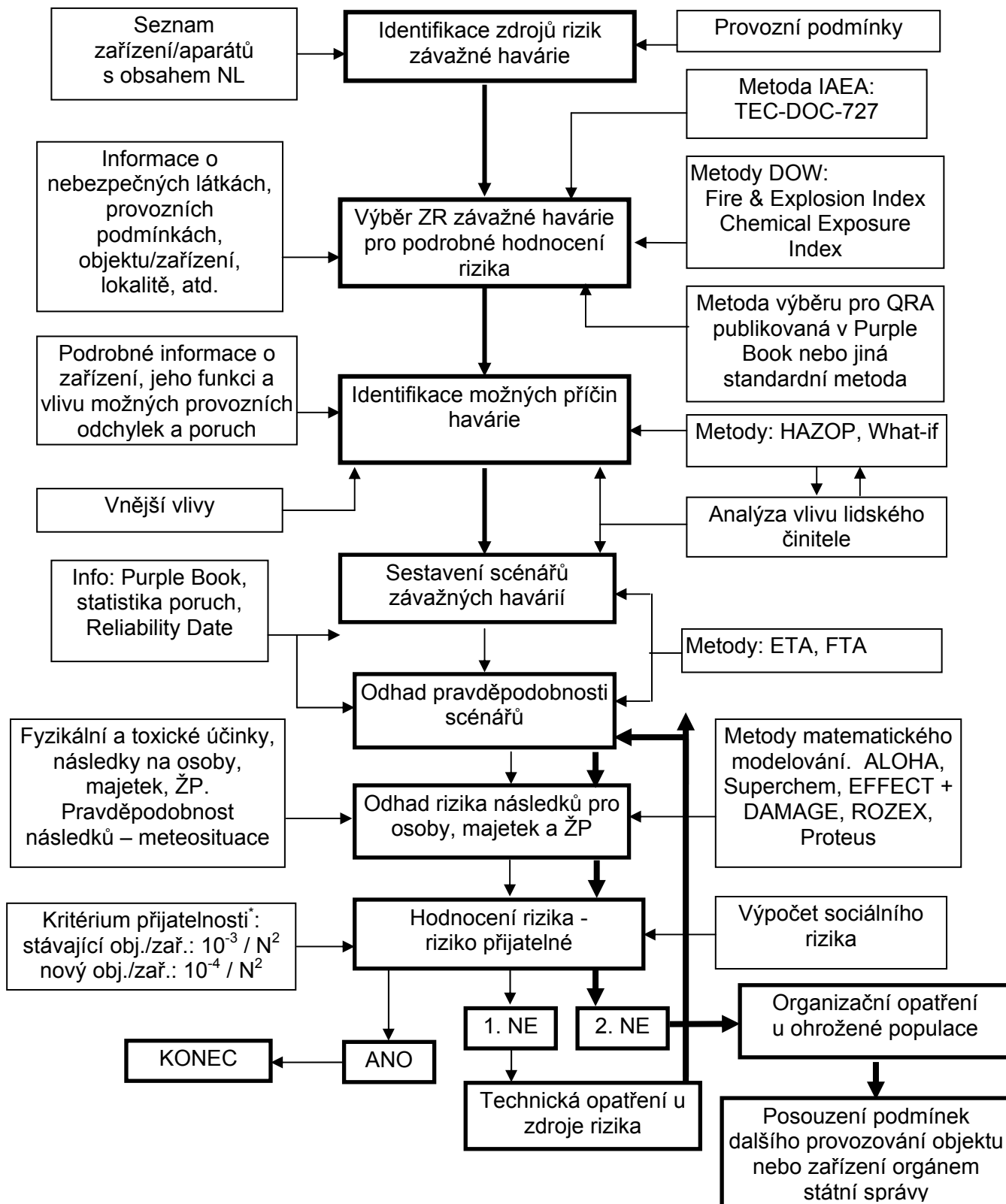
- a) zdraví a životů osob,
- b) hospodářských zvířat,
- c) životního prostředí,
- d) majetku.

Analýza a hodnocení rizik se provádí s využitím kvalitativních a kvantitativních analytických metod v rozsahu a podrobnostech, které musí odpovídat míře pravděpodobnosti vzniku závažné havárie a závažnosti jejích možných následků. Analýza a hodnocení rizik musí být dokumentovány včetně uvedení užitých metod a základních přístupů k vyloučení nebo omezení rizik.

V případě, že výsledná hodnota rizika vzniku závažné havárie se pro daný zdroj rizika jeví jako nepřiměřená, provede se podrobnější analýza rizika a stanoví se a realizují se opatření ke snížení tohoto rizika. Realizovaná opatření se znovu prověří analýzou a hodnocením rizika.

Přijatelnost nebo nepřijatelnost rizika je dána souhrnem výsledků analýz a hodnocení rizika a vyhodnocení dalších místních podmínek a faktorů (např. sociálních, ekonomických, užívání území a dalších).

K těmto zásadám vydalo Ministerstvo životního prostředí doporučené schéma hodnocení rizik pro účely bezpečnostní zprávy. (viz Obrázek č. 5 na další straně).



Obrázek č. 5: Kostra metodologie podrobného hodnocení rizika závažné havárie pro zpracování bezpečnostní zprávy

Část III. Bezpečnostní zprávy – „Prezentace postupu a výsledku provedené analýzy a hodnocení rizik“ je nejdůležitější částí celé bezpečnostní zprávy. Pro její naplnění byl stanoven následující rozsah informací:

1. Přehled identifikovaných objektů nebo zařízení s uvedením druhu a množství v nich umístěných nebezpečných látek.
2. Výsledky posouzení nebezpečných chemických reakcí při nežádoucím kontaktu chemických látek v objektu.
3. Výsledky posouzení a popisy možných situací v objektu, které mají potenciál způsobit poškození lidského zdraví, hospodářských zvířat, životního prostředí a majetku.
4. Výsledky, postup posouzení a popisy možných situací mimo objekt, které mohou způsobit závažnou havárii.
5. Výsledky identifikace a popisy zdrojů rizik závažné havárie, relativní ocenění jejich závažnosti a vyznačení významných zdrojů rizika v mapě podniku.
6. Postup identifikace a výběru reprezentativních scénářů závažných havárií, včetně jejich popisu.
7. Postup provedení odhadů následků reprezentativních scénářů závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek a prezentace výsledků odhadů.
8. Postup a výsledky stanovení odhadu pravděpodobností reprezentativních scénářů havárií.
9. Výsledky ocenění rizika.
10. Výsledky hodnocení přijatelnosti rizik vzniku závažných havárií.
11. Výsledky a postup posouzení vlivu (spolehlivosti a chybování) lidského činitele v souvislosti s relevantními zdroji rizik.
12. Uvedení metodik použitých při analýze rizika.
13. Podrobné popisy použitých veřejně nepublikovaných metodik.
14. Popis opatření k nepřijatelným zdrojům rizika, plán jejich realizace a systém kontroly plnění tohoto plánu.
15. Popis systému trvalého sledování účinnosti opatření pro omezování rizik.

3.2. Přijatelnost rizika

Při stanovování priorit jednotlivých rizik mají nejvyšší prioritu aktivity s vysokou pravděpodobností a závažnými následky. Avšak současně je třeba respektovat, že riziko s nejvyšší třídou následků a nízkou frekvencí je chápáno jako důležitější, než riziko spojené s nižší třídou následků a vyšší pravděpodobností.

Kritéria přijatelnosti se zpravidla volí takto :

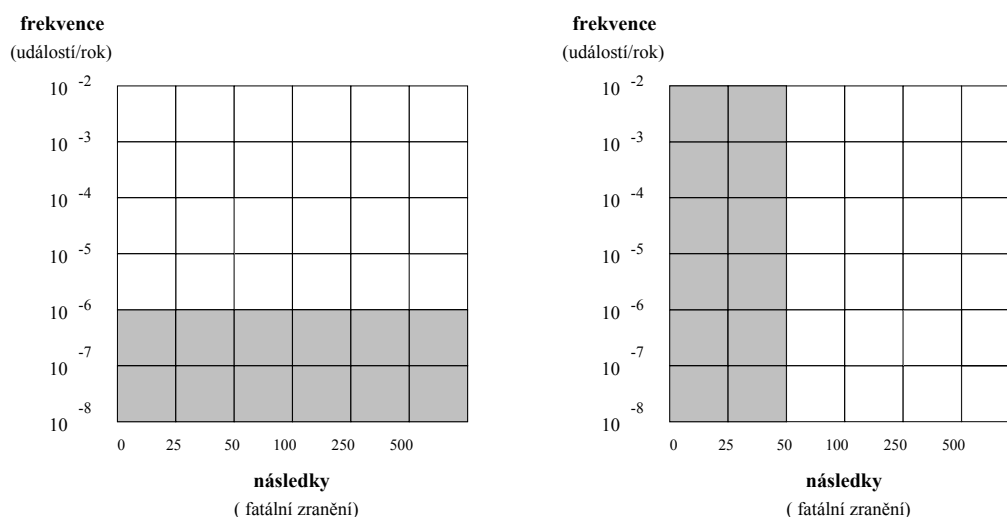
- stanovením mezní hodnoty třídy pravděpodobnosti,

- stanovením mezní hodnoty pro třídu následků,
- stanovením kombinace obou tříd.

Stanovení mezních přípustných hodnot je nesnadnou záležitostí. Hodnoty se zpravidla stanovují pro různé země odlišně.

Nelze jednoduše stanovit zvláštní kritéria pro přijatelnost rizika. Kritéria pro rozhodnutí o přijatelnosti rizika musejí být definována před tím, než je úloha řešena. Bývají presentována ve formě matic, takže všechny činnosti, které nesplňují stanovená kritéria jsou snadno identifikována - odhalena. Takové činnosti, které nesplňují stanovená kritéria jsou vybrána pro další detailní analýzu v tom pořadí (s těmi prioritami), jak překračují stanovená kritéria.

Jednoduchá, dříve používaná kritéria přijatelnosti stanovená na základě mezní frekvence nebo mezního počtu následků jsou graficky znázorněna na obrázku (Obrázek č. 6).

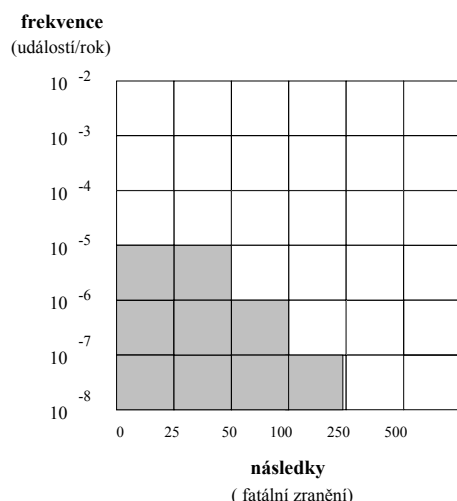


Obrázek č. 6: Kritéria přijatelnosti na základě mezní frekvence a mezního počtu následků

Pro praxi je vhodnější použití kombinovaného kritéria přijatelnosti rizika, jak je znázorněno na následujícím obrázku (Obrázek č. 7).

Riziko je v komplexním pojetí chápáno jako relace mezi očekávanou ztrátou (poškození zdraví, ztrátou života, ztrátou majetku atd.) a neurčitostí uvažované ztráty (zpravidla vyjádřenou pravděpodobností nebo frekvencí výskytu neočekávané události).

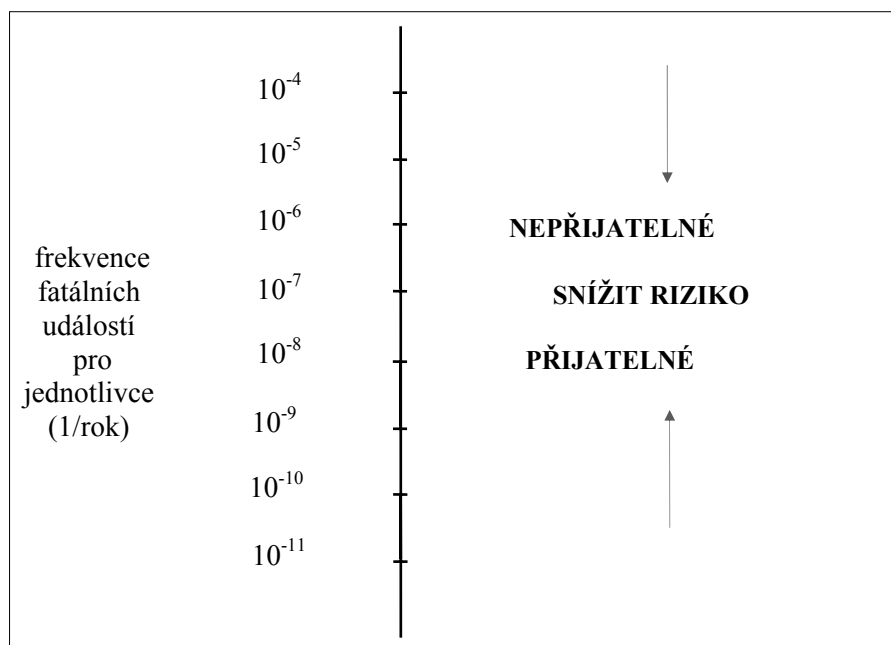
Frekvence výskytu neočekávaných událostí nebo pravděpodobnost výskytu události jsou velmi malá čísla a udávají se zpravidla ve tvaru 10^{-x} . V tomto tvaru se udává i míra či kritérium přijatelnosti/nepřijatelnosti rizika.



Obrázek č. 7: Kombinované kritérium přijatelnosti rizika

Individuální riziko – kritéria

Základní představa kritéria přijatelnosti rizika je postavena na tzv. individuálním riziku jednotlivce. Individuální riziko je definováno jako pravděpodobnost (následky jsou definované a priori), že bude v průběhu jednoho roku nechráněná osoba zasažena následky neočekávané události u zdroje rizika. Situaci názorně popisuje následující obrázek, který znázorňuje riziko a kritéria přijatelnosti rizika fatální události pro jednotlivce.



Obrázek č. 8: Kritéria individuálního rizika [1]

Je zřejmé, že za přijatelnou frekvenci výskytu fatální události se pro jednotlivce považuje frekvence 10^{-8} nebo nižší. Tento údaj lze interpretovat jako jeden fatální případ ve vzorku 10^8 (100 mil.) obyvatel v průběhu jednoho roku.

Frekvence 10^{-6} nebo vyšší se považuje pro jednotlivce za nepřijatelnou. Prakticky to znamená, že jeden fatální případ ve vzorku 10^6 obyvatel v průběhu jednoho roku se již považuje za nepřijatelný.

Individuální riziko se obvykle znázorňuje v mapách formou jednotlivých vrstevnic (obrysů) rizika kolem zdroje rizika (viz Obrázek č. 9).

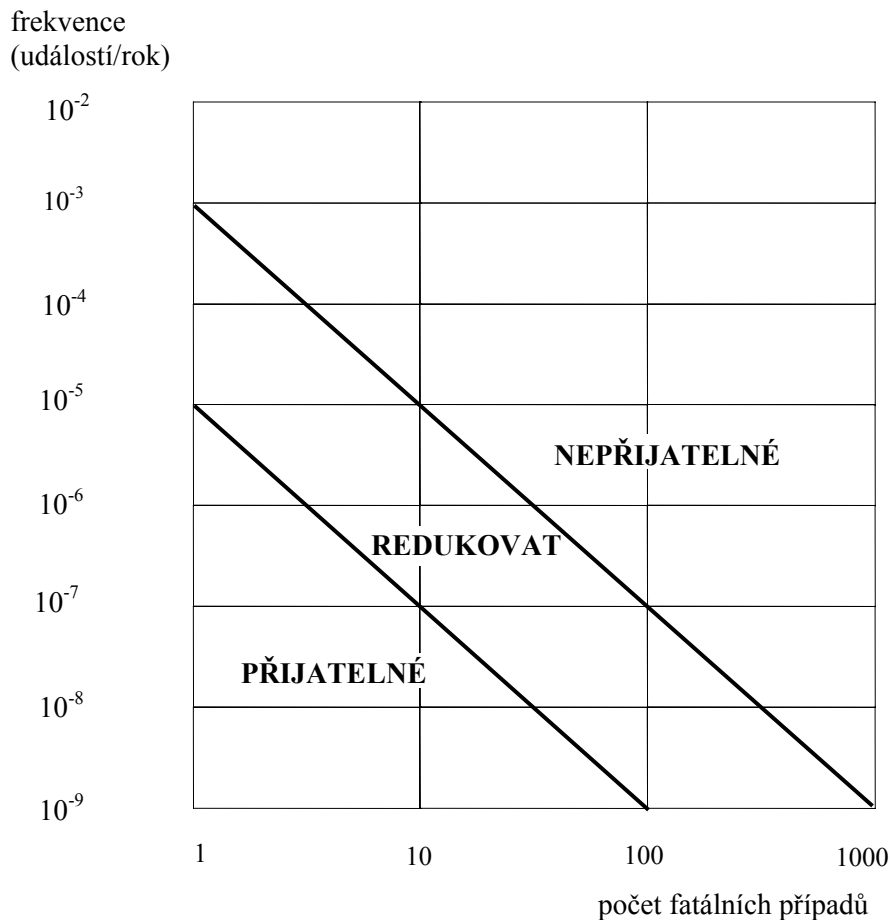


Obrázek č. 9: Prezentace vrstevnic individuálního rizika [9]

Společenské riziko

Posuzované společenské riziko reprezentuje možnost fatálního zranění obyvatelstva při průmyslové havárii. Je velmi nesnadné stanovit kritéria přijatelnosti pro společenské riziko. V Evropě je obvykle akceptována konvence vypracovaná v Holandsku. Používaná kritéria přijatelnosti společenského rizika jsou názorně zobrazena na dalším obrázku (viz Obrázek č. 10). Pro přijatelnost společenského rizika jsou vedle frekvence rozhodující případné ztráty na lidských životech.

Společenské riziko je vyšší než individuální, jak je zřejmé z obrázku. Společenské riziko pro 1 fatální případ se považuje za přijatelné ještě při frekvenci 10^{-5} , s rostoucím počtem fatálních případů akceptovatelná frekvence klesá. Nepřijatelné společenské riziko je charakterizováno frekvencí 10^{-3} při 1 fatálním případě, s rostoucím počtem fatálních případů nepřijatelná frekvence opět klesá.



Obrázek č. 10: Matice rizika (společenského) [1]

Pásmo mezi hranicí přijatelnosti a nepřijatelnosti rizika je označováno jako pásmo, ve kterém je potřeba riziko opatřeními snížit na přijatelnou mez. Hlavní přínos matice rizik je komparace všech posuzovaných zdrojů rizika ve studované oblasti. Výsledek studie koncentrovaný v jediné matici má svoji nespornou praktickou výhodu - umožňuje třídít zdroje rizika podle míry rizika. Vnitřní porovnatelnost zdrojů rizika v posuzovaném podniku je jenom dílčím cílem studie. Je třeba si položit obtížnou otázku související s úrovní rizika v různých oblastech a porovnat míru rizika s akceptovatelnou úrovní společenského rizika v průmyslovém podniku.

V České republice byla přijatelnost rizika stanovena ve vyhlášce MŽP č. 8/2000 Sb. (v novelách této vyhlášky už kritérium uváděno není). Přijatelná četnost výskytu možného ohrožení života více osob v důsledku vzniku závažné havárie je dána vztahem:

$$F_p = 10^{-3} / N^2 \text{ pro stávající objekt nebo zařízení}$$

nebo

$$F_p = 10^{-4} / N^2 \text{ pro nový objekt nebo zařízení,}$$

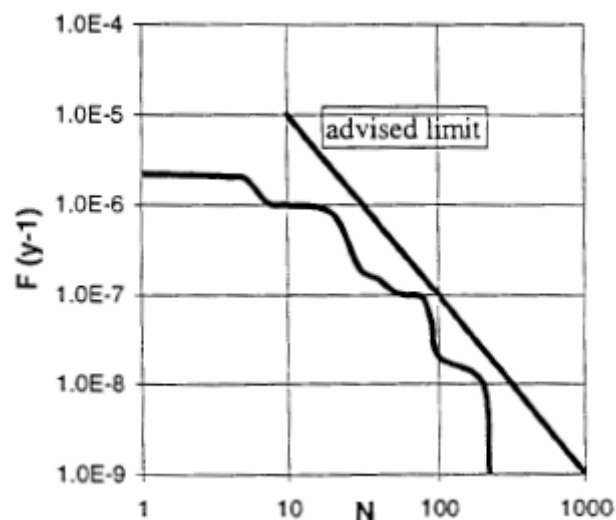
kde N – počet osob smrtelně ohrožených vyšetřovanou událostí.

V případě, že hodnota odhadnutého rizika vyšetřované události F je větší nebo rovna (\geq) F_p , je riziko nepřijatelné,

v případě, že hodnota odhadnutého rizika vyšetřované události F je menší ($<$) F_p , je riziko přijatelné.

Na základě stanovených kritérií přijatelnosti rizika lze zdroje rizika třídit do dvou základních tříd, na zdroje s přijatelnou a s nepřijatelnou úrovní rizika.

Tento model přijatelnosti rizika převzatý z holandského přístupu ale nezahrnul podmínku, že vztah $10^{-3} / N^2$ je platný pro $N \geq 10$ (pro deset a více smrtelně ohrožených osob). Původní matice se zakresleným limitem přijatelnosti rizika je znázorněna na dalším obrázku. Na tomto obrázku zakreslená křivka společenského rizika pro imaginární případ představuje další možnost prezentace výsledků formou souhrnu rizika pro celý objekt a jeho srovnání s limitem přijatelnosti.



Obrázek č. 11: Prezentace křivky společenského rizika [9]

3.3. Vybrané programy pro modelování následků havárií

Pro detailní modelování úniků nebezpečných látek a následků požárů, výbuchů nebo šíření toxických mraků lze využít celé řady softwarů. Mezi nejznámější programy patří ALOHA, RMP Comp, SAFETI, PHAST, EFFECTS, DAMAGE, CHARM, atd., v České republice byl připraven program ROZEX. Některé programy jsou volně dostupné na internetu (např. ALOHA, RMP Comp), další jsou komerčními produkty významných společností

zabývajících se analýzou rizik (např. holandská společnost TNO – EFFECTS, DAMAGE nebo norská společnost DNV – PHAST, SAFETI). V dalším textu jsou podrobněji popsány dva programy: ALOHA a EFFECTS.

ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)

Program ALOHA je rozptylový model určený pro operační systém Windows vyvinutý americkou organizací pro ochranu přírody (US EPA). Program používá sérii rovnic Gaussova rozdělení k vyhodnocení pohybu znečišťujících látek uvolněných do ovzduší. Program pracuje s následujícími vstupními informacemi, vždy zadávanými ve stejném pořadí:

- Data o poloze stanoviště (název místa, stát, typ zástavby);
- Informace o uniklé látce (program obsahuje velké množství chemických látek, včetně všech potřebných fyzikálních a chemických vlastností);
- Informace o stavu atmosféry (třída stability teplotního zvrstvení ovzduší podle Pasquillovy stupnice, síla a směr větru, teplota vzduchu, pokrytí oblohy oblačností, atd.);
- Informace o zdroji úniku – možno zadat 4 druhy zdrojů a jejich parametry (přímý zdroj, louže, zásobník, potrubí).

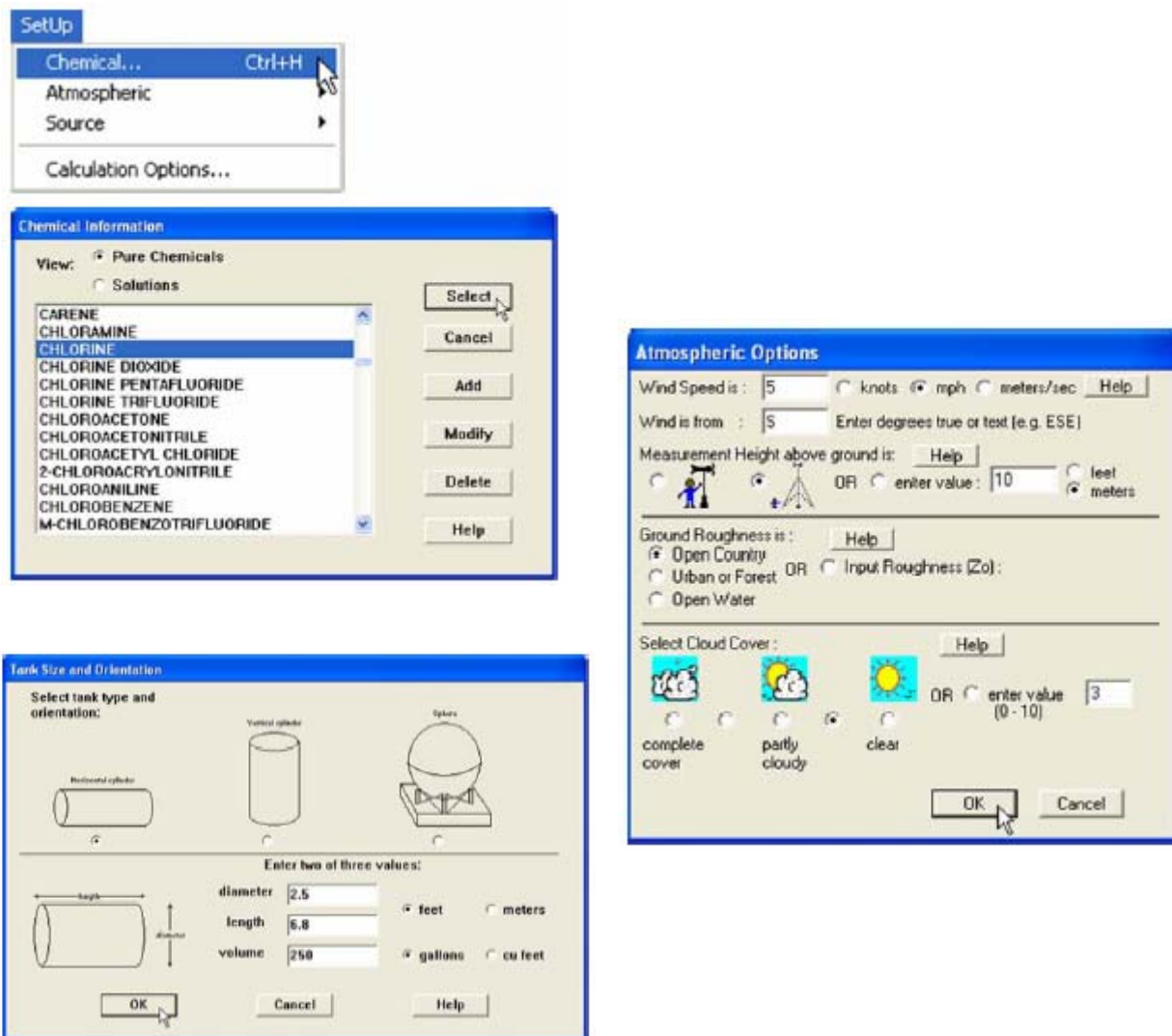
Příklad zadávání údajů pro případ úniku chloru ze zásobníku je uveden na Obrázek č. 12.

Program ALOHA umožňuje vypsát výsledky v textové i grafické podobě (viz příklad výsledků - Obrázek č. 13 a Obrázek č. 14). Zobrazí stopu oblaku látky o zadané koncentraci, dávku a vydatnost zdroje. Omezení programu ALOHA jsou:

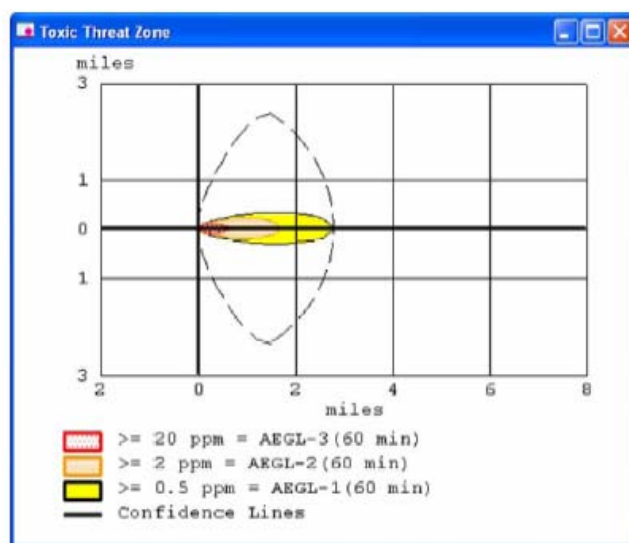
- program pracuje s nízkými rychlostmi větru,
- stabilními atmosférickými podmínkami,
- malým rozlišením členitosti terénu,
- nezahrnuje změny směru větru, efekty požáru a chemických reakcí, rozptyl pevných částí a roztoků,
- únik látek je stanoven na dobu jedné hodiny a rozptyl látek je omezen vzdáleností 10 km.

Poslední verze ALOHA 5.4 (z února 2006) má doplněnou možnost modelování požáru a výbuchu. Uživatelé tak mohou hodnotit kromě toxického ohrožení také nebezpečí spojené s požáry typu Jet fire, požáry kaluže, výbuch mraku par (VCE - vapor cloud explosions), výbuch expandujících par vroucí kapaliny (BLEVE - Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions) a požáry typu Flashfires.

Program ALOHA je volně dostupný na Internetových stránkách organizace US EPA (<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>).



Obrázek č. 12: Příklady hlavních zadávacích obrazovek programu ALOHA (chemická látka, atmosférické podmínky, typ zásobníku)



Obrázek č. 13: Příklad grafických výsledků programu ALOHA

```
Text Summary
SITE DATA:
Location: SIOUX FALLS, SOUTH DAKOTA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.43 (unsheltered single storied)
Time: June 25, 2006 1430 hours CDT (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1(60 min): 0.5 ppm AEGL-2(60 min): 2 ppm AEGL-3(60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Carcinogenic risk - see CARCEN
Ambient Boiling Point: -31.2° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 miles/hour from S at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths
Air Temperature: 72° F Stability Class: B
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2.5 feet Tank Length: 6.8 feet
Tank Volume: 250 gallons
Tank contains liquid Internal Temperature: 72° F
Chemical Mass in Tank: 1 tons Tank is 68% full
Circular Opening Diameter: 0.5 inches
Opening is 1.25 feet from tank bottom
Release Duration: 33 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 172 pounds/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 827 pounds
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:
Model Run: Heavy Gas
Red : 1124 yards --- (20 ppm = AEGL-3(60 min))
Orange: 1.7 miles --- (2 ppm = AEGL-2(60 min))
Yellow: 2.8 miles --- (0.5 ppm = AEGL-1(60 min))

THREAT AT POINT:
Concentration Estimates at the point:
Downwind: 1500 yards Off Centerline: 0 yards
Max Concentration:
Outdoor: 10.9 ppm
Indoor: 0.342 ppm
```

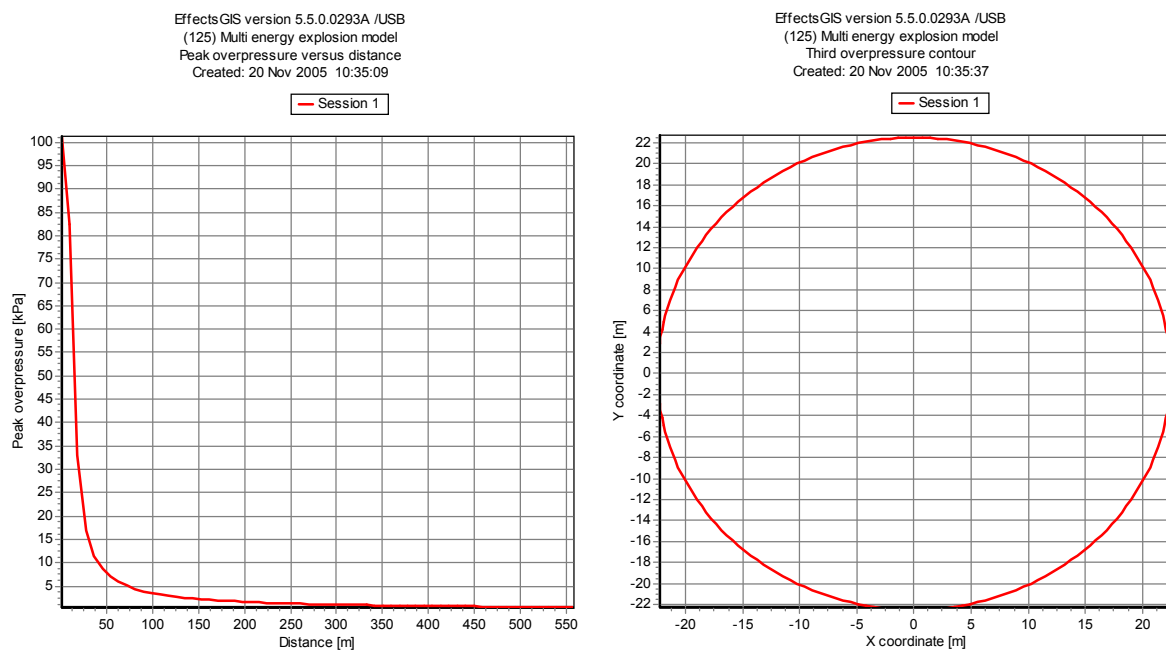
Obrázek č. 14: Příklad textové části výsledků programu ALOHA

EFFECTS

VŠB-TUO vlastní licenci na uznávaný holandský model EFFECTSGIS 5.5, který představuje vysoký standart modelování následků závažných havárií.

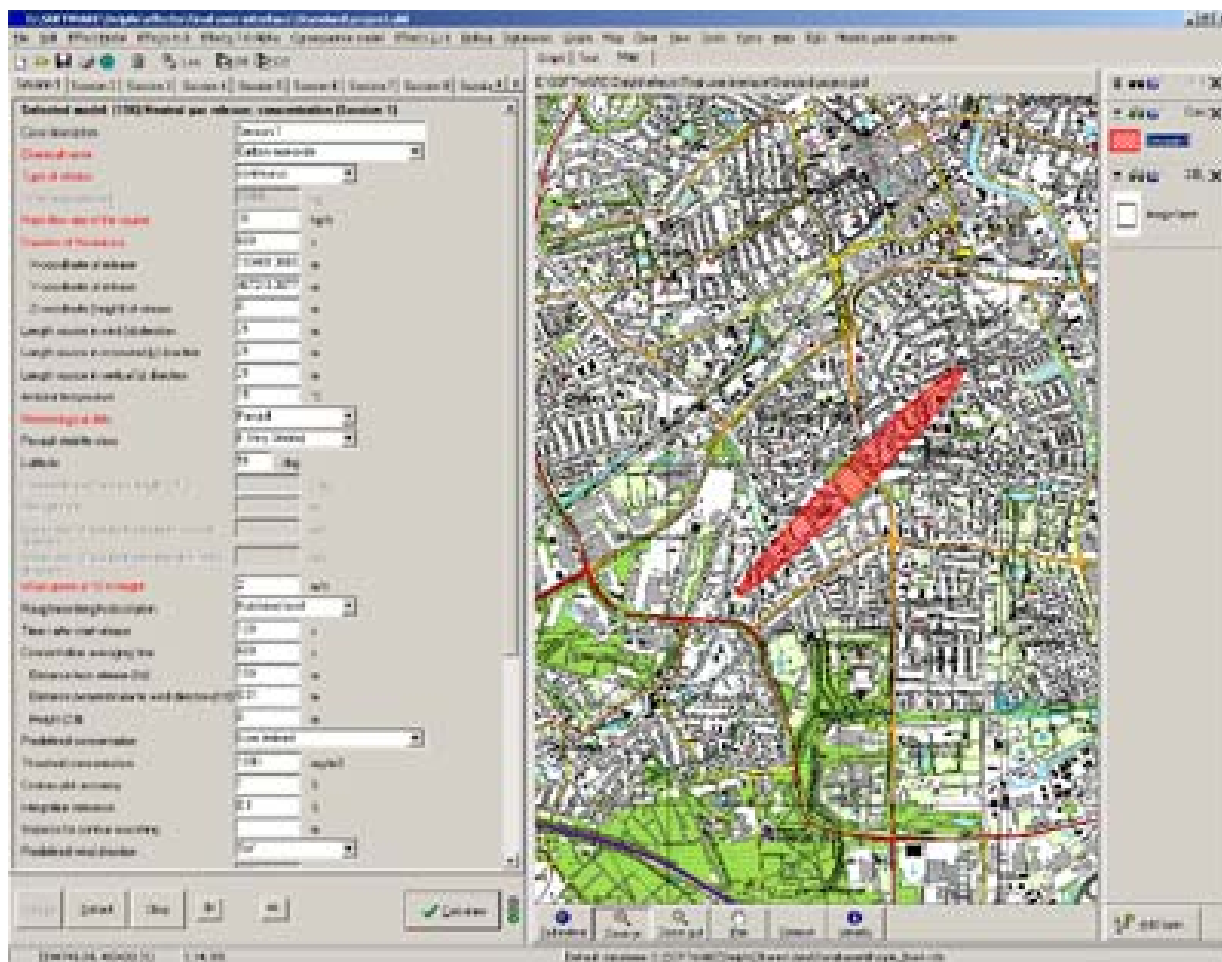
Program EFFECTSGIS 5.5 kombinuje dva uznávané modely pro výpočet fyzikálních efektů po úniku nebezpečných látek EFFECTS a DAMAGE. Model EFFECTS umožňuje stanovit projevy havárie jako jsou tlaková vlna, tepelné záření, koncentrace plynu, model DAMAGE umožňuje stanovit následky havárií, například úmrtnost lidí, popáleniny 1. a 2. stupně, poškození plic, ušních bubínků, atd. Výhodou spojení těchto dvou modelů do jediného programu je zahrnutí komplexních výpočtů od iniciačních fyzikální efektů až po následky

havárií. Výsledky jsou prezentovány v textové a grafické podobě [10], jako příklad jsou na následujícím schématu (Obrázek č. 15) zobrazeny výsledky hodnocení výbuchu tlakové láhve vodíku.



Obrázek č. 15: Graf závislosti přetlaku a vzdálenosti při výbuchu a graf dosahu přetlaku 250 kPa pro láhev vodíku

Vzor obrazovky programu EFFECTS je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek č. 16).



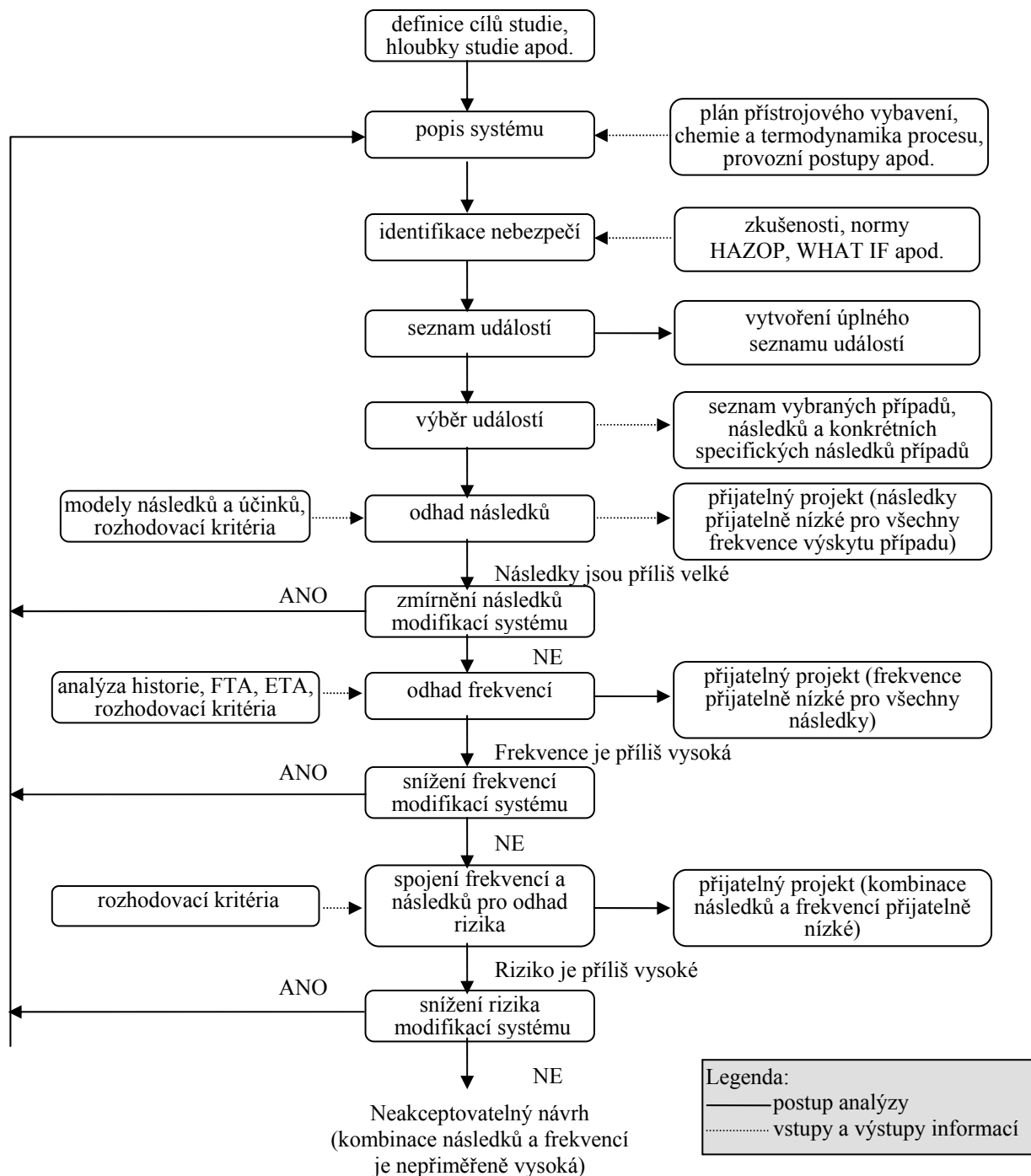
Obrázek č. 16: Příklad obrazovky programu EFFECTSGIS

3.4. Kvantitativní analýza rizik chemického procesu

Komplexní analýzu rizik umožňuje metoda CPQRA - Chemical Process Quantitative Risk Analysis - Kvantitativní analýza rizik chemického procesu. Tato metoda byla vyvinuta pro potřeby chemického průmyslu ze zkušeností jaderného, leteckého a elektronického průmyslu, ale její doporučený postup analýzy je aplikovatelný i na ostatní druhy průmyslu. CPQRA je nástroj pro kvantifikaci a snížení rizika pomocí dílčích metod a postupů.

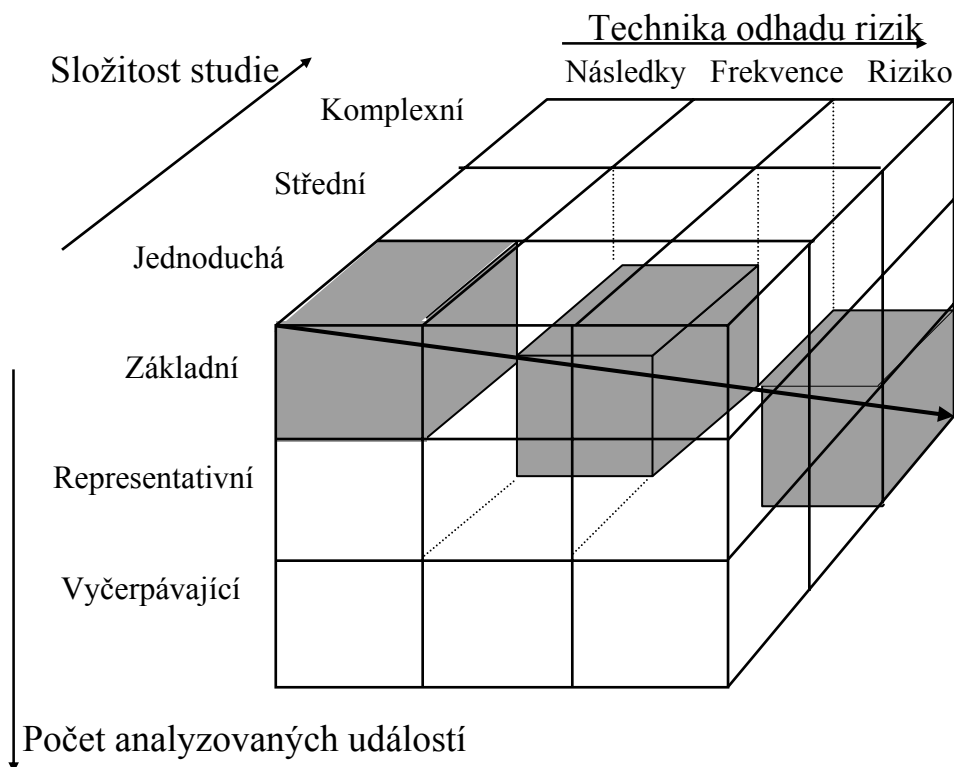
Studie metodou CPQRA probíhá v několika krocích. Na následujícím obrázku (Obrázek č. 17) je znázorněn doporučený postup CPQRA. Mezi základní kroky patří identifikace nebezpečí, odhad následků, odhad frekvencí a odhad rizika. Nejprve je třeba definovat cíle a hloubku studie a seznámit se se zkoumaným systémem. Samotná identifikace nebezpečí probíhá dílčími metodami jako HAZOP, WHAT IF apod. V dalších krocích se provádí nejprve odhad následků identifikovaných událostí pomocí různých modelů následků a potom odhad frekvencí událostí, kde lze kromě dílčích metod FTA, ETA využít

i historických údajů. Pro další krok odhadu rizik, kde se spojují výsledky odhadů následků a frekvencí, je třeba stanovit přijatelnou hranici rizika. Posledním krokem analýzy metodou CPQRA je snížení rizika modifikací systému pro rizika vyhodnocená jako nepřijatelná.



Obrázek č. 17: Doporučený postup analýzy rizik metodikou CPQRA

Metoda nabízí volbu několika dílčích metod (například pro identifikaci nebezpečí) a tato volba závisí na celém souboru faktorů, především na zkušenostech provádějícího experta s těmito dílčími metodami. Studie prováděné metodou CPQRA bývají časově náročné i přes možné zjednodušení postupu analýzy. Toto zjednodušení je závislé na definování cílů a hloubky studie, na následujícím obrázku je znázorněna kostka rozsahu studie, kde každá buňka představuje potenciální studii metodou CPQRA. Šedé buňky znázorňují příklady studií od jednoduché screeningové studie po komplexní detailní studii.



Obrázek č. 18: Kostka znázorňující možné rozsahy analýzy rizik metodou CPQRA

Metoda CPQRA, uvedená v příručce Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis [8], představuje standardní metodický návod kvantitativní analýzy rizik.

3.5. Kvantitativní analýza rizik metodikou „Purple Book“

Dalším uznávaným přístupem ke komplexnímu hodnocení rizik je holandská metodika CPR 18E Guidelines for Quantitative Risk Assessment známá jako „Purple Book“. Tato metodika obsahuje dvě části, hodnocení rizik stacionárních zařízení a hodnocení rizik přepravy nebezpečných látek. V následujícím textu budou stručně představeny vybrané kapitoly hodnocení stacionárních zdrojů rizika. První kapitolou je metoda výběru, která byla popsána již v učebním textu „Prevence závažných havárií I.“.

3.5.1 Frekvence poruch zařízení

V této kapitole jsou popisovány události, při kterých dochází k poškození zařízení a úniku nebezpečných látek, tzv. Loss of Containment (LOC). Pro tyto případy poruch jsou uváděné předpokládané frekvence výskytu stanovené na základě havárií v minulosti. Metodika tak předkládá poruchy zařízení, které přispívají k společenskému riziku a musí být uvažovány při kvantitativním hodnocení rizika.

V této části metodiky „Purple Book“ jsou uváděny frekvence poruch následujících zařízení:

- Tlakové stacionární zásobníky a nádoby
- Atmosférické stacionární zásobníky a nádoby
- Tlakové láhve na plyny
- Potrubí
- Čerpadla
- Výměníky tepla
- Pojistné tlakové systémy
- Skladiště
- Skladování výbušnin
- Silniční cisterny
- Železniční cisterny
- Lodě

Jako příklady údajů frekvencí poruch jsou v následujících tabulkách uvedeny hodnoty pro tlakové zásobníky a potrubí.

Tabulka č. 1: Frekvence poruch zařízení pro stacionární tlakové nádoby [9]

Případy poruch zařízení (LOC) pro stacionární tlakové nádoby			
G.1 Jednorázový únik celého inventáře (veškerého množství)			
G.2 Kontinuální únik celého inventáře během 10 min konstantní rychlostí			
G.3 Kontinuální únik otvorem o efektivním průměru 10 mm			
Zařízení	G.1	G.2	G.3
Tlaková nádoba	$5 \times 10^{-7} \text{ rok}^{-1}$	$5 \times 10^{-7} \text{ rok}^{-1}$	$1 \times 10^{-5} \text{ rok}^{-1}$
Procesní nádoba	$5 \times 10^{-6} \text{ rok}^{-1}$	$5 \times 10^{-6} \text{ rok}^{-1}$	$1 \times 10^{-4} \text{ rok}^{-1}$
Reaktorová nádoba	$5 \times 10^{-6} \text{ rok}^{-1}$	$5 \times 10^{-6} \text{ rok}^{-1}$	$1 \times 10^{-4} \text{ rok}^{-1}$

Tabulka č. 2: Frekvence poruch zařízení pro potrubí [9]

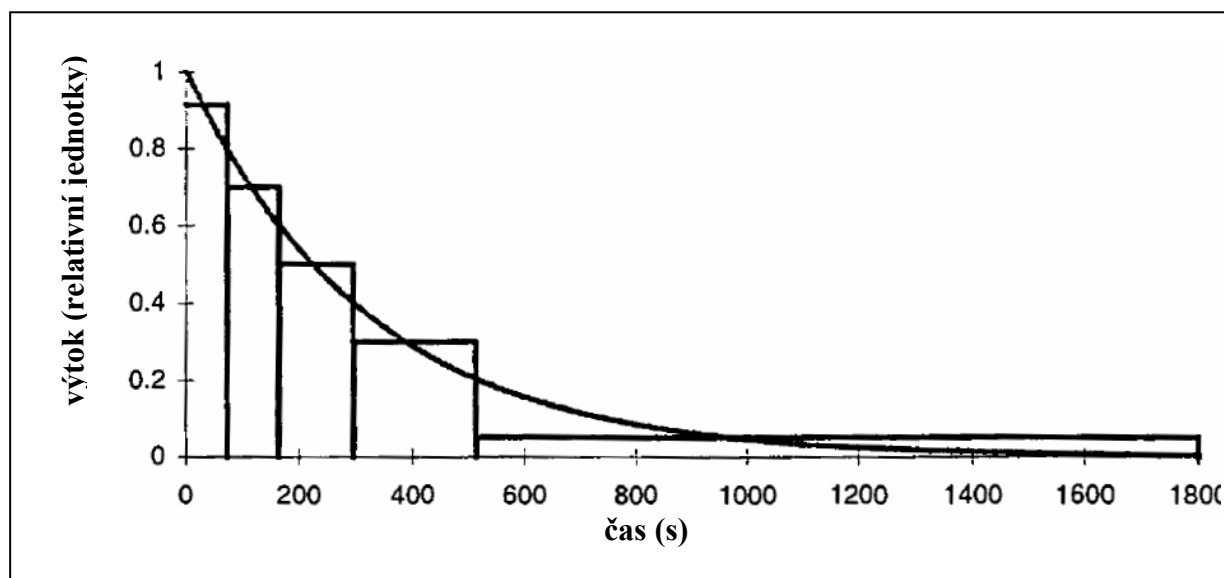
Případy poruch zařízení (LOC) pro potrubí		
G.1 Lom plného průměru – výtok z obou stran lomu plného průměru		
G.2 Trhlina – výtok z otvoru o efektivním průměru 10 % jmenovitého průměru, max. 50 mm		
Zařízení	G.1	G.2
Potrubí, průměr < 75 mm	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$	$5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$
Potrubí, průměr 75 – 150 mm	$3 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$	$2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$
Potrubí, průměr > 150 mm	$1 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$	$5 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ rok}^{-1}$

3.5.2 Modelování úniků a rozptylů

Po stanovení frekvencí poruch zařízení musí být vypočítána rychlost úniku ze zdroje a rozptyl látky do okolního životního prostředí. Modely výpočtu rychlosti úniku ze zdroje a modely rozptylů jsou podrobně popsány v knize „Yellow Book“ (CPR 14E) [11]. Jsou zde popsány různé typy modelů, například:

- únik výtokem a rozstříkáním
- vypařování z kaluže
- rozptyl mraku par
 - tryskání a vlečky
 - rozptyl těžkého plynu
 - pasivní rozptyl
- výbuch mraku par
- tepelný tok způsobený požáry
- poškození (lomy) nádob

Dále jsou uvedeny příklady výsledků tohoto modelování. Modely výtoku kapalin nebo plynů ze zařízení tvoří vstupní údaje pro modely výpočtu rozptylu mraku par. Výtoková rychlost látky je proměnná v čase, proto je nutné použít aproximace, kdy je výtok rozdělen na řadu diskretních časových úseků. Na obrázku je uveden příklad (Obrázek č. 19), kdy časově proměnný únik je aproximován pěti časovými úseky pro stejné množství vyteklé látky, kdy pro každý úsek platí konstantní výtokové podmínky.



Obrázek č. 19: Aproximace časově proměnného úniku pěti časovými úseky [9]

Okamžité vznícení

Pro modelování následků úniků hořlavých látek je nezbytné odhadnout pravděpodobnost okamžitého vznícení nebo zpožděného vznícení. Příklad hodnot pravděpodobnosti okamžitého vznícení pro stacionární zdroje je v tabulce č. 3 a pro transportní zařízení uvnitř areálu podniků v tabulce č. 4. Rozdělení látek podle jejich reaktivity je pro řadu látek uvedeno v tabulce č. 5.

Tabulka č. 3: Pravděpodobnost okamžitého vznícení pro stacionární zdroje [9]

Zdroj		Látka		
Kontinuální	Jednorázový	Kapalina K1	Plyn nízko-reaktivní	Plyn průměrně/vysoce reaktivní
< 10 kg/s	< 1000 kg	0,065	0,02	0,2
10 – 100 kg/s	1000 – 10000 kg	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10000 kg	0,065	0,09	0,7

Pozn.: kapalina K1 – hořlavé kapaliny, které mají bod vznícení menší než 21°C a tlak par při 50°C menší než 1,35 bar (čisté látky) nebo 1,5 bar (směsi).

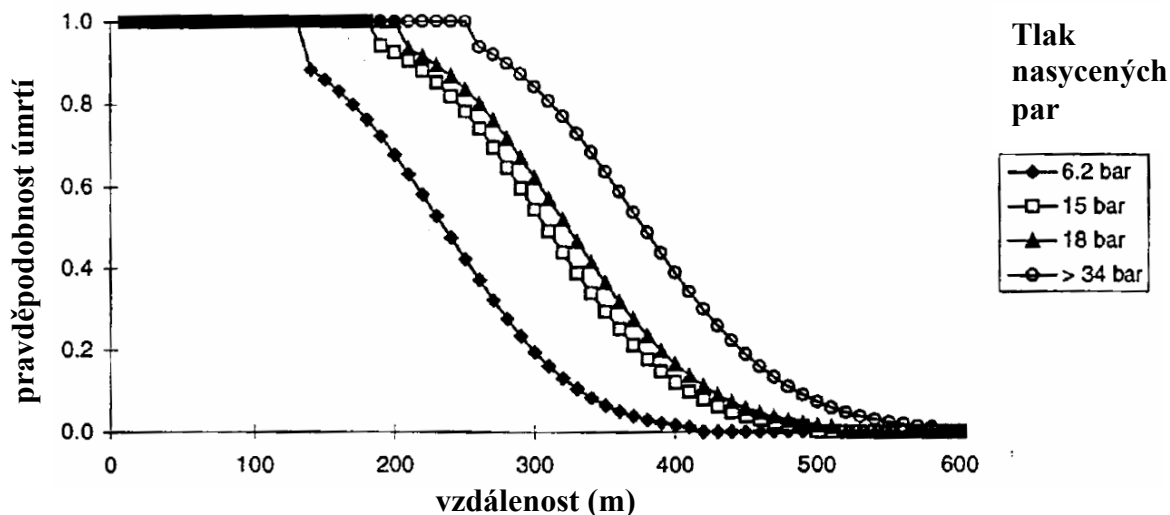
Tabulka č. 4: Pravděpodobnost okamžitého vznícení přepravních jednotek v podniku [9]

Zdroj (výtok)	Pravděpodobnost okamžitého vznícení
Silniční cisterna, kontinuální	0,1
Silniční cisterna, jednorázový	0,4
Železniční cisterna, kontinuální	0,1
Železniční cisterna, jednorázový	0,8

Tabulka č. 5: Reaktivita vybraných látek [9]

Látky s nízkou reaktivitou	Průměrně reaktivní	Vysoce reaktivní
1-chloro-2,3-epoxypropan	1-buten	1-butaethiol
1,3-dichloropropen	1,2-diaminoethan	acetylen
3-chloro-1-propen	1,3-butadien	benzen
amoniak	acetaldehyd	sirouhlík
brommethan	acetonitril	ethanethiol
oxid uhelnatý	akrylonitril	ethylenoxid
chloroethan	butan	formaldehyd
chlormethan	chlorethen	formaldehyd
methan	dimethylamin	sirovodík
tetraethylolovo	ethan	methylakrylát
	ethen	mravenčan methylnatý
	ethylethanamin	methyloxiran
	kyselina mravenčí	solventní nafta
	propan	tetrahydrothiofen
	propen	vinylacetát

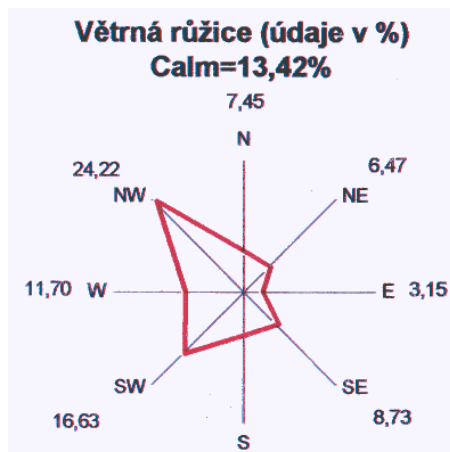
Při jednorázovém úniku s okamžitým vznícením může dojít k události BLEVE a vzniku ohnivé koule (fire ball). Příklad účinků výbuchu typu BLEVE (pravděpodobnost úmrtí osob v závislosti na vzdálenosti od zdroje) je znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek č. 20) pro skladování 100 tun propanu.



Obrázek č. 20: Pravděpodobnost úmrtí jako funkce vzdálenosti pro událost typu BLEVE pro skladovací zásobník 100 t propanu [9]

Meteorologické data

Meteorologické podmínky jsou v podstatě dány směrem a rychlostí větru, vyjádřenými větrnou růžicí (viz Obrázek č. 21), dále pak stabilitou atmosféry vycházející z vertikálního tepelného zvrstvení.



Obrázek č. 21: Příklad grafického znázornění větrné růžice

V ČR se uvádějí třídy stability ovzduší podle Bubníka, jejich charakteristika je uvedena v následující tabulce.

Tabulka č. 6: Třídy stability atmosféry podle Bubníka

Třída stability	Popis meteorologických podmínek	Příklad podílů dní v roce (%)
I – velmi stabilní	Špatný rozptyl, silná inverze	10,91
II – stabilní	Zhoršený rozptyl, možná inverze	18,16
III – izotermní	Zhoršené rozptylové podmínky	30,06
IV – normální	Normální stav atmosféry	31,24
V - konvektivní	Rychlý rozptyl škodlivin	9,62

Český hydrometeorologický ústav vydává pro konkrétní lokality větrné růžice v následující podobě (viz Obrázek č. 22).

**ODBOURNÝ ODHAD VĚTRNÉ RŮŽICE PRO LOKALITU
OSTRAVA KUNČICE**

platná ve výšce 10 m nad zemí v %
podklad pro metodiku výpočtu znečištění ovzduší

I. třída stability - velmi stabilní										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.51	0.67	0.32	0.32	0.60	0.78	0.35	0.17	2.15	5.87
5,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	0.51	0.67	0.32	0.32	0.60	0.78	0.35	0.17	2.15	5.87
II. třída stability - stabilní										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	1.35	2.06	0.84	0.69	1.85	2.33	0.75	0.32	2.34	12.53
5,0	0.17	0.24	0.02	0.02	0.18	0.37	0.07	0.05		1.12
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
součet	1.52	2.30	0.86	0.71	2.03	2.70	0.82	0.37	2.34	13.65
III. třída stability - izotermní										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	1.62	2.20	0.76	0.58	1.78	2.76	0.96	0.49	1.02	12.17
5,0	4.23	4.19	0.24	0.12	2.06	8.14	1.59	0.43		21.00
11,0	0.09	0.08	0.00	0.00	0.11	0.33	0.08	0.02		0.71
součet	5.94	6.47	1.00	0.70	3.95	11.23	2.63	0.94	1.02	33.88
IV. třída stability - normální										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.77	0.79	0.43	0.33	0.64	1.11	0.55	0.46	0.62	5.70
5,0	3.98	2.33	0.20	0.15	2.52	11.39	2.35	0.77		23.69
11,0	0.38	0.41	0.02	0.02	1.43	4.42	0.60	0.17		7.45
součet	5.13	3.53	0.65	0.50	4.59	16.92	3.50	1.40	0.62	36.84
V. třída stability - konvektivní										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.70	0.73	0.42	0.25	0.44	0.87	0.56	0.51	0.52	5.00
5,0	0.79	0.18	0.04	0.23	1.68	0.85	0.15	0.84		4.76
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
součet	1.49	0.91	0.46	0.48	2.12	1.72	0.71	1.35	0.52	9.76
celková růžice										
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	4.95	6.45	2.77	2.17	5.31	7.85	3.17	1.95	6.65	41.27
5,0	9.17	6.94	0.50	0.52	6.44	20.75	4.16	2.09		50.57
11,0	0.47	0.49	0.02	0.02	1.54	4.75	0.68	0.19		8.16
součet	14.59	13.88	3.29	2.71	13.29	33.35	8.01	4.23	6.65	100.00

Obrázek č. 22: Příklad odborného odhadu větrné růžice

Rychlosti větru jsou rozděleny do 3 intervalů: nízká rychlost je interval $0,9 - 2,5 \text{ m.s}^{-1}$ (střed - rychlost $1,7 \text{ m.s}^{-1}$), střední rychlost je interval $2,5 - 7,5 \text{ m.s}^{-1}$ (střed 5 m.s^{-1}) a vyšší rychlosti, pro něž se uvažuje rychlost 11 m.s^{-1} .

Při kvantitativní analýze rizik by mělo být pro modelování rozptylu použito 6 reprezentativních tříd počasí – kombinací stability ovzduší a rychlosti větru. V případě použití klasifikace podle Pasquilla (6 tříd stability A-F od nestabilních, neutrálních až po stabilní podmínky) je vybráno 6 reprezentativních tříd počasí.

Tabulka č. 7: 6 vybraných reprezentativních tříd počasí podle Pasquilla

Třída stability	Rychlost větru
B	Střední – 4 m.s^{-1}
D	Nízká – $1,5 \text{ m.s}^{-1}$
D	Střední – 4 m.s^{-1}
D	Vysoká – 8 m.s^{-1}
E	Střední – 4 m.s^{-1}
F	Nízká – $1,5 \text{ m.s}^{-1}$

Obě zmíněné klasifikace se liší počtem tříd i charakteristikou stability ovzduší. Z hlediska praktických aplikací se používá konverze tříd stability podle Bubníka do tříd stability podle Pasquilla důležitých pro modelování následků úniku toxických látek. Třídy stability 1 a 2 podle Bubníka reprezentují třídu stability F podle Pasquilla. Obdobně třída 3 a 4 reprezentuje třídu stability D, třída 5 reprezentuje třídu B. Při srovnání obou členění lze konstatovat, že inverze 1. třída = F a nejčastější neutrální podmínky 4. třída = D.

Pro účely modelování následků úniku nebezpečných látek se přednostně používají třídy stability B, D, E a F. Konverzi ze 6 tříd stability podle Pasquilla do 4 tříd stability obvykle používaných pro modelování následků ukazuje následující tabulka.

Tabulka č. 8: Konverze tříd počasí [9]

Rychlost větru	A	B	B/C	C	C/D	D	E	F
$< 1,7 \text{ m.s}^{-1}$	B střední			D nízká			F nízká	
$1,7 - 5 \text{ m.s}^{-1}$				D střední			E střední	
$> 5 \text{ m.s}^{-1}$				D vysoká				

Vzhledem k vysoké náročnosti modelování těchto 6 reprezentativních tříd počasí je nutné modelovat alespoň dvě základní situace:

- normální stabilita ovzduší 4. třída = D, rychlost větru střední – 5 m.s⁻¹ (nejčastější podmínky v průběhu roku),
- velmi stabilní podmínky 1. třída = F, rychlost větru nízká – 1,7 m.s⁻¹ (nejhorší rozptyl, zasaženo největší území = nejhorší scénář)

3.5.3 Modelování expozic a poškození

Dalším krokem hodnocení rizik po úniku a rozptylu nebezpečných látek je stanovení následků, které se nejčastěji vztahují na smrtelné účinky na obyvatelstvo. Proto budou v dalším textu popsány metody výpočtu pro určení pravděpodobnosti úmrtí a podílu obyvatelstva, pro které je expozice fatální.

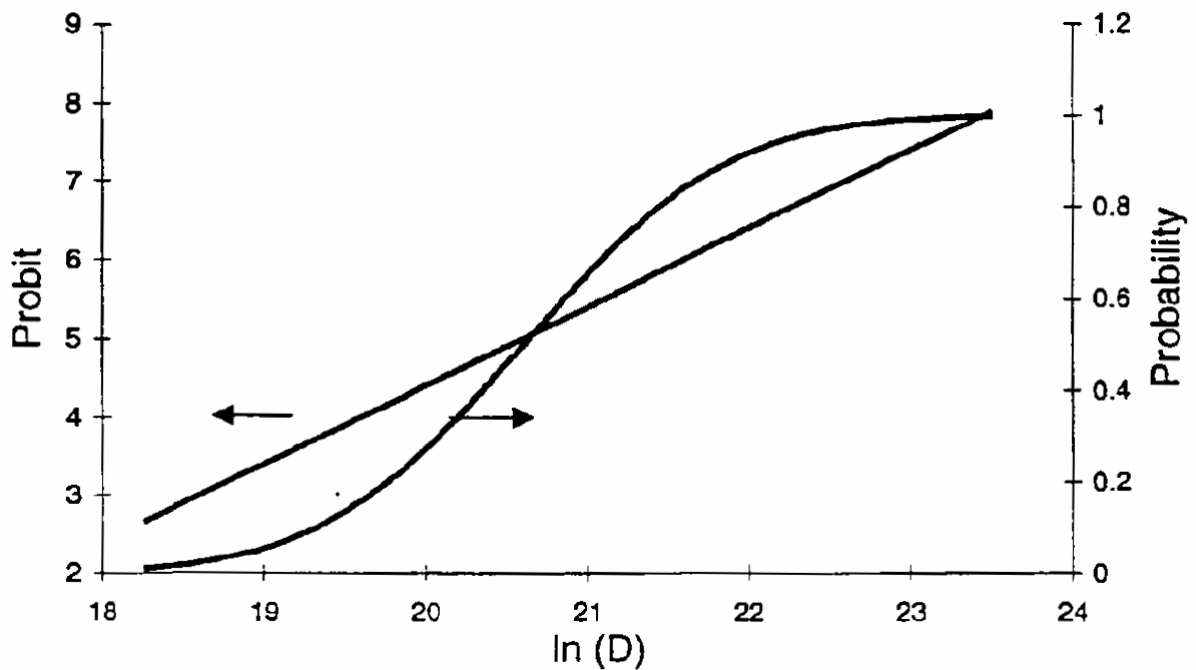
Probitová funkce

Výpočet individuálního a společenského rizika zahrnuje výpočet pravděpodobnosti úmrtí osoby za dané expozice. Pravděpodobnost úmrtí se vypočítá použitím probitové funkce (druh modelové závislosti dávka - odpověď, vyjádřený rovnicí). Vztah mezi pravděpodobností účinků P a odpovídající probitovou funkcí Pr je uveden v následující tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: Probit Pr jako funkce pravděpodobnosti P [9]

P	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
0.1	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
0.2	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
0.3	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
0.4	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
0.5	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
0.6	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
0.7	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
0.8	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
0.9	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33

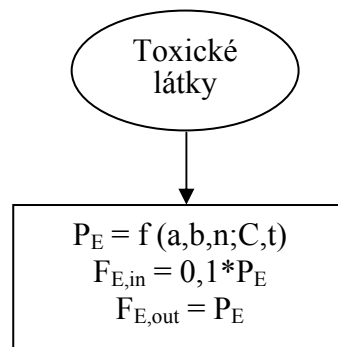
Vztah mezi pravděpodobností účinku a expozicí má zpravidla vzhled esovitě křivky. Tato křivka se nahrazuje přímkou, jestliže se použije probitová funkce namísto pravděpodobnosti (viz Obrázek č. 23).



Obrázek č. 23: Pravděpodobnost P a probitové funkce Pr pro expozici amoniakem, expozice je reprezentována $\ln(D)$, kde D je toxická dávka [9]

Toxická expozice

Pravděpodobnost úmrtí následkem expozice toxickým mrakem P_E a podílem lidí zasažených uvnitř a vně budov $F_{E,in}$ a $F_{E,out}$ je schématicky znázorněna na následující obrázku (Obrázek č. 24).



Obrázek č. 24: Výpočet pravděpodobnosti úmrtí pro podíly obyvatelstva, kteří zahynou uvnitř a vně budov následkem expozice toxickým mrakem [9]

kde :

P_E – pravděpodobnost fatálního zranění při koncentraci C a expozici po dobu t (s ohledem na skutečnost, že na zasažené ploše se předpokládá 100 % fatálních zranění, platí : $F_{E,in} = 0,1$, $F_{E,out} = 1$)

$f(a,b,n;C,t)$ – probitová funkce pro expozici toxickými látkami

$F_{E,in}$ – počet fatálních zranění uvnitř budov

$F_{E,out}$ – počet fatálních zranění vně budov

Pravděpodobnost úmrtí P_E se počítá pomocí probitové funkce následek toxické expozice, která je dána vztahem:

$$Pr = a + b \times \ln (C^n \times t) \quad (1)$$

kde :

- Pr - hodnota probitu odpovídající pravděpodobnosti úmrtí (-)
- a, b, n - konstanty popisující toxicitu látky (-)
- C - koncentrace (mg/m³)
- t - doba expozice (min)

Pobyt uvnitř budov redukuje toxickou dávku, protože koncentrace uvnitř je nižší než koncentrace vně budovy během průchodu mraku okolím. Tento vliv je vypořádán faktorem 0,1 pro podíl obyvatelstva, kteří zahynou uvnitř budov.

Hodnoty konstant a , b , n popisujících toxicitu látky jsou pro vybrané chemické látky uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10: Hodnoty konstant a , b , n popisujících toxicitu látky [9]

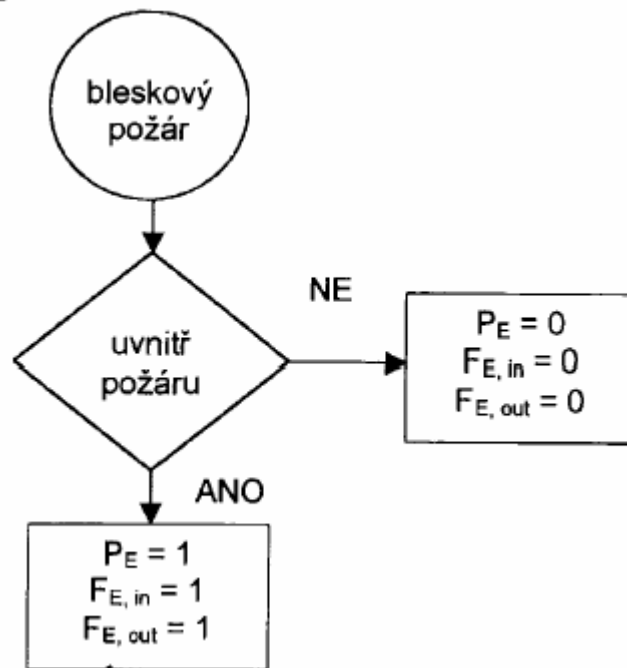
Látka	a	b	n
Akrolein	- 4,1	1	1
Akrylonitril	- 8,6	1	1,3
Allylalkohol	- 11,7	1	2
Amoniak	- 15,6	1	2
Azinfos-methyl	- 4,8	1	2
Brom	- 12,4	1	2
Chlor	- 6,35	0,5	2,75
Chlorovodík	- 37,3	3,69	1
Ethylenoxid	- 6,8	1	1
Fluorovodík	- 8,4	1	1,5
Fosfamidon	- 2,8	1	0,7
Fosfin	- 6,8	1	2
Fosgen	- 10,6	2	1
Kyanovodík	- 9,8	1	2,4
Methylbromid	- 7,3	1	1,1
Methylisokyanát	- 1,2	1	0,7
Oxid dusičitý	- 18,6	1	3,7
Oxid siřičitý	- 19,2	1	2,4
Oxid uhelnatý	- 7,4	1	1
Parathion	- 6,6	1	2
Sirovodík	- 11,5	1	1,9
Tetraethylolovo	- 9,8	1	2

Význam stanovení probitu je také v tom, že probit umožňuje stanovit koncentraci, která při zadané době vyvolá očekávané následky (většinou fatální zranění). Rozptylové modely pak umožní stanovit velikost a tvar zasažené

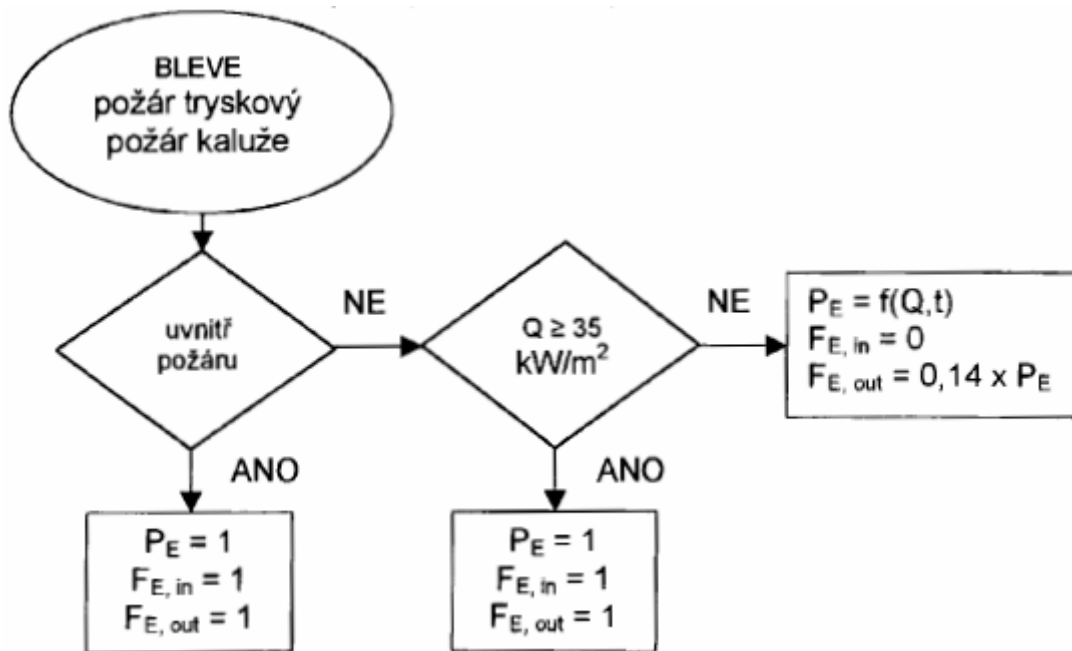
oblasti. Pro takto stanovené koncentrace pomocí probitu lze nalézt hranice plochy s odpovídající pravděpodobností fatálního poranění.

Požár

Pravděpodobnost úmrtí následkem požáru typu Flash fire P_E a podílem lidí zasažených uvnitř a vně budov $F_{E,in}$ a $F_{E,out}$ je schématicky znázorněna na následující obrázku (Obrázek č. 25). Pravděpodobnost úmrtí způsobených událostmi typu BLEVE, Jet fire a Pool fire jsou na dalším obrázku (viz Obrázek č. 26).



Obrázek č. 25: Výpočet pravděpodobnosti úmrtí pro podíly obyvatelstva, které zahynou uvnitř a vně budov následkem expozice požárem typu Flash fire [9]



Obrázek č. 26: Výpočet pravděpodobnosti úmrtí pro podíly obyvatelstva, kteří zahynou uvnitř a vně budov následkem expozice událostmi typu BLEVE, Jet fire a Pool fire [9]

Pravděpodobnost úmrtí následkem expozice tepelnou radiací se počítá pomocí probitové funkce, která je dána vztahem:

$$Pr = -36,38 + 2,56 \times \ln(Q^{4/3} \times t) \quad (2)$$

kde:

- Pr - probitová funkce odpovídající pravděpodobnosti úmrtí (-)
- Q - tepelná radiace (W.m⁻²)
- t - doba expozice (s)

Poznámky:

Výrazem uvnitř požáru se rozumí uvnitř obrysu shodného s obrysem dolní meze výbušnosti (DMV) v okamžiku zapálení.

Doba expozice t je rovna době trvání požáru. Avšak doba expozice je pro výpočty stanovena na maximálně 20 sekund.

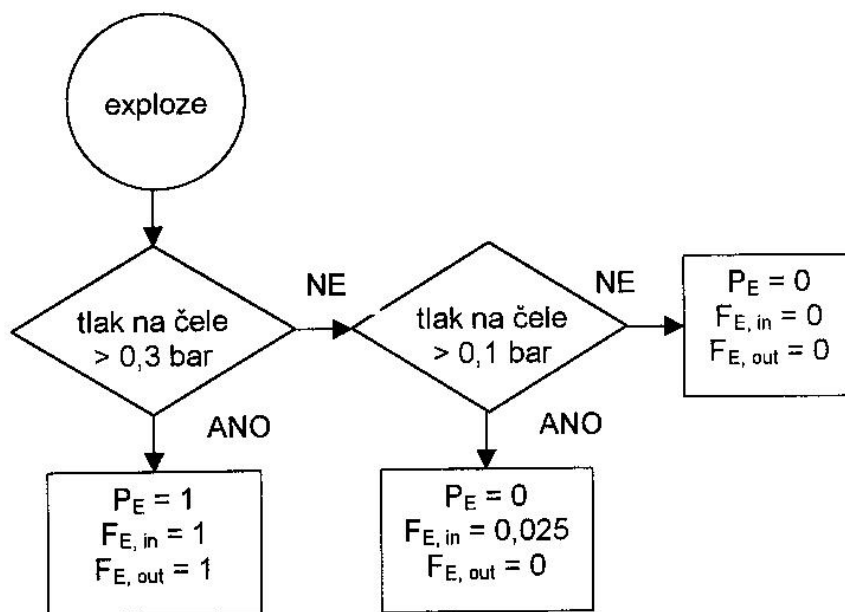
Předpokládá se, že lidé uvnitř budovy jsou chráněni před tepelnou radiací, dokud budova není zapálena. Práh pro zapálení budov je stanoven na 35 kW.m⁻². Jestliže budova hoří, předpokládá se, že všichni lidé uvnitř zahynou. Odtud $F_{E,in} = 1$, pokud tepelná radiace Q překročí 35 kW. m⁻² a $F_{E,in} = 0$, jestliže tepelná radiace Q je nižší než 35 kW. m⁻².

Pro výpočet společenského rizika se předpokládá, že vně budov jsou lidé chráněni před tepelnou radiací oděvem tak dlouho, dokud oděv není zapálen. Ochrana oděvem snižuje počet úmrtí o faktor 0,14 při srovnání s absencí ochrany oděvem. Práh pro vznícení oděvu je stanoven na 35 kW. m⁻² a lidé zahynou, jestliže oděv při této hraniční hodnotě začne hořet. Odtud $F_{E,out} = 1$, pokud

tepelná radiace Q překročí $35 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ a $F_{E,\text{out}} = 0,14 \times P_E$, jestliže tepelná radiace Q je nižší než $35 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

Účinky tlaku při výbuchu mraku par

Pravděpodobnost úmrtí následkem exploze P_E a podílem lidí zasažených uvnitř a vně budov $F_{E,\text{in}}$ a $F_{E,\text{out}}$ je schématicky znázorněna na následující obrázku (Obrázek č. 27). Je třeba poznamenat, že uvedené hodnoty jsou použitelné pouze pro explozi mraku par a nejsou použitelné pro detonaci výbušnin vzhledem k rozdílům v trvání tlakové vlny.



Obrázek č. 27: Výpočet pravděpodobnosti úmrtí pro podíly obyvatelstva, kteří zahynou uvnitř a vně budov následkem expozice tlakové vlny/exploze [9]

Odhad přítomnosti obyvatelstva

Přítomnost obyvatelstva je důležitá pro výpočet společenského rizika. Přítomnost obyvatelstva se mění s časem, jak lidé vyjíždějí z oblasti za prací, docházejí do škol a podobně. Proto musí být použity rozdílné hodnoty pro přítomnost obyvatelstva během denního a nočního času. Následující pravidla se používají k určení přítomnosti obyvatelstva.

- Denní čas se vztahuje na období od 8:00 do 18:30 SEČ, noční čas na období 18:30 až 8:00 SEČ.
- V obydlených oblastech je podíl přítomného obyvatelstva během denního času 0,7. Podíl přítomného obyvatelstva během nočního času je 1,0.
- Na průmyslových plochách je podíl přítomného obyvatelstva v denním

čase roven 1,0. Pokud je práce prováděna i během nočních směn, podíl přítomného obyvatelstva v nočním čase je roven 0,2, jinak se podíl roven 0.

- V rekreačních oblastech závisí podíl přítomného obyvatelstva v denním a nočním čase na typu rekreace.

V principu platí, že data o obyvatelstvu by měla být co možná nejpodrobnější. V praxi může být obtížné shromáždit data o obyvatelstvu na velmi detailní úrovni. Existuje řada pramenů, které mohou být zdroji informací o obyvatelstvu, jako jsou městské úřady a správní obvody. Geografické informační systémy (GIS) mohou být užitečné při zpracovávání dat o obyvatelstvu. Pokud nemohou být dostupné detailní informace, můžeme použít např. sečtení počtu domů na mapě. Hustota zalidněnosti je odvozena tak, že se předpokládá bydlení 2,4 osoby na jeden dům. Je třeba poznamenat, že jedno stavení na mapě, např. bytový dům, se může sestávat z několika domácností.

Při výpočtu společenského rizika se předpokládá, že část obyvatelstva je chráněna tím, že zůstane uvnitř budov. Proto jsou používány rozdílné hodnoty pro podíly obyvatel, kteří zahynou uvnitř a vně budov, a proto musí být stanoveny podíly obyvatel nacházejících se uvnitř a vně budov $f_{pop,in}$ a $f_{pop,out}$. Základní hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v tabulce č. 11. Hodnoty platí pro obytné a průmyslové plochy, pokud nejsou dostupné jiné informace.

Tabulka č. 11: Podíly přítomnosti obyvatel uvnitř a vně budov [9]

	$f_{pop,in}$	$f_{pop,out}$
Denní doba	0,93	0,07
Noční doba	0,99	0,01

3.5.4 Výpočet a presentace výsledků

Výsledkem kvantitativní analýzy rizik (QRA) jsou individuální riziko a společenské riziko.

- Individuální riziko představuje frekvenci úmrtí jednotlivce v návaznosti na případ poruchy zařízení (LOC). Předpokládá se, že jednotlivce není chráněn a že je vystaven nepříznivým okolnostem po celou dobu expozice. Individuální riziko se znázorňuje obrysovými liniemi (vrstevnicemi) na topografické mapě.
- Společenské riziko představuje frekvenci takové události, při které zahyne více osob současně. Společenské riziko se znázorňuje pomocí křivek F- N, kde N

je počet úmrtí a F je kumulativní frekvence událostí doprovázených N nebo více úmrtími.

Příklady presentace individuálního a společenského rizika byla uvedena v kap. 3.2 Přijatelnost rizika.

V příloze č. 1 je zařazena případová studie kvantitativní analýzy rizik podle „Purple Book“ pro sklad amoniaku.

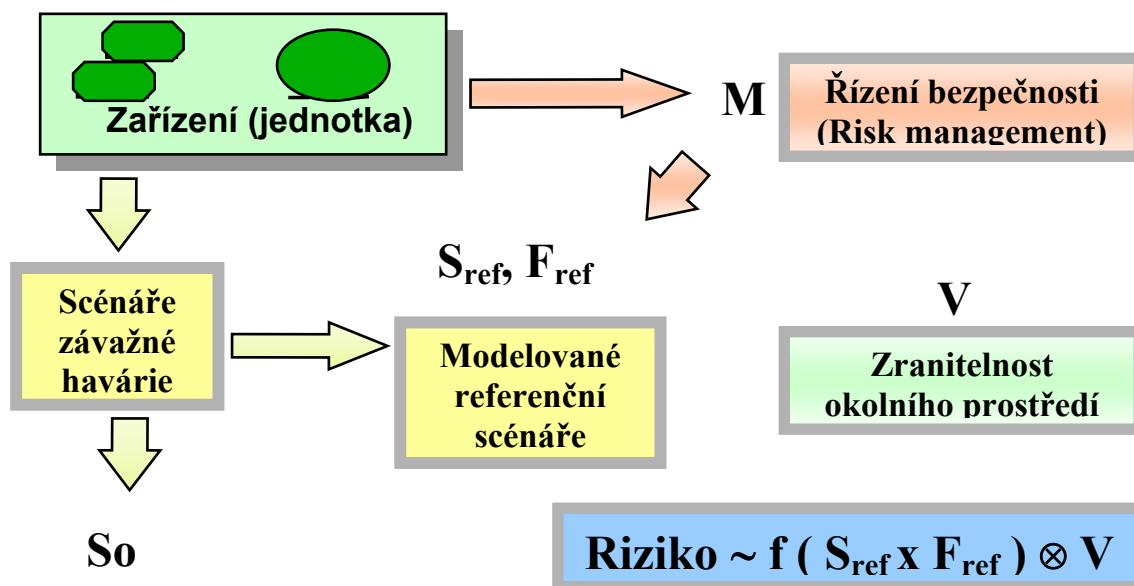
4. Metodologie ARAMIS

Metodologie ARAMIS („Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of the SEVESO II directive“) vznikla jako projekt 5. rámcového programu EU v období let 2002 – 2004. Členy týmu byly renomované evropské instituce jako například INERIS, EPSC, JRC, TU Delft, atd. Projekt ARAMIS navrhl harmonizovanou metodologii hodnocení rizik, jejímž cílem je především snížení nejistot a variability výsledků a zahrnutí hodnocení efektivity managementu rizik do analýzy. ARAMIS je nutno chápat jako komplexní nástroj pro efektivní provedení identifikace a analýzy rizik s celou řadou předpřipravených a doporučovaných kroků. Metodologie je alternativou k doposud využívaným deterministickým a probablistickým přístupům k hodnocení rizik.

Cíle metodologie ARAMIS lze shrnout následovně:

- nabídnout harmonizovaný postup hodnocení rizik a tím snížit nejistoty,
- poskytnout efektivní nástroj pro plnění podmínek SEVESO II. direktivy,
- zahrnout do hodnocení rizik stávající bezpečnostní opatření a úroveň řízení rizik,
- vyhodnotit rizika na základě integrace indexu závažnosti následků, účinnosti managementu a zranitelnosti okolního prostředí.

Obecný postup metodologie ARAMIS je shrnut na následujícím obrázku.



Obrázek č. 28: Celkový postup metodologie ARAMIS [12]

Celý postup lze rozdělit do tří základních kroků, výstupy těchto kroků jsou příslušné indexy:

1. hodnocení závažnosti následků (S – severity index),

2. hodnocení účinnosti řízení rizik (M – management index),
3. hodnocení zranitelnosti okolního prostředí (V – vulnerability index).

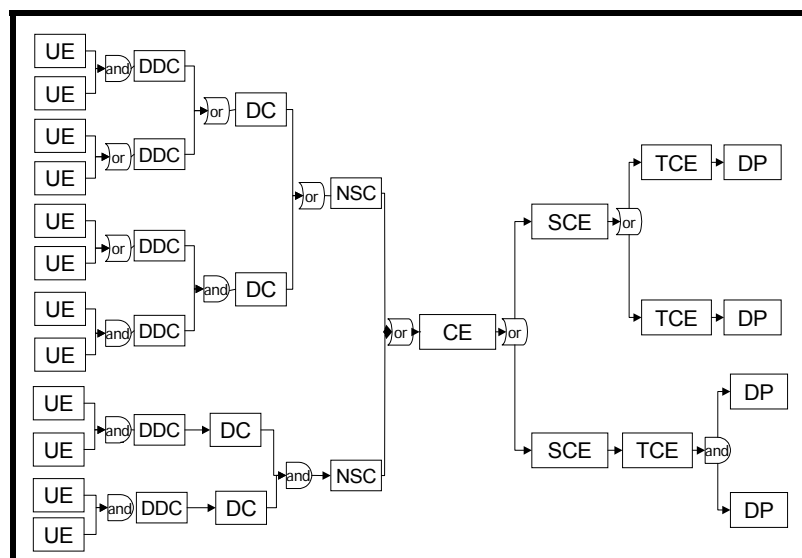
Všechny indexy lze vyhodnocovat samostatně, ale především S a M index jsou značně provázané při výběru referenčních scénářů havárií a stanovení závažnosti následků, kdy účinná opatření pro snížení rizik mohou ovlivnit frekvenci havárií nebo omezit dosah následků havárií.

Pro stanovení S indexu neboli referenčních scénářů havárií je potřeba provést dvě dílčí hodnocení podle metod pro identifikaci zdrojů rizik navržených v projektu ARAMIS.

Metoda MIMAH (Methodology for the Identification of Major Accident Hazards) – tato metoda je založena na standardizovaném přístupu pomocí stromu poruch (FTA) a stromu událostí (ETA). Výsledkem je tzv. „bow-tie diagram“ (motýlek), kdy se příčiny a následky havárie střetávají v jediném bodě – kritické události (CE), viz Obrázek č. 29.

Nejprve je ale potřeba provést výběr nebezpečných zařízení v podniku nebo regionu. Tento postup je založen na metodě VADE MECUM z Belgie. Zařízení obsahující nebezpečné látky jsou vybrány pro další hodnocení, pokud množství nebezpečných látek je větší než definované prahové množství. Toto prahové množství je stanoveno v závislosti na nebezpečných vlastnostech látek, jejich fyzikálním stavu a umístění vůči jiným nebezpečným zařízením.

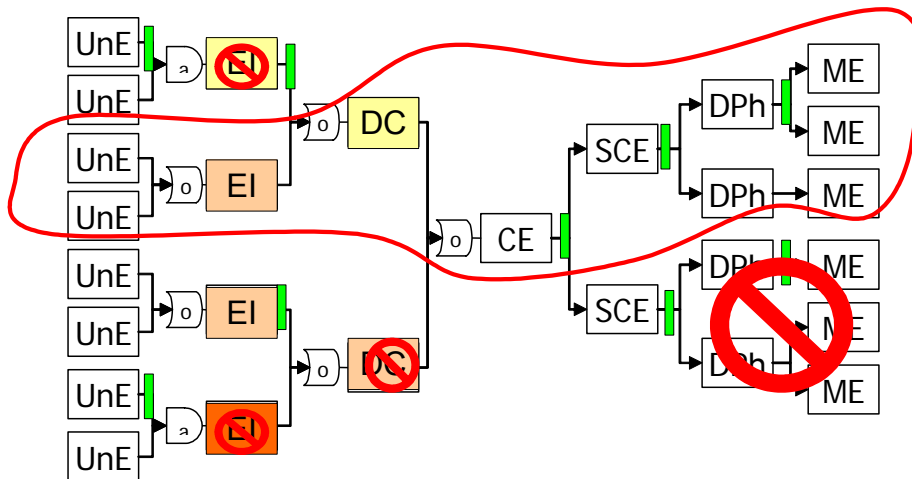
Výsledkem hodnocení metodou MIMAH jsou obecné scénáře havárií, které představují nejhorší možné scénáře a které je potřeba upravovat podle konkrétních podmínek v hodnoceném podniku, což je obsahem další metody.



Obrázek č. 29: Obecný 'Bow-tie' diagram pro jednu kritickou událost [13]

pozn. UE – neočekávaná událost, DDC – detailní přímá příčina, DC – přímá příčina, NSC – nezbytná příčina, CE – kritická událost, SCE – sekundární kritická událost, TCE – terciální kritická událost, DP – nebezpečný projev

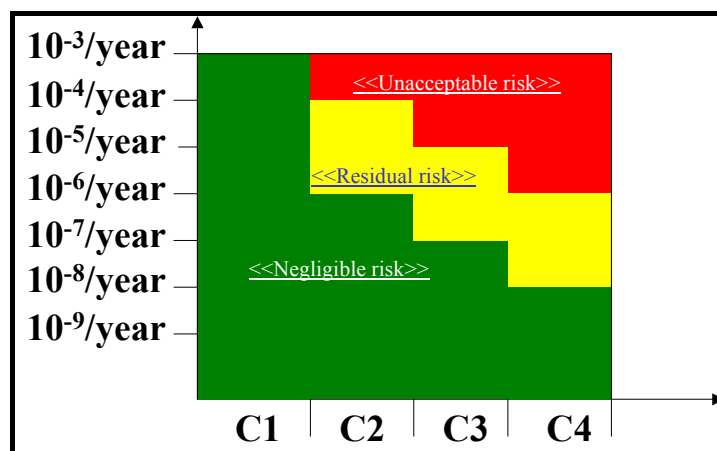
Metoda MIRAS (Methodology for Identification of Reference Accident Scenarios) – na základě zkušeností s hodnocením rizik v minulosti byl připraven následující postup stanovení referenčních havarijních scénářů. Do obecných „motýlků“ jsou začleňovány opatření pro snižování rizik (bariery) a jsou vylučovány ty větve, které mají zanedbatelný dopad následků nebo které jsou dostatečně chráněné bariery. Příklad takového postupu je na následujícím obrázku (Obrázek č. 30). Výsledkem jsou reálné referenční scénáře, které se v další fázi hodnotí z hlediska následků a frekvencí.



Obrázek č. 30: Identifikace referenčního scénáře havárie (MIRAS) [13]

pozn. UnE – neočekávaná událost, EI – iniciační událost, DC – přímá příčina, CE – kritická událost, SCE – sekundární kritická událost, DPh – nebezpečný projev, ME – závažná událost

Pro takto vybrané referenční scénáře je stanoven index závažnosti S. Metodologie ARAMIS doporučuje vybrané modely rozptylů, výbuchů, požárů, atd., pomocí kterých je stanoven dosah následků, a přiřazen do jedné ze čtyř kategorií následků C1 – C4. Dále ARAMIS nabízí podrobně zpracované referenční frekvence havárií jednotlivých zařízení. Na základě těchto údajů jsou referenční scénáře vynášeny do klasické matice rizik (viz Obrázek č. 31).



Obrázek č. 31: Matice rizik v metodologii ARAMIS [12]

Pro stanovení M indexu neboli vyhodnocení účinnosti řízení rizik je metodologií ARAMIS doporučen seznam barrier (opatření pro snížení rizik) pro jednotlivé typy zařízení a dotazníky a formuláře pro provedení auditu bezpečnosti. Cílem této části hodnocení je stanovit efektivitu managementu rizik, jak v úrovni technických opatření na snížení rizik, tak v úrovni kultury bezpečnosti zaměstnanců a vedení podniku. Důvodem k zavedení indexu M je skutečnost, že úroveň managementu rizik je kritická pro efektivitu bezpečnostních opatření. Odhaduje se, že ve více než 2/3 závažných havárií je stav barrier a tedy i jejich managementu hlavní příčinou havárie.

Pro stanovení V indexu zranitelnosti okolního prostředí se využívá geografického informačního systému (GIS). Okolí hodnoceného podniku je vyznačeno v mapách, důraz je kladen na ohrožení lidského zdraví, životního prostředí a infrastrukturu. Výhodou tohoto nástroje je možnost určení míry rizika pro specifickou oblast (jakýkoliv ze čtverců zvolené mapové sítě) i vyjádření globální míry rizika pro celý podnik.

Přínosy metodologie ARAMIS

Z výše uvedeného vyplývá, že metodologie ARAMIS není novou metodou pro hodnocení rizik, ale spíše uceleným metodologickým návodem s novými přístupy k již existujícím metodám a principům. Mezi přínosy metodologie ARAMIS patří:

- stanovení jednoznačných pravidel pro identifikaci scénářů závažné havárie,
- zahrnutí existujících bezpečnostních opatření a managementu rizik,
- doporučení modelů pro výpočet účinků havárií a definování prahových hodnot pro různé hladiny účinků,
- kategorizace zařízení a jejich potenciálních havarijních scénářů, doporučení průměrných frekvencí havárií,
- seznam doporučených bezpečnostních bariér a jejich účinností,
- určení kritérií přijatelnosti havarijních scénářů,
- variabilita použitelnosti metodologie pro různé druhy přístupů, zařízení atd.,
- možnost vizualizace rizika na mapách v GIS a jejich případné použití v havarijním plánování a územním plánování.

Více informací o metodologii ARAMIS lze získat na internetových stránkách <http://aramis.jrc.it>. V příloze č. 2 je zařazena případová studie hodnocení rizik strojovny chlazení amoniakem.

5. Spolehlivost lidského činitele

Metodický přístup ke zpracování „Hodnocení spolehlivosti lidského činitele“ v bezpečnostní dokumentaci vychází ze skutečnosti, že člověk je ve většině případů rozhodující příčinou vzniku a průběhu závažné havárie. Sám o sobě tak představuje významný zdroj rizika. Proto je nezbytné, aby provozovatel analyzoval všechny aspekty tohoto faktoru a na základě této analýzy provedl příslušná preventivní opatření.

Problematiku řešení spolehlivosti lidského činitele (LČ) pro účely zpracování bezpečnostního programu a bezpečnostní zprávy je nutno chápat v kontextu zákona o prevenci závažných havárií a jeho prováděcích předpisů a metodických doporučení příslušných orgánů EU ke směrnici 96/82/EC Seveso II. V zákoně č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií je uveden požadavek na informace o spolehlivosti LČ pod položkami hodnocení rizik závažné havárie v bezpečnostní dokumentaci [14].

Metodické materiály EU hovoří mimo jiné o organizačních chybách a chybách lidského faktoru, které chápou jako selhání schopnosti řídit a obsluhovat zařízení s rizikem vzniku závažné havárie. Tato schopnost má zásadní význam jak pro plně automatizované systémy, technologie a zařízení, tak pro ty, které vyžadují značný podíl manuální obsluhy. Chybování a selhání lidského činitele a jeho dopad na bezpečnost by mělo být provozovatelem pečlivě a opakovaně posuzováno, prověřováno a zaznamenáváno v rámci řízené dokumentace.

Pokud se hovoří o možných chybách a selháních lidského činitele uvádějí materiály EU např.:

- chyby obsluhy (záměny ovladačů, chybná manipulace s ventily atd.),
- odpojení bezpečnostních systémů v důsledku chyby obsluhy,
- chyby při mísení chemických látek,
- chyby v komunikaci obsluhy,
- špatně provedené servisní a údržbářské práce,
- špatně provedené svary,
- chyby a selhání obsluhy při řízení technologií na velínech.

Jako příklady příčin chybování LČ uvádí materiály EU:

- špatné vnímání rizik u pracovníků obsluhy,
- nedostatečnou kvalifikaci, trénovanost, osobnostní a zdravotní předpoklady personálu,
- nevybavení obsluhy zařízení a velínů jasnými a jednoznačnými instrukcemi pro výkon pracovních činností,
- špatné systémy a výkon kontroly a řízení personálu,

- nedostatečnou nebo nesprávnou informovanost obsluh,
- nevhodné a nepříznivé pracovní podmínky a pracovní prostředí,
- nesprávně, nebezpečně nebo neuspokojivě stanovené technologické, bezpečnostní a havarijní postupy,
- nesoulad a spory mezi bezpečnostní a ekonomickou složkou provozovatele atd.

Pro praktickou potřebu je dále uveden možný metodický postup zpracování části spolehlivost LČ. Je třeba upozornit, že navrhované přístupy a metodické postupy vycházejí z přístupů běžně využívaných například na pracovištích jaderných elektráren, na pracovištích řízení leteckého provozu nebo u některých řidičů v hromadné dopravě osob. Ve většině případů jsou využívány především základní a relativně jednoduché postupy spíše kvalitativního charakteru.

Metodické poznámky ke spolehlivosti lidského činitele

Spolehlivost lidského činitele je třeba chápat jako nedílnou součást hodnocení rizik, která v praktickém výstupu znamená popisy, informace a prokázání existence a funkce určitých subsystémů a účinnosti opatření v souvislosti s předmětným objektem nebo zařízením a lidským činitelem, který může ovlivnit bezpečnost provozu a vznik závažné havárie.

Pracovní pozice a spolehlivost lidského činitele

V prvním kroku metodického postupu je nezbytné provést výběr (seznam) a popis (stručné vystižné charakteristiky) pracovních pozic s přímou vazbou na vznik závažné havárie (scénáře závažných havárií). Musí se jednat o pracovní pozice s reálnou a přímou vazbou, tedy takové, které mohou zásadně a bezprostředně ovlivňovat bezpečnost provozu nebo vznik závažné havárie (operátoři a obsluha velínů a dispečinků různých úrovní, manipulační dělníci ve skladech nebezpečných látek, pracovníci údržby a servisů, obsluhy cisteren s nebezpečnými látkami atd.). V této části se tedy nejedná o řídicí pracovníky, kteří systémovými chybami mohou představovat také zásadní potenciál ovlivňující bezpečnost a vznik závažné havárie. Problematika systémových chyb a spolehlivosti LČ je řešena v příslušných částech bezpečnostního programu závažné havárie.

Kategorizace systému člověk-technologie

Dále je nezbytné provést rychlou kvalitativní nebo kvantitativní analýzu a posouzení možných konkrétních chyb a selhání člověka na takto vybraných pracovních pozicích (může vycházet např. z metodiky What if, HAZOP a dalších) a jednotlivé výsledky popsat v bezpečnostní dokumentaci.

Aby provozovatel mohl stanovit kritéria nároků na člověka (a tím nejnvýznamnějším způsobem zvýšil spolehlivost LČ) na daných pracovních pozicích, je nutné provést kategorizaci systému člověk - technologie, kde se berou v úvahu kritéria, např.:

- účel a poslání systému,
- technická úroveň systému, např. podíl automatizovaných operací; podle poměru mezi počtem osob (obsluhy) a produkcí (výkonností); podle nároků na obsluhu (rutinní činnosti až zvýšené nároky na kvalifikaci a odborné dovednosti),
- počet a složitost subsystémů, technologická náročnost, velikost plošná a prostorová podle složitosti a rozsáhlosti systému atd.

Uvedená kritéria systému člověk - technologie charakterizují spíše jeho vnější atributy. Se zřetelem na úlohu, kterou má v tomto systému člověk, je potom rozhodující úroveň technologického vybavení pracovišť a pracovních míst, prostředky interface (sdělovače, ovládače), to jest jejich typy a množství, jichž pracovníci využívají při spouštění, odstavení, sledování chodu, při likvidaci odchylek od žádoucích stavů. S tím pak souvisí další důležité kritérium - požadavky na obsluhu, kvalifikaci, znalosti a zkušenosti, které se odvíjejí od:

- složitosti technického systému (technologie),
- složitosti softwaru a hardwaru,
- složitosti a přemíry pracovních úkonů a informací nezbytných k obsluze,
- složitosti při spouštění, odstavení a chodu systému,
- požadavků technologie na obsluhu (nároky na informace-příjem, zpracování, časové nároky; nároky na rozhodovací procesy - pracovní postupy, za mimořádných situací atd.; nároky na pracovní polohy a pohyby, kde je to relevantní, např. obsluhy cisteren s nebezpečnými látkami - typy, charakter, rychlost a rytmus),
- možných následků chybování člověka (viz scénáře závažných havárií) atd.

U jednotlivých kritérií lze stanovit stupně složitosti (např. tři až pět stupňové systémy), které po integraci v konečném výsledku umožňují provozovateli stanovit selektivní požadavky a nároky na obsazení pracovních pozic konkrétními pracovníky a další rozhodovací postupy (např. při zavádění dalších preventivních a jiných opatření).

U subsystémů kategorizovaných jako nejsložitější je nezbytné stanovit nejpřísnější požadavky a nejvyšší nároky na obsluhu a provést nezbytná preventivní opatření.

Příklad kategorizace systému člověk – technologie je přehledně uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 12: Příklad hodnocení LČ – kategorizace systému

Bezpečnostní zpráva	Podnik:	Protokol:	Pracovní pozice/funkce:	Nebezpečná látka Kyslík	
Bezpečnostní program			Obsluha velínu		
			Objekt (zařízení): Kyslíkárna		
	Zařazení A/B: A		Název obsluhovaného/řízeného systému: kyslíkový aparát		
KRITÉRIUM			STUPĚŇ		
			1	2	3
1.	SLOŽITOST				
1.1	Počet kontrolovaných a regulovaných subsystémů (technologie)		1 - 2	3 - 5	> 5
1.2	Návaznost a vazby mezi subsystémy		jednoduché	složitě	velmi složité
2.	NAJÍZDĚNÍ, ODSTAVENÍ/ BĚŽNÝ CHOD SYSTÉMU				
2.1	Počet kontrolovaných veličin (tlaky, teploty, atd.)		10 - 20	21 - 50	> 50
2.2	Počet zdrojů zrakových informací (sdělovačů)		20 - 30	31 - 60	> 60
2.3	Variabilita změn informací		malá	střední	velká
2.4	Vazby mezi informacemi		jednoduché	složitě	velmi složité
2.5	Interpretace významu informací		jednoduchá	složitá	velmi složitá
2.6	Nutnost vyhledávání dalších informací		není	častá	velmi častá
2.7	Kompatibilita zdrojů informací		úplná shoda	částečná shoda	komplikovaná
2.8	Počet regulovaných veličin (tlaky, teploty, atd.)		10 - 20	21 - 50	> 50
2.9	Počet ovladačů		20 - 30	31 - 60	> 60
2.10	Náročnost regulace		snadná	složitá	velmi náročná
3.	MIMOŘÁDNÉ SITUACE, ODCHYLKY				
3.1	Pravděpodobnost jejich vzniku		velmi malá	střední	značná
3.2	Likvidace odchylky od požadovaných parametrů		jednoduchá	složitá	velmi složitá
3.3	Rozsah (účinek) důsledků mimořádné události pro technologicky související prostory, provozy apod.		jen lokální	větší	rozsáhlý
3.4	Poznání příčiny odchylky (diagnóza)		snadné	složitě	velmi složité
4.	POŽADAVKY NA OBSLUHU				
4.1	Škola (vzdělání)		základní	střední	vysokoškolské
4.2	Provozní praxe (v oboru petrochemie apod.)		žádná/malá	1 rok	> 1 rok
4.3	Odborné teoretické znalosti v oboru chemie		základní	průměrné	specializované
4.4	Speciální dovednosti, např. práce s počítačem apod.		nejsou nutné	základní	značné
4.5	Délka nutného zácviku		1 - 2 měs.	> 3 měs.	> 5 měs.
4.6	Nutnost přezkušování odborných znalostí		1x za 2 roky	1x za 1 rok	2x za 1 rok
4.7	Nutnost ověřování znalostí havarijních plánů		1x za 2 roky	1x za 1 rok	2x za 1 rok
Celkový výsledek:			Hodnotící škála:		
<input type="checkbox"/> Kategorie 2:			36-50		

Preventivní opatření v souvislosti se spolehlivostí LČ (např. požadavky na výběr lidí)

Základním preventivním opatřením ke zvýšení spolehlivosti LČ na základě provedené kategorizace systému člověk - technologie je stanovení minimálních požadavků a nároků na:

- člověka (schopnosti, znalosti, výkonnost, odolnost, zdravotní stav, osobnostní faktory atd.),
- pracovní prostředí (nároky na jednotlivé faktory a jejich komplexní působení, minimální standardy velínů a dispečinků, optimalizace limitů jednotlivých faktorů atd.),
- pracovní podmínky (režim práce a odpočinku, směnnost, motivace, řízení, kontrola),
- sledování sociálních a mimopracovních faktorů,
- řešení problémů v souvislosti s výsledky subjektivního hodnocení pracovníky,
- vyšetřování havárií a nehod (i bez následků) s ohledem na vliv LČ a jejich promítnutí do bezpečnostních systémů a preventivních opatření.

Výběr dalších preventivních opatření

- Optimalizace technických a ergonomických parametrů softwaru a hardwaru.
- Školení, trénink, testování znalostí a schopností lidí a funkčnosti subsystémů.
- Optimalizace pracovních činností (odstranění zbytečných úkonů a informací).
- Nahrazení zásahů člověka automatizací (posilování software).
- Zálohování LČ (dalším LČ nebo technickým opatřením).
- Atd.

Nezbytným doplňkem při zpracování hodnocení spolehlivost lidského činitele jsou odkazy a citace písemných záznamů, podnikových dokumentů nebo jiných podpůrných důkazů skutečností uvedených v textu.

Pro hodnocení spolehlivosti LČ existují také uznávané metody kvantitativní analýzy (např. Human Reliability Assessment – HRA, THERP, SHERPA, PHEA, TOR, atd.), které jsou již odborně náročné.

6. Hodnocení rizik přepravy nebezpečných látek

Tento doporučený postup hodnocení rizik přepravních aktivit je uveden v druhé části publikace „Purple Book“ [9] a je založen na analýze zpráv o haváriích v minulosti. Použitelnost tohoto holandského manuálu a jeho pravidel pro realizaci studií rizik je omezena na dopravu nebezpečných látek po veřejných komunikacích vozidly, vlaky, vodní dopravou a potrubím mimo ohraničené území podniků a překladišť. Modely a údaje v tomto manuálu jsou specifické pro dopravní aktivity vně podniků a překladišť. Proto nejsou použitelné pro analýzu rizik dopravních aktivit a stacionárních zařízení uvnitř podniků a překladišť.

6.1. Výběr závažných úseků tras

V řádném hodnocení, zda-li riziko dopravy nebezpečných látek po určité trase vyhovuje bezpečnostním požadavkům pro okolí, by mělo být stanoveno individuální a společenské riziko. Naštěstí není vždy nezbytné provádět detailní, časově náročnou a nákladnou kvantitativní analýzu rizik (QRA). Stanovení této úrovně rizik pro určitý úsek trasy může být dosaženo aplikací následujících dvou kroků:

1. Porovnání frekvence ročních dopravních toků s mezními hodnotami dává první rychlý přehled o úrovni rizik. Když je roční frekvence dopravy po trase menší než mezní hodnota, kvantifikace rizik z hlediska bezpečnosti okolí není potřebná. V těchto případech formálně neexistují problémy s bezpečností okolí, ačkoliv se samozřejmě mohou vyskytnout nehody s únikem nebezpečných látek. Kdykoli jsou mezní hodnoty překročeny nebo nejsou použitelné pro specifické situace, kvantifikace rizik by měla být provedena.
2. Provedení detailní kvantitativní analýzy rizik (QRA).

6.1.1 Mezní hodnoty pro silnice

Je zřejmé, že pro rizika silniční dopravy je silně dominantní přeprava LPG. Mezní hodnoty jsou proto dány z hlediska roční frekvence dopravního toku látek kategorie GF3, kde patří hořlavé plyny jako je LPG. Pro účely hodnocení rizik jsou rozlišovány následující typy silnic:

- dálnice,
- mimo městské silnice,
- městské silnice.

Individuální riziko

Tabulka č.13 udává mezní hodnoty roční frekvence přepravy LPG a všech nebezpečných látek, kdy nedojde k překročení individuálního rizika 10^{-6} .

Tabulka č. 13: Mezní hodnoty nepřekračující individuální riziko 10^{-6} pro silniční přepravu [9]

Typ silnice	Mezní hodnoty pro LPG (vozidel/rok)	Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky (vozidel/rok)
Dálnice	6500	27000
Mimo město	2300	7500
Město	8000	22000

Poznámky:

1. Mezní hodnoty by měly být prověřeny nejprve pro LPG a poté pro všechny nebezpečné látky.
2. Mezní hodnoty se vztahují na podmínky otevřených silnic (bez překážek) a průměrně bezpečných silnic. Když zkušenosti poukazují na zvýšený stupeň místních havárií, například z důvodu úrovně křižovatek, mezní hodnoty by měly být používány opatrně a měla by být provedena detailní kvantifikace rizik.
3. "Všechny nebezpečné látky" zahrnují látky zařazené do jedné z kategorií: hořlavé kapaliny (LF), hořlavé plyny (GF), toxické kapaliny (LT) nebo toxické plyny (GT).

Společenské riziko

Rovněž pro společenské riziko je dominantní přeprava kapalných, stlačených, hořlavých plynů, především LPG. Společenské riziko závisí na roční frekvenci dopravních toků a na vzdálenosti a hustotě obyvatelstva podél silnice. Tabulka č. 14 udává mezní hodnoty, kdy roční frekvence přepravy LPG pro jednotlivé hustoty obyvatelstva podél určitých tras nevedou ke zvýšení společenského rizika nad požadovanou úroveň. Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky jsou uvedeny v tabulce č. 15.

Tabulka č. 14: Mezní hodnoty nepřekračující kritéria společenského rizika pro LPG [9]

Hustota populace (osob/ha)	Mezní hodnoty pro LPG (vozidel/rok) (osídlení podél jedné strany silnice)		
	Dálnice	Mimo město	Město
100	500	200	500
90	600	200	700
80	700	200	800
70	900	300	1100
60	1300	400	1500
50	1800	600	2000
40	2800	1000	3500
30	5100	1800	6000
20	11000	4000	13500
10	45500	16000	53000

Tabulka č. 15: Mezní hodnoty nepřekračující kritéria společenského rizika pro všechny nebezpečné látky [9]

Hustota populace (osob/ha)	Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky (vozidel/rok) (osídlení podél jedné strany silnice)		
	Dálnice	Mimo město	Město
100	2500	900	3500
90	3500	1200	4000
80	4000	1500	5000
70	5500	2000	6500
60	7500	2500	9000
50	10500	4000	13000
40	16500	6000	20500
30	29500	10500	36500
20	66500	23500	82000
10	266000	94000	326000

Poznámky:

1. Mezní hodnoty by měly být prověřeny nejprve pro LPG a poté pro všechny nebezpečné látky.
2. Mezní hodnoty jsou formulovány konzervativně, např. obytné plochy jsou předpokládány v přímém sousedství silnice.
3. Hustota populace je stanovena jako průměrná hustota do 200 m od okraje silnice. Jestliže je maximální hustota třikrát větší než průměrná, měla by být použita maximální hodnota.
4. Jestliže jsou obytné plochy po obou stranách silnice, měla by být frekvence dělena 4.

6.1.2 Mezní hodnoty pro železnice

Rizika přepravy nebezpečných látek po železnici závisí na přepravované látce a na povaze tratě, zejména rychlosti vlaku. Jsou rozlišovány následující typy železničních tratí:

- tratě s vysokou rychlostí (>40 km/h),
- tratě s nízkou rychlostí (<40 km/h).

Látky jsou rozděleny do kategorií způsobem, který je (z historických důvodů) specifický pro železniční dopravu. Kategorizace látek je výhradně založena na Kemlerových kódech. Kategorie pro železniční dopravu jsou uvedeny v tabulce č. 16.

Tabulka č. 16: Kategorie látek pro železniční dopravu [9]

Kategorie látek	Kemlerův kód	Poznámka
A	23, 263, 239	Hořlavé plyny, zkapalněné tlakem, např. LPG
B2	26, 265, 268 (mimo chloru)	Toxické plyny, zkapalněné tlakem, např. amoniak
B3	chlor samostatně	Extremně toxické plyny, zkapalněné tlakem, např. chlor
Chlor	chlor samostatně	Specializované vlaky s chlorem
D3	Akrylonitril samostatně	Toxické kapaliny, např. akrylonitril
D4	66, 663, 668, 886, X88, X886	Extremně toxické kapaliny, např. fluorovodík
C3	33, 336 (mimo akrylonitril), 338, 339, X323, X333, X338	Extremně hořlavé kapaliny, např. náplně motorů (benzín)

Individuální riziko

Tabulka č. 17 udává roční mezní hodnoty pro přepravu látek kat. C3 a všech nebezpečných látek, kdy nedojde k překročení individuálního rizika 10^{-6} .

Tabulka č. 17: Roční mezní hodnoty nepřekračující individuální riziko 10^{-6} [9]

	TYP TRATĚ	
	Vysoká rychlost	Nízká rychlost
Mezní hodnoty pro látky C3 (vagónů/rok)	3000	nepřekročeno 10^{-6}
Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky (vagónů/rok)	7000	nepřekročeno 10^{-6}

Poznámky:

1. Mezní hodnoty by měly být prověřeny nejprve pro látky C3 a poté pro všechny nebezpečné látky.
2. Mezní hodnoty se vztahují na jedoucí vagóny a podmínky otevřených tratí (bez tunelů a překážek). Pro seřaďovací nádraží a soukromé vlečky platí specifické metody výpočtu.
3. Překročení individuálního rizika 10^{-6} /rok pro tratě s nízkou rychlostí si vyžaduje více než 55.000 dopravních toků ročně. Podle holandských norem je to nereálně vysoké. Proto nejsou stanoveny mezní hodnoty pro tratě s nízkou rychlostí.
4. "Všechny nebezpečné látky" znamená látky zařazené do jedné z kategorií uvedených v tabulce č. 16.

5. Mezní hodnoty se vztahují na různorodé kombinace přepravy látek. Nicméně když je přepravován významný počet toxických kapalin kategorie D3 nebo D4, uvedené mezní hodnoty nejsou použitelné a měla by být provedena detailnější kvantifikace rizik. Jako návod je uváděna roční frekvence pro tratě s vysokou rychlostí představující překročení individuálního rizika 10^{-6} /rok, pro látky kategorie D3 je to 13.000 vagónů za rok a pro látky kategorie D4 9.000 vagónů ročně.

Společenské riziko

Společenské riziko závisí na roční frekvenci dopravních toků a na vzdálenosti a hustotě obyvatelstva podél tratě. Úroveň společenského rizika je silně závislá na přítomnosti extrémně toxických stlačených plynů.

Kritéria společenského rizika mohou být překročena, jestliže roční frekvence vagónů převyšuje hodnoty uvedené v tabulce č. 18.

Tabulka č. 18: Mezní hodnoty přepravy toxických plynů nepřekračující společenské riziko [9]

Kategorie látek	TYP TRATĚ	
	Vysoká rychlost	Nízká rychlost
B3 (vagónů/rok)	60	2000
Chlor (vagónů/rok)	300	8000

Tabulka č. 19 udává mezní hodnoty, kdy roční frekvence přepravy LPG pro jednotlivé hustoty obyvatelstva podél určitého úseku tratě nevedou ke zvýšení společenského rizika nad požadovanou úroveň. Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky jsou rovněž uvedeny.

Tabulka č. 19: Mezní hodnoty nepřekračující kritéria společenského rizika [9]

Hustota populace (osob/ha)	Mezní hodnoty pro LPG (vagónů/rok)		Mezní hodnoty pro všechny nebezpečné látky (vagónů/rok)	
	Tratě s vysokou rychlostí	Tratě s nízkou rychlostí	Tratě s vysokou rychlostí	Tratě s nízkou rychlostí
100	1600	8000	7500	37500
90	2000	10000	9000	46000
80	2500	12500	12000	58500
70	3000	16000	15000	76500
60	4500	22000	21000	104000
50	6500	32000	30000	150000
40	10000	50000	47000	234000
30	20000	88000	83000	416000
20	40000	200000	187000	-

Poznámky:

1. Mezní hodnoty by měly být prověřeny nejprve pro extrémně toxické plyny, poté pro LPG a pak pro všechny nebezpečné látky.
2. Mezní hodnoty jsou formulovány konzervativně, např. obytné plochy jsou předpokládány v přímém sousedství tratě.
3. Hustota populace je stanovena jako průměrná hustota do 200 m od tratě. Jestliže je maximální hustota třikrát větší než průměrná, měla by být použita maximální hodnota.
4. Tabulka č. 19 se vztahuje na obytná území po jedné straně železniční tratě. Jestliže jsou obytné plochy po obou stranách tratě, měla by být frekvence dělena 4.

6.2. Detailní QRA přepravy

Tato kapitola podává přehled detailního kvantitativního hodnocení rizik (QRA) přepravy nebezpečných látek v cisternách. Uváděné informace vycházejí ze současných zkušeností v Holandsku. Jsou zde identifikovány úniky nebezpečných látek (LOCs), které by měly být zahrnuty v QRA. Dále jsou uvedeny odpovídající frekvence havárií a pravděpodobnosti různých scénářů následující po úniku nebezpečných látek. Není zde detailně popsáno modelování úniků, rozptylu, expozic a poškození, ani výpočet a prezentace výsledků (riziko se uvádí na kilometr přepravní trasy), protože se významně neliší od stacionárních zdrojů v objektech.

Základní údaje potřebné pro zpracování QRA určité dopravní trasy zahrnují:

- Popis dopravního toku (počet nebezpečných přepravních jednotek za rok podle látek nebo kategorií, během dne a noci).
- Popis přepravní jednotky (charakteristika nákladu).
- Popis přepravní trasy (typ cesty, přítomnost překážek).
- Popis počtu havárií a hustotu dopravy pro stanovení frekvencí havárií.
- Popis zdrojů iniciace.
- Vlastnosti přepravovaných (reprezentativních) látek.
- Klasifikace území v okolí přepravní trasy.
- Meteorologická data.
- Přítomnost obyvatelstva v okolí přepravní trasy.

6.2.1 Silniční přeprava

Vzhledem k různorodosti přepravovaných látek je potřeba definovat omezený počet kategorií látek a klasifikovat každou přepravovanou látku do těchto kategorií. Kvantitativní analýza rizik může být založena na těchto kategoriích a na látce reprezentující jednotlivou kategorii. Tato klasifikace je

založena na stupni akumulace, těkavosti, hořlavosti a toxicitě. Tento přístup je v souladu s klasifikací pro přepravu nebezpečných látek používaných ve směrnících ADR a RID. V tabulce č. 20 jsou uvedeny čtyři základní kategorie.

Tabulka č. 20: Hlavní kategorie látek pro stanovení rizik [9]

Kategorie	Popis
GF	Hořlavý plyn
LF	Hořlavá kapalina
GT	Toxický plyn
LT	Toxická kapalina

V každé kategorii jsou definovány jedna nebo více subkategorií, které se označují číselně: vyšší číslo vyjadřuje vyšší potenciál rizika. Například látka LT4 je "více nebezpečná" než látka LT1. Látky, které jsou hořlavé i toxické, jsou označovány kombinovanou kategorií, např. ethylen oxid (UN 1040) je klasifikován jako GF1/GT3.

Přesné výsledky v QRA jsou dosažitelné provedením výpočtů pro všechny látky. Avšak tento přístup vyžaduje velké množství vstupních dat. Proto metoda může být použita ve dvou rozdílných úrovních detailů v závislosti na požadavcích projektu. Jestliže je rychlé stanovení úrovně rizika dostačující, může být pro provedení výpočtů použita jedna reprezentativní látka pro každou dotčenou kategorii. Doporučené reprezentativní látky jsou shrnuty v tabulce č. 21.

Tabulka č. 21: Reprezentativní látky pro kategorie látek [9]

Kategorie látek	Reprezentativní látka
LF1	Nonan
LF2	n-Pentan
LT1	Akrylonitril
LT2	Kyselina dusičná (70 %)
LT3	Akrolein
LT4	Metylisokyanát
LT5	(nepřepravované v cisternách)
LT6	(nepřepravované v cisternách)
GF0	Nezvažováno v QRA
GF1	Methylmerkaptan
GF2	n-Butan
GF3	n-Propan
GT0	Nezvažováno v QRA
GT2	Etylchlorid
GT3	Amoniak
GT4	Oxid siřičitý
GT5	Chlor

Únik nebezpečných látek

Rizika přepravy nebezpečných látek po silnicích se vztahují převážně na přepravu v cisternách. Přeprava v menších obalech (barelech, láhvích) a přeprava explozivních a radioaktivních materiálů není doposud v QRA zvažována. V QRA je rozlišováno mezi hořlavými kapalinami a toxickými látkami (kapaliny a plyny) přepravovanými v atmosférických a přetlakových přepravních jednotkách (cisternách a nádržích).

Typický obsah atmosférických cisteren v Holandsku je 23 tun. Pro přetlakové cisterny s hořlavými plyny je předpokládán typický obsah 20 – 25 tun a pro přetlakové cisterny s toxickými plyny 16 tun. Doporučované typy úniků nebezpečných látek (poruchy přepravních jednotek LOCs) pro silniční přepravu, které je potřeba zahrnout do QRA:

Atmosférické cisterny a nádrže:

- únik celého obsahu,
- únik 5 m³,
- únik 0,5 m³.

Přetlakové cisterny a nádrže:

- jednorázový únik celého obsahu přepravní jednotky,
- kontinuální únik z díry průměru 50 mm (2 palce).

Poznámky:

1. V QRA se nerozlišuje mezi nádržemi a cisternami.
2. Některé látky jako vodík jsou přepravovány v cisternách jako stlačené plyny nebo zkapalněné chladem. Protože frekvence těchto ročních přepravních toků je malá ve srovnání s frekvencí přepravních toků látek představující největší rizika, mohou být tyto látky ve většině případů v praxi vyloučeny z výpočtu.
3. Následkem úniku 0,5 m³ z atmosférické přepravní jednotky bude malá kaluž. Ve většině případů v praxi, například v podmínkách otevřených silnic, může být tento LOC vyloučen z výpočtu.

Frekvence havárií a výtoků, scénáře a pravděpodobnosti scénářů

Frekvence nebezpečného scénáře v určitém místě přepravní trasy na přepravní jednotku za rok může být chápána jako výsledek frekvence počáteční havárie (na jednotku a km), pravděpodobnosti závažného úniku (> 100 kg) způsobeného havárií přepravní jednotky a pravděpodobnosti nebezpečného scénáře způsobeného závažným únikem.

Výsledkem frekvence počáteční havárie a pravděpodobnosti úniku je takzvaná frekvence výtoku. Obecně použitelné hodnoty (na přepravní jednotku a km) pro různé typy silnic jsou uvedené v tabulce č. 22 pro přetlakové a atmosférické přepravní jednotky. Tyto obecné hodnoty jsou založené na počtu známých havárií s únikem nebezpečných látek za určité období a údajích o

přepравě nebezpečných látek za stejné období, údaje jsou odhadnuty z přepravních statistik.

Tabulka č. 22: Frekvence výtoku pro různé typy silnice [9]

Typ silnice	Frekvence výtoku [/vozidel.km]	
	Přetlakové	Atmosférické
Dálnice	$4,32 * 10^{-9}$	$8,38 * 10^{-9}$
Mimo město	$1,22 * 10^{-8}$	$2,77 * 10^{-8}$
Město	$3,54 * 10^{-9}$	$1,24 * 10^{-8}$

V QRA jsou předpokládány tyto nebezpečné scénáře následující po úniku:

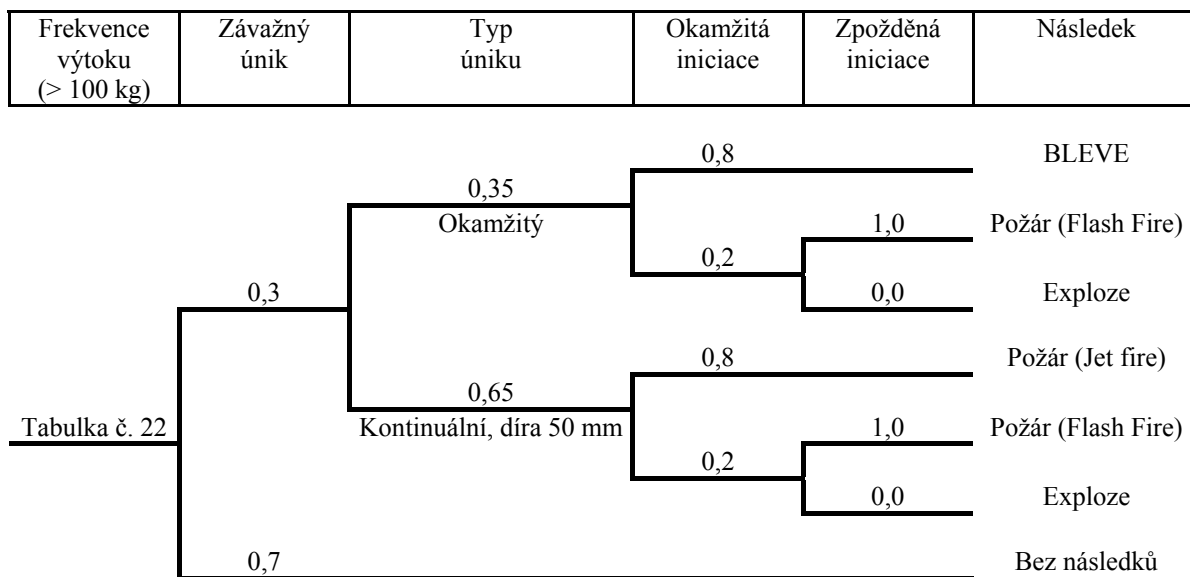
- Toxické ohrožení
- BLEVE
- Požár typu Jet fire
- Požár kaluže
- Požár typu Flash fire
- Exploze

Pro QRA jsou používány definované pravděpodobnosti okamžité iniciace podle tabulky č. 23. Jestliže nejsou známy místní zdroje iniciace, mohou být místo toho použity hodnoty z této tabulky (QRA pro obecné situace). Ve výpočtu individuálního rizika by měly být zpožděné iniciace modelovány tak, aby udávaly maximální následky. Měla by být tedy předpokládána iniciace mraku v maximální velikosti.

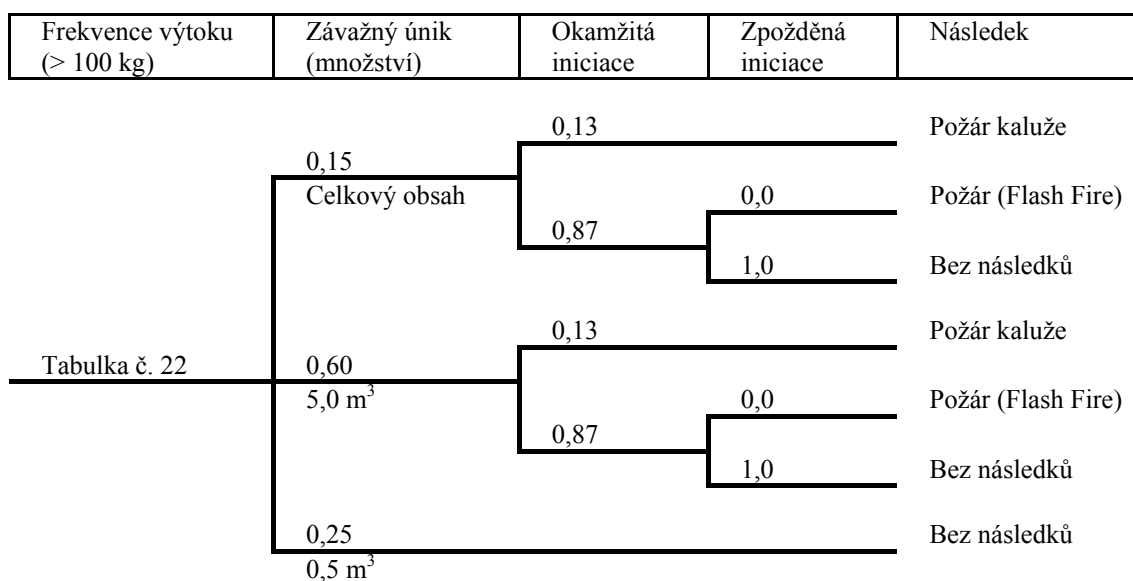
Tabulka č. 23: Pravděpodobnost iniciace [9]

Kategorie látek	Pravděpodobnost iniciace	
	Okamžitá	Zpožděná
Hořlavé kapaliny, kategorie LF2	0,065	0,065
Hořlavé kapaliny, kategorie LF1	0,0043	-
Hořlavé plyny	0,8	0,2

Scénáře a definované pravděpodobnosti jednotlivých událostí pro hořlavé látky jsou uvedeny na následujících obrázcích (viz Obrázek č. 32 a Obrázek č. 33). Zpožděná iniciace úniku hořlavých kapalin kategorie LF1 může být ve výpočtech vynechána. Látky LF1 jsou definovány jako látky nevytvářející hořlavý mrak nad kaluží. U toxických plynů a kapalin vedou všechny závažné úniky k toxickému ohrožení.



Obrázek č. 32: Strom událostí pro hořlavé plyny [9]



Obrázek č. 33: Strom událostí pro hořlavé kapaliny LF2 v atmosférické cisterně [9]

Poznámky:

1. Látky, které jsou jak toxické tak i hořlavé, by měly být v principu modelovány z hlediska toxických vlastností dokud není mrak iniciován, a z hlediska hořlavých vlastností, jakmile je mrak iniciován. Tento přístup je příliš komplikovaný pro použití modelů, proto je LOC rozdělen na dva samostatné scénáře s průběhem pouze toxickým a pouze hořlavým.
2. Výsledkem zpožděné iniciace mraku par je v závislosti na překážkách buď požár typu Flash fire nebo přetlak výbuchu (exploze). V podmínkách otevřených silnic je mrak par neohrazený. Do QRA je potřeba zahrnout pouze výskyt požáru Flash fire, ačkoliv v hustě obydlených a v uzavřených územích nemůže být zcela vyloučen výskyt exploze.

6.2.2 Železniční přeprava

Detailní QRA železniční přepravy nebezpečných látek v cisternách se liší pro podmínky otevřených tratí, seřadovacích nádraží a soukromých vlečků. Pro účely tohoto textu budou popsány informace o hodnocení rizik pouze na otevřených železničních tratích.

Únik nebezpečných látek

Rizika přepravy nebezpečných látek po železnicích se vztahují převážně na přepravu v cisternách a to hořlavých plynů (A), toxických plynů (B2 a B3), toxických kapalin (D3 a D4) a hořlavých kapalin (C3). Všechny ostatní látky nejsou významné a nemusí být tedy zvažovány.

LOCs pro železniční dopravu jsou definovány jako:

- únik z díry průměru 75 mm (3 palce) v cisterně;
- roztržení cisterny.

Frekvence havárií a výtoků, scénáře a pravděpodobnosti scénářů

Obecná frekvence havárie pro cisternu na kolejích mimo nádraží je $3,6 \times 10^{-8}$ na cisternu a km. Jestliže je známo, že rychlost vlaku je více než 40 km/hod, pak tato frekvence musí být korigována násobením 1,26. Jestliže je rychlost nižší než 40 km/hod, pak je korekční faktor 0,62.

Jestliže je na kolejích výhybka, zvyšuje se frekvence havárie o $3,3 \times 10^{-8}$ na cisternu a km. Pro křižovatku kolejí se přičítá $0,8 \times 10^{-8}$ na cisternu a km. Takže platí:

Pro 1 km trati s 1 výhybkou : $6,9 \times 10^{-8}$ na cisternu.

Pro 1 km trati s 1 křižovatkou : $4,4 \times 10^{-8}$ na cisternu.

Dále jsou stanoveny pravděpodobnosti úniku více než 100 kg látky. Rozlišují se zde úseky, kde je rychlost vlaku povolena nad 40 km/hod a kde musí být nižší než 40 km/hod. Tabulka č. 24 podává výsledky.

Tabulka č. 24: Pravděpodobnosti výtoku (> 100 kg) stanovené na havárii [9]

Povolená rychlost vlaku	Pravděpodobnost výtoku (> 100 kg)	
	Atmosférické cisterny	Přetlakové cisterny
< 40 km/hod	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
> 40 km/hod	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Pro uvedené významné výtoky je pravděpodobnost průběhu jako z jednorázového zdroje 0,4 a jako z kontinuálního zdroje 0,6. Pro hořlavé plyny je pravděpodobnost okamžité iniciace stanovena na 0,8 pro jednorázové úniky a 0,5 pro kontinuální úniky. Pro hořlavé kapaliny je tato pravděpodobnost 0,5.

6.2.3 Přeprava potrubím

Tato kapitola podává přehled detailní QRA pro přepravu nebezpečných látek podzemním dálkovým potrubím. Požadované údaje pro QRA jsou:

- popis systému přepravy (průměry, umístění nouzových ventilů);
- popis dopravního toku (látky, rychlost proudění);
- popis zdrojů iniciace;
- vlastnosti přepravovaných látek;
- klasifikace území v okolí přepravní trasy;
- meteorologická data;
- rozmístění obyvatelstva v okolí přepravní trasy.

Únik nebezpečných látek

Pro podzemní potrubí jsou definovány dva LOCs:

- únik z 20 mm díry na potrubí;
- roztržení potrubí.

Pro výpočty musí být rozlišováno mezi únikem a roztržením.

Únik - jestliže není pravděpodobné, že únik LOC bude rozpoznán a nemůže tak dojít k zavření ventilů nebo ventily mohou selhat, pak je zvažován únik jako z kontinuálního zdroje po dobu 30 minut. Jestliže jsou ventily uzavřeny, pak pro

- plyn: únik bude pokračovat do vyrovnání tlaku v potrubí s atmosférickým tlakem;
- kapalinu: únik bude způsoben expanzí kapaliny, dokud se tlak par v potrubí nevyrovná atmosférickému tlaku. Jestliže potrubí není vodorovné, měl by být zvažován výtok způsobený gravitačními silami;
- zkapalněný plyn: vyskytne se dvoufázový výtok.

Srovnání rychlosti proudění a výkonu čerpadla dává částečnou informaci o tom, zda obsluha může rozpoznat únik.

Roztržení - v případě roztržení potrubí by měl být počítaný výtok zdvojnásoben vzhledem k výtoku z obou stran potrubí. Kromě toho bývá výtok zvyšován výkonem čerpadla, dokud není čerpadlo zastaveno nebo nejsou uzavřeny ventily. Také by měly být zvažovány gravitační síly (pro potrubí s kapalinou). Mělo by být zkontrolováno, zda se nebude zvyšovat výkon čerpadel z důvodu poklesu tlaku způsobeného roztržením potrubí.

Frekvence havárií a výtoků, scénáře a pravděpodobnosti scénářů

Frekvence havárie se rovná frekvenci výtoku a udává se na km a rok. Tabulka č. 25 uvádí frekvenci havárie pro různé typy podzemních potrubí.

Tabulka č. 25: Frekvence úniku LOC pro různé typy potrubí [9]

Typ potrubí	Frekvence havárie (1/km.rok)
Potrubí umístěno v "kolektoru"	$7,0 \times 10^{-5}$
Potrubí typu NEN 3650	$6,1 \times 10^{-4}$
Všechny ostatní potrubí	$2,0 \times 10^{-3}$

Poznámky:

1. Potrubí umístěné v "kolektoru" znamená potrubí ve skupině potrubí na určité trase. Frekvence LOC jsou pro tyto situace nižší vzhledem ke zvýšeným preventivním opatřením.

Pravděpodobnost úniku nebo roztržení potrubí, uvedená jako LOC, je stanovena v tabulce č. 26.

Tabulka č. 26: Pravděpodobnost úniku a roztržení, uvedená jako LOC [9]

Typ potrubí	Pravděpodobnost úniku	Pravděpodobnost roztržení
Potrubí umístěno v kolektoru	0,9	0,1
Všechny ostatní potrubí	0,75	0,25

Nebezpečné scénáře následující po úniku LOC jsou:

- Toxické ohrožení
- Požár typu Jet fire
- Požár typu Fireball
- Požár kaluže
- Požár typu Flash fire
- Exploze

Pravděpodobnosti okamžité iniciace pro LOC jsou uvedeny v tabulce č. 27.

Tabulka č. 27: Pravděpodobnost okamžité iniciace pro LOC [9]

Typ látky	Pravděpodobnost okamžité iniciace	
	Únik	Roztržení
Hořlavý plyn	0,04	0,09
Zkapalněný hořlavý plyn	0,14	0,30

Poznámka:

1. Vyšší pravděpodobnost okamžité iniciace může být zvažována v případě vodíku, což je způsobeno jeho minimální zápalnou energií.

7. Závěr

Tento učební text se zabývá otázkou prevence závažných havárií. V první části z pohledu systému řízení bezpečnosti v průmyslových podnicích a v druhé části prezentuje možné přístupy kvantitativní analýzy rizik. V přílohách jsou předloženy příklady takového hodnocení na praktických studiích.

Potřeba řešení otázek prevence závažných havárií vyplývá z dlouhodobého vývoje této oblasti, kdy nejprve byly řešeny stacionární zdroje rizik s největším obsahem nebezpečných látek, v současné době dochází ke snižování limitů nebezpečných látek pro zařazení pod účinnost Seveso II direktivy a zároveň se pozornost obrací na mobilní zdroje rizik, u kterých se zvyšuje počet havárií při přepravě nebezpečných látek. V další fázi bude jistě pozornost směřována na nezařazené zdroje rizika, které především svým umístěním mohou představovat významná společenská rizika.

Na závět tohoto textu je shrnut přínos analýzy rizik a dělení bezpečnostních opatření, které je potřeba navrhovat pro další snižování rizik závažných havárií.

Přínos analýzy rizik

- informace o identifikaci nebezpečí pro možné cíle dopadu, kterými mohou být zaměstnanci a zařízení podniku, okolní lidská populace a životní prostředí;
- informace o možných preventivních opatřeních a prioritách snižování rizik;
- zhodnocení připravenosti na havárie a zdroj informací pro přípravu havarijních plánů;
- plnění podmínek existující nebo budoucí legislativy;
- výhody při uzavírání smluv s pojišťovnami;
- ušetření nákladů za odstranění následků havárie, odškodnění lidí nebo placení pokut za znečištění prostředí;
- vhodným zveřejněním výsledků analýzy rizik se zlepší informovanost zaměstnanců a obyvatelstva a tím i image podniku.

Základní dělení bezpečnostních bariér (další členění může být na aktivní, pasivní, vyžadující lidský zásah, atd.):

- **Technická opatření** - jsou taková opatření v konstrukci zařízení, která vedou ke zvýšení bezpečnosti provozu (příklady: pojistné ventily, sprinklery, automatická regulace, bezpečnostní jímky, dvouplášťové zásobníky...)
- **Organizační opatření** - jsou opatření v organizaci práce, reglementech, technologických postupech a procedurách (včetně příslušného technického vybavení), které vedou ke zvýšení bezpečnosti provozu

8. Literatura

1. Babinec, F.: Bezpečnostní inženýrství (učební text), VUT Brno.
2. Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií.
3. Vyhláška MŽP č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií
4. www.ceu.cz/emas
5. Nevrlý, V. Srovnání metod pro hodnocení rizik závažných havárií, VŠB-TUO, Ostrava, 2004
6. Tixier J., Dusserre G., Salvi O., Gaston D.: Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15, Elsevier 2002, pp. 291-303
7. Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Hazard identification, assessment and control, Third Edition, Edited by Sam Mannan, Elsevier 2005, ISBN: 0-7506-7555-1
8. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis - CPQRA, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989, ISBN 0-8169-0402-2
9. Guidelines for Quantitative Risk Assessment, "Purple Book", CPR 18E, TNO, The Hague 1999
10. Program EFFECTSGIS 5.5., TNO Environment, Energy and Process Innovation, Nizozemí, 2004, www.mep.tno.nl.
11. Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), "Yellow Book", CPR 14E, third edition, TNO 1997
12. <http://aramis.jrc.it>
13. Nevrlý V.: Srovnání metod pro hodnocení rizik závažných havárií, diplomová práce, VŠB-TUO, 2004.
14. Spolehlivosti lidského činitele (LČ) v bezpečnostní dokumentaci podle zákona č. 353/1999 Sb., http://www.vubp.cz/oppzh_metodiky.php

Příloha č. 1: Příklad analýzy rizik skladu amoniaku

V posuzovaném průmyslovém podniku je používán kapalný amoniak převážně k výrobě kyseliny dusičné, dusíkatých a kombinovaných hnojiv. Největší zdroj rizika představuje skladování kapalného amoniaku.

Sklad je tvořen dvěma kulovými zásobníky, každý o obsahu 550 tun kapalného amoniaku. Amoniak je zde skladován pod tlakem do 0,8 MPa (což odpovídá tenzi par při teplotě cca 20°C). Z kulového skladu je kapalný amoniak dopravován čerpadly do celozávodní trasy. Ze stáčiště železničních cisteren je kapalný amoniak do kulových zásobníků dopravován potrubím DN 150.

Specifikace kulového zásobníku amoniaku:

$\varnothing = 12500 \text{ mm}$,

$V = 1000 \text{ m}^3$,

$P_{prac} = 0,8 \text{ MPa}$.

Dále jsou pro představu uvedeny fotografie skladu amoniaku s detailem na nainstalovaný dálkově ovládaný ventil doporučený na základě výsledků analýzy rizik (viz foto č. 1 – 3). Schéma skladu amoniaku je znázorněno na následujícím obrázku (

Obrázek č. 34).



Foto č.1: Celkový pohled na sklad amoniaku



Foto č.2: Kulový zásobník amoniaku



Foto č.3: Detailní pohled na nainstalovaný dálkově ovládaný ventil pod zásobníkem

Postup hodnocení rizik

Schéma postupu hodnocení rizik závažné havárie lze jednoduše popsat jako sekvenci dílčích úloh bezpečnostního inženýrství :

výběr jednotek – **priorizace** jednotek – předběžný odhad ztrát – **identifikace** příčin havárií – odhad **frekvence** výskytu – modelování/upřesnění **ztrát** – hodnocení **rizika** – hodnocení **přijatelnosti** rizika.

Pro hodnocení rizik tohoto zařízení s amoniakem byla použita celá řada metod, od jednoduchých screeningových a indexových metod (Selektivní metoda z Purple Book CPR 18E, IAEA-TECDOC-727, Dow's Chemical Exposure Index), přes systematickou metodu HAZOP, modelování rozptylu úniku toxických látek až po stanovení pravděpodobnosti a společenské přijatelnosti rizik. Cílem následujícího textu je představit detailní postup a výsledky hodnocení společenského rizika skladu amoniaku.

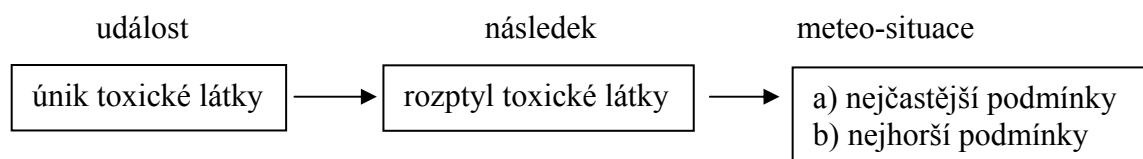
Modelování rozptylu uniklého amoniaku

Předpoklady použité pro modelování následků rozptylu toxické látky :

A) Modelování následků se provede pro takovou meteorologickou situaci, která je z hlediska místní větrné růžice:

- a) nejčastější (nejpravděpodobnější),
- b) nejhorší z hlediska možných následků (ovlivněno polohou obytné oblasti).

Situaci popisuje následující jednoduchý logický graf:



Obrázek č. 35: Předpoklady pro modelování rozptylu toxické látky

Při expozici části populace účinkům toxické látky je nutno na základě předem stanovené hodnoty tzv. probitu (udávající pravděpodobnost fatálního zranění) a doby trvání toxického mraku stanovit koncentraci toxické látky, která vyvolá následky s očekávanou pravděpodobností.

Část obyvatel se bude při expozici toxické látky nacházet uvnitř budov, část bude vně budov. Následky expozice na obě skupiny obyvatel budou diametrálně rozdílné. Proto je třeba nejprve odhadnout četnost obou skupin a pravděpodobnost fatálního zranění pro obě skupiny obyvatel.

B) Předpokládá se, že lze odhadnout zlomek obyvatelstva, který se nachází uvnitř budov ($f_{\text{pop, in}}$) a zlomek obyvatelstva vně budov ($f_{\text{pop, out}}$). Situace se v průběhu 24 hodin mění, je odlišná v denní a noční dobu. Odhady jsou uvedené v následující tabulce:

Tabulka č. 28: Zlomek obyvatelstva uvnitř a vně budov [29]

	$f_{\text{pop, in}}$	$f_{\text{pop, out}}$
den	0,93	0,07
noc	0,99	0,01

Poznámka: přednostně se uvažuje denní doba, která lépe charakterizuje rozložení obyvatel.

C) Současně se předpokládá, že lze na základě zkušeností odhadnout pravděpodobnost zranění obyvatelstva vně budov a uvnitř budov. Uvnitř budovy jsou osoby částečně chráněny v relativně uzavřených místnostech, ve kterých bude koncentrace nebezpečné látky po dobu 30 – 60 minut mnohonásobně nižší, než ve venkovních prostorech.

Předpokládá se, že osoby na ploše zasažené účinkem toxické látky o výše uvedené koncentraci nacházející se vně budov budou fatálně poraněny s pravděpodobností, kterou udává hodnota probitu. Osoby nacházející se uvnitř budov budou fatálně poraněny z deseti procent.

Použitá probitová funkce (z programu EFFECTS) pro odhad fatálního zranění amoniakem:

$$Pr = - 15,6 + 1 \times \ln (C^2 \times t)$$

kde :

Pr - hodnota probitu – hodnoceno pro Pr = 5 (50% pravděpodobnost úmrtí)

C - koncentrace (mg/m^3)

t - čas expozice (min) – hodnoceno za 30 min

Odvozená koncentrace pro 50% smrtelně ohrožených osob $C = 8473$ ppm.

Probit umožňuje stanovit koncentraci, která při zadané době vyvolá očekávané následky. Software (v tomto případě ALOHA) pak umožní stanovit velikost a tvar zasažené oblasti. Pro stanovené smrtelné koncentrace (pomocí probitu) lze nalézt hranice plochy s odpovídající pravděpodobností fatálního poranění.

Výsledky hodnocení rizik

Na základě detailní systematické studie metodou HAZOP byly identifikovány následující iniciační události a scénáře možných závažných havárií:

Havárie zásobníku amoniaku.

Možné příčiny: - okamžitý únik celého obsahu zásobníku při katastrofické poruše nebo únik velkým otvorem do 1 minuty,
- kontinuální únik připojeným potrubím - utržení výstupního potrubí z kulového zásobníku před první armaturou,
- kontinuální únik malým otvorem - trhлина na zásobníku, (modelován únik otvorem 10 mm)
- únik potrubím sání čerpadel ze dvou zásobníků.

Rozvoj události: únik kapalného amoniaku z kulového zásobníku do záchytné jímky, odpařování, tvorba toxického mraku par, šíření toxického mraku v závislosti na směru větru.

Následky: v závislosti na směru větru může dojít k zasažení plochy mimo hranice objektu do velkých vzdáleností od zásobníku, v zasažené oblasti se nachází trvale žijící obyvatelstvo, zasažena může být také silnice a železniční trať.

Frekvence úniku: pro rozsáhlý okamžitý i kontinuální únik je frekvence události odhadována na 5×10^{-7} /rok, pro únik otvorem 10 mm je frekvence události 1×10^{-5} /rok (podrobněji viz. Purple Book).

Bezpečnostní opatření: záchytná jímka, stabilní skrápěcí zařízení, detektory úniku amoniaku, odkalovací ventil zdvojený, pravidelná kontrola stavu zásobníků.

Příklad výpočtu společenské přijatelnosti rizika pro scénář:

- **únik ze dvou kulových zásobníků amoniaku společným potrubím sání čerpadel (do výroby), ruční armatury, potrubí DN 125.**

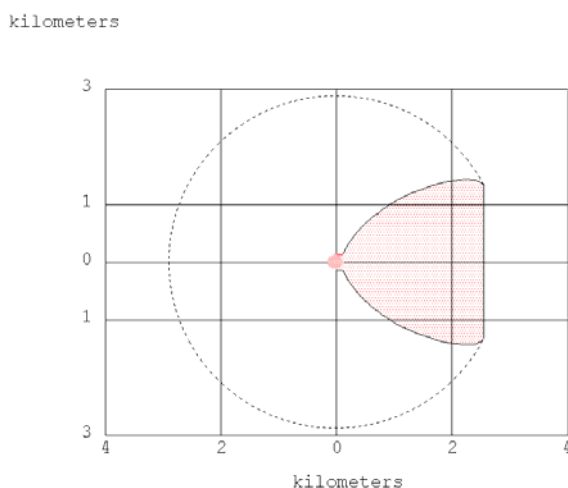
Při roztržení společného potrubí sání čerpadel z kulových zásobníků dojde k úniku amoniaku z jednoho ze zásobníků, v případě netěsnosti druhého ventilu nebo chyby obsluhy může dojít k souběžnému úniku z obou kulových zásobníků z obou konců roztrženého potrubí (i při odstavených čerpadlech). V takovém případě budou obě ruční armatury obtížně přístupné, délka společného úseku činí cca 40 m potrubí DN 125.

Situaci lze modelovat systémem ALOHA jako únik ze zásobníku z ekvivalentním průměrem DN 176, použitá koncentrace LC50 = 8473 ppm (stanoveno z citované probitové funkce).

Byly modelovány dvě atmosférické situace:

třída stability ovzduší	směr větru	teplota okolí [°C]	rychlost větru ve výšce 10 m [m/s]	unikající množství [kg/min]	délka vlečky [m]
D	SZ	25	5 m/s	12 000	941
F	V	10	1,7 m/s	8 550	2 500

Při stabilitě ovzduší F je stanoven dosah mraku do vzdálenosti 2500 m.



Obrázek č. 36: Příklad výsledku programu ALOHA

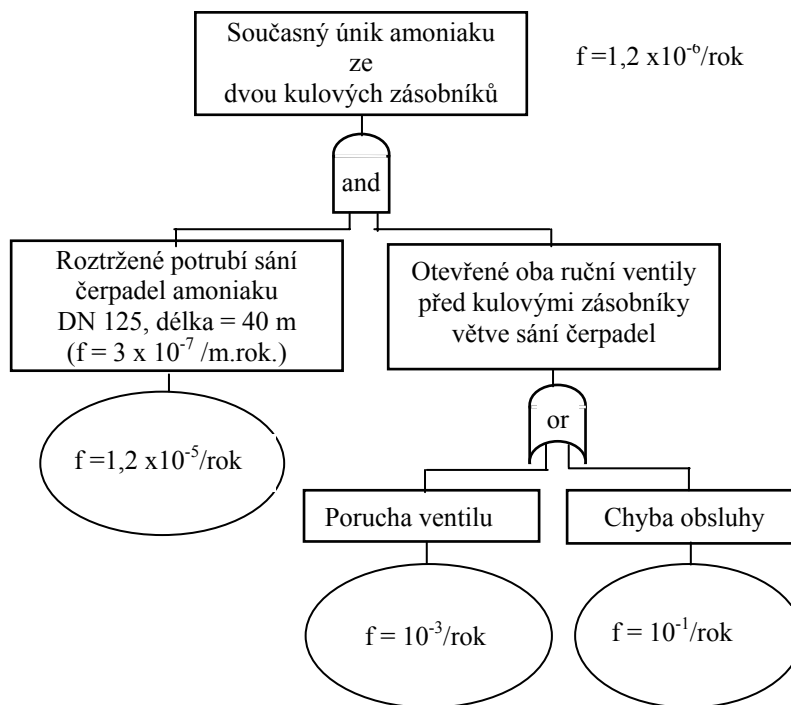
Odhad pravděpodobnosti vzniku události:

Frekvence roztržení potrubí DN 125 je $f = 3 \times 10^{-7}$ /m.rok, při délce potrubního úseku 40 m je frekvence $1,2 \times 10^{-5}$ /rok. Ruční ventil v sacím potrubí před zásobníkem může být netěsný, nebo jde o chybu obsluhy. K úniku ze dvou kulových zásobníků může dojít jen při souběhu obou událostí, tj. otevřeném druhém ventilu a roztrženém potrubí.

Pro ruční armaturu lze frekvenci poruchy odhadnout na základě údajů o spolehlivosti armatur, zde $f = 10^{-2} - 10^{-3}$ /rok. Chybu obsluhy lze odhadnout na základě spolehlivosti lidského činitele v rozsahu hodnot $f = 10^{-1} - 10^{-2}$ /rok.

Vyhodnocením stromu poruch získáme frekvenci úniku ze dvou kulových zásobníků při roztrženém potrubí a současně otevřené (netěsné) ruční armatuře jako $f = 1,2 \times 10^{-6}$ /rok.

Strom poruch pro případ úniku ze dvou kulových zásobníků:



Obrázek č. 37: Strom poruch pro případ úniku ze dvou kulových zásobníků

Modelování ukázalo, že v případě třídy stability ovzduší F je dosah následků 2 500 m. Nejhorší následky lze očekávat při východním směru větru. Pravděpodobnost výskytu takové události vyplývá z větrné růžice 2,81 % ($P = 0,0281$). Při nezávislosti obou jevů (úniku ze dvou zásobníků společným potrubím a výskytu atm. podmínek) lze pravděpodobnost průniku obou jevů stanovit jako aritmetický součin, tj. $3,372 \times 10^{-8}$ ($f = 3,372 \times 10^{-8}$ /rok).

Odhad počtu fatálních zranění:

Při dálce vlečky 2 500 m lze očekávat dosah až do středu města. Zasažená plocha ve městě cca 1000 m x 1000 m , tj. 1 km². Při odhadované hustotě obyvatel 25 lidí /ha je počet lidí na zasažené ploše ve městě cca 2500 (100 ha x 25 lidí/ha). Hustota byla stanovena na základě situace ve městě.

Odhad počtu lidí uvnitř a vně budov:

	N_{in}	N_{out}
den	2325	175
noc	2475	25

Odhad počtu fatálně zraněných ve městě:

počet	N_{in}	N_{out}	Celkem
Den	232,5	175	407,5
Noc	247,5	25	272,5

Odhad počtu fatálně zraněných na silnici:

Délka zasažené silniční komunikace :	3 km
Frekvence průjezdu vozidel :	5000 vozidel /den, tj cca 1/15 s
Rychlost vozidel	50 km/hod
Doba průjezdu úsekem 3 km :	3,6 min = 216 s
Počet aut na úseku :	14, z toho 1 autobus
Počet osob ve vozidlech : 2x13 + 1x20 =	46 osob chráněných osob – trvale
Počet osob na zastávce autobusu :	20 osob nechr. po dobu 12 min
Počet fatálních zranění na silnici :	$46 \times 0,1 + 20 \times 12/60 \times 1 = 4,6 + 4 = 8,6$

Odhad počtu fatálně zraněných na železnici:

Délka zasažené železniční komunikace :	3 km
Frekvence průjezdu vozidel :	2 vozidla /1 hod
Rychlost vozidel	60 km/hod
Doba průjezdu úsekem 3 km :	3 min
Doba na zastávce :	3 min
Celková doba zdržení v zasaženém úseku :	6 min, pro 2 vlaky 12 min
Počet aut na úseku :	14, z toho 1 autobus
Počet osob ve vlaku :	45 osob chráněných osob – trvale
Počet osob na zastávce :	20 osob nechr. po dobu 12 min
Počet fatálních zranění na železnici :	$45 \times 12/60 \times 0,1 + 20 \times 12/60 \times 1 = 0,9 + 4 = 4,9$

Celkový počet fatálních zranění: $407,5 + 8,6 + 4,9 = 421$

Přijatelná četnost výskytu možného ohrožení života více osob v důsledku vzniku závažné havárie je dána vztahem (podle vyhlášky č. 8/2000 Sb.):

$$F_p = 10^{-3} / N^2 \text{ pro stávající objekt}$$

kde:

F_p - přijatelná četnost,

N - počet ohrožených osob.

Přijatelná frekvence výskytu události s počtem 421 fatálně zraněných:

$$F_p = 10^{-3}/421^2 = 5,6 \times 10^{-9} / \text{rok}$$

Posouzení přijatelnosti společenského rizika:

Z porovnání frekvence výskytu události s následkem 421 fatálních případů a přijatelné frekvence vyplývá, že

$$3,372 \times 10^{-8} > 5,6 \times 10^{-9},$$

společenské riziko posuzované neočekávané události **není přijatelné**.

Návrh opatření : instalace dálkově ovládaných armatur pod kulové zásobníky.

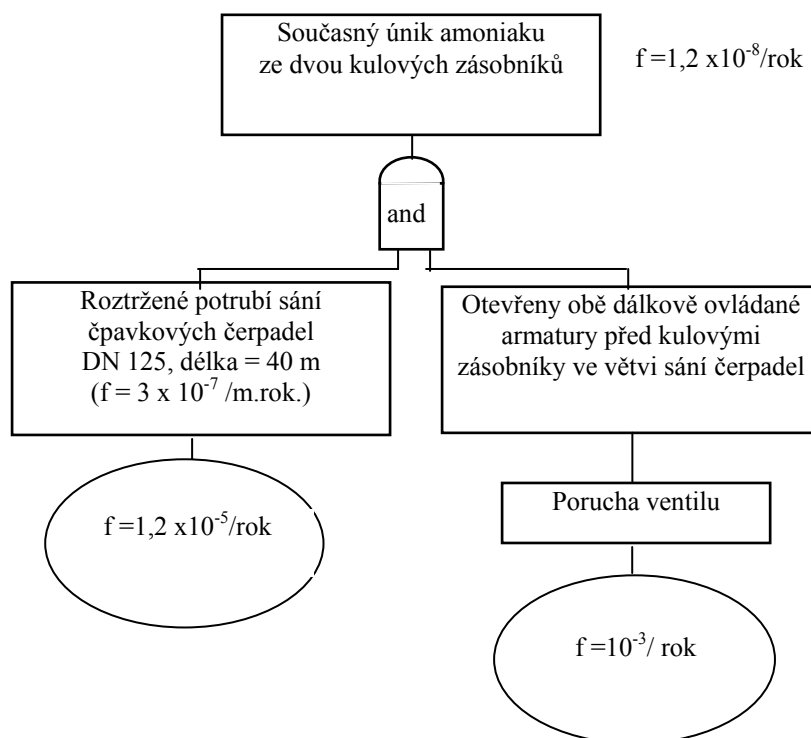
Omezení úniku na interval daný dobou do uzavření armatur - posouzení účinnosti navrhovaného opatření je v dalším textu.

Pokud dojde ve výše uvedeném případě k úniku, bude časově omezený, neboť armatury lze uzavřít pokynem z velínu, detektory umožní rychlé odhalení úniku amoniaku. Podle metodiky CPR 18E lze počítat s uzavřením armatur do 10 minut.

Za 10 minut uteče ze zásobníku při podmínkách uvažovaných při třídě stability F:

třída stability ovzduší	směr větru	teplota okolí [°C]	rychlost větru ve výšce 10 m [m/s]	unikající množství [kg/min]	množství uniklé za 10 minut [kg]	délka vlečky [m]
D	SZ	25	5 m/s	12 000	120 000	929
F	V	10	1,7 m/s	8 550	85 500	2 200

Modelováním zdroje o příslušné kapacitě byl stanoven dosah mraku toxických par. Dosah mraku par amoniaku se zkrátil. Významně se však změnila frekvence vzniku události, jak ukazuje strom poruch:



Obrázek č. 38: Strom poruch po opatřeních pro snížení rizik

Nejhorší následky lze očekávat při východním směru větru. Pravděpodobnost výskytu takové události vyplývá z větrné růžice 2,81 % (P = 0,0281). Při nezávislosti obou jevů (úniku ze dvou zásobníků společným

potrubím a výskytu atm. podmínek) lze pravděpodobnost průniku obou jevů stanovit jako aritmetický součin, tj. $1,2 \times 10^{-8} \times 2,81 \times 10^{-2} = 3,372 \times 10^{-10}$.

Odhad počtu fatálních zranění :

Při dálce vlečky 2 200 m lze očekávat dosah do přední části města. Zasažená plocha ve městě cca 700 x 1000 m , tj. 0,7 km². Při odhadované hustotě obyvatel 25 lidí/ha je počet lidí na zasažené ploše ve městě cca 1875 (75 ha x 25 lidí /ha).

Odhad počtu lidí uvnitř a vně budov :

	N _{in}	N _{out}
den	1744	131
noc	1856	19

Odhad počtu fatálně zraněných ve městě :

počet	N _{in}	N _{out}	Celkem
den	174,4	131	305,4
noc	185,6	19	204,6

Počet fatálních zranění na komunikacích se prakticky nezmění.

Celkový počet fatálních zranění : $305,4 + 8,6 + 4,9 = 318,9$

Přijatelná frekvence výskytu události s počtem 319 fatálně zraněných:

$$F_p = 10^{-3}/319^2 = 9,8 \times 10^{-9} / \text{rok}$$

Počet fatálních zranění se sníží. I při uvažování události s následkem 319 fatálních případů a přijatelné frekvence vyplývá, že

$$3,372 \times 10^{-10} < 9,8 \times 10^{-9},$$

a společenské riziko posuzované neočekávané události je **přijatelné**.

Bezpečnostní opatření

Hodnocení bezpečnostních opatření obsahuje hodnocení stávajících preventivních opatření a soubor doporučených opatření pro skladování amoniaku. Ze studie vyplývají ve vztahu k bezpečnostním opatřením následující skutečnosti:

- Uzavírací (hraniční) armatury oddělující zásobníky jsou ruční, z analýzy rizika vyplynul požadavek na instalaci dálkově ovládaných armatur pro rychlé a účinné uzavření a oddělení zásobníků od potrubního rozvodu, tím se výrazně sníží riziko havárie.

- Záchytné jímky pod kulovými zásobníky jsou řádně udržovány.
- Vybavení kulových zásobníků pojistnými ventily bude při revizi nádob doplněno druhým nezávislým pojistným ventilem (odpovídající požadavkům EU).
- Stabilní vodní chlazení je řádně udržováno a pravidelně kontrolováno.
- Uzavírací funkce zdvojeného vypustného ventilu pod zásobníkem je pravidelně kontrolována.
- Revize tlakové nádoby je zajištěna v požadovaných intervalech.
- Řízení provozu skladu a stáčení amoniaku počítačem významně přispívá ke snížení pravděpodobnosti havárie, možnosti selhání obsluhy a zvyšuje bezpečnost.

Závěry k případové studii skladu amoniaku

Následky havárie kulového zásobníku mohou překročit hranice objektu. V případě katastrofické havárie (okamžitý únik) může být zasažena především východní část města a silnice I. třídy, na které bude nutno zastavit provoz. Následky havárie lze zmírnit efektivním zásahem hasičského sboru a rychlým varováním obyvatelstva.

Společenské riziko provozování skladu amoniaku je hodnoceno jako přijatelné. Pouze v jednom případě (scénář úniku amoniaku z obou zásobníků) bude společenské riziko přijatelné po instalaci dálkově ovládaných armatur. Na tomto místě je potřeba zdůraznit, že vedení podniku přistoupilo na doporučení vyplývající z analýzy rizik a dálkové armatury již byly postupně nainstalovány pod oba kulové zásobníky.

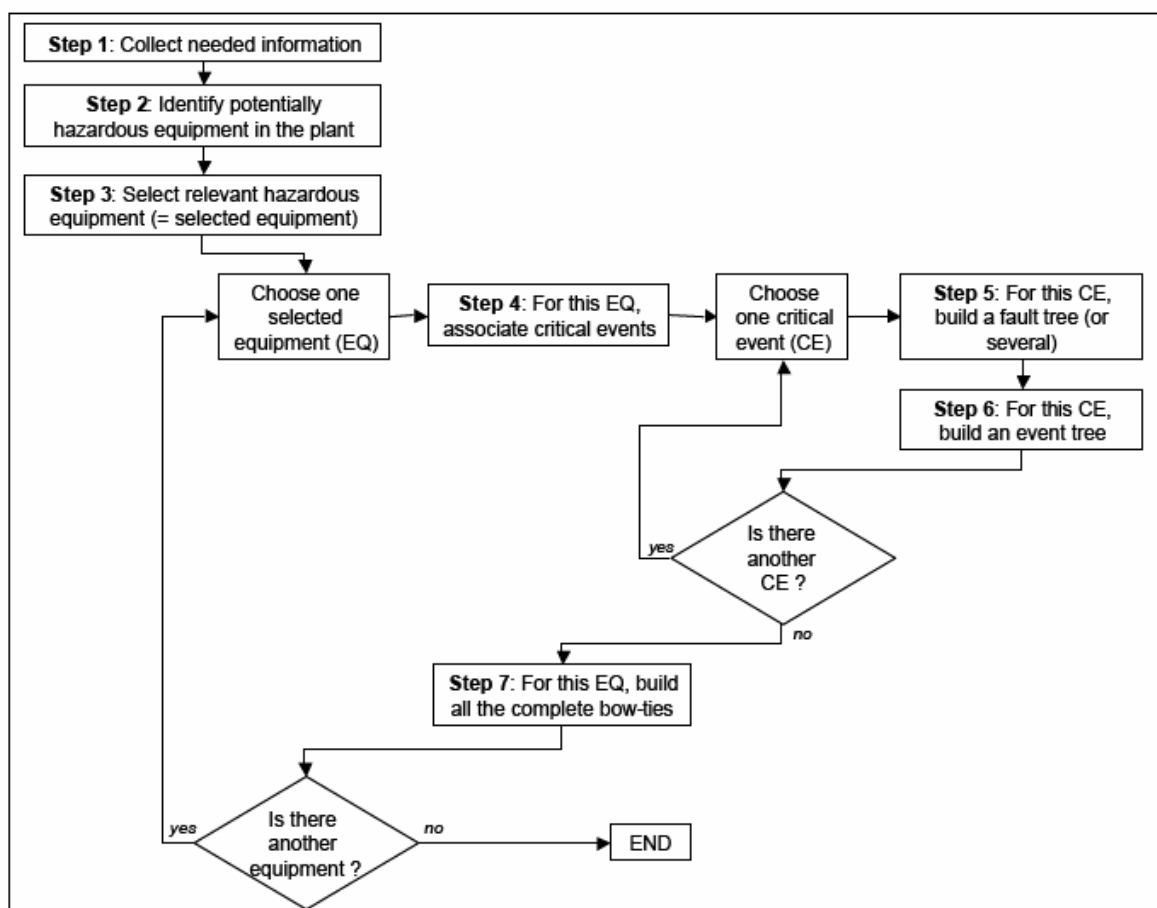
Příloha č. 2: Příklad analýzy rizika strojovny chlazení

Příklad hodnocení rizik metodikou ARAMIS byl proveden v průmyslovém podniku, který vyrábí nápoje. Studie byla zaměřena na detailní analýzu nebezpečného zařízení – strojovny chlazení amoniakem – s cílem hodnocení rizik pro obyvatelstvo. Strojovna obsahuje 22 000 kg zkapalněného amoniaku, který je klasifikován především jako toxický plyn.

Metoda MIMAH

Nejprve byla aplikována metoda MIMAH, základní kroky MIMAH jsou uvedeny na obrázku (Obrázek č. 39).

Cílem MIMAH je identifikovat potenciální scénáře závažné havárie, které se mohou vyskytnout v průmyslovém procesu. MIMAH definuje maximální nebezpečný potenciál v zařízení. V této fázi hodnocení je scénáře nutno chápat jako nejhorší případy, které mohou nastat bez zvažování bezpečnostních opatření (včetně managementu bezpečnosti).



Obrázek č. 39: Přehled kroků metody MIMAH [12]

První tři kroky metody MIMAH (sběr informací, identifikace potenciálních zdrojů rizika, výběr významných zdrojů rizik) jsou v této případové studii vynechány, protože analýza se soustředí na jediný zdroj rizika. Obecně je ale pro účely identifikace zdrojů rizika metodou MIMAH definováno 16 typů zařízení, v naší případové studii je pro vybraný zdroj rizika, strojovnu chlazení, definované označení EQ4 – Tlakové zásobníky.

MIMAH krok 4: Přiřazení kritické události

Pro každý vybraný zdroj rizika musí být přiřazena kritická událost (CE – Critical Event). Kritická událost je definována jako únik obsahu (LOC – Loss of Containment) tekutin ze zařízení nebo pro pevné látky přesněji změna fyzikálního stavu (LPI – Loss of Physical Integrity). Metoda MIMAH předpokládá následujících 12 kritických událostí:

- CE1 – Dekompozice
- CE2 – Exploze
- CE3 – Materiál v pohybu (způsobený vzduchem)
- CE4 – Materiál v pohybu (způsobený kapalinou)
- CE5 – Vznícení
- CE6 – Trhlina pláště s únikem par
- CE7 – Trhlina pláště s únikem kapaliny
- CE8 – Únik kapaliny z potrubí
- CE9 – Únik plynu z potrubí
- CE10 – Katastrofální roztržení
- CE11 – Zhroucení nádoby
- CE12 – Zhroucení střechy

Pro přiřazení kritické události k závažnému zdroji rizika jsou používány dvě matice:

- matice typu zařízení a 12 potenciálních kritických událostí,
- matice fyzikálního stavu látek a 12 potenciálních kritických událostí.

Pomocí těchto matic je možné určit, které kritické události musí být přiřazeny k danému zařízení a k danému fyzikálnímu stavu látky. Seznam kritických událostí přiřazených k vybranému zdroji rizika je zřejmý z následující tabulky č. 29.

Tabulka č. 29: Přřazení kritických událostí

		CE1 – Dekompozice	CE2 – Exploze	CE3 – Materiál v pohybu (způsobený vzduchem)	CE4 – Materiál v pohybu (způsobený kapalinou)	CE5 – Vznícení	CE6 – Trhlina pláště s únikem par	CE7 – Trhlina pláště s únikem kapaliny	CE8 – Únik kapaliny z potrubí	CE9 – Únik plynu z potrubí	CE10 – Katastrofální roztržení	CE11 – Zhroucení nádoby	CE12 – Zhroucení střechy
Zdroj	EQ4					X	X	X	X	X	X		
č. 1	STAT3					X	X	X	X	X	X		
Výsledek						X	X	X	X	X	X		

pozn.: STAT1 – pevné látky, STAT2 – kapaliny, STAT3 – dvě fáze, STAT4 plyny / páry

Podle výše uvedené tabulky by výsledkem bylo přiřazení 6 kritických událostí hodnocenému zdroji rizika. Pro účely této případové studie byl omezen počet vybraných kritických událostí na jednu nejvýznamnější podle následující úvahy. CE5 – Vznícení je určeno pouze pro látky s R-větami R7 a R8, což není tento případ. CE7 – Trhlina pláště s únikem kapaliny představuje větší nebezpečí než CE6 – Trhlina pláště s únikem plynu. Následky CE8 - Únik kapaliny z potrubí v případě krátkých připojených potrubí k zařízení jsou srovnatelné s CE7 – Trhlina pláště s únikem kapaliny. CE10 – Katastrofické roztržení je charakteristické vznikem tlakové vlny a letících úlomků, což nelze předpokládat u zařízení s amoniakem. Vzhledem k velkému počtu potrubních rozvodů s kapalným čpavkem byla jako vzorová vybrána následující kritická událost :

Zdroj č. 1 – Strojovna chlazení: CE8 – Únik kapaliny z potrubí

MIMAH krok 5: Sestavení stromu poruch pro každou kritickou událost

Pro každou kritickou událost je nejprve přiřazen jeden nebo více obecných stromů poruch. Metoda MIMAH navrhuje 14 předdefinovaných stromů poruch, které jsou omezeny na 5 úrovní spojených AND a OR hradly. Tyto stromy poruch jsou připraveny jako seznam všech možných příčin a měly by být přizpůsobeny konkrétnímu zařízení. Konkrétní strom poruch z případové studie je uveden v dalším textu v podobě bow-tie diagramu (kombinace příčin a následků havárie).

MIMAH krok 6: Sestavení stromu událostí pro každou kritickou událost

Dále je každé kritické události přiřazen strom událostí, který je možné generovat automaticky pomocí matic v závislosti na fyzikálním stavu a

nebezpečných vlastnostech látek. Metodologie definuje 13 nebezpečných projevů (Dangerous Phenomena DP):

- DP1 - Požár kaluže (Poolfire).
- DP2 - Požár zásobníku (Tankfire).
- DP3 - Požár typu Jetfire (Jetfire).
- DP4 - Výbuch mraku par (VCE).
- DP5 - Požár typu Flashfire (Flashfire).
- DP6 - Toxický mrak (Toxic cloud).
- DP7 - Požár (Fire).
- DP8 - Rozlet úlomků (Missiles ejection).
- DP9 - Vývin přetlaku (Overpressure generation).
- DP10 - Požár typu Fireball (Fireball).
- DP11 - Poškození životního prostředí (Environmental Damage).
- DP12 - Výbuch prachu (Dust explosion).
- DP13 - Překypění a následný požár kaluže (Boilover and resulting poolfire).

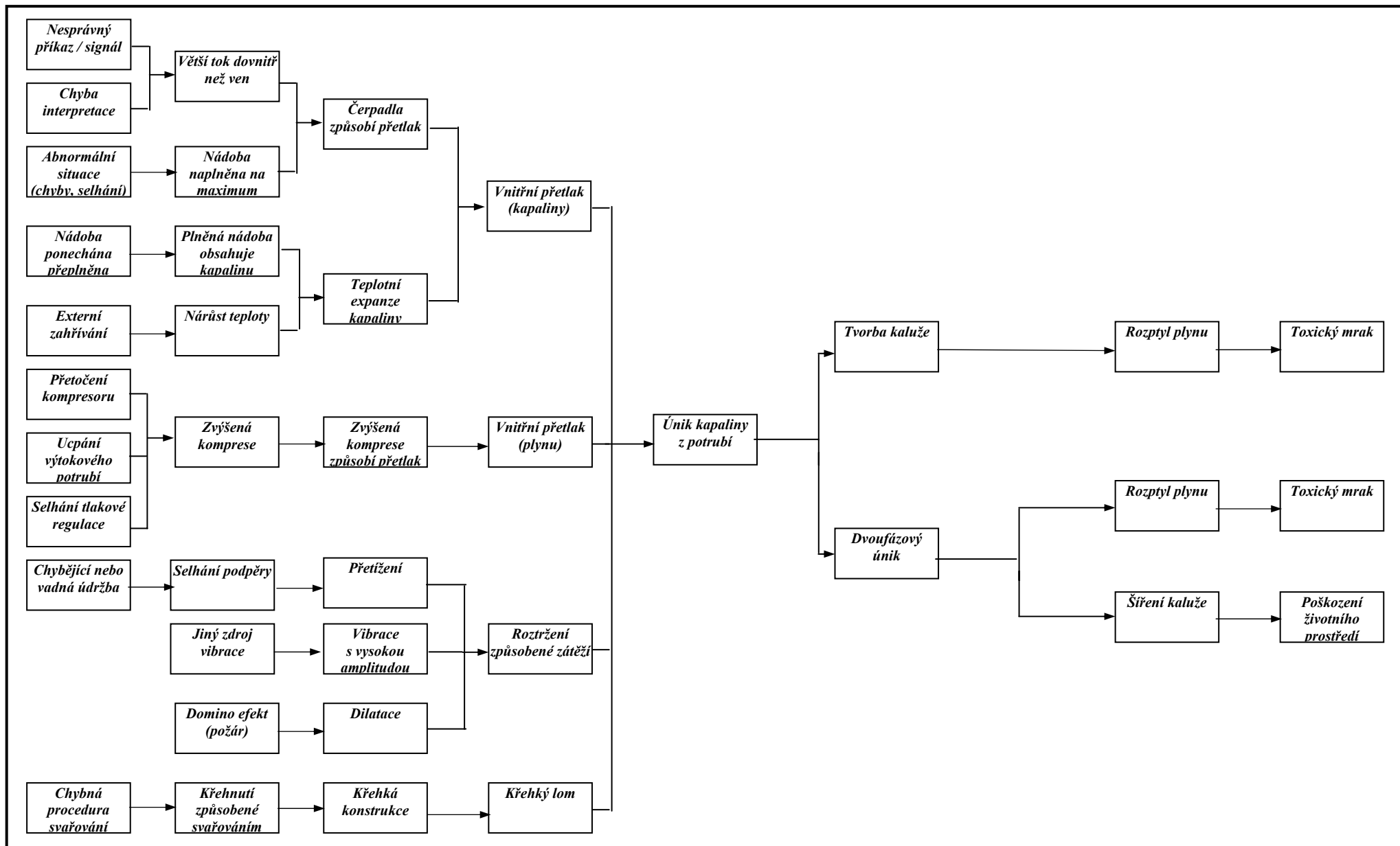
Závažná událost (ME) je definována jako závažný účinek na cíl (lidské zdraví, zařízení, životní prostředí,...) vyplývající z nebezpečného projevu. Možné závažné účinky jsou:

- ✓ Tepelné záření (Thermal radiation).
- ✓ Přetlak (Overpressure).
- ✓ Úlomky (Missiles).
- ✓ Toxické účinky (Toxic effects).

Tyto závažné události ovšem nejsou ve stromech událostí zobrazovány vzhledem k celkovému počtu možných variant. Předdefinované stromy událostí by rovněž měly být upraveny podle místních podmínek hodnoceného zařízení. Některé události nemusí být reálné, například vzhledem k teplotním a tlakovým podmínkám v zařízení. Metodologie proto doporučuje upravit předdefinované stromy událostí podle příslušných R-vět nebezpečných látek. Konkrétní strom událostí z případové studie je uveden v dalším textu v podobě bow-tie diagramu.

MIMAH krok 7: Sestavení bow-tie diagramu pro každou kritickou událost

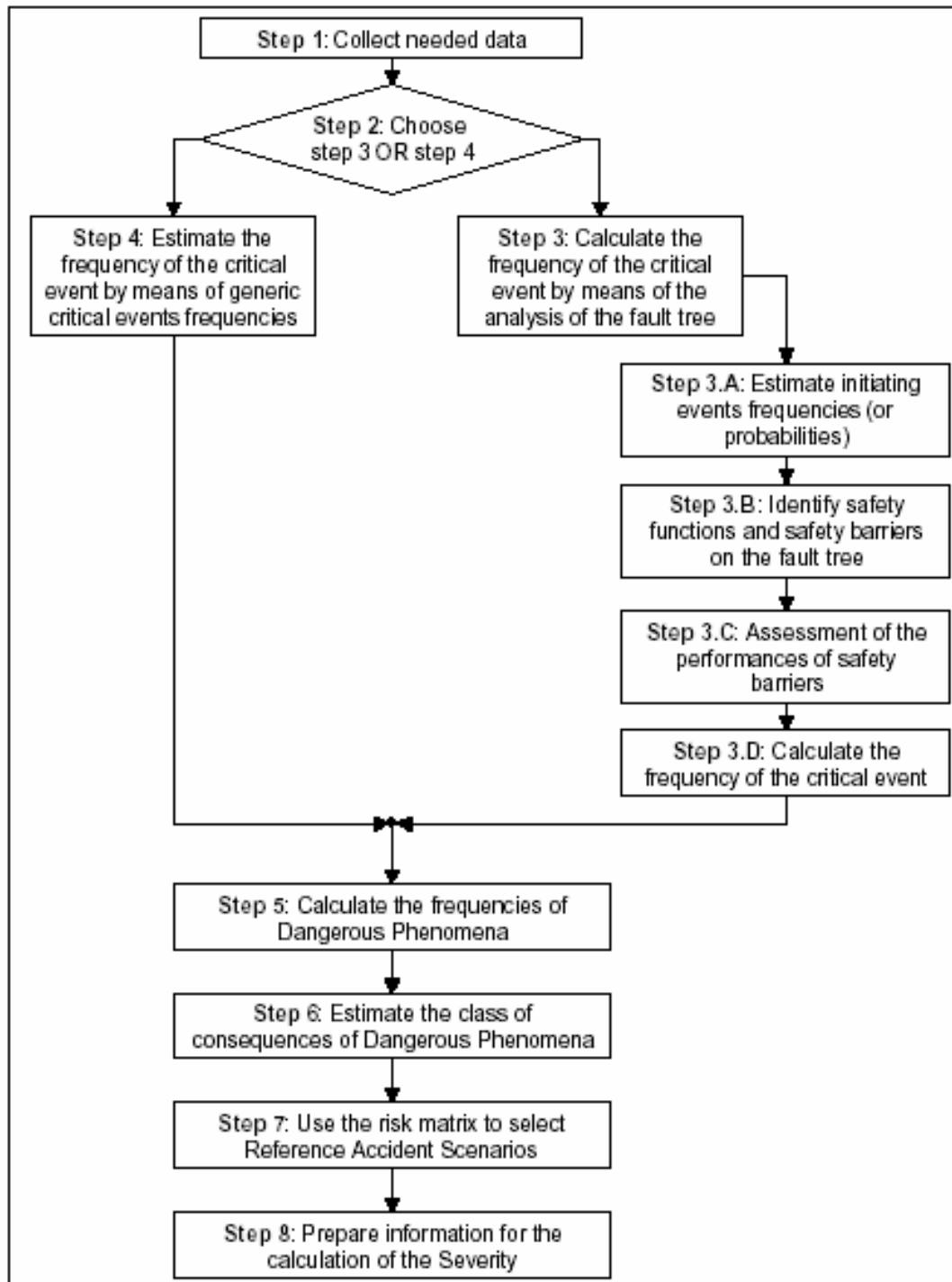
MIMAH metoda končí sestavením kompletního bow-tie diagramu pro každé vybrané zařízení. Bow-tie diagram je získán spojením kritické události s příslušným stromem poruch vlevo a příslušným stromem událostí vpravo (viz Obrázek č. 40). Tyto bow-tie diagramy je potřeba chápat jako scénáře závažné havárie bez zvažování instalovaných bezpečnostních opatření. Vyhodnocení bezpečnostních systémů je základem aplikace metodou MIRAS.



Obrázek č. 40: Bow-tie diagram pro velký únik amoniaku z potrubí

Metoda MIRAS

Základní kroky metody MIRAS jsou uvedeny na následujícím schématu (Obrázek č. 41). Pro účely případové studie byly vyzkoušeny oba doporučované postupy stanovení frekvence kritické události.



Obrázek č. 41: Přehled kroků metodologie MIRAS [12]

Cílem MIRAS je vybrat referenční scénáře havárií ze scénářů identifikovaných v části MIMAH. Metoda je založena na studiu vlivu prvků bezpečnosti a řízení rizik na scénáře vybrané v MIMAH. Referenční scénáře

havárií (RAS) představují reálný nebezpečný potenciál zařízení po zvážení bezpečnostních systémů (včetně managementu). V metodologii MIRAS jsou zvažovány:

- bezpečnostní systémy instalované na zařízení,
- systém managementu bezpečnosti,
- frekvence výskytu havárií,
- možné následky havárií.

MIRAS krok 1: Sběr potřebných dat

Pro pokračování analýzy je nutné získat podrobnější informace především o instalovaných bariérách pro snížení rizik a pravděpodobnostech iniciace. Informace mohou být získány najednou nebo postupně v příslušných krocích metodologie MIRAS.

MIRAS krok 2: Rozhodnutí mezi krokem 3 a 4

Kroky 3 a 4 mají stejný cíl: odhadnout frekvenci kritické události pro hodnocení bow-tie diagram. Tato frekvence kritické události může být získána dvěma způsoby:

1. Podle kroku 3 je provedena komplexní analýza stromu poruch, která začíná frekvencemi iniciačních událostí a zvažováním vlivu bezpečnostních bariér při výpočtu frekvence kritické události.
2. Krok 4 je alternativní způsob přímého odhadnutí frekvence kritické události za pomoci údajů z odborné literatury (údaje jsou shrnuty v příloze metody MIRAS).

Jestliže jsou potřebná data dostupná, měl by být preferován první způsob, přestože je časově náročný.

Pro potřeby případové studie byly vyzkoušeny oba postupy.

MIRAS krok 3: Stanovení frekvence kritické události analýzou stromu poruch

Krok 3 se dělí na 4 části označené 3A - 3D.

- 3.A: Stanovení frekvencí iniciačních událostí
- 3.B: Určení bezpečnostních bariér ve stromech poruch
- 3.C: Vyhodnocení účinku bezpečnostních bariér
- 3.D: Výpočet frekvence kritické události

Pro provedení těchto dílčích kroků metodologie nabízí vybrané údaje v přílohách, především je uvedeno shrnutí frekvencí iniciačních událostí z odborné literatury, seznam možných bezpečnostních bariér, způsob hodnocení účinku jednotlivých bariér. Pro potřeby umístování bariér do stromu poruch rozlišuje bezpečnostní bariéry vylučující (avoid), preventivní (prevent), kontrolní (control), detekující (detect) a omezující (limit). Pro potřeby hodnocení účinku bariér jsou definovány 4 hlavní kategorie bezpečnostních bariér: pasivní, aktivované, lidské zásahy a symbolické bariéry. Vlastní hodnocení účinku bariér probíhá pomocí tří parametrů: především podle úrovně jistoty (Level of Confidence –LC) nebo podle efektivity a doby odezvy.

Výstupem případové studie je stromy poruch se stanovenými frekvencemi kritických událostí (viz Obrázek č. 42).

Výsledkem této části metody MIRAS je frekvence kritické události po zvážení bezpečnostních bariér ve stromech poruch.

- Pro CE8 – velký únik amoniaku z potrubí – $1,3 \times 10^{-5}$ /rok

V případě frekvence kritické události menší než 10^{-7} /rok není potřeba aplikovat další následné kroky.

MIRAS krok 4: Stanovení generických frekvencí kritických událostí

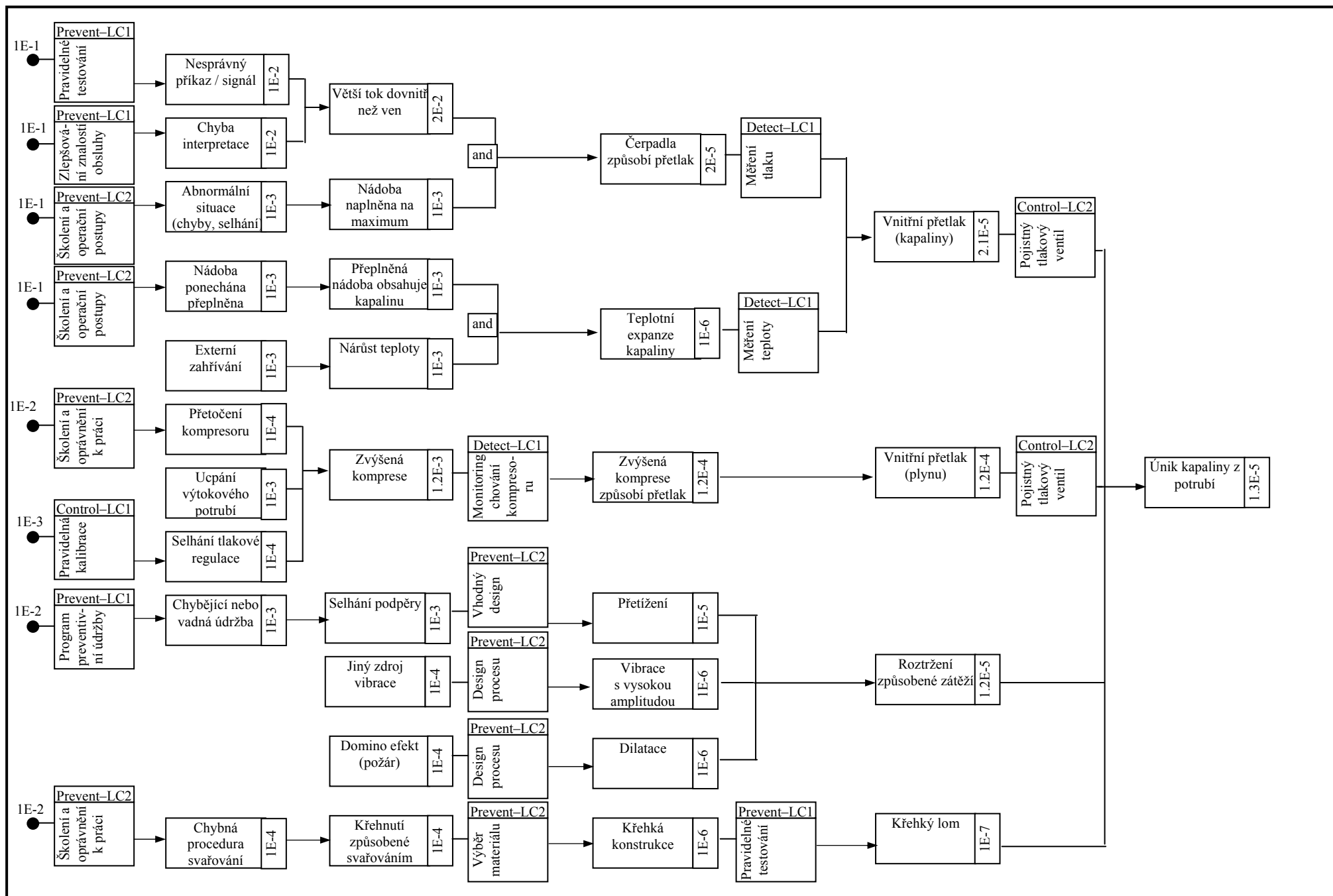
Metoda nabízí souhrnnou tabulku frekvencí kritických událostí na základě publikovaných dat v literatuře. V případě hodnocené kritické události byla přiřazena následující frekvence poruch:

- Zdroj č. 1, EQ4, CE8 – $1,5 \times 10^{-4}$ /rok

Hodnoty frekvencí získané genericky a analýzou stromu poruch se liší přibližně o jeden řád. Pro účely hodnocení rizik nezařazených zdrojů lze konstatovat, že využití generických hodnot frekvencí je dostačující.

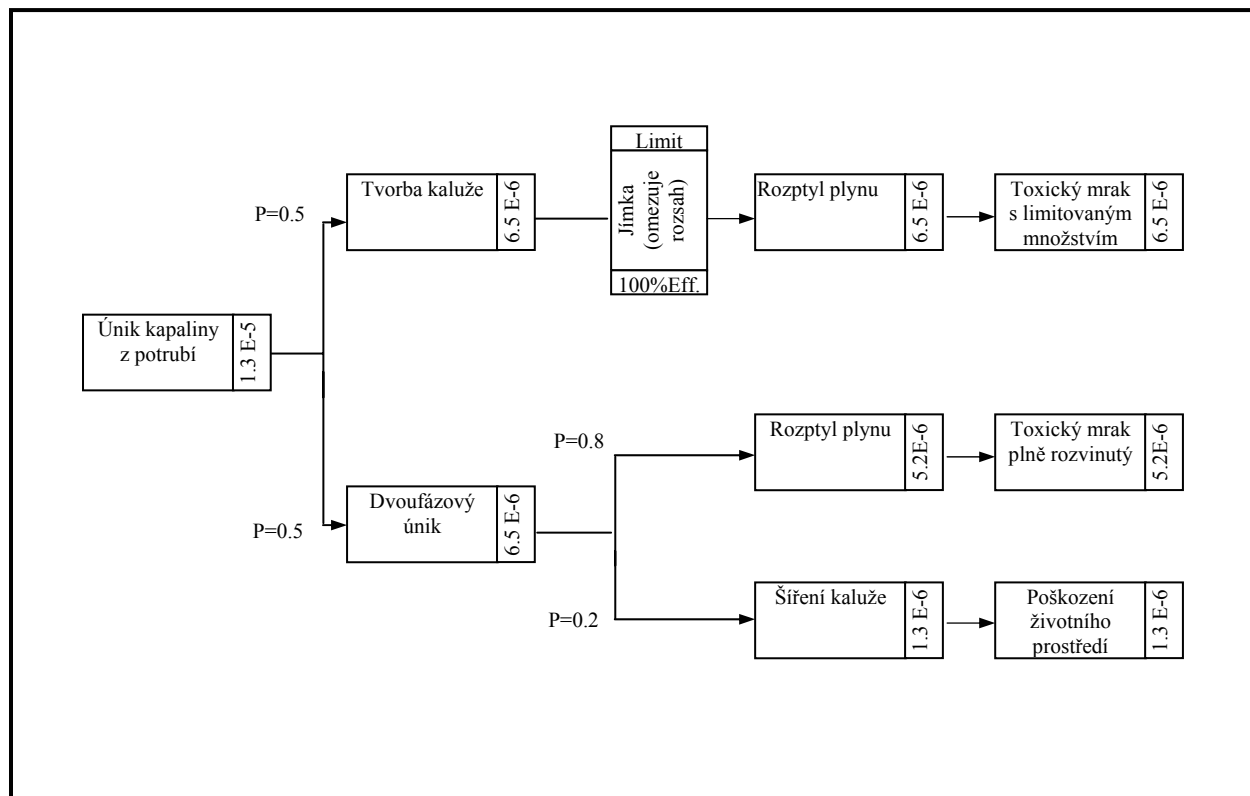
MIRAS krok 5: Stanovení frekvencí nebezpečných projevů

Cílem tohoto kroku je získání frekvencí všech nebezpečných projevů vybraných kritických událostí. Postup je založen na zvážení bezpečnostních bariér ve stromech událostí, které mohou snížit frekvenci nebo následky nebezpečných projevů.



Obrázek č. 42: Strom poruch s frekvencí kritické události - velký únik amoniaku z potrubí

Výsledky pro vybranou kritickou událost jsou znázorněny na Obrázek č. 43 a dále jsou shrnuty v tabulce č. 30. Metoda MIRAS opět nabízí orientační hodnoty pravděpodobnosti okamžité iniciace, zpožděné iniciace a VCE z odborné literatury.



Obrázek č. 43: Strom událostí s frekvencemi nebezpečných projevů únik amoniaku z potrubí

MIRAS krok 6: Vyhodnocení tříd následků nebezpečných projevů

V této fázi metodologie je nezbytné provést hrubé vyhodnocení následků nebezpečných projevů. Toto kvalitativní hodnocení následků je založeno na zařazení nebezpečných projevů do 4 tříd následků (C1 – C4), kdy třída C4 znamená nejzávažnější dopady na zdraví lidí nebo na životní prostředí. Pro jednotlivé nebezpečné projevy metodologie MIRAS nabízí předdefinované třídy následků, které lze upravovat podle účinnosti bariér omezujících unikající množství látky nebo dopad nebezpečného projevu. Výsledné třídy následků jsou shrnuty v tabulce č. 30.

Tabulka č. 30: Frekvence a třídy následků nebezpečných projevů

č.	Nebezpečný projev	Frekvence	Třída následků
1.	1a) Toxický mrak limitovaný	$6.5 \cdot 10^{-6}$ / rok	C2
	1b) Toxický mrak plný	$5.2 \cdot 10^{-6}$ / rok	C3
	1c) Poškození životního prost.	$1.3 \cdot 10^{-6}$ / rok	C2

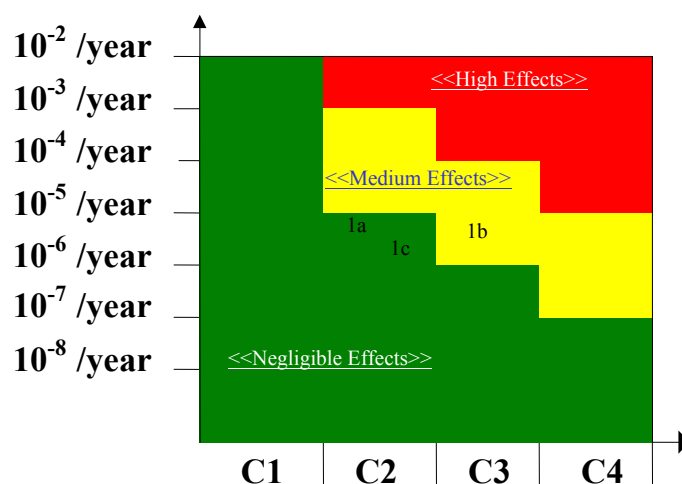
Definice tříd následků:

- C1 - bez zranění nebo mírné zranění bez zastavení práce
- pouze pozorovatelné efekty na ŽP, bez zásahu
- C2 - zranění vedoucí k hospitalizaci větší než 24 hodin
- vážné následky na ŽP, vyžadují zásah na místní úrovni
- C3 - nevléčitelné nebo smrtelné zranění uvnitř podniku, vyléčitelné zranění vně podniku
- následky na ŽP vně podniku, vyžadují zásah na národní úrovni
- C4 - nevléčitelné nebo smrtelné zranění vně podniku
- nevratné následky na ŽP vně podniku, vyžadují zásah na národní úrovni

MIRAS krok 7: Výběr referenčního havarijního scénáře

Referenční scénáře jsou vybírány pomocí nástroje – Matice rizik (viz Obrázek č. 44). V matici jsou definovány 3 zóny:

- Zóna „zanedbatelných dopadů“ odpovídá nebezpečným projevům s dostatečně nízkými frekvencemi anebo následky, které pravděpodobně nebudou významné. Tyto scénáře není potřeba dále hodnotit.
- Zóna „středních dopadů“ odpovídá referenčním havarijním scénářům, které budou mít pravděpodobně významné dopady. Tyto scénáře jsou vybrány pro další detailní hodnocení závažnosti.
- Zóna „vysokých dopadů“ odpovídá referenčním havarijním scénářům, které budou mít jistě významné dopady. Tyto scénáře jsou vybrány pro další detailní hodnocení závažnosti a měly by být navrženy dodatečné bezpečnostní bariéry.



Obrázek č. 44: Matice rizik s vyznačenými výsledky

Je nutno poznamenat, že matice rizik v této fázi metodologie nerozhoduje o přijatelnosti rizik, ale pouze vybírá referenční havarijní scénáře, které jsou dále modelovány pro účely stanovení závažnosti.

M index

V další fázi metodologie ARAMIS je doporučeno provedení auditu technických a organizačních bezpečnostních opatření na hodnocených zařízeních jako součást hodnocení efektivity managementu rizik - M index. Cílem provedeného auditu bylo prověření funkčnosti a účinnosti stávajících bezpečnostních opatření u vybraných zařízení - strojovny chlazení.

Při fyzické kontrole těchto vybraných zařízení byla prověřena funkčnost bezpečnostních opatření. Součástí auditu byly také rozhovory s vedoucími pracovníky daných objektů, přičemž nebyly zjištěny žádné nedostatky v celkovém systému řízení podniku. Na základě zjištěných skutečností byly částečně opraveny předdefinované stromy poruch a událostí pro vybrané kritické události. Toto upřesnění stromů poruch a událostí je přínosem auditu před samotným stanovením závažnosti vybraných referenčních scénářů havárií.

S index

Cílem této části metodologie ARAMIS je stanovení závažnosti referenčních havarijních scénářů pomocí navrhovaných parametrů. Právě navržené prahové hodnoty jednotlivých účinků havárií je dalším významným přínosem metodologie, protože doposud neexistují doporučené hodnoty jednotně v Evropské unii. Následující tabulka č. 31 sumarizuje prahové hodnoty odpovídající čtyřem úrovním následků.

Tabulka č. 31: Definování prahových hodnot pro různé úrovně následků [12]

Úroveň následků	Tepelné záření ⁽¹⁾ (kW/m ²)	Okamžité tepelné záření	Tlaková vlna (mbar)	Úlomky ⁽²⁾ (%)	Toxické následky ⁽³⁾	Popis
1	< 1,8	0 - 1/6 LFL	< 30	0	< TEEL-1	Zanedbatelné následky
2	1,8 - 3	1/6 - 1/3 LFL	30 - 50		TEEL-1 - TEEL-2	Vratné následky
3	3 - 5	1/3 - 1/2 LFL	50 - 140		TEEL-2 - TEEL-3	Nevratné následky
4	> 5	≥ 0,5 LFL	> 140	100	> TEEL-3	Smrtelné následky nebo domino efekty

(1) pro 60 s expozici

(2) Rozsah vzdálenosti je indikován procentem úlomků

(3) TEEL - Temporary Emergency Exposure Limits - definované koncentrace pro hodinovou expozici, shodné s ERPG hodnotami, dostupné pro více než 2000 látek

Pomocí těchto hodnot je stanovován index závažnosti (S index). Hodnoty S se stanovují pro jednotlivé nebezpečné projevy příslušné kritické události, poté postupně pro všechny kritické události a všechna zařízení v podniku. Hodnoty S se mění v závislosti na vzdálenostech, které lze znázornit na mapě podniku. Následující tabulky znázorňují vztahy mezi S hodnotami a úrovní následků, a dále mezi S hodnotami a vzdálenosti, kde byly tyto hodnoty dosaženy.

Tabulka č. 32: Vzájemné vztahy S hodnot a úrovní následků

S hodnoty	Úroveň následků
0 - 25	1
25 - 49	2
50 - 74	3
75 - 100	4

Tabulka č. 33: Vzájemné vztahy S hodnot a vzdálenosti, kde byly tyto hodnoty dosaženy

S hodnoty	Vzdálenost
25	d ₁
50	d ₂
75	d ₃
100	d ₄

Pro stanovení S hodnot je potřeba získat doplňující informace o referenčních havarijních scénářích, především:

- velikost zařízení (délka, výška, průměr,...);
- vlastnosti nebezpečných látek (fyzikálně-chemické vlastnosti, R-věty, toxicita, hořlavost, ...);
- provozní podmínky (teploty, tlaky, ...);
- meteorologická data (teplota, vlhkost, větrná růžice, rychlost větru, stabilita ovzduší, výška inverzní vrstvy).

Metodologie ARAMIS nabízí upřesněné prahové hodnoty pro jednotlivé nebezpečné projevy (DP1 - DP13). Pro stanovení jednotlivých vzdáleností s definovanými následky (d₁ - d₄) byly doporučeny následující hodnoty (viz tabulka č. 34).

Tabulka č. 34: Úrovně jednotlivých nebezpečných projevů pro stanovení vzdáleností

Vzdálenost	Tepelné záření (kW/m ²) DP1, DP2, DP3, DP7, DP10	Koncentrace hořlaviny DP4*, DP5, DP9*	Tlaková vlna (mbar) DP4*, DP9*, DP12	Koncentrace (1 hod expozice) DP6
d ₁	1,8	1/6 LFL	30	TEEL-1
d ₂	3	1/6 - 1/3 LFL	50	TEEL-2
d ₃	5	1/3 - 1/2 LFL	140	TEEL-3
d ₄	8	≥ 0,5 LFL	250	TEEL-3.(6 ^{1/n}) [§]

* pro DP4 a DP9 se bere v úvahu větší z hodnot pro tlakovou vlnu nebo pro tepelné záření

§ tato hodnota představuje stejnou dávku jako TEEL-3, ale při expozici 10 min

Pro stanovení jednotlivých vzdáleností lze použít libovolný matematický model. I když v rámci projektu ARAMIS proběhla bibliografická analýza dostupných modelů, cílem není doporučit konkrétní model. Uživatel může vyhodnotit závažné události vybranými modely v závislosti na jeho zkušenostech, tradicích v jeho zemi, atd. Některé vhodné modely například pro výpočet atmosférického rozptylu (CHARM, EFFECTS) nejsou volně dostupné. Pro stanovení tlakové vlny lze použít jednodušší TNT model nebo složitější multienergetický model, pokud jsou dostupné všechny informace. Dalším zdrojem mohou být některé publikace a knihy, například „Yellow Book“ [11]. Vzhledem k tomu, že použití výpočtového modulu je zcela nezávislé na metodologii stanovení S indexu, uživatel může použít jakýkoliv matematický model pro vyhodnocení účinků havárie.

Výpočty vzdálenosti pro jednotlivé úrovně byly provedeny uznávaným holandským modelem EFFECTS 5.5. Jednou z výhod tohoto modelu je možnost výpočtu následků požárů, výbuchů i rozptylu toxických látek. Následující tabulka č. 35 podává výsledky ve formě vzdáleností (v metrech) pro jednotlivé úrovně následků d1 – d4 a pro nebezpečný projev, který byl vybrán jako referenční havarijní scénář. Typ následků vyjadřuje jeden ze čtyř možných závažných účinků havárie (tepelné záření, přetlak, úlomky, toxické účinky).

Tabulka č. 35: Výsledky vzdálenosti dosahu nebezpečných projevů pro CE8

Kritická událost	CE8	Frekvence	1,3E-05				
Nebez. projev		d1	d2	d3	d4	Frekvence	Typ
Toxický mrak (m)	1b	3874	2140	740	176	5,2E-06	tox.

Výsledné vzdálenosti doporučuje metodologie znázornit v mapách pomocí nástroje GIS. Vzhledem k vysoké náročnosti použití tohoto softwaru nebyla tato část metodologie ARAMIS použita. V další fázi je vyhodnocena zranitelnost území – takzvaný V Index. Ten je opět vyhodnocován pomocí jednotlivých vrstev v GIS mapách a v dalším kroku propojen s výsledky S indexu.

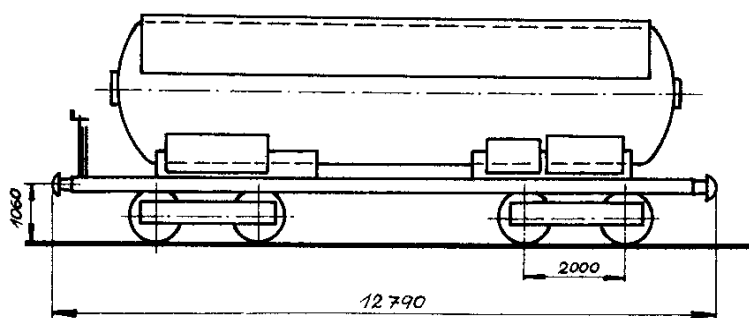
Shrnutí studie metodologií ARAMIS

Zranitelnost obyvatelstva – z výsledků studie vyplývá možnost ohrožení nejbližšího obyvatelstva, které se nachází v obytných domech za hranicí podniku a kolem silnice v případě velkého úniku amoniaku z potrubí (smrtné následky do vzdálenosti cca 176 m). Přesto lze konstatovat vysokou úroveň bezpečnosti v podniku zabezpečenou celou řadou technických a organizačních opatření.

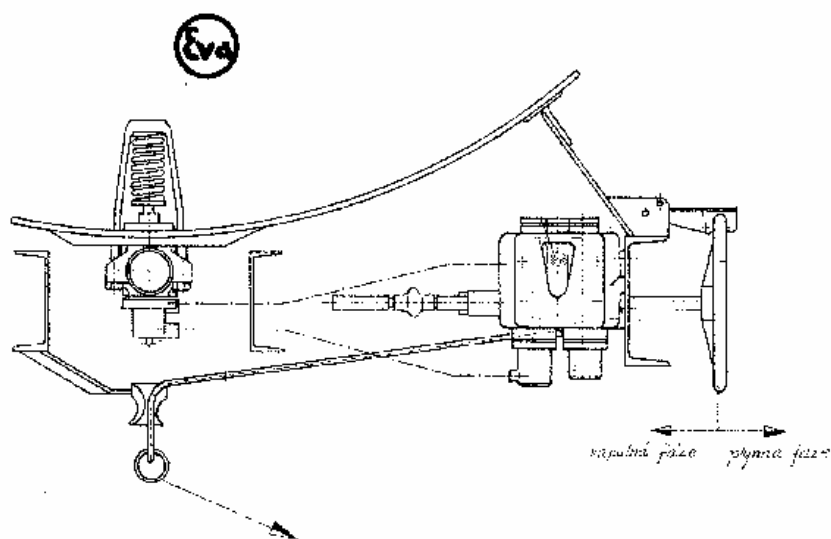
Příloha č. 3: Příklad analýzy rizik přepravy amoniaku

Pro transport amoniaku po železnici se používají zejména cisterny o kapacitě 50 tun. Cisterny jsou konstrukčně dimenzovány tak, aby snesly maximální zatížení, které může být způsobeno vnějšími podmínkami. Za takovou situaci se považuje zvýšení tlaku uvnitř cisterny způsobené přehřátím přepravovaného obsahu vlivem působení slunečního záření. Proti působení slunečního záření jsou v poslední době na cisterny montovány ochranné sluneční štíty. Rovněž barevné provedení cisteren, pro přepravu látek s nízkým bodem varu, je uzpůsobeno tak, aby v co největší míře odráželo dopadající paprsky slunečního záření.

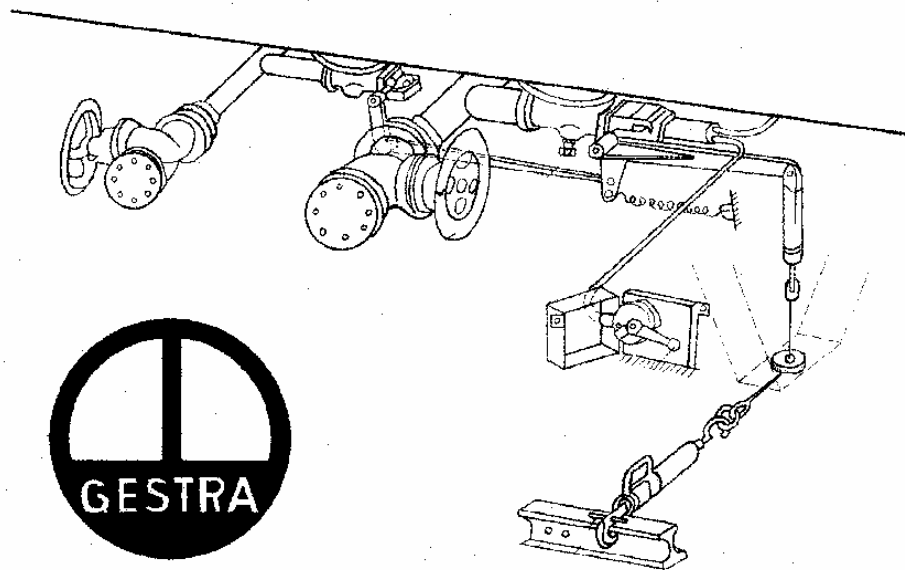
Na následujících obrázcích je znázorněno schéma cisterny a dále schémata dvou typů armatur pro stáčení amoniaku (typ EVA a GESTRA). Na fotografii č. 4 je železniční cisterna s amoniakem na pozici stáčení.



Obrázek č. 45: Železniční cisterna pro přepravu amoniaku



Obrázek č. 46: Schéma armatury typu EVA pro železniční cisterny s amoniakem



Obrázek č. 47: Schéma armatury typu GESTRA pro železniční cisterny s amoniakem



Foto č. 4: Pohled na železniční cisternu pro přepravu amoniaku na pozici stáčení

Specifikace přepravní trasy

Přepravu amoniaku od výrobce ke spotřebiteli je možno uskutečňovat po dvou variantních trasách, varianta A má délku cca 35 km, varianta B cca 24 km [60]. Přepravní jednotku lze specifikovat:

- Vlak s cisternami jezdí rychlostí nad 40 km/hod.
- Denně přepraví 18-20 cisteren, což je 900 – 1000 t amoniaku (1 cisterna=50 t).
- Ročně přepraví 6570 – 7300 cisteren.

Pro vyhodnocení míry přijatelného rizika pro obyvatelé v okolí přepravy amoniaku po železnici bylo v tomto modelovém příkladě předpokládáno:

- v důsledku vykojení vlaku dojde k převrácení cisteren a k následnému přetržení potrubí (armatury) ke stáčení amoniaku o průměru 80 mm u jedné z cisteren,
- zasažená plocha při úniku amoniaku: poloměr 380 m.

Výsledky hodnocení rizik

Cílem předkládané studie bylo vyhodnocení míry přijatelného rizika pro obyvatelé při přepravě amoniaku na dvou variantních trasách pomocí metody Purple Book CPR 18E. Metoda je určena pro dopravní aktivity vně podniků a není použitelná pro analýzu rizik uvnitř podniků. Předmětem této práce je přeprava nebezpečných látek po železnici a proto budou blíže specifikovány pouze nutné modely a data, které se týkají železniční dopravy. Metoda je rozdělena do dvou hlavních kroků:

1. Výběr závažných úseků tras.
2. Detailní QRA (kvantitativní hodnocení rizik).

Výběr závažných úseků tras

Tato část metody hodnotí, zda-li riziko dopravy nebezpečných látek po určité trase vyhovuje bezpečnostním požadavkům pro okolí pomocí mezní hodnoty. Porovnáním frekvence ročních dopravních toků s mezními hodnotami dává první rychlý přehled o úrovni rizik. Jestliže je roční frekvence dopravy po železnici menší než mezní hodnota, kvantifikace rizik z hlediska bezpečnosti okolí není potřebná, ačkoliv se mohou vyskytnout nehody s únikem nebezpečných látek. Pokud mezní hodnota pro železnici byla překročena, měla by být provedena detailní kvantifikace rizik.

Mezní hodnoty pro železnice

Rizika přepravy nebezpečných látek po železnici závisí:

- a) na povaze tratě
 - tratě s vysokou rychlostí, rychlost vlaku > 40 km/h,

- tratě s nízkou rychlostí, rychlost vlaku < 40 km/h.
- b) na přepravované lánce, která je rozdělena do následujících kategorií pomocí Kemler-kódu (viz tabulka č. 16).

Individuální riziko

Individuální mezní hodnota se určí pomocí roční přepravy nebezpečných látek, kdy nedojde k překročení individuálního rizika 10^{-6} /rok (tabulka č. 36). Mezní hodnota by měla být prověřena nejprve pro látky C3 a poté pro všechny ostatní nebezpečné látky. Hodnoty se vztahují pouze pro jedoucí vagóny, pro seřadovací nádraží a soukromé vlečky se použije kvantitativní hodnocení rizik.

Pokud uvedené mezní hodnoty v tabulce č. 36 jsou překročeny, měla by být provedena detailní kvantifikace rizik pro obyvatelé žijící v blízkosti trati.

Tabulka č. 36: Roční mezní hodnoty nepřekračující individuální riziko 10^{-6} [9]

	Typ tratě	
	Vysoká rychlost	Nízká rychlost
Mezní hodnota (počet vagónů/rok) pro látky C3	3000	individuální riziko 10^{-6} nepřekročeno
Mezní hodnota (počet vagónů/rok) pro ostatní nebezpečné látky	7000	individuální riziko 10^{-6} nepřekročeno

Shrnutí:

Individuální riziko (7000 vagónů/rok) bylo překročeno pro amoniak (viz tabulka č. 37), proto lze konstatovat, že riziko pro obyvatelé žijící v okolí tratí varianty A i B existuje, a je proto vhodné pokračovat detailním hodnocením rizika (QRA).

Tabulka č. 37: Výběr závažných úseků tras

	Varianta A	Varianta B
Povaha tratě	vysokorychlostní (> 40 km/hod.)	
Kategorie přepravované látky (viz. tab. č. 9)	B2	
Počet cisteren/rok	6570 – 7300	
Individuální riziko (viz tab. č. 10)	Překročeno	

Detailní QRA

Kvantitativní hodnocení rizik QRA umožňuje detailní analýzu rizik při přepravě nebezpečných látek v cisternách po železnici. Jsou zde definovány tzv. úniky nebezpečných látek – LOC, které do detailní analýzy musí být zahrnuty, dále jsou zde uvedeny různé scénáře úniku a jejich pravděpodobnost.

Únik nebezpečných látek – LOC

Pro železniční přepravu jsou definovány následující havárie s únikem nebezpečné látky:

1. únik z díry v cisterně o průměru 75 mm,
2. roztržení cisterny.

Frekvence havárií a úniků nebezpečné látky po železnici

Obecná frekvence havárie pro cisternu na kolejích, mimo nádraží, je $3,6 \cdot 10^{-8}$ na cisternu a jeden kilometr. Jestliže je rychlost vlaku:

- a) větší než 40 km/hod – frekvenci $3,6 \cdot 10^{-8}$ násobíme korekčním faktorem 1,26;
- b) nižší než 40 km/hod – frekvenci $3,6 \cdot 10^{-8}$ násobíme korekčním faktorem 0,62.

Dále jsou zde stanoveny pravděpodobnosti úniku. Předpokládá se únik více než 100 kg látky. Pravděpodobnost výtoku závisí na rychlosti vlaku a na druhu cisterny (viz tabulka č. 38).

Tabulka č. 38: Pravděpodobnost úniku nebezpečné látky (> 100 kg) uvedené havárie

Povolená rychlost vlaku	Pravděpodobnost úniku nebezpečné látky (> 100 kg)	
	Atmosférické cisterny	Přetlakové cisterny
< 40 km/hod	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
> 40 km/hod	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Výsledky pro scénář havárie (shodný pro variantu A i B) jsou uvedeny v následující tabulce:

- poškození armatury o průměru 80 mm, únik 10 – 50 t amoniaku, zasažená plocha: poloměr 380 m.

Tabulka č. 39: Stanovení frekvence havárie

	Varianta A	Varianta B
obecná frekvence (/km.rok)	$3,6 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$
korekční faktor pro rychlost > 40 km/hod	1,26	1,26
délka trasy (km)	34	24
Frekvence havárie/rok	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
pravděpodobnost úniku (tab. č. 26)	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Výsledná frekvence závažné havárie/rok	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$

Frekvence havárie železniční cisterny je u trati:

- varianty A $1,6 \cdot 10^{-6}$ /rok
- varianty B $1,1 \cdot 10^{-6}$ /rok

Frekvence havárie s únikem amoniaku z železniční cisterny je u:

- varianty A $4,5 \cdot 10^{-9}$ /rok
- varianty B $3,1 \cdot 10^{-9}$ /rok

Stanovení závažnosti havárie – počtu smrtelně ohrožených osob

Ve scénáři případné havárie byla stanovena velikost zasažené plochy o poloměru 380 m, což v souladu s metodikou IAEA-TECDOC-727 odpovídá ploše cca 1,9 ha. Předpokládá se, že toxický mrak se bude šířit směrem na obydlenou část města/obce od železniční trati. Na tratích obou variant byly vybrány místa s největší hustotou obyvatelstva, konkrétní výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 40.

Tabulka č. 40: Stanovení závažnosti havárie

	Varianta A	Varianta B
Počet osob/ha	část města 40 osob/ha	vesnice 20 osob/ha
Max. dosah toxického mraku	1,9 ha	
Počet smrtelně ohrožených osob	$40 \cdot 1,9 = 76$	$20 \cdot 1,9 = 38$

Přijatelnost rizika

Přijatelnost rizika je v současné době stanovena pouze pro stacionární zdroje rizika, přesto byl tento doporučený limit přijatelnosti rizik použit i pro výsledné riziko přepravy amoniaku. Podle Purple Book je limitní hodnota přijatelného rizika dána následující rovnicí:

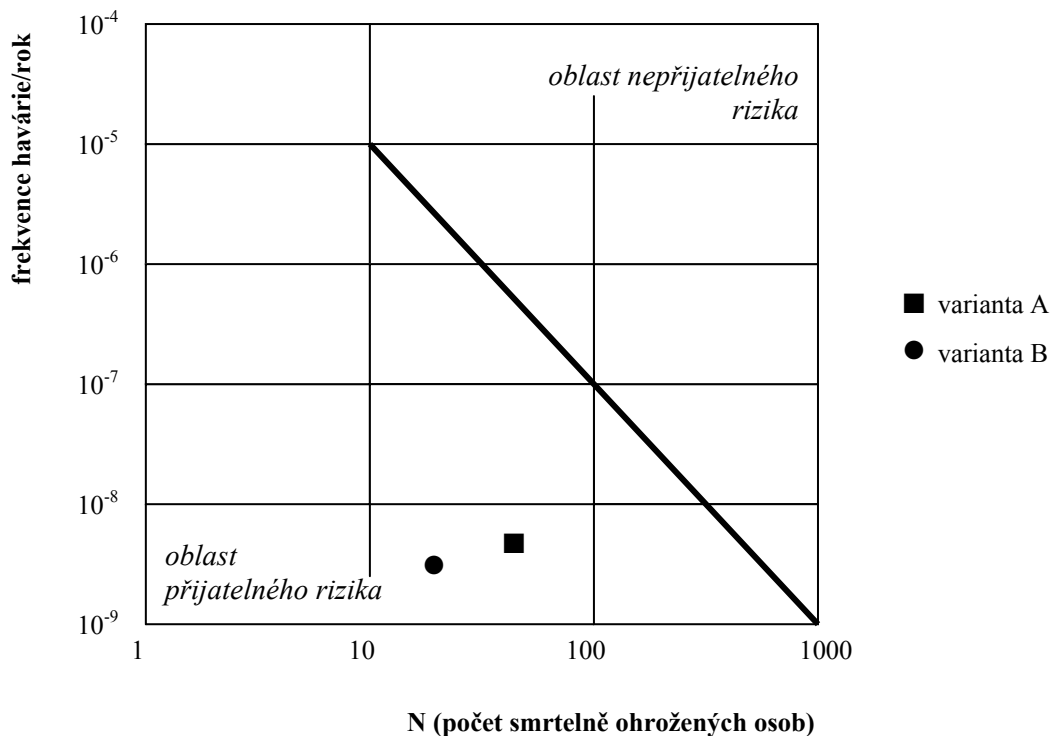
$$F = \frac{10^{-3}}{N^2} \quad \text{pro } N \geq 10$$

kde: N = počet smrtelně ohrožených osob

Hodnota přijatelného rizika pro obyvatelé:

- varianty A (76 ohrožených osob), pak $F = 1,6 \cdot 10^{-6}$
 - přijatelnost rizika $1,6 \cdot 10^{-6}$ je větší než výsledná frekvence závažné havárie $4,5 \cdot 10^{-9}$ a proto je přeprava po trati hodnocena v oblasti přijatelného rizika (viz obrázek č. 48).
- varianty B (38 ohrožených osob), pak $F = 6,9 \cdot 10^{-6}$
 - přijatelnost rizika $6,9 \cdot 10^{-6}$ je větší než výsledná frekvence závažné havárie $3,1 \cdot 10^{-9}$ a proto je přeprava po trati hodnocena v oblasti přijatelného rizika (viz obrázek č. 48).

Z matice přijatelnosti rizik na následujícím obrázku je zřejmé, že riziko pro obyvatelé v okolí tratí varianty A i B je přijatelné, potenciální havárie při přepravě amoniaku byly vyhodnoceny v oblasti přijatelného rizika.



Obrázek č. 48: Matice přijatelnosti rizika při přepravě amoniaku

Závěry k případové studii přepravy amoniaku po železnici

Výsledkem studie je analýza rizik v případě havárie při přepravě amoniaku po železnici od výrobce ke spotřebiteli. Přeprava se uskutečňuje po dvou variantních trasách (varianta A, varianta B) a každá varianta byla zhodnocena z hlediska přijatelnosti míry rizika pro obyvatelstvo v okolí železniční trati za pomoci metody Purple Book CPR 18E. Vyhodnocené riziko pro obyvatelé žijící kolem tratí varianty A a varianty B je přijatelné v obou případech, vzhledem k počtu obyvatelstva v okolí trasy B lze konstatovat, že riziko je nepatrně nižší.

Pro přepravce lze doporučit používání přednostně železniční trať varianty B, která v případě havárie představuje menší negativní dopad pro obyvatelstvo, neboť železnice vede převážně méně zalidněnými oblastmi.

Předložená studie představuje první screeningové studie hodnocení rizik přepravy nebezpečných látek po železnici, což je nezbytný příspěvek pro snižování rizik. Vzhledem ke zvyšujícímu se počtu přepravovaných nebezpečných látek a přípravě legislativy v oblasti prevence havárií přepravy nebezpečných látek v Evropské unii, bude potřeba se touto problematikou dále detailněji zabývat.

Prevence závažných havárií II.

Aleš Bernatík

Vydalo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, roku 2006

Vytisklo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství

1. vydání

Publikace neprošla jazykovou úpravou

ISBN: 80-86634-90-6