

Prevence závažných havárií I.

Aleš BERNATÍK

T



toxický

E



výbušný

F



vysoce hořlavý

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství

Prevence závažných havárií I.

Dr. Ing. Aleš Bernatík

© A. Bernatík, Ostrava 2006

Obsah:

1.	Předmluva.....	3
2.	Úvod do problematiky prevence závažných havárií	4
2.1.	<i>Základní pojmy</i>	6
2.2.	<i>Legislativní rozbor</i>	7
2.3.	<i>Havárie v minulosti</i>	11
2.4.	<i>Klasifikace nebezpečných látek</i>	13
2.5.	<i>Bezpečnostní list</i>	15
2.6.	<i>Zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo skupiny B</i>	16
3.	Hodnocení rizik	22
3.1.	<i>Dílčí metody analýzy rizik</i>	24
3.1.1	Indexové metody (RR).....	24
3.1.2	Revize bezpečnosti (SR).....	25
3.1.3	Kontrolní seznam (CL)	25
3.1.4	Předběžná analýza ohrožení (PHA).....	26
3.1.5	Analýza What if (WI)	26
3.1.6	Analýza What if v kombinaci s Kontrolním seznamem (WI-CL).....	27
3.1.7	Analýza nebezpečnosti a provozovatelnosti (HAZOP).....	27
3.1.8	Analýza příčin a následků poruch (FMEA)	27
3.1.9	Analýza stromem poruch (FTA).....	28
3.1.10	Analýza stromem událostí (ETA)	29
3.1.11	Analýza příčin a následků (CCA).....	29
3.1.12	Analýza lidského faktoru (HRA)	30
3.2.	<i>Výběr dílčí metody podle fáze života zařízení</i>	30
4.	Vybrané metody hodnocení rizik	31
4.1.	<i>Případová studie</i>	31
4.1.1	Metoda výběru (podle CPR 18E - Purple Book)	32
4.1.2	IAEA-TECDOC-727	38
4.1.3	Metoda DOW's Fire and Explosion Index	46
4.1.4	Metoda DOW's Chemical Exposure Index	53
4.2.	<i>Příklad metody HAZOP</i>	62
4.3.	<i>Příklad analýzy stromem poruch - Fault Tree</i>	67
4.4.	<i>Příklad analýzy stromem událostí - Event Tree</i>	70
5.	Závěr.....	74
	Použitá literatura:	75
	Příloha č. 1 - Hodnocení rizik nezařazených zdrojů rizik	76

1. Předmluva

Cílem tohoto učebního textu je stručně seznámit studenty s dynamicky se vyvíjejícím oborem - prevencí závažných havárií. V dnešním technickém světě se objevují průmyslové havárie stále častěji, proto je třeba jejich vzniku předcházet. Tato publikace shrnuje zkušenosti, poznatky a přístupy k problematice hodnocení rizik závažných havárií na zdraví a životy lidí, majetek a životní prostředí v souvislosti s nakládáním s nebezpečnými chemickými látkami a přípravky.

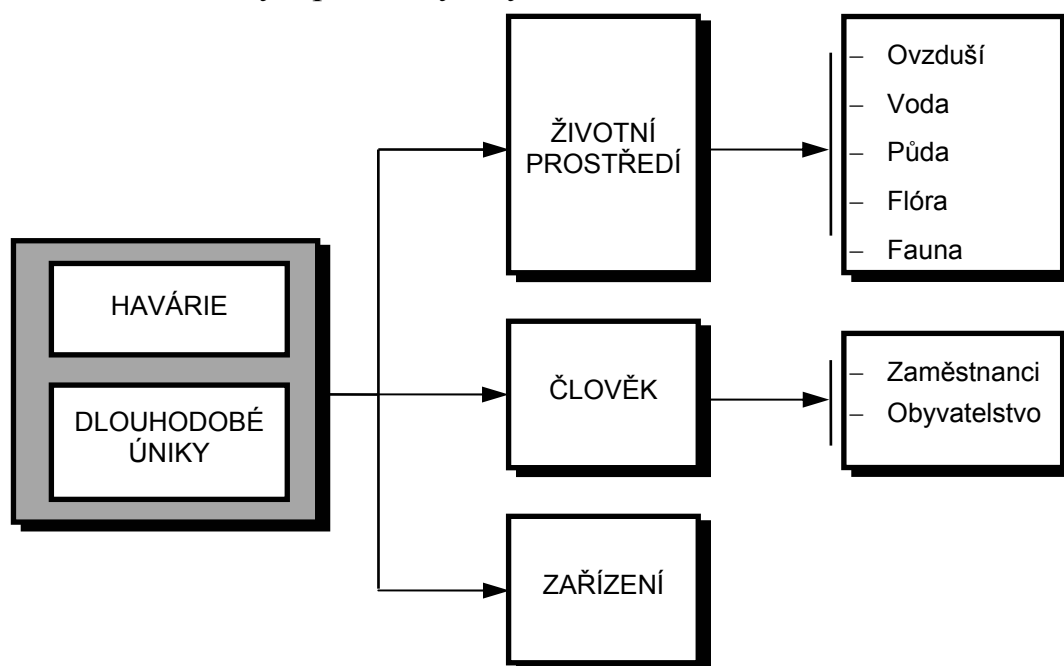
V úvodní části jsou shrnuty základní informace z oblasti prevence závažných havárií, především rozbor legislativních předpisů a příklady havárií v minulosti. V další části publikace jsou představeny nejčastěji využívané metody hodnocení rizik závažných havárií. Vybrané screeningové a indexové metody jsou vysvětleny na případových studiích.

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. Úvod do problematiky prevence závažných havárií

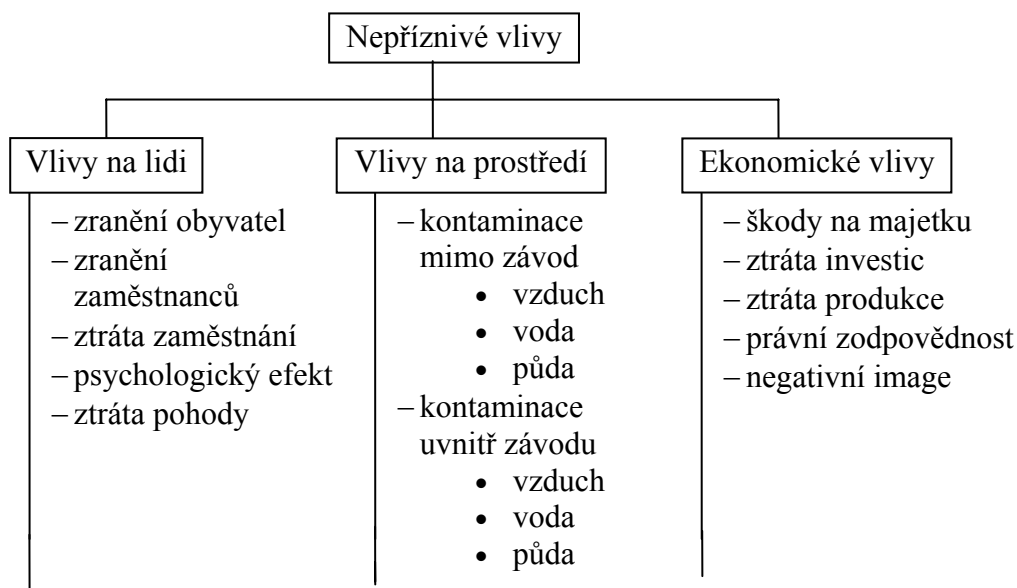
Závažná havárie je definována podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, jako mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, například závažný únik, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, a vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážnému dopadu na životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat a životní prostředí nebo k újmě na majetku.

Dopad havárie je podobný dlouhodobé zátěži životního prostředí průmyslovou činností (viz Obrázek č. 1) s tím rozdílem, že při havárii může dojít poměrně rychle k nevratným změnám či zničení životů lidí a organismů nebo zničení materiálních hodnot. Pro podnik znamená havárie hlavně ztráty na poli image a obchodního trhu, například ztrátou zájmu odběratelů, více než přímé materiální ztráty a pokles výroby.



Obrázek č. 1: Schéma dopadů průmyslové činnosti

I když největší riziko vyplývá ze široké škály chemických látek využívaných v chemickém průmyslu i ostatní odvětví průmyslu využívají velké množství nebezpečných látek nebo nebezpečných činností. Velký počet z těchto zdrojů rizik se nachází v malých a středních podnicích (SMEs), které jsou páteří ekonomiky státu. Nepříznivé vlivy na jednotlivé cíle dopadu jsou shrnuty na následujícím obrázku (viz Obrázek č. 2).



Obrázek č. 2: Nepříznivé vlivy vyplývající z nebezpečného procesu

Krajskému úřadu musí být oznámena každá závažná havárie způsobená nebezpečnou látkou uvedenou v příloze č. 1 k zákonu č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. Kritéria vymezující závažnou havárii podle jejich následků uvedená v příloze č. 3 k tomuto zákonu jsou rozdělena:

➤ z hlediska životů a zdraví lidí:

- a) úmrtí,
- b) zranění minimálně 6 zaměstnanců nebo ostatních fyzických osob zdržujících se v objektu nebo u zařízení, pokud jejich hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,
- c) zranění minimálně jednoho občana mimo objekt nebo zařízení, pokud jeho hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,
- d) poškození jednoho nebo více obydlí mimo objekt nebo zařízení, které se v důsledku havárie stalo neobyvatelné,
- e) nutnosti provedení evakuace nebo ukrytí občanů v budovách po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba evakuace nebo ukrytí občanů (počet občanů x doba) přesáhla 500 hodin,
- f) přerušení dodávky pitné vody, elektrické a tepelné energie, plynu nebo telefonního spojení po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba přerušení dodávky (počet občanů x doba) přesáhla 1 000 hodin,

➤ z hlediska poškození životního prostředí na:

- a) území chráněném podle zvláštních předpisů, tj. chráněných územích, vyhlášených pásmech ochrany vodních zdrojů a pásmech ochrany zdrojů minerálních vod o rozloze stejné nebo větší než 0,5 ha,
- b) ostatním území o rozloze stejné nebo větší než 10 ha,

- c) toku řeky nebo vodního kanálu o délce stejné nebo větší než 10 km,
 - d) vodní hladině jezera nebo nádrže, které nemají statut vodárenské nádrže podle zvláštního právního předpisu, o rozloze dosahující nebo přesahující 1 ha,
 - e) kolektoru, tj. satureované a nesatureované zóny v místě jímání nebo akumulace podzemních vod, nebo znečištění podzemních vod o rozloze stejné nebo větší než 1 ha,
- z hlediska škod na majetku:
- a) poškození objektu nebo zařízení původce závažné havárie ve výši stejné nebo převyšující 70 mil. Kč,
 - b) poškození majetku mimo objekt nebo zařízení původce havárie ve výši stejné nebo převyšující 7 mil. Kč,
 - c) závažná havárie vedoucí k následkům mimo území České republiky.

2.1. Základní pojmy

Pro účely prevence závažných havárií a hodnocení rizik je nezbytné rozlišovat dva základní pojmy: nebezpečí (zdroj rizika) a riziko.

Nebezpečí (Hazard) - vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku závažné havárie.

Nebezpečí je vlastnost látky nebo jevu/děje/faktoru způsobit neočekávaný negativní jev - latentní vlastnost objektu. Jako objekty je třeba zahrnovat veškeré technické zařízení, látky a materiály, organizaci práce a jiné činnosti, které mohou ohrozit zdraví a životy lidí, způsobit materiální škody anebo poškodit životní prostředí. Je to vlastnost „vrozená“ (daný subjekt jí nelze zbavit), projeví se však pouze tehdy, je-li člověk jejímu vlivu vystaven (je exponován). Synonymem je pojem zdroj rizika.

Riziko (Risk) - pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností.

Riziko je definováno jako kombinace pravděpodobnosti vzniku negativního jevu a jeho následku. V komplexním pojetí je riziko chápáno jako relace mezi očekávanou ztrátou (poškození zdraví, ztrátou života, ztrátou majetku atd.) a neurčitostí uvažované ztráty (zpravidla vyjádřenou pravděpodobností nebo frekvencí výskytu).

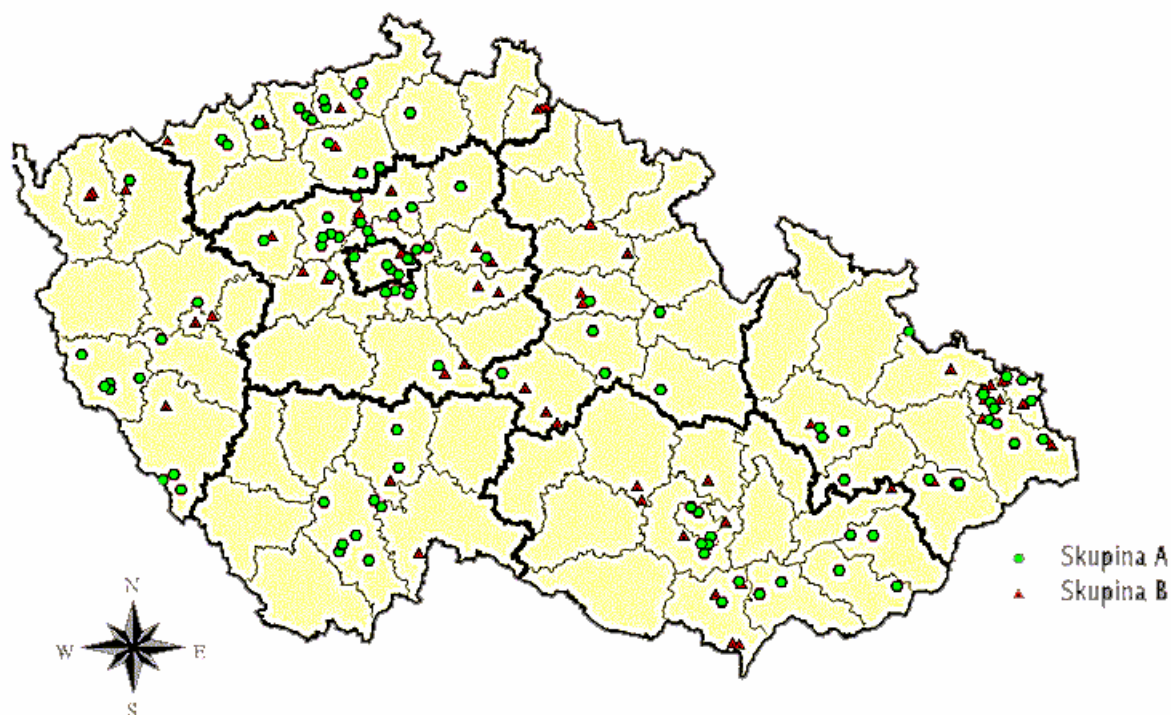
Někdy se využívá rovněž termínu EXPOZICE (doba působení). Je nezbytné si uvědomit, že riziko se rovná nule pouze v případě, že expozice dané látky nenastává (je nulová).

Další důležité pojmy jako scénář, domino efekt, atd. jsou definovány v zákoně o prevenci závažných havárií.

2.2. Legislativní rozbor

Vydávání zákona o prevenci závažných havárií se váže na výskyt velkých průmyslových havárií. Po mnoha haváriích ve světě a především po havárii v italském Seveso (1976) vznikla v Evropském společenství takzvaná Seveso direktiva 82/501/EEC on the Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities. V roce 1996 vyšla novela direktivy Seveso 96/82/EC - Control of Major Accident Hazards Involving Dangerous Substances – známá pod názvem SEVESO II.

Právě jako implementace evropské direktivy 96/82/EC - Seveso II byl na konci roku 1999 přijat zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky (dále jen zákon o prevenci závažných havárií). Tento zákon se vztahuje na přibližně 150 průmyslových podniků v ČR (viz Obrázek č. 3) a ustanovuje základní povinnosti provozovatelům těchto objektů. Tento zákon určuje limity pro zařazení do jednotlivých skupin (skupina A – menší množství nebezpečných látek na území průmyslového podniku; skupina B – větší množství látek) a v průběhu jeho platnosti se provozovatelé přihlašují k povinnostem, které jim tato legislativa ukládá.



Pozn.: stav z roku 2005 = 158 objektů - skupina A 81 objektů, skupina B 77 objektů

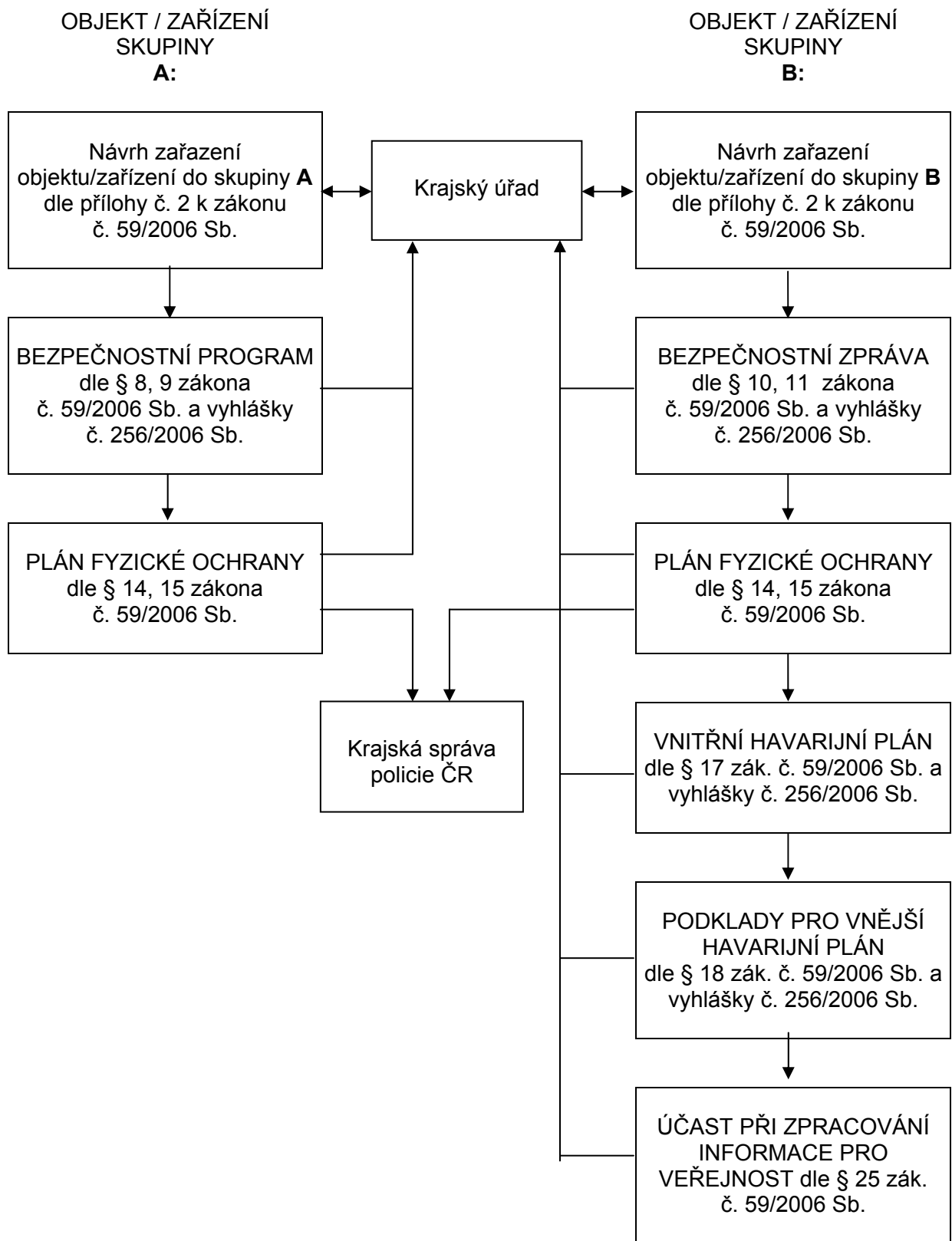
Obrázek č. 3: Územní rozložení objektů v působnosti zákona č. 353/1999 Sb.

Z krátké historie působení zákona lze konstatovat, že tento zákon představuje významný přínos pro prevenci závažných havárií v objektech, kde

se nakládá s nadlimitním množstvím vybraných nebezpečných látek. Na druhé straně je zřejmé, že většina podniků není dostatečně připravena na plnění náročných úkolů, a proto byla bezpečnostní dokumentace ve velkém počtu opakovaně vrácena k přepracování. V průběhu doby byl zákon postupně novelizován (např. zákon č. 82/2004 Sb., úplné znění zákon č. 349/2004 Sb.). Smyslem novelizace bylo upřesnění některých pojmů, postupů, rozsahů poskytovaných informací. Nově byl vložen paragraf týkající se plánu fyzické ochrany. Tento nový paragraf je reakcí na možnost útoků na objekty a neoprávněných vniknutí do objektů, jichž se zákon týká.

Od 1. června 2006 vstoupil v platnost nový zákon o prevenci závažných havárií (**zákon č. 59/2006 Sb.**), který zahrnuje aktuální změny z příslušné legislativy EU a ruší tím platnost zákona č. 353/1999 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Mezi hlavní důvody vypracování nového zákona patří implementace změn ve směrnici Seveso II v roce 2003 (č. 2003/105/ES) jako reakce na závažné havárie minulých let – únik kyanidů z odkaliště dolu v rumunském Baia Mare (2000), požár skladiště pyrotechnických pomůcek v holandském Enschede (2000) a požár a výbuch ve francouzské továrně na výrobu průmyslových hnojiv v Toulouse (2001). Zákon byl změněn a doplněn v návaznosti na zkušenosti státní správy a provozovatelů objektů získané během 5-ti let působení zákona č. 353/1999 Sb. Z důvodu lepší srozumitelnosti a přehlednosti bylo vypracováno nové znění zákona, ale splnění požadavků existujícího zákona je zcela postačující i pro požadavky nového zákona.

Na následujícím schématu (viz Obrázek č. 4) jsou znázorněny základní povinnosti pro průmyslové podniky vyplývající ze zákona o prevenci závažných havárií.



Obrázek č. 4: Postup vypracování bezpečnostní dokumentace podle zákona o prevenci závažných havárií

K zákonu č. 59/2006 Sb. platí od 1.6. 2006 tři novelizované prováděcí předpisy:

- nařízení vlády č. 254/2006 Sb., o kontrole nebezpečných látek;
- vyhláška č. 255/2006 Sb., o rozsahu a způsobu zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie;
- vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií.

Související legislativa:

Základním zákonem zabývající se otázkami prevence rizik je zákoník práce (zákon č. 262/2006 Sb., s účinností od 1. 1. 2007). Ten ve své části páté: „Bezpečnost a ochrana zdraví při práci“ ukládá provozovatelům povinnost vyhledávat rizika, zjišťovat jejich příčiny a zdroje a přijímat opatření k jejich odstranění. I když toto ustanovení má širokou působnost, obecně je chápáno především ve smyslu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) vlastních zaměstnanců.

V časové posloupnosti byl dalším zákonem částečně se zabývajícím bezpečností zákon č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA – Environmental Impact Assessment), který byl změněn zákonem č. 100/2001 Sb., ve znění zákona č. 93/2004 Sb. Tento zákon ukládá povinnosti již v projekční fázi výstavby nových vybraných staveb a v předkládané dokumentaci musí být vyhodnoceny rizika havárií zejména vzhledem k navrženému použití látek a technologií (Část D III. Charakteristika environmentálních rizik při možných haváriích a nestandardních stavech). V praxi je ovšem tato kapitola zpracovávána většinou velice stručně a nevyužívá se tak možnosti prevence rizik již před výstavbou samotných zařízení.

Další zákonem v rámci implementace legislativy EU je zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečišťování (IPPC), ve znění pozdějších předpisů. Zákon zastřešuje oblast ochrany životního prostředí v průmyslových podnicích a zahrnuje rovněž požadavek prevence havárií a minimalizace jejich následků pro životní prostředí a pro zdraví člověka. Podle odborných odhadů se IPPC vztahuje na přibližně 1000 průmyslových podniků v ČR, z čehož je možné usuzovat, že se oblastí prevence havárií bude muset věnovat i celá řada podniků, které v současnosti nespadají pod účinnost zákona o prevenci závažných havárií.

Dále jsou v platnosti zákony pro přepravu nebezpečných látek rozdělené podle typu přepravy na silniční, železniční, leteckou a vodní dopravu. Vzhledem k podmínkám je ČR jsou nejdůležitější Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (ADR) a Řád o mezinárodní železniční přepravě

nebezpečných věcí (RID), který je přílohou č. 1 Úmluvy o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).

Shrnutí legislativního rozboru

Z uvedeného přehledu vyplývají některé následující skutečnosti:

- zákon o prevenci závažných havárií se vztahuje na úzkou skupinu nebezpečných chemických látek (podle limitů v příloze zákona),
- zákony pro ochranu životního prostředí (IPPC a EIA) mají širší záběr zdrojů rizik a svými požadavky tak mohou přispívat k prevenci závažných havárií,
- další zákony jsou zaměřeny na specifické zdroje rizik (přeprava, bezpečnost při práci, apod.).

Lze konstatovat, že oblasti prevence závažných havárií se dotýká celá řada právních předpisů, které přispívají ke zvyšování bezpečnosti.

2.3. Havárie v minulosti

Nejznámější velké havárie ve světě:

FEYZIN (Francie) - 1966, kde došlo k úniku propan-butanu ze zásobníku přes zamrzlé ventily. Mrak par byl iniciován ze 160 m vzdálené dálnice, došlo nejprve k požáru a později k výbuchu zásobníku, který rozbil další zásobníky.

FLIXBOROUGH (VB) - 1974, tato havárie způsobila 24 smrtelných úrazů, 36 lidí bylo zraněno, 1821 domů a 167 obchodů bylo poškozeno. K nehodě došlo po zapnutí obtoku nefungujícího reaktoru, kdy toto obtokové potrubí prasklo a uniklo 30 tun cyklohexanu. Po 45 vteřinách nastala exploze.

SEVESO (Itálie) - 1976, při této havárii došlo k úniku polychlorovaného dibenzodioxinu z reaktoru do ovzduší a k následné kontaminaci okolí (asi 10 km²). Příčinou bylo nedodržení standardních provozních procedur před víkendovou odstávkou závodu. Dnes je továrna srovnána se zemí, území je dekontaminováno a po navezení hlíny je zde vybudováno sportoviště.

BHÓPÁL (Indie) - 1984, kde při výrobě pesticidů unikl meziprodukt metylisokyanát. Do zásobníku s metylisokyanátem se dostala voda a po chemické reakci se uvolnil 25 tunový mrak. Zahynulo nejméně 2 000 místních obyvatel, na zařízení nebyly žádné škody.

HOUSTON (USA) - 1989, kde v rafinérii ropy došlo k požáru a výbuchu. Bylo zabito 23 dělníků a více než 130 dělníků bylo zraněno. Škody na majetku dosáhly asi 750 milionů USD. Při pravidelné údržbě reaktoru pro výrobu

polyethylenu unikl mimořádně hořlavý procesní plyn. Trosky z výbuchu byly nalezeny až 9,7 km od místa exploze.

Závažné havárie se nevyhýbají ani České republice, dokladem toho může být rok 2002, kdy se staly 3 závažné havárie (Spolana, Spolchemie, BorsodChem), které byly hlášeny Evropské unii do střediska MAHB (Major Accident Hazards Bureau) v italské Ispře. Příkladem dalších známých havárií jsou havárie v Košicích (1996), kde při úniku oxidu uhelnatého zemřelo 9 lidí, havárie v Olomouci (1996), která způsobila smrt 2 lidí po intoxikaci sulfanem, který vznikl únikem kyseliny sírové do kanalizace nebo velký požár v Litvínově (1996), který měl nepříznivý vliv na okolní životní prostředí.

Závažné havárie se netýkají pouze velkých chemických podniků, často se vyskytují i v malých a středních podnicích. Následující tabulka uvádí přehled vybraných havárií v ČR v objektech nezařazených pod účinnost zákona o prevenci závažných havárií (informace byly získány z denního tisku a Internetu).

Tabulka č. 1: Přehled vybraných havárií v nezařazených objektech

Datum	Zařízení	Příčina	Následek	Škoda
14.6.1999	Zimní stadion Příbram	Prasklé potrubí	Únik 0,5 t čpavku do příbramského potoka	
1.7.1999	Textilka Toray v Prostějově	Chyba obsluhy – nasypání 350 kg chlornanu sodného do kyselého roztoku	Následnou reakcí uvolnění chloru	Podráždění sliznic 7 lidí
24.7.2000	Sladovna v Hodonicích u Znojma	Špatná práce při opravě chladicího zařízení	Únik 80 – 100 kg čpavku do Dyje, uhynutí ryb, zamoření Dyje	Cca 500 tis Kč
6.8.2000	Zimní stadion na Štvanici - Praha 7	Zastaralé vybavení strojovny	Únik několika kg čpavku	Nikdo zraněn
29.8.2000	Mochovské mrazírny	Prasklé potrubí	Únik čpavku	6 těžce zraněných zaměstnanců
2.5.2001	Masokombinát Cheb	Prasklé těsnění chladicího kompresoru	Únik cca 15 kg čpavku, následná evakuace 112 osob	
23.8.2001	Zimní stadion Praha 10	Špatná úprava chladicího zařízení a následné prasknutí ventilu	Únik čpavku do okolí	Nikdo zraněný, škoda v desítkách tis. Kč
23.1.2002	Zimní stadion v Liberci	Neopatrná práce na tlakovém potrubí	Únik cca 50 kg čpavku z tlakového potrubí ve strojovně	Uzavření stadionu a okolí, odvolání chystaného zápasu
17.6.2003	Stanice LPG Praha 6	Avie narazila do stojanu LPG	Únik LPG z cisterny, uzavření celé ulice, později i blízké trati ČD.	Cca 200 tis. Kč
31.7.2003	Autodílna v Mladé Boleslavi	Výbuch plynu (PB láhve nebo acetylenové soupravy nebo LPG v autě)	Celková destrukce budovy autodílny a přilehlého okolí	1,5 mil.Kč, 1 osoba mrtvá.
7.8.2003	Masokombinát Praha 6	Vadná elektroinstalace, nedbalost, úmysl	Požár	Cca 150 mil. Kč
22.8.2003	Masokombinát Hroznětín (Karlovarsko)	Nedbalost	Únik cca desítek kg čpavku přes jímku do kanalizace a čpavkové vody do řeky	Uhynutí pstruhů v řece

Příklady velkých průmyslových havárií nás varují před oddalováním řešení této problematiky. Ze statistiky 530 havárií vyplývají tyto nejčastější příčiny a následky havárií (podle jiných statistik je příčinou havárií až z 80 % lidská chyba):

PŘÍČINY:

➤	VADY MATERIÁLU	48 %
➤	CHYBA ČLOVĚKA	31 %
➤	CHEMICKÁ REAKCE	12 %
➤	JINÉ PŘÍČINY	18 %
➤	VNĚJŠÍ VLIVY	7 %

NÁSLEDKY:

➤	TOXICKÉ EMISE	21 %
➤	POŽÁRY	21 %
➤	ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ	17 %
➤	EXPLOZE	12 %
➤	ZNEČIŠTĚNÍ VODY	45 %











2.4. Klasifikace nebezpečných látek

Klasifikace nebezpečných látek se řídí podle zákona č. 345/2005 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích (úplné znění – zákon č. 434/2005 Sb.). Klasifikace spočívá v zařazení látky do jedné nebo více skupin nebezpečnosti a na základě výsledků klasifikace se látce nebo přípravku přiřadí standardní věty označující specifickou rizikovost (R-věty). Klasifikace se uvádí ve zkrácené formě symbolem představujícím nebezpečnou vlastnost a příslušnou R-větou nebo větami charakterizujícími rizikovost (u některých vlastností je uváděna místo symbolu jen R-věta, např. R10 - hořlavá). Následuje přehled symbolů pro zařazení látek do skupin nebezpečnosti:

- E - výbušná
- O - oxidující
- F+ - extrémně hořlavá
- F - vysoce hořlavá
- R10 - hořlavá
- T+ - vysoce toxická
- T - toxická
- Xn - zdraví škodlivá
- C - žíravá
- Xi - dráždivá

R42 anebo R43 - senzibilizující
 Karc. kat. (1, 2 nebo 3) - karcinogenní
 Mut. kat. (1, 2 nebo 3) - mutagenní
 Repr. kat. (1, 2 nebo 3) - toxická pro reprodukci
 N a/nebo R52, R53, R59 - nebezpečná pro životní prostředí

Pro obaly nebezpečných látek se používají následující piktoagramy:

E	O	F+	F	C
				
výbušný	oxidující	extrémně hořlavý	vysoce hořlavý	žíravý
T+	T	Xn	Xi	N
				
vysoce toxický	toxický	zdraví škodlivý	dráždivý	nebezpečný pro živ. prostředí

Vyhláška č. 369/2005 Sb. obsahuje seznam dosud klasifikovaných nebezpečných látek, u kterých byla odsouhlasena harmonizovaná klasifikace a označování na obalech. Informace v tabulce jsou rozděleny do čtyř základních částí:

1. identifikace nebezpečné látky,
2. informace pro označení obalu,
3. informace pro klasifikaci přípravku,
4. poznámka.

Pro účely identifikace jednotlivých chemických látek jsou uváděny tři druhy číselných údajů- indexové číslo, ES číslo a CAS číslo.

Indexové číslo se udává ve tvaru ABC-RST-VW-Y, kde první tři čísla vyjadřují buď atomové číslo nejcharakterističtějšího chemického prvku nebo obvyklé číslo třídy organických látek. Příklad indexového čísla pro bezvodý amoniak je 007-001-00-5.

Číslo ES je sedmimístné číslo pro nebezpečné látky uvedené v evropském seznamu obchodovatelných látek (EINECS) nebo v seznamu nových látek (ELINCS). Příklad čísla ES pro bezvodý amoniak je 231-635-3.

CAS číslo (Chemical Abstracts Service) je uváděno pro lepší identifikaci chemických položek, protože u řady látek existují synonyma. Příklad CAS čísla pro bezvodý amoniak je 7664-41-7.

Jako vzor seznamu dosud klasifikovaných nebezpečných látek ve vyhlášce č. 369/2005 Sb. je níže uvedena tabulka č. 2 pro amoniak.

Tabulka č. 2: Klasifikace amoniaku v seznamu dosud klasifikovaných nebezpečných látek

Identifikace nebezpečné látky		Informace pro označení obalu			Informace pro klasifikaci přípravku		Poznámka
CAS číslo ES číslo Indexové číslo	Klasifikace R-věty	Symbol	R-věty	S-věty	Koncentrační limit (v %)	Klasifikace; R-věty	
Název: Amoniak, bezvodý							
7664-41-7 231-635-3 007-001-00-5	R10 T; R23 C; R34 N; R50	T N	R10-23-34-50	S(1,2)-9-16-26-36/37/39-45-61	$c \geq 25\%$	T, N, R23-34-50	
					$5\% \leq c < 25\%$	T; R23-34	
					$0,5\% \leq c < 5\%$	Xn; R20-36/37/38	

Z praktických zkušeností je potřeba upozornit na častou chybu v klasifikaci nebezpečných látek, kdy je za klasifikaci látky použit symbol z obalu. Například pro karcinogenní látky je symbol na obalu T, ale klasifikace pouze Karc. kat. (1, 2 nebo 3). Tyto chyby mohou mít vliv na špatné zařazení podniku do příslušné skupiny podle zákona o prevenci závažných havárií.

Proto je vhodné klasifikaci látky zkontrolovat ve vyhlášce č. 369/2005 Sb. Nepřesná klasifikace se může vyskytnout i v bezpečnostních listech, které musí zpracovat výrobce nebo dovozce nebezpečné látky. Dalším zdrojem informací o klasifikaci a nebezpečných vlastnostech látek mohou být různé databáze. K nejznámějším českým databázím patří MedisAlarm, Danela a ekotoxikologická databáze (<http://www.piskac.cz/ETD/>). Nejznámější světové databáze jsou HSDB, Hazardtext, RTECS, CHRIS, IRIS a další.

2.5. Bezpečnostní list

Bezpečnostní list je souhrn identifikačních údajů o výrobcí nebo dovozci, o nebezpečné látce nebo přípravku a údajů potřebných pro ochranu zdraví člověka a životního prostředí.

Zpracování bezpečnostního listu se řídí vyhláškou č. 460/2005 Sb., kterou se mění vyhláška 231/2004 Sb. Bezpečnostní list je členěn do 16 povinných kapitol:

1. Identifikace látky nebo přípravku a výrobce nebo dovozce
2. Informace o složení přípravku
3. Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku
4. Pokyny pro první pomoc
5. Opatření pro hasební zásah
6. Opatření v případě náhodného úniku látky nebo přípravku
7. Pokyny pro zacházení s látkou nebo přípravkem
8. Omezování expozice látkou nebo přípravkem a ochrana osob

9. Informace o fyzikálních a chemických vlastnostech látky nebo přípravku
10. Informace o stabilitě a reaktivitě látky nebo přípravku
11. Informace o toxikologických vlastnostech látky nebo přípravku
12. Ekologické informace o látce nebo přípravku
13. Pokyny pro odstraňování látky nebo přípravku
14. Informace pro přepravu látky nebo přípravku
15. Informace o právních předpisech vztahujících se k látce nebo přípravku
16. Další informace vztahující se k látce nebo přípravku

2.6. Zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo skupiny B

Zařazení průmyslového podniku do skupiny A nebo B (anebo nezařazení objektu pod účinnost zákona) je první významnou povinností podniků, která se řídí přílohou č. 1 zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. Proto jsou v dalším textu shrnuty potřebné údaje pro zařazení objektu a je uveden příklad výpočtu podle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí [1].

Pro zařazení objektu platí následující pravidla:

1. Nebezpečná látka umístěná v objektu nebo zařízení pouze v množství stejném nebo menším než 2 % množství nebezpečné látky uvedené v tabulce I nebo tabulce II nebude pro účely výpočtu celkového umístěného množství nebezpečné látky uvažována, pokud její umístění v objektu nebo zařízení je takové, že nemůže působit jako iniciátor závažné havárie nikde na jiném místě objektu nebo zařízení.

2. Pokud nebezpečná látka nebo více nebezpečných látek uvedených v tabulce I náleží také do některé skupiny s vybranou nebezpečnou vlastností uvedené v tabulce II, použije se pro jejich zařazení do skupiny A nebo skupiny B množství uvedené v tabulce I.

3. Jde-li o nebezpečnou látku, která má více nebezpečných vlastností uvedených v tabulce II, použije se pro její zařazení do skupiny A nebo skupiny B nejmenší množství z množství uvedených u jejích nebezpečných vlastností v tabulce II.

4. V případě, že je nebezpečná látka umístěna na více místech objektu nebo zařízení, provede se součet všech dílčích množství jednoho druhu nebezpečné látky, která jsou v objektu nebo zařízení umístěna. Tento součet je výchozím množstvím nebezpečné látky, podle kterého se objekt nebo zařízení zařadí do skupiny A nebo B.

Tabulka I – Jmenovitě vybrané nebezpečné látky

Položka	Nebezpečné látky	množství v tunách	
		sloupec 1	sloupec 2
1.	Dusičnan amonný (viz poznámka 1)	5 000	10 000
2.	Dusičnan amonný (viz poznámka 2)	1 250	5 000
3.	Dusičnan amonný (viz poznámka 3)	350	2 500
4.	Dusičnan amonný (viz poznámka 4)	10	50
5.	Dusičnan draselný (viz poznámka 5)	5 000	10 000
6.	Dusičnan draselný (viz poznámka 6)	1 250	5 000
7.	Oxid arseničný, kyselina arseničná nebo její soli	1	2
8.	Oxid arsenitý, kyselina arsenitá nebo její soli		0,1
9.	Brom	20	100
10.	Chlór	10	25
11.	Sloučeniny niklu ve formě inhalovatelného prášku (oxid nikelnatý, oxid nikličitý, sulfid nikelnatý, disulfid trinklu, oxid niklitý)		1
12.	Ethylenimin	10	20
13.	Fluor	10	20
14.	Formaldehyd (koncentrace $\geq 90\%$)	5	50
15.	Vodík	5	50
16.	Chlorovodík (zkapalněný)	25	250
17.	Alkyly olova	5	50
18.	Zkapalněné extrémně hořlavé plyny (včetně LPG) a zemní plyn	50	200
19.	Acetylen	5	50
20.	Ethylenoxid	5	50
21.	Propylenoxid	5	50
22.	Methanol	500	5 000
23.	4,4-Methylenbis(2-chloranilin) nebo soli ve formě prášku		0,01
24.	Methyl-isokyanát		0,15
25.	Kyslík	200	2 000
26.	Toluen-diisokyanát	10	100
27.	Karbonyl dichlorid (fosgen)	0,3	0,75
28.	Arsenovodík (arsin)	0,2	1
29.	Fosforovodík (fosfin)	0,2	1
30.	Chlorid siriťatý		1
31.	Oxid sírový	15	75
32.	Ropné produkty: (a) automobilové a jiné benzíny (b) petroleje (včetně paliva pro tryskové motory) (c) plynové oleje (zahrnující motorové nafty, topné oleje pro domácnosti a jiné směsi plynových olejů)	2 500	25 000
33.	Polychlorované dibenzofurany a polychlorované dibenzodioxiny (včetně TCDD), počítané jako TCDD ekvivalent		0,001
34.	Tyto KARCINOGENY v koncentracích větších než 5 % hmotnostních: 4-aminobifenyl nebo jeho soli, benzotrichlorid, benzidin nebo jeho soli, bis(chlormethyl) ether, chlormethyl methyl ether, 1,2-dibromethan, diethyl sulfát, dimethyl sulfát, dimethylkarbamoyl chlorid, 1,2-dibrom-3-chlorpropan, 1,2-dimethyl hydrazin, dimethyl nitrosoamin, hexamethylfosfotriamid, hydrazin, 2-naftylamin nebo jeho soli, 4-nitrodifenyl a 1,3 propansulton	0,5	2

- Poznámka 1 - Dusičnan amonný (5 000/10 000) - hnojiva schopná samovolného rozkladu.
Poznámka 2 - Dusičnan amonný (1 250/5 000) - jakost pro hnojiva.
Poznámka 3 - Dusičnan amonný (350/2 500) - průmyslová jakost.
Poznámka 4 - Dusičnan amonný (10/50) - materiál nevyhovující požadované specifikaci a hnojiva, která nesplňují požadavky detonační zkoušky.
Poznámka 5 - Dusičnan draselný (5 000/10 000) - směsná hnojiva na bázi dusičnanu draselného s dusičnanem draselným ve formě granulí nebo mikrogranulí.
Poznámka 6 - Dusičnan draselný (1 250/5 000) - směsná hnojiva na bázi dusičnanu draselného s dusičnanem draselným v krystalické formě.

Tabulka II – Ostatní nebezpečné látky, klasifikované do skupin podle vybraných nebezpečných vlastností

Nebezpečné látky, které jsou klasifikovány jako	množství v tunách	
	sloupec 1	sloupec 2
1. Vysoce toxické	5	20
2. Toxické	50	200
3. Oxidující	50	200
4. Výbušné když látka, přípravek nebo předmět patří do podtřídy 1.4 Dohody ADR	50	200
5. Výbušné když látka, přípravek nebo předmět patří do kteréhokoliv z podtříd 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 nebo 1.6 Dohody ADR nebo jsou označeny standardními větami označujícími specifickou rizikovost R2 nebo R3	10	50
6. Hořlavé (viz poznámka 1(a))	5 000	50 000
7a. Vysoce hořlavé (viz poznámka 1(b) bod 1))	50	200
7b. Vysoce hořlavé kapaliny (viz poznámka 1(b) bod 2))	5 000	50 000
8. Extrémně hořlavé (viz poznámka 1(c))	10	50
9. Nebezpečné pro životní prostředí, označené standardními větami označujícími specifickou rizikovost: i) R50: vysoce toxické pro vodní organismy (zahrnující R50/53) ii) R51/53: toxické pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí	100 200	200 500
10. Další nebezpečné vlastnosti které nejsou uvedeny výše ve spojení se standardními větami označujícími specifickou rizikovost: i) R14: reaguje prudce s vodou (včetně R14/15) ii) R29: při styku s vodou se uvolňuje toxický plyn	100 50	500 200

Poznámka 1

Pro účely tohoto zákona „hořlavá“, „vysoce hořlavá“ a „extrémně hořlavá“ znamená:

- a) hořlavé kapaliny: látky a přípravky, které mají bod vzplanutí vyšší než nebo rovno 21 °C a méně než nebo rovno 55 °C (označení specifické rizikovosti standardní větou R10), podporující hoření;
- b) vysoce hořlavé kapaliny
- 1) - látky a přípravky, které se mohou zahřát a nakonec vzplanout v kontaktu se vzduchem za okolní teploty bez jakéhokoli přívodu energie (označení specifické rizikovosti standardní větou R17),
- látky a přípravky, které mají bod vzplanutí nižší než 55 °C a které zůstávají pod tlakem kapalné, u kterých zejména podmínky zpracování jako vysoký tlak nebo vysoká teplota mohou vytvořit nebezpečí závažné havárie,
 - 2) látky a přípravky s bodem vzplanutí nižším než 21 °C, které nejsou extrémně hořlavé (označení specifické rizikovosti standardní větou R11, druhá odrážka písm. b) bod 1).

c) extrémně hořlavé plyny a kapaliny:

- 1) kapalné látky a přípravky, které mají bod vzplanutí nižší než 0 °C a bod varu (nebo v případě rozmezí varu počáteční bod varu), který je za normálního tlaku nižší nebo rovný 35 °C (označení specifické rizikovosti standardní větou R12), a
- 2) plyny, které jsou hořlavé ve styku se vzduchem za okolní teploty a tlaku (označení specifické rizikovosti standardní větou R 12), vyskytující se v plynném nebo nadkritickém stavu, a
- 3) hořlavé a vysoce hořlavé kapalné látky a přípravky udržované o teplotě nad jejich bodem varu.

Součet poměrného množství nebezpečných látek

1. U objektů a zařízení, ve kterých není přítomna žádná jednotlivá látka nebo přípravek v množství přesahujícím nebo rovnajícím se příslušným kvalifikačním množstvím se používá následující pravidlo pro zjištění, zda se na objekt nebo zařízení vztahují povinnosti provozovatele podle tohoto zákona:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_i}$$

kde:

q_i = množství nebezpečné látky i umístěné v objektu nebo zařízení,

Q_i = příslušné množství nebezpečné látky i uváděné ve sloupci 1 (při posuzování objektu nebo zařízení k zařazení do skupiny A) nebo sloupci 2 (při posuzování objektu nebo zařízení k zařazení do skupiny B) tabulky I nebo tabulky II,

n = počet nebezpečných látek,

N = ukazatel vyjadřující součet poměrů q_i ku Q_i .

2. Toto pravidlo se postupně použije pro vyhodnocení zdroje rizika souvisejícího s toxicitou, hořlavostí a ekologickou toxicitou:

- (a) pro sčítání látek a přípravků jmenovitě uvedených v Tabulce I a klasifikovaných jako toxické nebo vysoce toxické, spolu s látkami a přípravky uvedenými na řádcích 1 nebo 2 tabulky II;
- (b) pro sčítání látek a přípravků jmenovitě uvedených v Tabulce I a klasifikovaných jako podporující hoření, výbušné, hořlavé, vysoce hořlavé nebo extrémně hořlavé, spolu s látkami a přípravky uvedenými na řádcích 3, 4, 5, 6, 7a, 7b nebo 8 tabulky II;
- (c) pro sčítání látek a přípravků jmenovitě uvedených v Tabulce I a klasifikovaných jako nebezpečné pro životní prostředí R50 (včetně R50/53) nebo R51/53, spolu s látkami a přípravky uvedenými na řádcích 9(i) nebo 9(ii) Tabulky II;

Příslušná ustanovení tohoto zákona se uplatní, jestliže kterýkoliv ze součtů získaný pro (a), (b) nebo (c) je větší nebo se rovná 1.

3. Provozovatel zařadí objekt nebo zařízení do:

- a) skupiny A, jestliže je výsledek N roven nebo je větší než 1, při použití množství Q uvedeného ve sloupci 1 tabulky I nebo tabulky II,
 b) skupiny B, jestliže je výsledek N roven nebo je větší než 1, při použití množství Q uvedeného ve sloupci 2 tabulky I nebo tabulky II.

Příklad použití součtového vzorce pro zařazení objektu do příslušné skupiny

V následující tabulce je uveden přehled nebezpečných látek včetně umístěného množství v posuzovaném objektu.

Tabulka č. 3: Přehled nebezpečných látek pro příklad součtu poměrných množství [1]

Látka	Množství t	Klasifikace	Klasifikační množství	
			A	B
Aceton	150	Vysoce hořlavá kapalina	5 000	50 000
Dimethyl sulfát	0,3	Vysoce toxická	5	20
Dusitan sodný	5	Oxidující	50	200
Kyslík	20	Vybraná/oxidující	200	2 000
Motorový benzín	385	Vybraná/hořlavá kapalina	2 500	25 000
Peroxid vodíku	15	Oxidující	50	200
Thiofenol	5	Toxická	50	200
Zkapalněné extrémně hořlavé plyny	28	Vybraná/extrémně hořlavá	50	200

Z tabulky je patrné, že umístěné množství žádné z nebezpečných látek nepřekračuje klasifikační množství pro zařazení do skupiny A nebo B.

Z tohoto důvodu je použito součtového vzorce:

- a) Pro látky, které mají nebezpečné vlastnosti uvedené v bodech 1 (vysoce toxické) a 2 (toxické) Tabulky II zákona.

$$N = \frac{\text{dimethyl sulfát}}{5} + \frac{\text{thiofenol}}{50}$$

$$N = \frac{0,3}{5} + \frac{5}{50} = 0,16 < 1$$

- b) Pro látky, které mají nebezpečné vlastnosti uvedené v bodech 7b (vysoce hořlavé kapaliny), 3 (oxidující), 6 (hořlavé) a 8 (extrémně hořlavé) Tabulky II zákona s klasifikačním množstvím pro zařazení do skupiny A.

$$N = \frac{\text{aceton}}{5\,000} + \frac{\text{dusitan sodný}}{50} + \frac{\text{kyslík}}{200} + \frac{\text{benzíny}}{2\,500} + \frac{\text{peroxid vodíku}}{50} + \frac{\text{zkapalněné extrémně hořlavé plyny}}{50}$$

$$N = \frac{150}{5000} + \frac{5}{50} + \frac{20}{200} + \frac{385}{2500} + \frac{15}{50} + \frac{28}{50} = 1,244 > 1$$

Pro druhý případ, ve kterém vychází ukazatel $N > 1$, se provede součet rovněž s klasifikačním množstvím pro zařazení do skupiny B (pouze pro látky v množství větším než 2 % klasifikačního množství pro zařazení do skupiny B).

	dusitan sodný	peroxid vodíku	zkapalněné extrémně hořlavé plyny
N =	-----	-----	-----
	200	200	200
	5	15	28
N =	-----	-----	-----
	200	200	200
			= 0,24 < 1

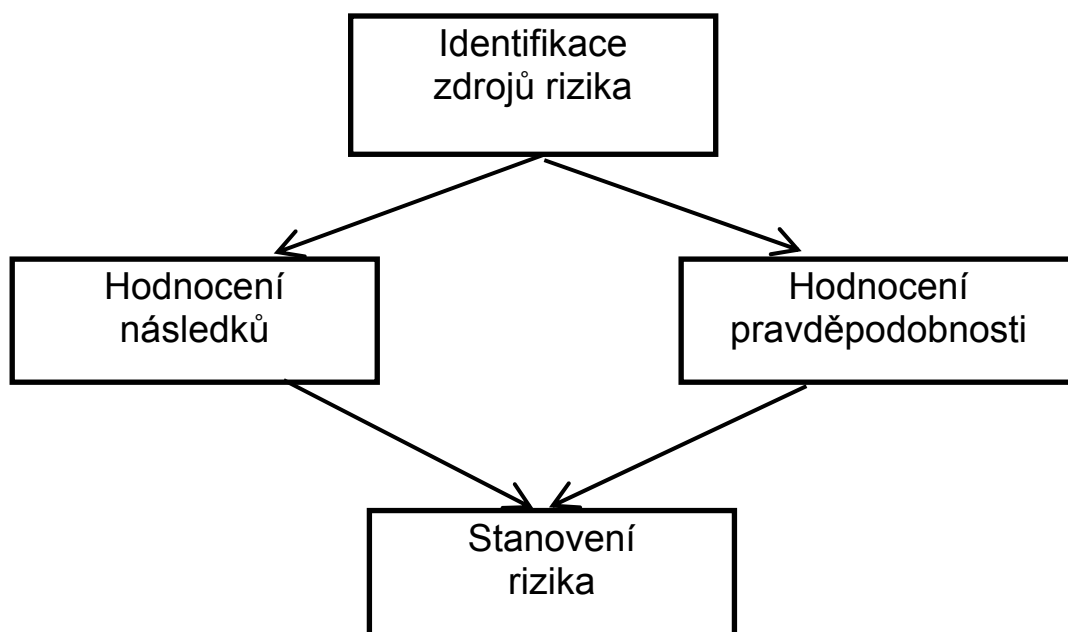
Výsledkem použití součtového vzorce je zařazení objektu do skupiny A.

3. Hodnocení rizik

Podle zákona o prevenci závažných havárií je provozovatel objektu povinen provést pro účely zpracování bezpečnostního programu nebo bezpečnostní zprávy analýzu a hodnocení rizik závažné havárie, ve které uvede:

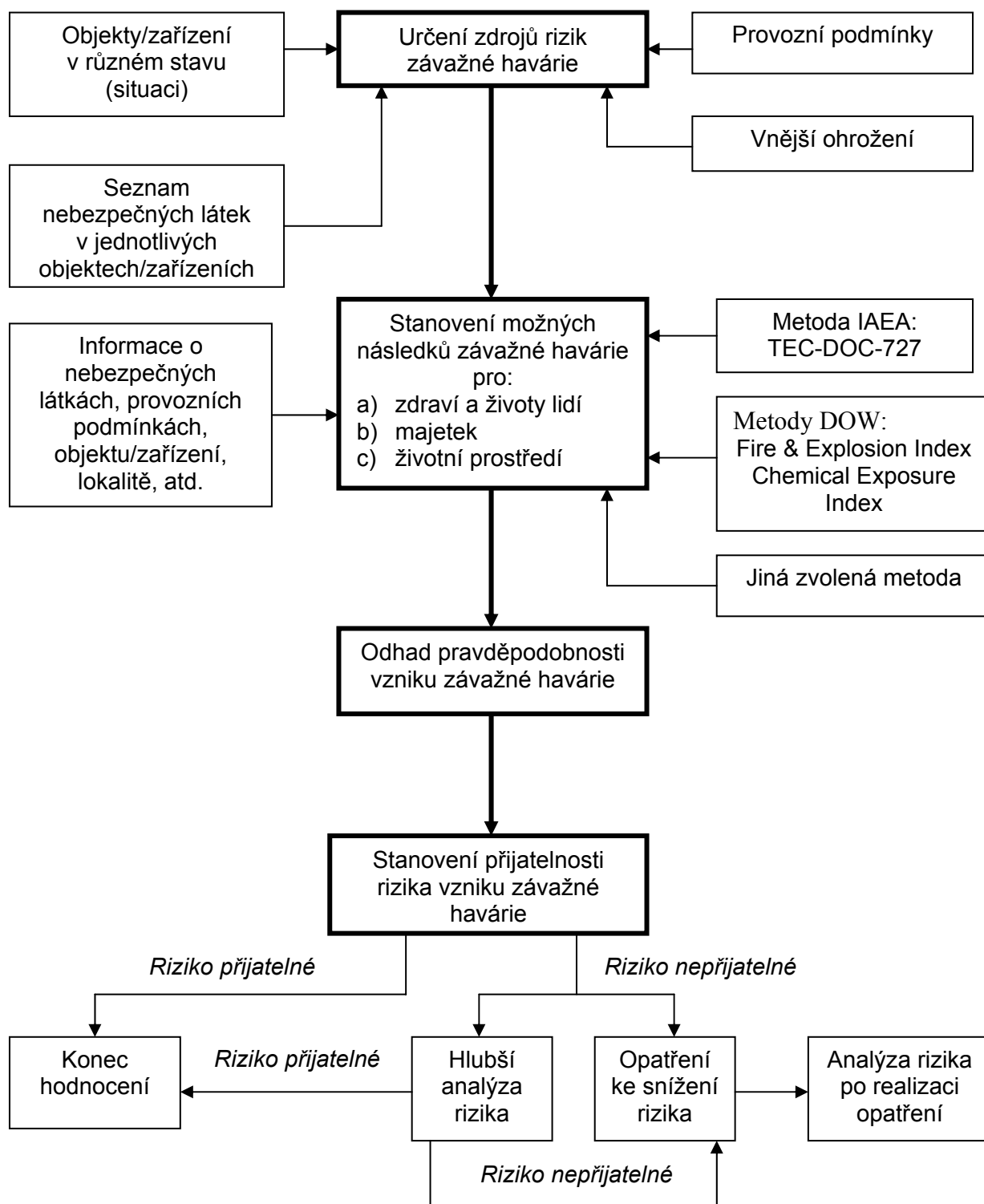
- a) identifikaci zdrojů rizika (nebezpečí),
- b) určení možných scénářů událostí a jejich příčin, které mohou vyústit v závažnou havárii,
- c) odhad dopadů možných scénářů závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek,
- d) odhad pravděpodobností scénářů závažných havárií,
- e) stanovení míry rizika,
- f) hodnocení přijatelnosti rizika vzniku závažných havárií.

Na následujícím schématu (viz Obrázek č. 5) jsou znázorněny 4 základní kroky analýzy rizik závažných havárií. V dalším textu budou představeny nejčastěji využívané metody pro provedení těchto základních kroků analýzy rizik.



Obrázek č. 5: Základní kroky analýzy rizik [2]

Na dalším schématu (viz Obrázek č. 6) jsou tyto základní kroky detailně popsány formou doporučeného schématu hodnocení rizik pro podniky zařazené do méně závažné skupiny A.



Obrázek č. 6: Kostra metodologie hodnocení rizik pro zpracování bezpečnostního programu

3.1. Dílčí metody analýzy rizik

Výběr vhodné metody pro bezpečnostní studii je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují kvalitu provedení bezpečnostní studie. V praxi je využíváno velké množství metod v různých variantách, ale většinou vycházející jen z několika nejznámějších a nejuznávanějších metod (tabulka č. 4), od kterých se zásadně neliší.

Tabulka č. 4: Přehled nejvyužívanějších dílčích metod

<i>Český název metody</i>	<i>Anglický název metody</i>	<i>Zkratka</i>
Indexové metody	Relative Ranking	RR
Revize bezpečnosti	Safety Review	SR
Kontrolní seznam	Checklist Analysis	CL
Předběžná analýza ohrožení	Preliminary Hazard Analysis	PHA
Analýza "Co se stane, když...."	What-If Analysis	WI
"Co se stane, když" / kontrolní seznam	What-If / Checklist Analysis	WI/CL
Analýza nebezpečnosti a provozovatelnosti	Hazard and Operability Analysis	HAZOP
Analýza příčin a následků poruch	Failure Modes and Effects Analysis	FMEA
Analýza stromem poruch	Fault Tree Analysis	FTA
Analýza stromem událostí	Event Tree Analysis	ETA
Analýza příčin a následků	Cause - Consequence Analysis	CCA
Analýza lidského faktoru	Human Reliability Analysis	HRA

Tyto nejvyužívanější metody mají rozdílné použití podle velikosti a složitosti procesu, podávají různé druhy výsledků, jsou odlišně náročné na pracovní tým a čas. Některé metody na sebe navazují nebo se překrývají, jiné jsou nesrovnatelné. Volbu metody ovlivňuje několik faktorů jako cíl a typ studie, zkušenosti pracovního týmu, dostupnost potřebných informací a samozřejmě ekonomické náklady na studii.

3.1.1 Indexové metody (RR)

Společným rysem této skupiny metod rychlého posuzování bezpečnosti procesu je využívání indexů pro oceňování nebezpečných vlastností procesu. Bezpečnost procesu se klasifikuje podle indexu pro toxicitu látek a indexu pro požár a výbuch do tří kategorií nebezpečnosti. Principem metod je bodové ohodnocování dílčích operací procesu a procesních podmínek na základě stanovených výpočtů. Indexové metody se používají nejčastěji ve fázi projektování zařízení, ale mohou být využívány v kterékoli fázi života zařízení. Často se jimi porovnávají různé varianty řešení projektu. Studie provádí jeden

nebo více analytiků, časová náročnost závisí na velikosti a složitosti provozu, ale nepřesahuje 2 týdny.

Indexové metody jsou vyvíjeny různými chemickými společnostmi pro specifické procesy, proto jich existuje celá řada, ale v principu jsou si velmi podobné:

Dow Fire and Explosion Index (F&EI) - metoda pro posuzování nebezpečí požáru a výbuchu u procesních jednotek.

Mond Index - metoda posuzuje kromě požáru a výbuchu i toxicitu látek.

Rapid Ranking - metoda identifikující nebezpečí požáru a výbuchu a také ohrožení toxickou látkou.

Substance Hazard Index (SHI) - metoda klasifikující nebezpečnost látek porovnáním prudce toxické koncentrace látky ve vzduchu a rovnovážné koncentrace látky za normální teploty.

Material Hazard Index (MHI) - metoda stanovuje přípustné limitní množství nebezpečné látky z hlediska bezpečnosti provozu.

Chemical Exposure Index (CEI) - metoda pro posouzení ohrožení toxickou látkou.

Threshold Planning Quantity Index (TPQ) - metoda určující přípustné limity množství látky, při překročení musí být provedena bezpečnostní opatření.

3.1.2 Revize bezpečnosti (SR)

Revize bezpečnosti patří mezi nejstarší metody. Je založena na inspekčních pochůzkách na existujícím zařízení nebo posuzování výkresů v době projektování, často se využívá před spuštěním procesu. Metoda potřebuje navázání spolupráce a konzultace mezi analytikem a personálem. Revize bezpečnosti identifikuje nebezpečné podmínky a provozní postupy, analytik navrhuje ochranné opatření, které mohou být ověřovány následnými kontrolami. Výsledkem je kvalitativní popis možných bezpečnostních problémů a nápravné činnosti. Náročnost studie se pohybuje od 1 dne do několika týdnů.

3.1.3 Kontrolní seznam (CL)

Analýza pomocí již existujícího kontrolního seznamu je jednoduchá metoda podávající otázky na nedostatky a odlišnosti provozního postupu a umožňuje tak navrhnout bezpečnostní zlepšení. V případě vytváření nového seznamu využívá analytik informace s příslušných norem a předpisů, seznam vytvořený zkušeným týmem zajišťuje jeho lepší kvalitu. Pracnost vytváření seznamu závisí na účelu, podkladech a složitosti zařízení. Metodu kontrolního seznamu lze použít v libovolné fázi života procesu, často se využívá při

projektování jako kontrola souladu se standardními podmínkami. Kontrolní seznam se může kombinovat i s jinými metodami (např. metoda "Co se stane, když...").

3.1.4 Předběžná analýza ohrožení (PHA)

Předběžná analýza ohrožení je metoda vyvinutá pro hodnocení bezpečnosti v armádě Spojených států amerických. V průmyslu se využívá především ve fázi návrhu projektu zařízení, ale může se aplikovat i na stávající zařízení, většinou jako první část komplexní studie bezpečnosti s pozdějším využitím podrobnější metody. Metoda umožňuje nenáročným způsobem identifikovat ohrožení před samotnou výstavbou zařízení a tím minimalizovat náklady na případné změny. Pomáhá i při volbě umístění provozu. Výhodou je včasné seznámení všech pracovníků s možnými druhy nebezpečí procesu a zvládnutí bezpečnosti od počátku života zařízení.

Samotná metoda využívá kombinace charakteristik procesu a typových situací ohrožení, např. kombinace MEZIPRODUKT a POŽÁR může odhalit nízké hodnoty zápalnosti meziprojektu a tím navrhnout ochranné opatření. Jako charakteristiky procesu uvažujeme:

- suroviny, meziprojekt, produkty a jejich reaktivita
- vybavení procesu a jeho uspořádání
- provozní činnosti a údržba
- provozní prostředí
- vazby mezi prvky systému

Mezi potenciální ohrožení ve většině případů patří požár, exploze, toxicita, koroze, záření, hluk, vibrace, zabití elektrickým proudem, mechanická porucha a další zvláštní druhy ohrožení.

Po identifikaci nebezpečí se vyhodnocují možné příčiny a následky nehod a výsledkem je zařazení události do jedné ze čtyř kategorií nebezpečí: zanedbatelné, obvyklé, závažné a katastrofické nebezpečí. Tato klasifikace může sloužit pro určení priorit při snižování ohrožení. Výsledky studie se mohou zapisovat do přehledné tabulky, která obsahuje identifikovaná nebezpečí, příčiny a následky nehod, kategorii nebezpečí a doporučené opatření. Studii může provést jeden analytik, ale více členů týmu je předností, časová náročnost se pohybuje mezi 1 - 3 týdny.

3.1.5 Analýza What if (WI)

Tato v průmyslu často užívaná metoda je založena na brainstormingu, kdy zkušený tým identifikuje havarijní situace na základě kladení otázek typu: „Co se stane, když...“. Studie se provádí formou pracovních porad, všechny otázky

jsou zapisovány a tým společně hledá odpovědi na formulované otázky, následky odchylek a doporučuje opatření. Metoda je přímo závislá na zkušenosti týmu, protože postrádá systematičnost. U větších procesů je lepší celý systém rozdělit na menší subsystémy, samostatné části provozu a ty hodnotit samostatně. Naproti tomu výhodou metody je nízká časová náročnost, možnost použití v kterékoli fázi života zařízení. Výsledky studie je možno zapisovat pomocí podpůrného software.

3.1.6 Analýza What if v kombinaci s Kontrolním seznamem (WI-CL)

Metoda identifikuje ohrožení pomocí předností obou metod, tvůrčího přístupu metody "Co se stane, když..." využívajícího brainstorming a systematického charakteru Kontrolního seznamu. Tuto kombinaci obou metod lze použít v kterékoli fázi života procesu, nejčastěji je využívána jako první hodnocení procesu na méně podrobné úrovni. Hodnocení by měl provádět zkušený tým, který ale vyžaduje méně lidí než např. HAZOP. Kvalitativní výsledky tým obvykle zapisuje do tabulky s těmito položkami: potenciální havarijní situace, následky, ochranné prostředky, nápravné akce.

3.1.7 Analýza nebezpečnosti a provozovatelnosti (HAZOP)

Metoda vyvinutá k identifikování a hodnocení nebezpečí v procesu a k identifikování operačních problémů. Používá se nejčastěji během nebo po projektové fázi procesu, úspěšně je využívána i na existující procesy. Interdisciplinární tým (5 - 7 lidí) využívá tvořivých, systematických kroků k odhalování odchylek od projektu, které mohou vést k nežádoucím následkům. K odhalování se využívá pevně stanovených slov (tzv. klíčových slov - méně, více, není, a také, část, jiný, opak, časný, zpožděný), které se kombinují s procesními parametry. Například klíčové slovo „Není“ v kombinaci s parametrem "Tok" dává odchylku "Není tok". Výsledky týmové diskuse se zapisují do tabulky, kde jednotlivé sloupce představují příčiny, následky a ochranné prostředky pro odchylky procesu. Nevýhodou této metody je její vysoká náročnost na čas a pracnost.

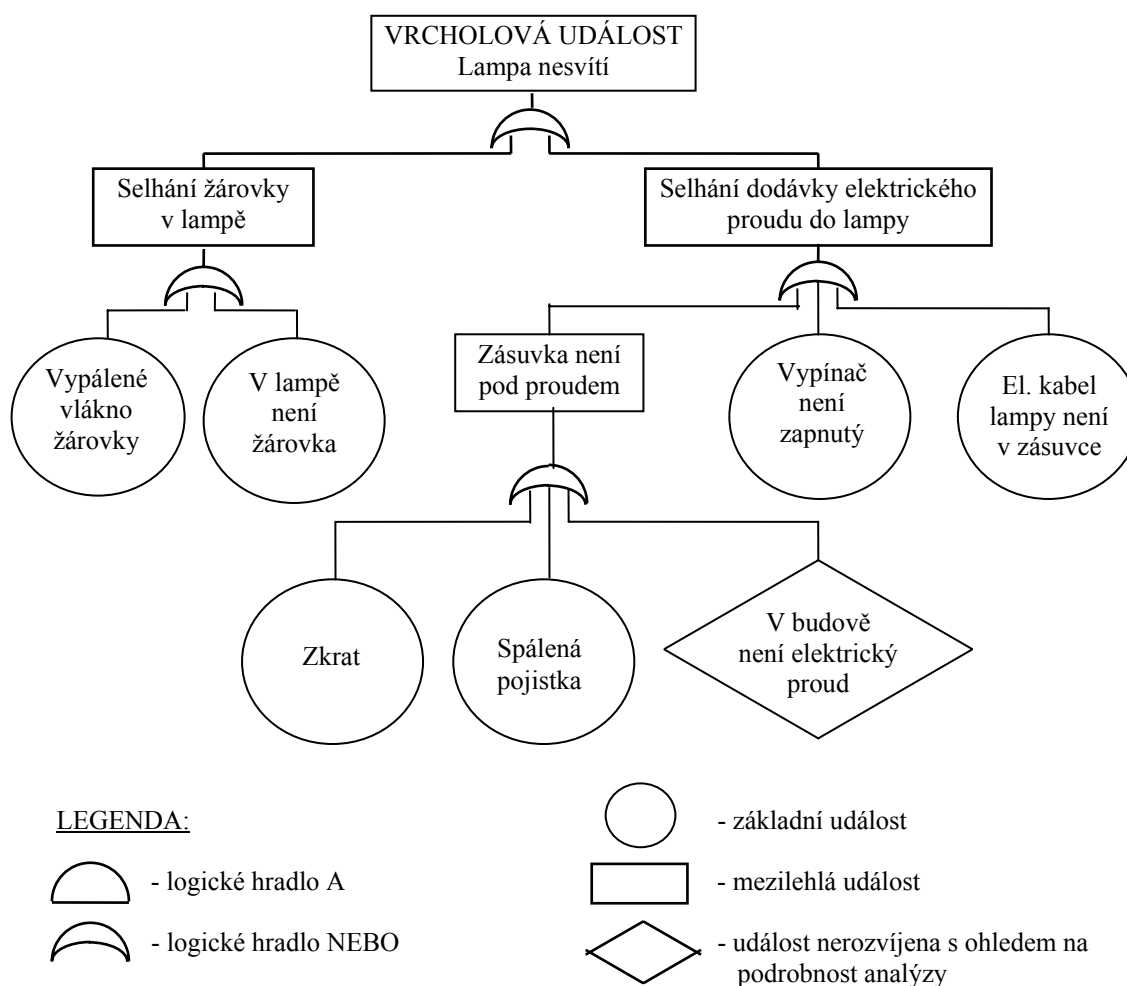
3.1.8 Analýza příčin a následků poruch (FMEA)

Metoda sestavuje tabulku příčin poruch a jejich následků na systém nebo podnik. FMEA identifikuje jednoduché poruchy, které mohou významně přispívat k havárii, ale nehodí se na vyčerpávající seznam poruch. Je snadno použitelná při změnách a modifikacích procesu. Může být provedena jedním analytikem, ale měla by být zkontrolována jiným. Výsledkem je kvalitativní systematický seznam zařízení, jejich poruch a následků, s možností kvantifikace.

Zahrnuje i odhad nejhorších případů následků. Obvykle je dokumentována v tabulkové formě s doporučením pro zlepšení bezpečnosti.

3.1.9 Analýza stromem poruch (FTA)

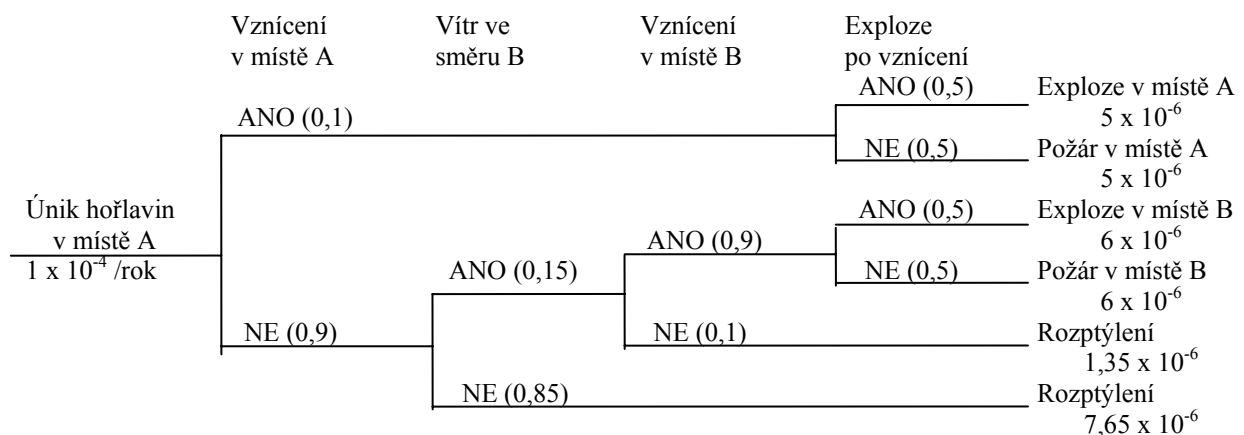
Je deduktivní metoda, která vyhledává jednotlivé havárie nebo systémové poruchy a určuje příčiny těchto událostí. FTA je grafický model různých kombinací poruch zařízení a lidských chyb, které mohou vyústit v hlavní systémovou poruchu nazývanou „vrcholová událost“ (viz Obrázek č. 7). Dobře se hodí i na rozsáhlé systémy, může stanovit úplný výčet minimálních poruch. Model je založen na Booleovské algebře (hradla „a“, „nebo“ a jiné) při vyhledávání minimální poruchy vedoucí k vrcholové události, výsledkem jsou typy poruch a kvantitativně přiřazené pravděpodobnosti poruch systémů, pokud známe pravděpodobnosti primárních příčin. Studii může provádět jeden nebo více analytiků, kteří mohou doporučit bezpečnostní zlepšení procesu. Metoda se nehodí pro rané fáze projektování, je náročná na čas a náročnost se zvyšuje v závislosti na složitosti systému.



Obrázek č. 7: Příklad stromu poruch pro případ selhání lampy [3]

3.1.10 Analýza stromem událostí (ETA)

Metoda graficky vyjadřuje možné výsledky havárie vyplývající z iniciační události. Výsledkem jsou havarijní sekvence, řada poruch a chyb vedoucích k havárii (posuzuje se úspěch nebo porucha funkce systému). Havarijní sekvence představují logickou kombinaci událostí, mohou být převedeny do modelu stromu poruch a dále kvantitativně hodnoceny. Je vhodná pro analýzu komplexního procesu, který má několik druhů bezpečnostních systémů. Analýza může být provedena jedním analytikem, ale 2 - 4 analytici jsou často preferováni. Analytici mohou využít výsledky k doporučení pro snížení pravděpodobnosti a/nebo následků potenciálních poruch. Příklad stromu událostí je na Obrázek č. 8, pravděpodobnost úniku hořlavin byla stanovena pro LPG, další větvení pravděpodobnosti je provedeno pro imaginární případ, pro konkrétní situaci je třeba vzít v úvahu místní podmínky a vlastnosti látky. Výsledné pravděpodobnosti nežádoucích událostí jsou dány součinem pravděpodobností na jednotlivých větvích.



Obrázek č. 8: Příklad stromu událostí úniku hořlavin [4]

Pro lepší orientaci je vhodné zdůraznit rozdíl mezi analýzou stromem poruch a stromem událostí. FTA postupuje od vrcholové události k jejím příčinám a vyhledává základní události, kterým je možné přiřadit pravděpodobnost. Naproti tomu ETA se nezabývá příčinami nežádoucí události, ale zvažuje další rozvoj události a tak poskytuje přehled o výši pravděpodobností možných výsledných událostí.

3.1.11 Analýza příčin a následků (CCA)

Metoda je směsí Analýzy stromem poruch a Analýzy stromem událostí. Její výhodou je využití jako komunikačního nástroje: diagram zobrazuje vztahy mezi havarijními následky a jejich základními příčinami. CCA se využívá

v jednoduchých případech poruch, zahrnuje výsledky obou analýz do stejného diagramu. Výsledkem metody je popis potenciálních havarijních výsledků, v diagramu lze sledovat havarijní sekvence - scénáře havárií. Pro analýzu je výhodnější malý tým (2 - 4 lidé) s různými zkušenostmi, jeden z nich se znalostí metody CCA.

3.1.12 Analýza lidského faktoru (HRA)

Je systematické hodnocení faktorů ovlivňujících práci operátorů, údržby, techniků a jiných zaměstnanců podniku. Cílem je identifikovat potenciální lidské chyby, jejich příčiny a následky. Principem jsou dotazy na fyzikální charakter procesu, charakteristiku prostředí, na dovednosti, znalosti a schopnosti zaměstnanců. Metoda je obvykle používána ve spojení s jinými metodami (např. FTA). Výsledky ve formě stromu chyb a úspěchů operátora jsou kvalitativní, ale mohou být kvantifikovány. Metodu lze snadno aplikovat na změny a modifikace procesu. Studii obvykle provádějí jeden nebo dva analytici obeznámení s technikou rozhovorů, studie mohou být pracné, vyžadují patřičné zkušenosti.

3.2. Výběr dílčí metody podle fáze života zařízení

Výběr nejvhodnější metody je kritický krok zajišťující úspěch analýzy rizik. Specialista hodnotící zdroje rizik by měl mít volnost ve výběru metody, ale jedním z faktorů ovlivňujících výběr metody je i fáze života procesu. V tabulce č. 5 jsou zaznamenány možnosti využití jednotlivých metod v různých fázích života procesu.

Tabulka č. 5: Typické využití dílčích metod analýzy rizik [5]

	SR	CL	RR	PHA	WI	WI/CL	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	CCA	HRA
Výzkum a vývoj	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Koncepční návrh	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Poloprovoz	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Detailní návrh	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Montáž/Najíždění	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
Běžný provoz	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Rozvoj/Modifikace	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vyšetřování nehod	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Prověření	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-

+ běžně využívané

- zřídka využívané nebo nevhodné

V dalším textu budou podrobněji představeny vybrané metody hodnocení rizik formou případových studií.

4. Vybrané metody hodnocení rizik

V současné době je při hodnocení rizik celých areálů průmyslových podniků prosazován nový přístup, kdy je nejprve proveden výběr závažných zdrojů rizik a až v druhé fázi detailní kvantitativní hodnocení rizik (QRA) takto vybraných nejzávažnějších zařízení (nejznámější je metoda výběru podle CPR 18E - Purple Book). V minulosti se pro tuto priorizaci zdrojů rizik využívalo především jednoduše aplikovatelné metody (tzv. indexové nebo screeningové metody), kdy jsou výsledky předkládány jako indexy úrovně rizik. Pro zdroje rizik s nejhoršími indexy je poté doporučeno provést podrobnou analýzu náročnějšími metodami. Oba tyto přístupy mají za cíl omezit počet detailně hodnocených zařízení v průmyslovém podniku, zjednodušit tak celou analýzu rizik a soustředit pozornost především na nejzávažnější zdroje rizik. Je potřeba poznamenat, že doposud neexistuje jedinečná metoda pro realizaci celé analýzy rizik, v praxi je nezbytné kombinovat několik metod.

Podrobné seznámení s těmito jednoduchými metodami pro úvodní části analýzy rizik je uvedeno formou případové studie na imaginárním průmyslovém podniku. Postupně budou představeny výsledky následujících metod:

- Metoda výběru (podle CPR 18E - Purple Book)
- Metoda IAEA-TECDOC-727
- Metoda DOW's Fire and Explosion Index
- Metoda DOW's Chemical Exposure Index

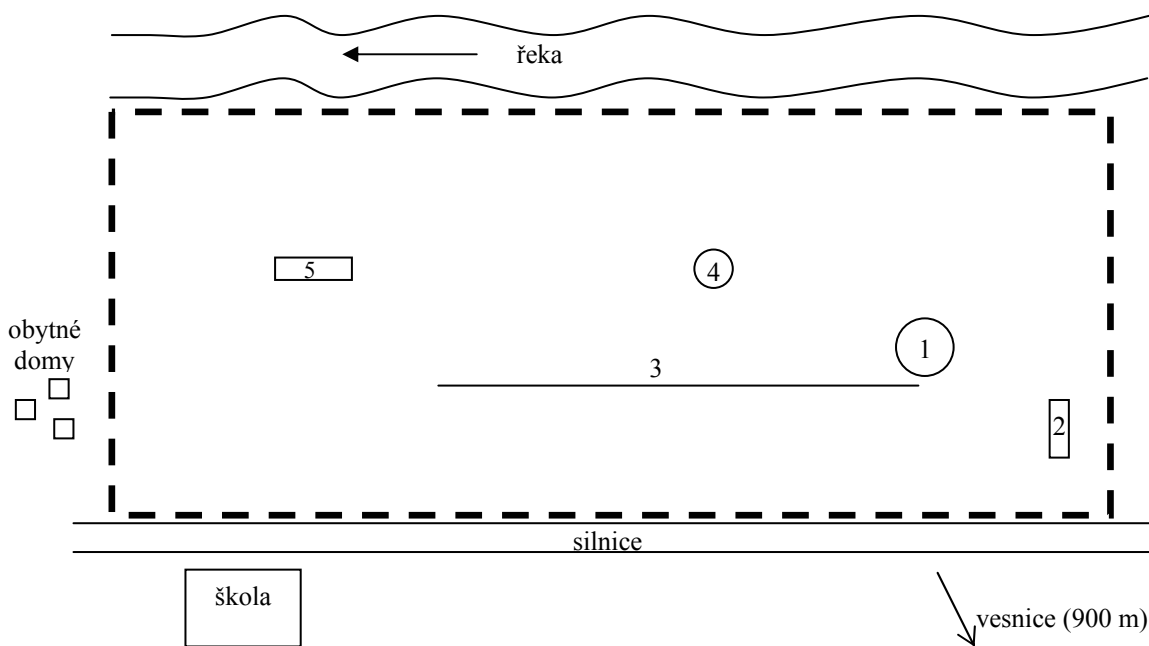
U každé metody je uvedena stručná charakteristika jednotlivých kroků, omezení metody a výsledky případové studie vybraných zdrojů rizik.

V další části tohoto textu jsou podrobněji představeny již uvedené metody HAZOP, FTA a ETA, protože nejčastěji navazují na screeningové a indexové metody za účelem upřesnění příčin havárií nebo pravděpodobnosti vzniku havárií.

V příloze je uvedena charakteristika nezařazených zdrojů rizik a souhrn výsledků hodnocení rizik. Tato kapitola dokládá potřebu hodnocení rizik i těchto menších zdrojů rizik, které například nevhodným umístěním mohou představovat významná rizika závažných havárií.

4.1. Případová studie

Situování zdrojů rizik v hodnoceném podniku je patrné na následujícím schématu (Obrázek č. 9). Je nutné upřesnit, že z hlediska vzdálenosti nejbližšího obyvatelstva, je podnik značně rozlehlý, proto je vesnice ve vzdálenosti 900 m od zdroje č. 1 blíže než škola a obytné domy na západní straně (více než 1 km).



Obrázek č. 9: Schéma objektu pro případovou studii

Vstupní údaje:

1. skladování čpavku - kulový zásobník (1000 m³ – 500 t)
2. stáčení čpavku - cisterna (množství do 50 t)
3. rozvod čpavku - potrubí (DN150 – kapalný čpavek do procesu)
4. skladování lakového benzínu - válcový stojatý zásobník (270 m³ – 210 t)
5. stáčení sirouhlíku - cisterna (množství do 50 t)

Celkový přehled posuzovaných zdrojů rizik je shrnut v následující tabulce.

Tabulka č. 6: Přehled posuzovaných zdrojů rizik

Zdroj č.	Látka	Druh látky	Zařízení	Množství (t)
1	čpavek	toxická / hořlavá	zásobník	500
2	čpavek	toxická / hořlavá	cisterna	50
3	čpavek	toxická / hořlavá	potrubí	9,6
4	benzín	hořlavá	zásobník	210
5	sirouhlík	toxická / hořlavá	cisterna	50

4.1.1 Metoda výběru (podle CPR 18E - Purple Book)

Kvantitativní hodnocení rizika (QRA - Quantitative Risk Assessment) se používá pro stanovení rizik při provozování, manipulaci, transportu a skladování nebezpečných látek. Kvantitativně se riziko hodnotí v případech, kdy se nebezpečné látky nacházejí na určitém místě (průmyslová oblast, dopravní

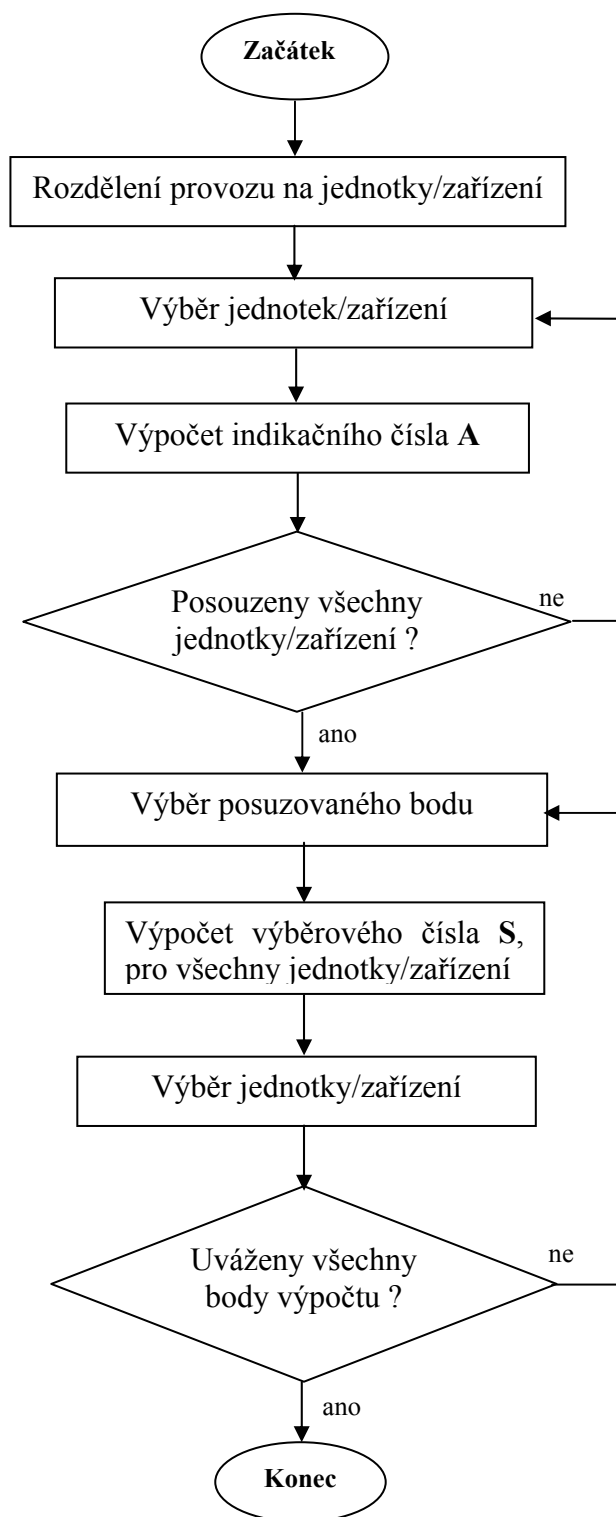
komunikace) v takovém množství, že mohou ohrožovat okolí. Kvantitativní hodnocení rizika je součástí bezpečnostní zprávy nebo bezpečnostního programu, ve kterých se názorně dokladuje riziko způsobené objektem a poskytuje příslušnému úřadu relevantní informace pro posouzení rizika a rozhodnutí o přijatelnosti rizika souvisejícího s rozvojem uvnitř nebo v okolí objektu.

Celkový počet zařízení v objektu, pro který musí být vypracována bezpečnostní zpráva nebo program, může být poměrně vysoký. Poněvadž ne všechna zařízení významně přispívají k riziku, není nutno uvažovat všechna zařízení při QRA. Proto byla pro odhalení takových zařízení, která nejvíce přispívají k riziku, vyvinuta **metoda výběru** umožňující selekci takových zařízení. Takto vybraná zařízení musejí být uvažovány při QRA.

Jednotlivé kroky metody výběru:

1. Objekt se rozdělí na nezávislé zařízení (oddělené jednotky).
2. Nebezpečnost každého zařízení se stanoví na základě množství látky, provozních podmínek a vlastností nebezpečných látek. **Indikační číslo A** vyjadřuje míru skutečné nebezpečnosti zařízení.
3. Nebezpečnost zařízení se stanovuje pro množinu bodů v okolí (na hranici) objektu. Nebezpečnost zařízení na jistou vzdálenost se stanoví na základě známého indikačního čísla a vzdálenosti mezi posuzovaným bodem a zařízením. Míra nebezpečí v posuzovaném bodě se odvodí z hodnoty **výběrového čísla S**.
4. Zařízení jsou pro analýzu QRA vybírána na základě relativní hodnoty výběrového čísla S.

Jednotlivé kroky metody výběru popisuje následující obrázek (Obrázek č. 10).



Obrázek č. 10: Schéma metody výběru [6]

Výpočet indikačního čísla A

Skutečná nebezpečnost jednotky je ovlivňována množstvím přítomné látky, fyzikálními vlastnostmi, toxicitou látky a specifickými provozními podmínkami. Indikační číslo **A** vyjadřuje míru skutečné nebezpečnosti zařízení.

Indikační číslo **A** jednotky je bezrozměrné a stanoví se ze vztahu:

$$A = \frac{Q \times O_1 \times O_2 \times O_3}{G} \quad (1)$$

kde :

Q - množství látky přítomné v zařízení (kg)

O_1 - faktor pro procesní jednotku nebo pro skladovací jednotku

O_2 - faktor zohledňující umístění jednotky (uvnitř/vně)

O_3 - faktor zahrnující množství látky v plynném stavu po úniku v závislosti na provozní teplotě, normálním bodu varu, skupenství látky a teplotě okolí

G - mezní hodnota - mezní množství nebezpečné látky (kg).

V jediném zařízení se mohou vyskytovat různé látky za různých provozních podmínek. V takovém případě se indikační číslo $A_{i,p}$, stanovuje pro každou látku i a pro všechny provozní podmínky p . Indikační číslo **A** pro zařízení se stanoví jako součet všech indikačních čísel $\sum_{i,p} A_{i,p}$. Tento součet se stanovuje odděleně pro tři různé skupiny látek, jmenovitě: hořlavé (A^F), toxické (A^T) a výbušné (A^E). Posuzované zařízení tak může mít až tři indikační čísla.

Jestliže látka náleží současně k více skupinám látek, indikační číslo se počítá pro každou skupinu zvlášť. Například, jestliže je látka jak toxická tak hořlavá, stanovují se dvě indikační čísla $A_{i,p}$:

- $A_{i,p}^T$ pro látku z hlediska toxicity mající celkové množství Q_i a mezní hodnotu G_i^T , odpovídající toxickým vlastnostem látky,
- $A_{i,p}^F$ pro látku z hlediska hořlavosti mající celkové množství Q_i a mezní hodnotu pro hořlaviny $G_i^F = 10\,000$ kg.

Výpočet selektivního čísla S

Selektivní číslo **S** vyjadřuje míru nebezpečnosti zařízení vůči jinému posuzovanému místu ve vzdálenosti L a stanoví se násobením indikačního čísla jednotky **A** faktorem $(100/L)^2$ pro toxické látky a faktorem $(100/L)^3$ pro hořlavé a výbušné látky. I zde může mít jediná jednotka/zařízení tři různá selektivní čísla:

$$S^T = \left(\frac{100}{L}\right)^2 A^T \quad \text{pro toxické látky} \quad (2)$$

$$S^F = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^F \quad \text{pro hořlavé látky} \quad (3)$$

$$S^E = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^E \quad \text{pro výbušniny} \quad (4)$$

kde :

L je vzdálenost od jednotky k posuzovanému místu v metrech, přičemž minimální vzdálenost je 100 m.

Selektivní číslo se stanovuje pro každé zařízení v minimálně osmi bodech na hranici objektu. Vzdálenost mezi dvěma přilehlými místy nesmí být větší než 50 m. Selektivní číslo musí být stanoveno pro celou hranici objektu, i když objekt hraničí s podobným objektem. Jestliže je objekt ohraničen vodní hladinou, selektivní číslo musí být stanoveno pro bod na protějším břehu. Kromě výpočtů v bodech na hranicích objektu musí být selektivní číslo S stanoveno pro každé zařízení i v bodech obytného pásma, existujícího nebo plánovaného, nejbližšího zařízení.

Jednotka vyžaduje kvantitativní hodnocení rizika QRA, pokud jsou splněny následující podmínky:

- selektivní číslo zařízení ve zvoleném bodě na hranici objektu (nebo na břehu řeky proti objektu) je větší než jedna. Při větším počtu zdrojů se selektivním číslem větším než 1 se zahrnou ty zdroje, jejichž selektivní číslo je větší než 50 % hodnoty maximálního selektivního čísla v posuzovaném bodě,
- selektivní číslo zařízení je větší než jedna v bodě obytného pásma nejbližšího jednotce.

Omezení metody výběru

- Metoda výběru je doporučována pro objekty, které musí předložit bezpečnostní zprávu nebo bezpečnostní program. Kompetentní osoba může akceptovat aplikaci metody výběru i na ostatní objekty.
- Metoda výběru je všeobecná, proto by měla být považována pouze za (metodický) návod.
- Mohou být opomenuta některá zařízení, např.:
 - plnicí a stáčecí zařízení,
 - potrubí propojující jednotky,

- meziprodukty v procesu,
 - zplodiny vzniklé při hoření nebo spalování,
 - reakční produkty vzniklé při neřízených reakcích (produkty bočních a vedlejších reakcí).
- Pro účely metody výběru jsou hořlaviny definovány jako látky, jejichž provozní teplota je rovna nebo je vyšší než bod vzplanutí. Bod vzplanutí se stanovuje použitím Abel-Penskeho přístroje, pokud je bod vzplanutí $\leq 65^{\circ}\text{C}$ a přístrojem Pensky–Martense pro body vzplanutí vyšší než 65°C .

Výsledky metody výběru pro případovou studii

U většiny hodnocených zdrojů rizik jsou přítomné látky nebezpečné z hlediska toxických a hořlavých vlastností, proto byla zařízení posouzena metodou výběru z obou hledisek. Výsledky stanovení indikačních čísel jednotlivých zdrojů rizik je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka č. 7: Výsledky stanovení indikačních čísel

Zdroj č.	Skladovaná látka	Typ látky*	Množství látky Q (kg)	Faktory pro provozní podmínky			Mezní hodn. G (kg)	Indikační č. A
				O ₁	O ₂	O ₃		
1	čpavek	1	500 000	0,1	1,0	10,0	3 000	166,7
1	čpavek	2	500 000	0,1	1,0	10,0	10 000	50,0
2	čpavek	1	40 000	1,0	1,0	10,0	3 000	133,3
2	čpavek	2	40 000	1,0	1,0	10,0	10 000	40,0
3	čpavek	1	9 600	1,0	1,0	10,0	3 000	32,0
3	čpavek	2	9 600	1,0	1,0	10,0	10 000	9,6
4	benzin	2	210 000	0,1	0,1	10,0	10 000	2,1
5	sirouhlík	1	50 000	1,0	1,0	0,4	10 000	2,0
5	sirouhlík	2	50 000	1,0	1,0	0,4	10 000	2,0

* 1 = hodnoceno jako toxická látka

2 = hodnoceno jako hořlavá látka

Selektivní číslo S bylo stanoveno pro body na hranici objektu a pro tři body v obytných oblastech. V následující tabulce jsou uvedeny dosažené maximální hodnoty selektivního čísla (podle rovnic 2 a 3).

Tabulka č. 8: Výsledky selektivního čísla

Zdroj č.	Látka	Typ látky	Zařízení	Množství (t)	Indikační číslo A	Max. hodnota S
1	čpavek	toxická	zásobník	500	166,7	69,3
1	čpavek	hořlavá	zásobník	500	50,0	13,4
2	čpavek	toxická	cisterna	40	133,3	118,5
2	čpavek	hořlavá	cisterna	40	40,0	33
3	čpavek	toxická	potrubí	9,6	32,0	20,9
3	čpavek	hořlavá	potrubí	9,6	9,6	5,1
4	benzín	hořlavá	zásobník	210	2,1	0
5	sirouhlík	toxická	cisterna	50	2,0	0,4
5	sirouhlík	hořlavá	cisterna	50	2,0	0,2

Selekcí posuzovaných jednotek pomocí metody výběru byly pro kvantitativní analýzu rizika vybrány 3 jednotky v posuzovaném objektu z hlediska toxicity (selektivní číslo z hlediska hořlavosti nedosahovalo 50 % maximálního selektivního čísla):

- zdroj č. 1 - nadzemní kulový zásobník čpavku,
- zdroj č. 2 - cisterna se čpavkem na pozici stáčení,
- zdroj č. 3 - potrubní rozvod kapalného čpavku v objektu.

4.1.2 IAEA-TECDOC-727

Na následujících řádcích je stručně představena screeningová metoda IAEA-TECDOC-727, publikovaná mezinárodní organizací pro atomovou energii v roce 1993 a revidovaná v roce 1996. Její předností je především jednoduché hodnocení následků a frekvence potenciálních havárií, čímž umožňuje stanovit společenské riziko. Metoda umožňuje klasifikovat nebezpečí z fixních zdrojů, mobilních zdrojů a produktvodů, hodnocení následků havárií je doplněno o pravděpodobnostní hledisko na základě historických údajů z havárií v minulosti. Metoda 727 slouží pro klasifikaci a prioritizaci zdrojů společenského rizika. Je založena na modelu 46 typových průmyslových havárií, kdy riziko pro obyvatelstvo je relací počtu smrtelných případů a frekvence událostí. Metoda 727 je stručně charakterizovaná na schématu na další straně (Obrázek č. 11).

Metoda umožňuje klasifikaci nebezpečné činnosti ve sledované oblasti na základě kategorizace následků a pravděpodobnosti výskytu velké havárie. Kategorizace následků vede uživatele k přibližnému výpočtu počtu smrtelných zranění při havárii průmyslového zařízení nebo při přepravě nebezpečných látek.

Odhad rizika a stanovení priorit zdrojů rizika je možno realizovat postupem zahrnujícím následující kroky :

1. Klasifikace typu činnosti a zařízení
2. Odhad následků
3. Stanovení pravděpodobností
4. Odhad společenského rizika
5. Stanovení priorit

1. Klasifikace typu činnosti a zařízení

Jakmile byly vymezeny hranice a hlavní obecné charakteristiky oblasti, je třeba shromáždit základní obecné informace o všech nebezpečných zařízeních, všech dopravních cestách a způsobech přepravy nebezpečných látek (zde souhrnně označováno jako nebezpečná činnost).

Z těchto aktivit se vyberou všechny takové činnosti, které zvyšují společenské riziko a k nim musejí být získány další podrobnější informace. Je zpracován seznam uvažovaných nebezpečných látek a provede se jejich klasifikace.

Metoda IAEA - TECDOC - 727
= Klasifikace a prioritace zdrojů společenského rizika

= extrakt mezinárodních zkušeností s velkými průmyslovými haváriemi

- hořlavých plynů
kapalin
- toxických plynů
kapalin
- výbušných látek

MODEL: 46 typových průmyslových havárií

SPOLEČENSKÉ RIZIKO
 = RIZIKO pro obyvatelstvo

relace

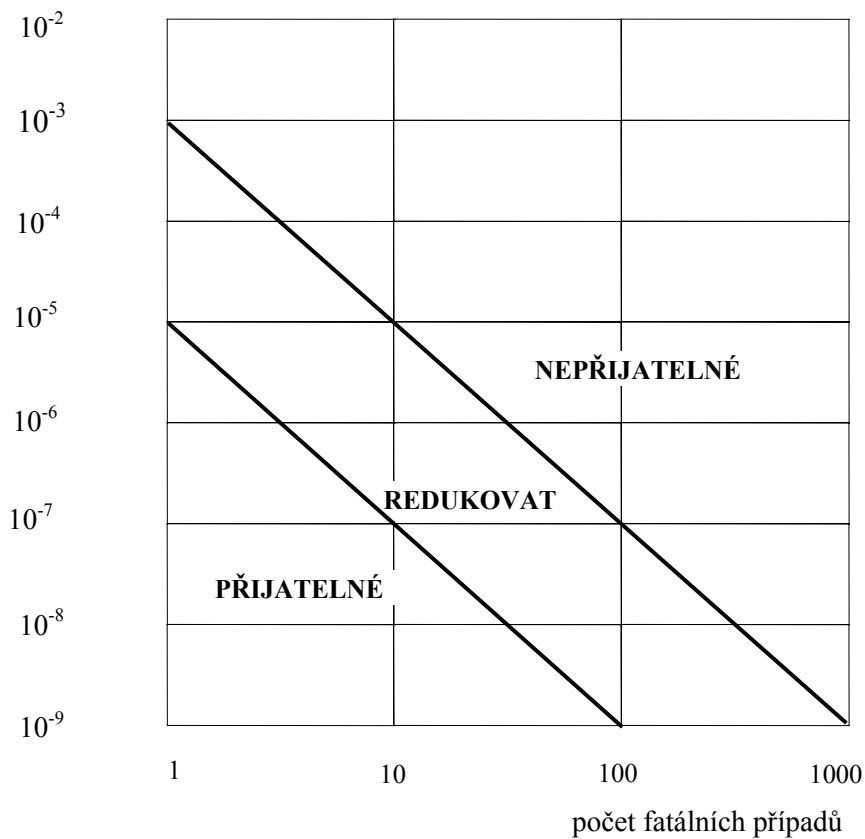
versus

počet fatálních
případů

frekvence událostí
(četnost)

RIZIKO = f (ztrát/frekvence)

frekvence
(událostí/rok)



Obrázek č. 11: Charakteristika metody IAEA TECDOC 727 [7]

2. Odhad vnějších následků velké havárie na obyvatelstvo

Metoda je založena na odhadu následků (tj. počtu fatálních případů v uvažované oblasti), které může způsobit velká havárie. Vyhodnocuje se každá uvažovaná činnost s ohledem na ovlivněný prostor, hustotu populace v oblasti a hodnotu korekčních faktorů.

Korekční faktory zahrnují následující vlivy :

- uvažovanou hustotu obyvatel v zasažené oblasti
- kategorii zasažené plochy
 - I - kruhový symetrický tvar zasažené oblasti (jako např. při explozi)
 - II - semikruhový nesymetrický (jako např. v případě formace mraku těžkých plynů)
 - III - protáhlý, eliptický (jako např. při dispersi toxického mraku)
- eventuální možné zmírňující faktory (především pro toxické látky).

Hodnotu zmírňujícího faktoru pro toxické látky lze zdůvodnit:

- délkou expozice, po níž se projevují fatální následky,
- časem potřebným pro rozptýlení nebezpečné látky,
- varovným zápachem některých látek.

Pro odhad následků havárie se použije vztah :

$$C_{a,s} = A \cdot d \cdot f_A \cdot f_d \cdot f_m \quad (5)$$

kde :

$C_{a,s}$ - následky (počet smrtelných zranění/událost)

A - ovlivněná oblast (v hektarech, $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$)

d - hustota populace v zalidněné oblasti uvnitř ovlivněné oblasti (počet obyvatel / ha)

f_A - korekční faktor na distribuci lidí v ovlivněné zóně (část kruhu)

f_d - korekční faktor na distribuci lidí v ovlivněné zóně (vzdálenost)

f_m - korekční faktor zahrnující zmírnění následků

3. Odhad pravděpodobnosti výskytu velké havárie

- Fixní zařízení

Metoda je založena na odhadu frekvence výskytu velké havárie v souvislosti s každou posuzovanou činností na základě střední (standardní) pravděpodobnosti (jde o absolutní hodnotu logaritmu četnosti závažných událostí při obvyklé činnosti) a uvažuje vliv korekčních faktorů.

Hodnota korekčních faktorů se stanovuje na základě:

- frekvence stáčení/vyprazdňování,
- instalovaných bezpečnostních systémech,

- vlivu organizačních a bezpečnostních opatření,
- pravděpodobného směru větru vzhledem k poloze střediska populace v zasažené oblasti.

Pro stanovení frekvence havárií ($P_{i,s}$ - počet událostí/rok) za přítomnosti nebezpečné látky je nutno pro každou výrobu odhadnout tzv. pravděpodobnostní číslo $N_{i,s}$.

$N_{i,s}$ se stanovuje pomocí následující rovnice

$$N_{i,s} = N_{i,s}^* + n_l + n_f + n_o + n_p \quad (6)$$

kde :

$N_{i,s}^*$ - střední hodnota pravděpodobnostního čísla pro danou jednotku a látku

n_l - oprava (korekce) podle frekvence zatěžování (najíždění)

n_f - korekce na bezpečnost pro hořlavou látku

n_o - korekce zahrnující organizační opatření

n_p - korekce zahrnující vliv směru větru s ohledem na polohu obydlené oblasti

- Přeprava nebezpečného nákladu

Metoda je založena na odhadu střední (standardní) pravděpodobnosti pro každou nebezpečnou látku (nebo skupinu látek) a každý typ přepravy (silnice, železnice, vodní cesta, potrubní dálkovod). Pro korekci střední hodnoty pravděpodobnosti se použijí aktuální hodnoty korekčních faktorů.

Tyto korekční faktory zahrnují vliv:

- bezpečnostních podmínek přepravy,
- hustoty dopravy (počet přepravených nákladů/rok),
- pravděpodobného směru větru a kategorii následků s ohledem na polohu střediska populace v zasažené oblasti.

4. Odhad společenského rizika

Každá činnost je klasifikována pomocí stupnice následků a pomocí stupnice pravděpodobnosti výskytu události. Všechny nebezpečné aktivity v uvažované oblasti se znázorní v matici, která názorně a přehledně popisuje relaci mezi pravděpodobností události a následky události.

5. Stanovení priorit rizika

Kritéria pro rozhodnutí o přijatelnosti rizika musejí být definována před tím, než je úloha řešena. Bývají zakreslována do matice rizika, takže všechny

činnosti (zdroje rizika), které nesplňují stanovená kritéria jsou snadno identifikovány a odhaleny. Takové zdroje rizika, které nesplňují stanovená kritéria jsou vybrány pro další detailní analýzu v tom pořadí (s těmi prioritami), jak překračují stanovená kritéria.

Omezení metody IAEA-TECDOC 727

Výsledky získané aplikací této metody je nutno chápat pouze jako relativní - srovnávací údaje. V žádném případě nelze takto stanovené údaje o riziku považovat za údaje absolutní.

Uvedený postup a výsledky nelze používat pro účely:

- stanovení rizika jednotlivého zařízení nebo pro řízení rizika;
- rozhodnutí o umístění nebezpečného zařízení nebo plánované cesty pro přepravu nebezpečných látek, jestliže rozhodnutí v konkrétním případě závisí na okolnostech, jejichž posouzení vyžaduje podrobnější analýzu;
- jakékoliv rozhodnutí o bezpečnosti konkrétního zařízení nebo činnosti nebo přijatelnosti s ním spojeného rizika;
- porovnání absolutních hodnot bez znalosti kritérií nebo norem pro přijatelnost rizika;
- pro přímou tvorbu havarijního plánu pro zvláštní (mimořádné) situace, které jsou spojeny s rizikem.

Metoda IAEA-TECDOC-727 je založena na následujících zjednodušujících předpokladech:

- pro odhad následků nehody/události i pro odhad pravděpodobnosti výskytu události se berou do úvah jenom ty nejdůležitější faktory (např. hustota populace, bezpečnost dopravy, frekvence plnění a stáčení atd.);
- odhad možných následků a pravděpodobnosti potenciální havárie přitom vychází z dlouhodobých praktických zkušeností.

U následků se předpokládá:

- 100% úmrtnost v zasažené oblasti (oblast vlivu fyzikálního efektu nebo účinku toxické látky);
- vně zasažené oblasti se fatální případy neuvažují a dopad na obyvatelstvo nehodnotí;
- zmírňující faktor se uvažuje v závislosti na typu nebezpečné látky.

Výsledky metody IAEA-TECDOC-727 pro případovou studii

Výsledky metody jsou představeny formou klasifikačního listu pro zdroj rizika č. 1 a formou výsledné tabulky (viz Tabulka č. 9) a matice rizik (viz Obrázek č. 12) pro všechny zdroje rizik.

Stručný přehled postupu stanovení ztrát a pravděpodobnosti ztrát:
podnik:

zdroj č.1: zásobník amoniaku

objem skladovacího zásobníku 1000 m³, obsah 500 tun amoniaku

a) Stanovení ztrát :

Appendix 1 příručky(7)

Tabulka II a Tabulka IV(a)

amoniak
(látk a)

typová havárie

referenční číslo: **31**

Tabulka IV (a) : od **200** do **1000** tun : kategorie následků **F III**
(uvažován nejhorší případ)

Tabulka V : **F** – znamená maximální dosah účinků na vzdálenost : **1000 m**

III - znamená **eliptický** tvar zasažené oblasti

zasažená plocha : $A_p = 30$ ha

Tabulka VI: kvalifikovaný odhad hustoty
v zasažené oblasti :

obyvatelstva zaměstnanců
 $\delta = 6$ os./ha $\delta = 4$ os./ha

Tabulka VII : korekční faktor na distribuci populace:

- část kruhu :

$f_A = 1$ (**8%**) $f_A = 1$ (**45%**)

- vzdálenost:

$f_d = 0,1$ (**10%**) $f_d = 0,5$ (**50%**)

Tabulka VIII : zeslabující faktor – možnost varování
pro referenční číslo **31 lze aplikovat** :

$f_m = 0,1$

Odhad ztrát : a) $A_p \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_d \cdot f_m = 30 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 2$ obyvatelé

(fatální zranění) b) $30 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 = 6$ zaměstnanců

b) Stanovení frekvence výskytu :

Tabulka IX: základní pravděpodobnostní číslo **pro skladování**: $N^\bullet = 6$

Tabulka X (a): odhad frekvence přečerpávání látky
podle spotřeby : asi **500 - 2000** krát za rok $n_l = -2$

Tabulka XI: korekce na hořlavost plynů (ref.č.7,10,13) $n_f = 0$
(bezp.opatření: sprinklery, stěny)

Tabulka XII: korekce na organizační zajištění bezpečnosti
(**průměrné** provozní praktiky a zkušenosti) $n_o = 0$

Tabulka XIII: korekce na směr větru pro tvar **III** zasažené oblasti $n_p = 0,5$

korigovaná hodnota pravděpodobnostního čísla :

$N = N^\bullet + n_l + n_f + n_o + n_p = 6 - 2 + 0 + 0 + 0,5 = 4,5$

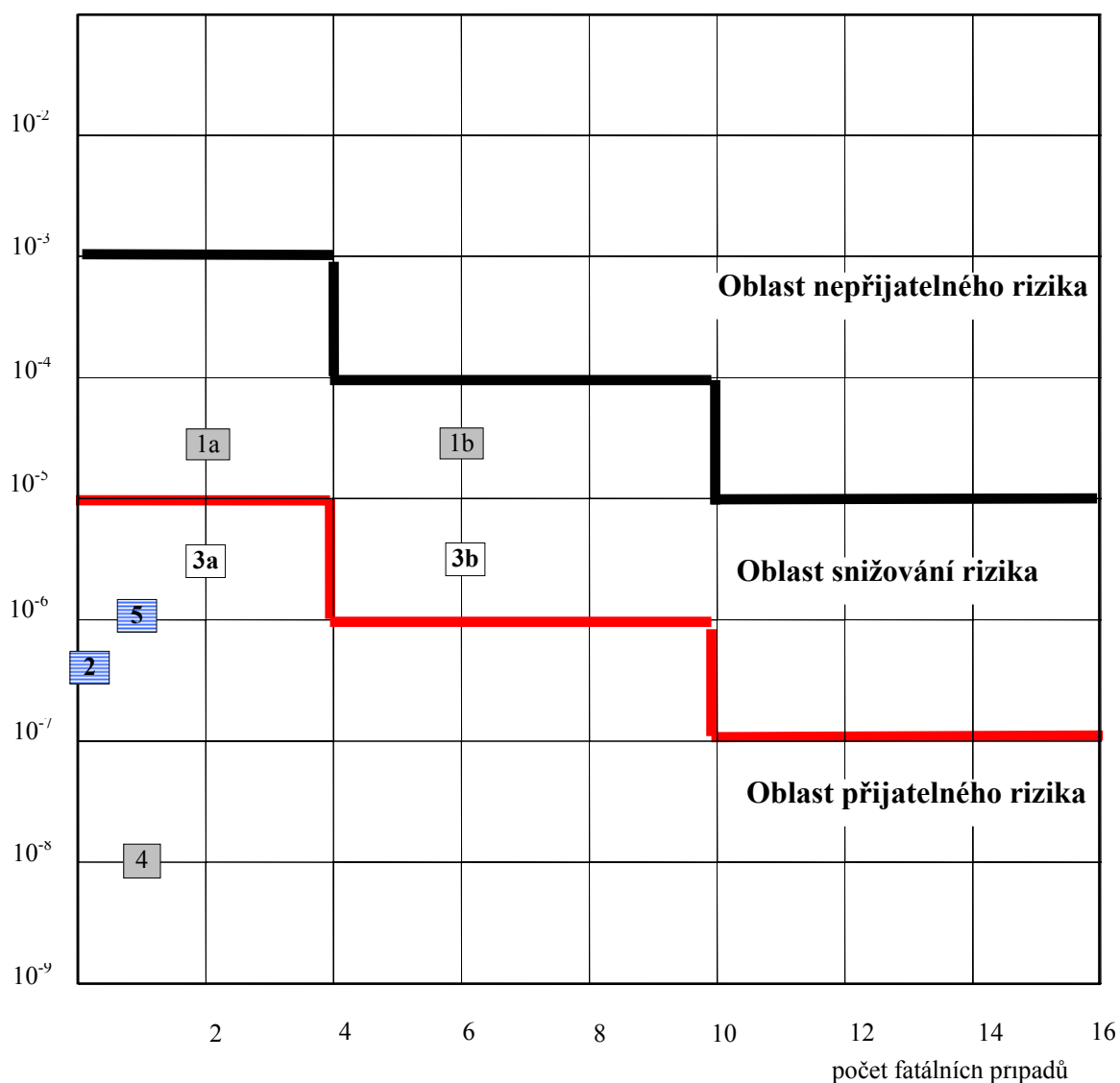
V tabulce XIV najdeme odpovídající hodnotu frekvence **3.10^{-5}** případu/rok

Možný způsob zaznamenání výsledků metody 727.

Tabulka č. 9: Souhrnné výsledky hodnocení rizik podle metody 727

Číslo zdroje	Název látky	Množství látky (t)	Vzdálenost účinku (m)	Počet ohrožených osob (obyv./zaměš.)	Četnost událost (případu/rok)
1.	amoniak – zásobník	500	1000	2 / 6	$3 \cdot 10^{-5}$
2.	amoniak - cisterna	50	200	0	$3 \cdot 10^{-7}$
3.	amoniak - potrubí		1000	2 / 6	$3 \cdot 10^{-6}$
4.	benzín - zásobník	210	50	0 / 1	10^{-8}
5.	sirouhlík - cisterna	50	200	0 / 1	10^{-6}

frekvence
(událostí/rok)



Obrázek č. 12: Matice rizik s výsledky metody IAEA-TECDOC-727

Výsledkem screeningové studie metodou IAEA-TECDOC-727 je soubor zdrojů rizika v objektu vyhodnocených podle jednotné metodiky. Každý zdroj rizika je charakterizován dvojicí hodnot, frekvencí výskytu neočekávané události a počtem fatálních případů.

Komparace závažnosti jednotlivých zdrojů rizika se realizuje pomocí matice rizik. Jde o grafické zobrazení posuzovaných zdrojů rizika v souřadnicích frekvence událostí - velikost ztrát (počet fatálních případů). Poloha bodu/zdroje rizika v uvedených souřadnicích přímo charakterizuje míru rizika, které posuzovaný zdroj představuje pro obyvatelstvo (označeno písmenem a) nebo zaměstnance (označeno jako b). Obecně lze říci, že jednotlivý zdroj rizika se v matici zobrazí jako bod. Některé zdroje je nutno posuzovat i z toho pohledu, že jsou prostorově uspořádány a procházejí oblastmi s rozdílnou hustotou (např. produktovody). Potom je možno zdroj informativně znázornit jako určité pásmo s konstantní frekvencí.

Nejvýznamnějším zdrojem rizika byl metodou IAEA-TECDOC-727 stanoven zásobník čpavku, kde je skladováno 500 t čpavku. V případě havárie představuje poloměr zasažené plochy do 1000 m. Dalším významným zdrojem rizika je potrubní rozvod čpavku. Pro tyto dva zdroje rizika se doporučuje další hodnocení rizik.

Celkový výsledek studie lze shrnout následujícím způsobem:

ve sledovaném objektu se nevyskytuje zdroj rizika s nepřijatelným rizikem.

4.1.3 Metoda DOW's Fire and Explosion Index

Metoda "Index požáru a výbuchu" (F&E Index) je zdokonalována již více než 30 let do podoby komplexního indexu, který vypovídá o relativní míře rizika ztrát posuzované jednotky nebo zařízení z hlediska možného požáru a výbuchu. Původně sloužil F&E Index při výběru metody pro ochranu před požáry. V širším pojetí představuje metodu pro relativní klasifikaci nebezpečnosti klíčových jednotek a zařízení.

Uvedený index je používán jak společností Dow, tak i dalšími uživateli. Má vedoucí postavení mezi indexovými metodami v chemickém průmyslu. Současný F&E Index poskytuje klíčové informace, které umožňují vyhodnotit celkové riziko požáru a výbuchu. Zařízení s F&E Indexem větším než 128 vyžadují další analýzu rizika.

Aktuální (sedmá) verze metody je charakteristická zdokonalením otázek a udržení konzistence s předpisy a zásadami prevence ztrát - „Codes and Loss Prevention Principles“.

Je statutárním požadavkem společnosti Dow vyjádřeném v Minimu požadavků na procesní bezpečnost, prevenci ztrát a bezpečnost osob, aby metoda Fire and Explosion Index byla použita pro vyhodnocení možných nebezpečí u všech instalovaných výrob. Způsob kvantitativního posuzování použitý při analýze využívá historických zkušeností z minulých havárií, bere v úvahu energetický obsah materiálu v zařízení, jakož i plochu, na kterou se postupy používané při prevenci ztrát obvykle aplikují.

Cílem studie metodou F&E Index je :

1. KVANTIFIKOVAT očekávané škody následkem požáru, exploze a chemické reaktivity (nejedná se o ztráty maximální, ale maximálně pravděpodobné);
2. IDENTIFIKOVAT zařízení, která by mohla přispívat ke vzniku a eskalaci nehody;
3. PREZENTOVAT managementu zjištěné výsledky F&E Indexu.

Procesní nebezpečí, která přispívají k velikosti ztrát a zvyšují pravděpodobnosti ztrát, se kvantifikují a zahrnují do výpočtu formou přírážek. Ne každou přírážku je možno aplikovat v posuzované situaci, někdy je nutno použití přírážky přizpůsobit. Cenným zdrojem informací mohou být konzultace se specialisty z oboru „prevence ztrát“.

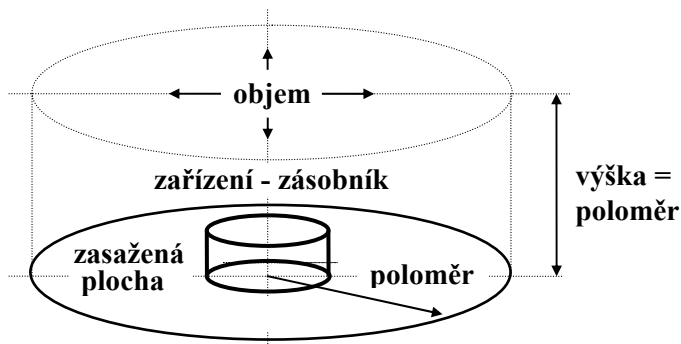
Při oceňování nebezpečnosti jednotky je nutno používat tzv. "common sense" (logiku zdravého rozumu) a správné posuzování v průběhu vlastního výpočtu i při interpretaci výsledků. V následující tabulce jsou uvedeny stupně nebezpečnosti.

Tabulka č. 10: Stupně nebezpečnosti F&E Indexu [8]

Stupně nebezpečnosti podle F&E Indexu	
PÁSMA F&E INDEXU	STUPEŇ NEBEZPEČNOSTI
1 - 60	nepatrný, malý
61 - 96	mírný
97 - 127	střední
128 - 158	závažný
159 a vyšší	kritický

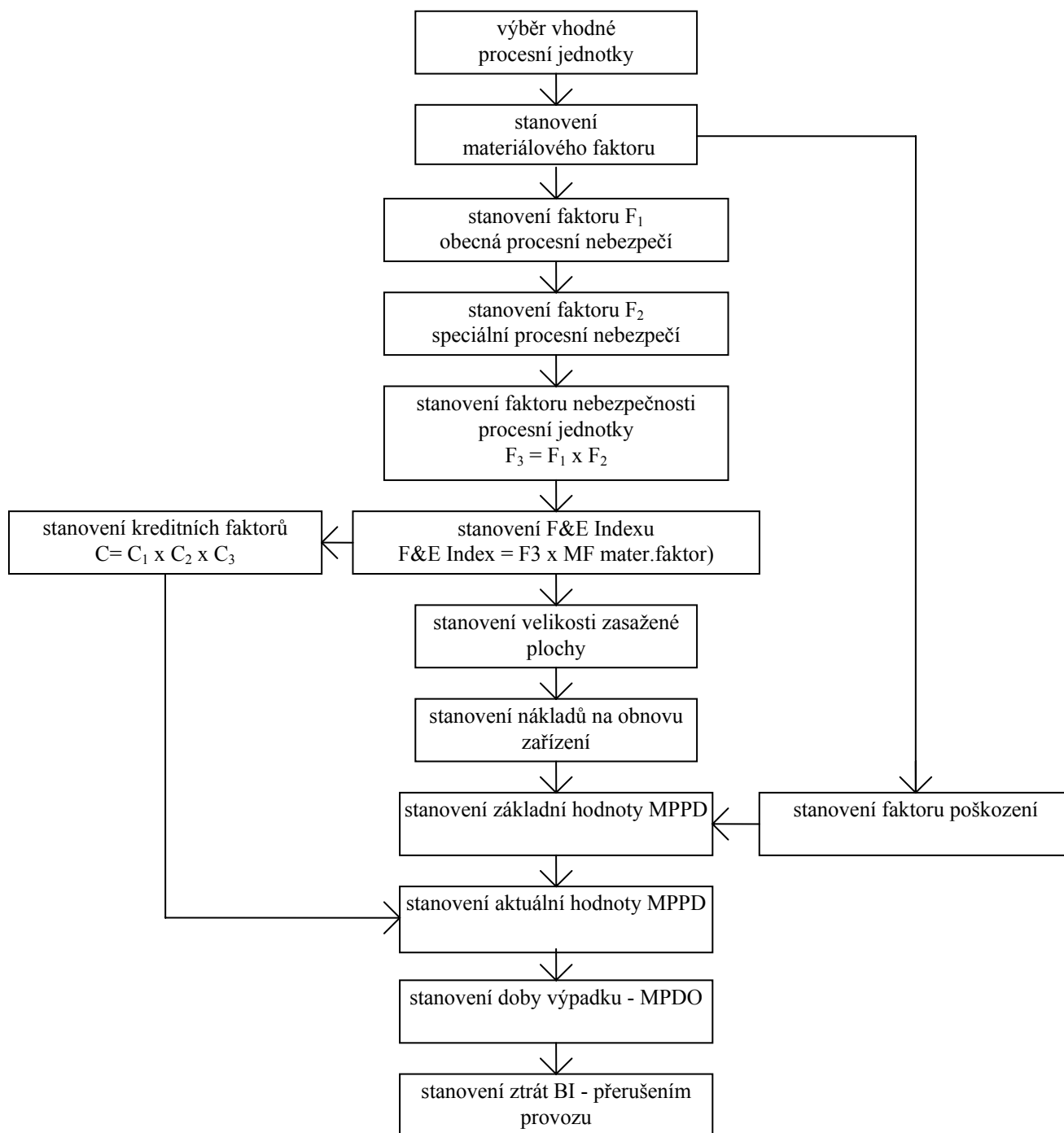
Postup stanovení indexu požáru a výbuchu je komprimován do relativně dobře srozumitelného tvaru - formuláře F&E Indexu.

Odhad velikosti zasažené plochy a zasaženého prostoru v metodě F&E Index je patrný z následujícího obrázku (viz Obrázek č. 13). Poloměr zasažené plochy se stanoví jednoduchým přepočtem na základě hodnoty F&E Indexu (násobení F&E Indexu koeficientem 0.256).



Obrázek č. 13: Odhad velikosti zasažené plochy a zasaženého prostoru metodou F&E Index

Celý algoritmus stanovení F&E Indexu a faktorů rizika je znázorněn na následujícím schématu (viz Obrázek č. 14).



Poznámky:

MPPD – Maximální očekávaná ztráta majetku

MPDO – Maximální očekávaný počet dní výpadku výroby

BI – Ztráta vzniklá přerušením provozu

Obrázek č. 14: Postup stanovení F&E Indexu

Omezení metody F&E Index

Ačkoliv je metoda F&E Index v zásadě určena pro kterýkoliv provoz, ve kterém se skladuje, zpracovává nebo manipuluje s hořlavým, zápalným nebo reaktivním materiálem, může být použita i pro analýzu ztrát zařízení zpracovávajících odpady (kaly, splašky), distribučních systémů, potrubí, usměrňovačů, transformátorů, kotlů, zařízení pracující s oxidačními činidly a dalších částí elektráren. Metoda může být použita také pro hodnocení rizik v menších provozech se skromným inventářem potenciálně nebezpečných materiálů, zásadně se doporučuje aplikovat metodu i pro analýzu poloprovozních jednotek. Metoda se obvykle používá v případech, kdy množství látky dosahuje minimální hodnoty 454 kg hořlavého nebo reaktivního materiálu.

Výsledky F&E Indexu pro případovou studii

Výsledky metody F&E Index pro zdroj č. 5 jsou uvedeny ve formuláři na následujících stranách. Výsledky posouzení všech zdrojů jsou shrnuty v tabulce č. 11.

Významným zdrojem rizika v objektu je především cisterna sirouhlíku při stáčení. Cisterna sirouhlíku byla vyhodnocena do kritického stupně nebezpečnosti, poloměr zasažené plochy je odhadován na 43 m. Na této zasažené ploše je možné stanovit finanční ztráty na majetku a odhadnout ztráty vzniklé přerušením provozu.

Studie prokázala, že amoniak není významným zdrojem rizika požáru a výbuchu, následky potenciální havárie se projeví především jako šíření toxického mraku par.

INDEX POŽÁRU A VÝBUCHU - Dow's FIRE & EXPLOSION INDEX

PODNIK	DIVIZE	UMÍSTĚNÍ	DATUM
STANOVISŤE	VÝROBNÍ JEDNOTKA	PROCESNÍ JEDNOTKA Cisterna na pozici stáčení	
ZPRACOVAL:	SCHVÁLIL:	BUDOVA	
KONTROLOVAL:			
LÁTKY V PROCESNÍ JEDNOTCE	SIROUHLÍK	N_H = 3	N_F = 4 N_R = 0
PROVOZNÍ STAV	NAZEV UVAŽOVANÉ SUBSTANCE		
.....Projekt Najíždění ... X...ProvozOdstavení	SIROUHLÍK		
MATERIÁLOVÝ FAKTOR (viz příručka tab.1 nebo příloha A) Pozor na požadavky při t > 60°C			21
1. Obecná procesní nebezpečí		Rozsah Přírážky	Použitá přírážka
Základní hodnota faktoru		1.00	1.00
A. Exotermické chemické reakce		od 0.30 do 1.25	-
B. Endotermické procesy		od 0.20 do 0.40	-
C. Manipulace a přeprava látek		od 0.25 do 1.05	0.50
D. Umístění jednotky v uzavřených nebo vnitřních prostorách		od 0.25 do 0.90	-
E. Přístupnost k jednotce		od 0.20 do 0.35	0.35
F. Drenáž, zabezpečení proti přetečení		m ³ od 0.25 do 0.50	0.25
Faktor obecných nebezpečí (F₁)			2.1
2. Speciální procesní nebezpečí			
Základní hodnota faktoru		1.00	1.00
A. Toxické látky		od 0.20 do 0.80	0.60
B. Podtlak (< 500 mm Hg)		0.50	-
C. Provoz uvnitř nebo blízko mezi hořlavosti .. s inertizací			-
1. Skladovací nádrže (úložiště, zásobníková pole) hořlavých kapalin		0.50	-
2. Neustálený proces nebo porucha inertizace (porucha přístrojů)		0.30	-
3. Provoz trvale v rozsahu hořlavosti		0.80	0.80
D. Exploze prachu (viz. tabulka 2 příručky)		od 0.25 do 2.00	-
E. Přetlak (viz obr. 2 příručky) provozní přetlak kPa přetlaku nastavení pojišťovacích ventilů.....kPa přetlaku			-
F. Nízká teplota		od 0.20 do 0.30	-
G. Množství hořlavé/nestabilní látky množství50 000 kg H _C = 14.19 MJ/kg			
1. Kapaliny nebo plyny v procesu (viz obr. 3 příručky)			1.20
2. Kapaliny nebo plyny v zásobníku (viz obr. 4 příručky)			-
3. Zápálne pevné látky ve skladu, prach v procesu(viz obr. 5 příručky)			-
H. Vliv koroze a eroze		od 0.10 do 0.75	0.10
I. Netěsnosti spojů a ucpávek		od 0.10 do 1.50	0.10
J. Zařízení s otevřeným ohněm (viz obr. 6)			-
K. Tepelné výměníky s horkým olejem (viz tab. 5 příručky)		od 0.15 do 1.15	-
L. Rotační zařízení		0.50	-
Faktor speciálních nebezpečí (F₂)			3.8
Celkový faktor nebezpečnosti procesní jednotky (F₁ * F₂) = F₃			7.98
Index požáru a výbuchu (F₃ * MF = F&EI)			167.58

Pro případ neaplikované přírážky použijte hodnotu 0.00

KREDITNÍ FAKTORY ŘÍZENÍ ZTRÁT

1. Kreditní faktor řízení procesu (C₁)

vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾	vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾
a) Náhradní zdroje energie	0.98	-	f) Použití inertního plynu	od 0.94 do 0.96	0.96
b) Chlazení	od 0.97 do 0.99	-	g) Provoz. předpisy/postupy	od 0.91 do 0.99	0.95
c) Řízená exploze	od 0.84 do 0.98	-	h) Přehled reakt. sloučenin	od 0.91 do 0.98	-
d) Nouzové odstavení	od 0.96 do 0.99	-	i) Jiné hodnocení rizika	od 0.91 do 0.98	-
e) Počítačem řízený proces	od 0.93 do 0.99	-			

C₁ celkem ⁽³⁾ 0.912

2. Kreditní faktor oddělitelnosti materiálu (C₂)

vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾	vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾
a) Dálkově ovládané armatury	od 0.96 do 0.98	-	c) Drenáž	od 0.91 do 0.97	-
b) Výpustě/odkalování	od 0.96 do 0.98	-	d) Blokování/Interlock	0.98	-

C₂ celkem ⁽³⁾ 1.00

3. Kreditní faktor ochrany před požárem (C₃)

vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾	vybavení	rozsah hodnoty faktoru	použitá hodnota faktoru ⁽²⁾
a) Detekce úniku	od 0.94 do 0.98		f) Vodní clony	od 0.97 do 0.98	-
b) Konstrukční ocel	od 0.95 do 0.98	-	g) Pěna	od 0.92 do 0.97	-
c) Zásobování požární vodou	od 0.94 do 0.97	0.97	h) Ruční hasicí zařízení /požární hlásiče	od 0.93 do 0.98	0.93
d) Zvláštní systémy	0.91	-	i) Ochrana kabelů	od 0.94 do 0.98	-
e) Zkrápěcí systémy	od 0.74 do 0.97	-			

C₃ celkem ⁽³⁾ 0.902

Celkový kreditní faktor ⁽³⁾ = C₁ * C₂ * C₃ = 0.822

1. Index požáru & výbuchu (F&EI)	167.58	
2. Poloměr zasažené plochy	42.90	m
3. Zasažená plocha	5538.9	m ²
4. Investice v zasaženém prostoru		Kč
5. Faktor poškození	0.83	
6. Základní hodnota MPPD (Maximum Probable Property Damage)		Kč
7. Celkový kreditní faktor C	0.822	
8. Skutečná MPPD		Kč
9. Maximální počet dnů výpadku MPDO		
10. Ztráta vzniklá přerušením provozu		Kč

⁽²⁾ Pokud kreditní faktor nebyl stanoven, použije se hodnota 1.00.

⁽³⁾ Použije se součin všech tří faktorů.

Tabulka č. 11: Souhrnné údaje metody F&EI

NÁZEV PODNIKU		Charakter zdrojů rizika:				UMÍSTĚNÍ	
		SKLADOVÁNÍ HOŘLAVÝCH LÁTEK				vybrané jednotky v objektu	
Procesní jednotka hlavní substance	Hodnota materiálového faktoru	F&EI	Stupeň nebezpeč- nosti jednotky	Poloměr zasažené plochy (m)	zasažená plocha (m ²)	Celk. Kredit. Faktor	Poz- námka
amoniak – zásobník	4	28	Malý	7.1	158	0.87	
amoniak - cisterna	4	31.2	Malý	7.9	196	0.87	
benzín - zásobník	10	54	Malý	13.7	590	0.90	
sirouhlík - cisterna	21	167.58	Kritický	42.9	5 538.9	0.82	

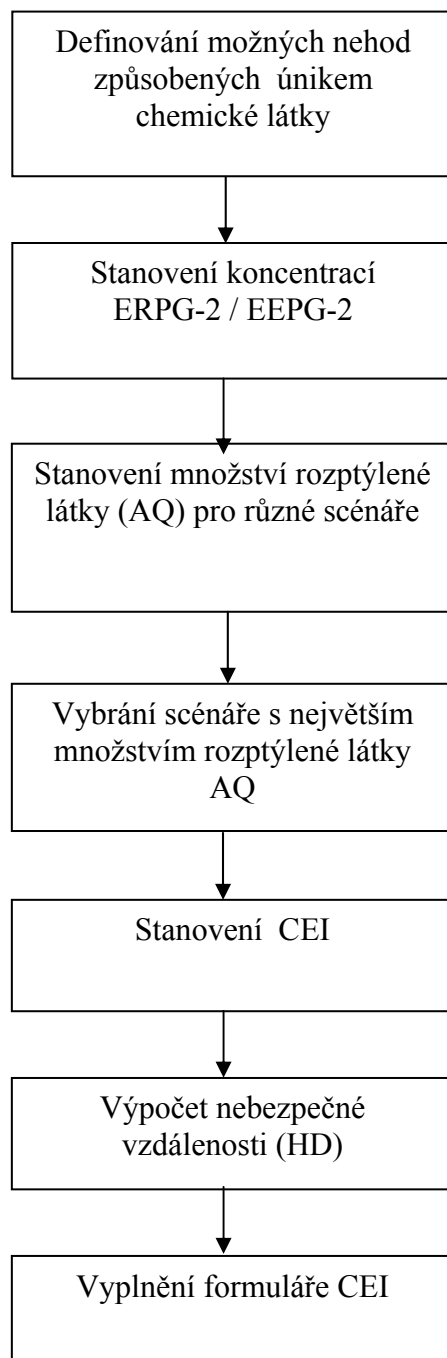
4.1.4 Metoda DOW's Chemical Exposure Index

Index chemického ohrožení (dále jen CEI) je relativně jednoduchá metoda pro kvantitativní posouzení potenciálního ohrožení lidského zdraví v blízkosti chemických provozů, kde existuje reálná možnost úniku nebezpečné chemické látky. Je velmi obtížné stanovit absolutní míru rizika, metoda CEI umožňuje vzájemné relativní porovnání různých zdrojů rizika.

CEI je možné použít pro zařízení určená pro skladování nebo zpracování toxických látek, a to jak pro nové projekty, tak i stávající zařízení. CEI se používá k těmto účelům:

- pro úvodní analýzy / studie procesního nebezpečí (zdrojů rizika), tzv. screening,
- pro prověrku všech jednotek, u kterých je potřebné navrhnout doporučení pro eliminaci, redukci a zmírnění následků úniku,
- pro účely havarijního plánování.

Postup výpočtu CEI Indexu chemického ohrožení je uveden na následujícím schématu. Pokud je hodnota CEI větší než 200, potom jednotka vyžaduje další posouzení nebezpečnosti.



Obrázek č. 15: Postup stanovení CEI

Metoda CEI bere v úvahu následující scénáře pro odhad rozptylu uniklé látky:

Potrubní větev

Roztržení potrubní větve s největším průměrem potrubí:

- Pro průměry potrubí menší než 2 palce (cca 50,8 mm) - úplné roztržení,
- Pro průměry potrubí od 2 – 4 palců - úplné roztržení potrubí Ø 2 palce,
- Pro průměry potrubí větší než 4 palce - protržení odpovídající 20 % průřezu.

Hadice

Úplné roztržení hadice.

Přetlakové ventily s vyústěním přímo do atmosféry

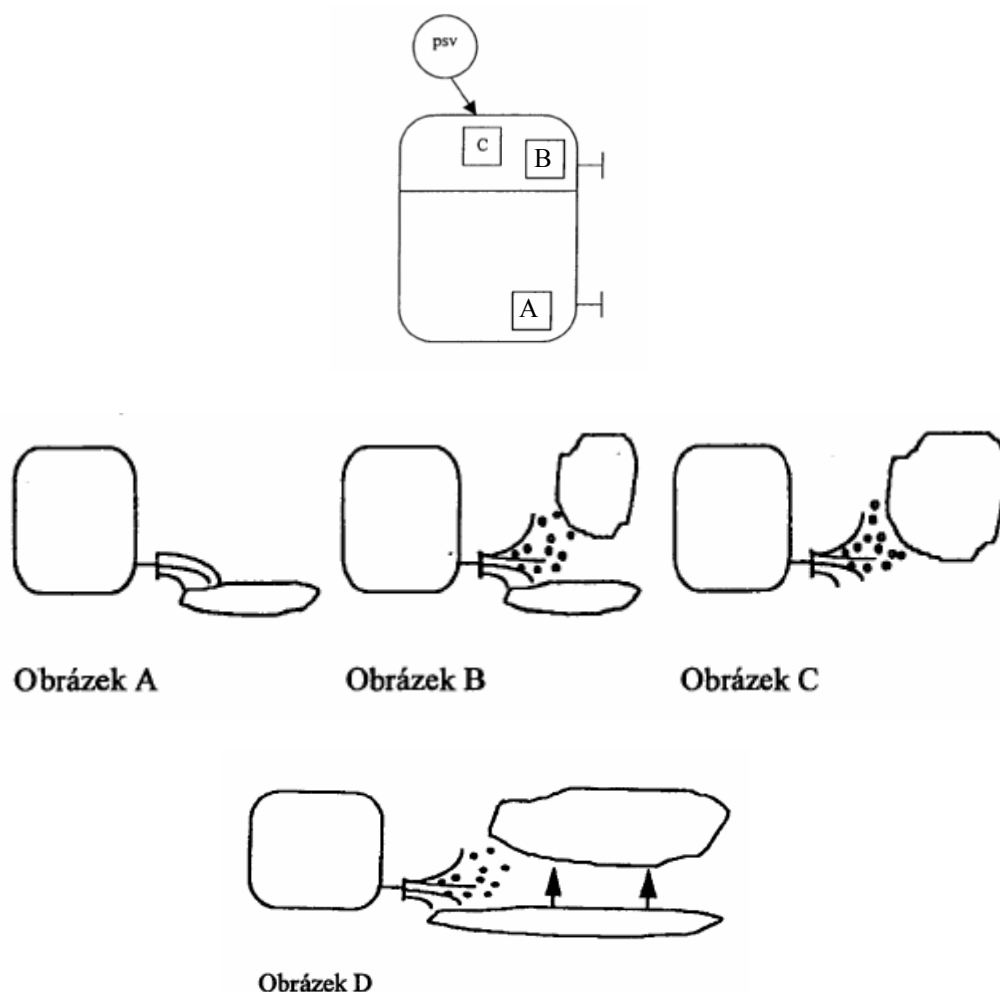
Stanoví se celkové množství unikající při otevíracím tlaku pojišťovacího ventilu.

Zásobníky

Uvažuje se roztržení potrubí největšího průřezu připojeného k aparátu podle kritérií uvedených u potrubí.

Ostatní

U všech scénářů se předpokládá kontinuální únik po dobu trvání alespoň pěti minut. Pokud se za uvedenou dobu uvolní celkový objem, pak je rychlost úniku rovna celkovému objemu vyděleného pěti minutami. Následující schéma znázorňuje základní scénáře úniku toxických látek ze zásobníku, které bere CEI v úvahu.



Obrázek č. 16: Scénáře úniku látky podle CEI [9]

Množství látky rozptýlené do vzduchu po úniku se skládá z úniku přímým výparem nebo jako únik látky či jako výpar z louže. Scénáře v metodě CEI uvažují uniklou látku jako kapalinu nebo páru. Např. obsah zásobníku může uniknout jako kapalina výpustí A, jako pára výpustí B nebo přes pojistný ventil C. Dvofázový tok (kapalina + pára) není zahrnut do hodnocení.

Kapalina, která je v zásobníku nebo potrubí, může vytéci na zem, kde vytvoří louži (viz obr. A), částečně se může vypařit z louže nebo už při výtoku vytvoří mrak par (viz obr. B). Třetí možností je únik kapaliny, který okamžitě přechází do ovzduší ve formě páry nebo malých kapek (viz obr. C). Dalším případem je únik kapaliny, kdy dochází k vytvoření louže nebo naplňování havarijní jímky a následnému výparu do ovzduší (viz obr. D).

Americká asociace pro průmyslovou hygienu AIHA (American Industrial Hygiene Association) publikovala ERPG hodnoty koncentrací (Emergency Response Planning Guidelines), které představují přípustné hodnoty koncentrací škodlivin tam, kde se předvídají nepříznivé účinky. EEPG hodnoty (Emergency Exposure Planning Guidelines) jsou DOW-ekvivalenty k ERPG (které stanovuje asociace AIHA). Stanovují se tehdy, když hodnoty ERPG neexistují. Definice hodnot ERPG/EEPG jsou následující:

ERPG-1/EEPG-1 je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez výrazných zdravotních změn.

ERPG-2/EEPG-2 je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu do jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity.

ERPG-3/EEPG-3 je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu do jedné hodiny bez toho, aby byl smrtelně ohrožený.

Podrobný popis vybraných kroků analýzy metodou CEI

Odhad množství rozptýlené látky pro případ úniku plynné fáze

Pro odhad množství unikajícího plynu rozptylovaného do okolí jsou použity vztahy, které vycházejí z rovnice pro kritický poměr tlaků při úniku plynu :

$$AQ = 4,751 \cdot 10^{-6} D^2 P_a \sqrt{\frac{MW}{T + 273}} \quad (\text{kg/s}) \quad (7)$$

Kde: P_a absolutní tlak = ($P_g + 101,35$) (kPa)

P_g provozní přetlak (kPa)

MW .. molekulová hmotnost

T teplota (°C)

D průměr otvoru (mm)

Odhad množství rozptýlené látky pro případ unikající kapaliny

Krok 1. Stanovení rychlosti výtoku unikající kapaliny

Rovnice byly odvozeny za předpokladu, že minimální doba trvání úniku do jeho zastavení bude pro všechny uvažované scénáře alespoň pět minut. Jestliže během pěti minut dojde k úniku celého objemu, pak bude rychlost výtoku unikající kapaliny stanovena dělením celého objemu pěti minutami.

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} D^2 \rho_l \sqrt{\frac{1000 P_g}{\rho_l} + 9,8 \Delta h} \quad (\text{kg/s}) \quad (8)$$

Kde: P_g provozní přetlak (kPa)

(upozornění: pro zásobník otevřený do atmosféry $P_g = 0$)

ρ_l hustota kapaliny při provozní teplotě (kg/m^3)

Δh ... výška hladiny nad místem úniku (m)

D průměr otvoru (mm)

Krok 2. Stanovení celkového množství uniklé kapaliny

Ke stanovení velikosti louže je potřeba odhadnout celkové množství látky vytvářející louži. Je-li únik tak velký, aby došlo k vyprázdnění zásobníku za méně než 15 min (včetně tak velkého úniku, kdy dojde k vyprázdnění za méně než 5 min), potom množství kapaliny vytvářející louži je celý obsah zásobníku. Pro delší kontinuální úniky (více jak 15 min.) předpokládáme, že louže dosáhne konečné velikosti za 15 min. V takovém případě je objem kapaliny tvořící louži rovný objemu kapaliny, který odpovídá 15 minutovému úniku při dané rychlosti úniku.

Celkové množství unikající kapaliny (W_T) (dojde k vyprázdnění zásobníku za méně než 15 min) se stanoví ze vztahu :

$$W_T = 15 \cdot 60 \cdot L = 900 \cdot L \quad (\text{kg}) \quad (9)$$

Kde: L rychlost úniku kapaliny (kg/s)

Porovnejte vypočtenou hodnotu W_T s objemem systému, ze kterého látka uniká. Jako skutečně uniklé množství se potom uvažuje menší z obou hodnot.

Krok 3. Výpočet odpařeného množství (podílu) kapaliny

Porovnejte provozní teplotu kapaliny s jejím normálním bodem varu. Je-li provozní teplota nižší než normální bod varu, je množství odpařené kapaliny rovno nule. V takovém případě pokračujte krokem 4., vztahem 12. Pokud je provozní teplota vyšší než normální bod varu, potom se stanovuje podíl odpařené kapaliny (F_v).

Podíl (zlomek) kapaliny (F_v), který se odpaří při úniku je dán vztahem:

$$F_v = \frac{C_p}{H_v}(T_s - T_b) \quad (10)$$

Kde: T_b normální bod varu kapaliny (°C)
 T_s provozní teplota kapaliny (°C)
 C_p průměrná tepelná kapacita kapaliny (J/kg°C)
 H_v výparné teplo (J/kg)

Tabulka údajů k CEI obsahuje poměry C_p/H_v pro celou řadu chemických látek. Jestliže některá látka není v seznamu uvedena a požadovanou hodnotu C_p/H_v nelze zjistit z dostupných údajů, potom se použije hodnota $C_p/H_v = 0,0044$.

Pokud dojde k odpařování, část kapaliny se změní na kapičky. Některé z kapek jsou dostatečně malé a jsou unášeny spolu s parami, zatímco velké kapky padají na zem a doplňují vzniklou louži. Odhaduje se, že množství kapaliny, které zůstává po odpaření ve formě malých kapiček v parní fázi tvoří pětinasobek odpařeného množství. Z toho vyplývá, že pokud se odpaří 20 % kapaliny, potom celý unikající proud zůstává v parní fázi a nevytváří se louže.

Množství kapaliny rozptýlované odpařením AQ_f je dáno vztahem:

$$AQ_f = 5(F_v)(L) \quad (\text{kg/s}) \quad (11)$$

Kde: L rychlost toku kapaliny (kg/s)
 F_v podíl odpařené kapaliny (-)

Jestliže $F_v \geq 0,2$ pak $AQ_f = L$ a louže se neutváří. Pokračujte krokem 6.

Krok 4. Určení velikosti louže

Celkové množství kapaliny tvořící louži (W_p) je dáno vztahem :

$$W_p = W_T(1-5F_v) \quad (\text{kg}) \quad (12)$$

Kde: W_T celkové množství unikající kapaliny (kg)
 F_v podíl odpařené kapaliny (-)

Pokud se kapalina neodpařuje, potom:

$$W_p = W_T \quad (\text{kg})$$

Velikost louže se stanoví za předpokladu, že hloubka louže je 1 cm. Pokud dojde k úniku kapaliny do záchytné jímky, potom plocha louže odpovídá ploše záchytné jímky.

Plocha louže (A_p) je dána vztahem:

$$A_p = 100 \frac{W_p}{\rho_l} \quad (\text{m}^2) \quad (13)$$

Kde: W_p celkové množství kapaliny uniklé do louže (kg)

ρ_l hustota (kg/m^3)

Jestliže kapalina uniká do ochranné nádrže, pak se velikost louže rovná velikosti této nádrže mínus oblast, kterou zaujímá zásobník. Jestliže kapalina nenaplní ochrannou nádrž nebo dojde k přetečení okraje, použijte A_p .

Krok 5. Výpočet množství kapaliny rozptylovaného odparem z povrchu louže.

Hodnota AQ_p se stanoví ze vztahu:

$$AQ_p = 9,0 * 10^{-4} (A_p^{0,95}) \frac{(MW) P_v}{T + 273} \quad (\text{kg/s}) \quad (14)$$

Kde: A_p plocha louže (m^2)

MW .. molekulová hmotnost

P_v tenze par kapaliny při charakteristické teplotě louže (kPa)

T charakteristická teplota louže ($^{\circ}\text{C}$) (viz. Podmínka 1 a 2)

Podmínka 1

Jestliže teplota kapaliny je vyšší než teplota okolí, ale nižší než její normální bod varu, potom je charakteristická teplota louže rovna provozní teplotě.

Podmínka 2

Jestliže teplota kapaliny je rovna nebo vyšší než normální bod varu, potom je charakteristická teplota louže rovna teplotě bodu varu kapaliny. Teplota bodu varu je uvažována za normálního atmosférického tlaku.

Krok 6. Výpočet celkového rozptylovaného množství

Celkové rozptylované množství je dáno vztahem:

$$AQ = AQ_f + AQ_p \quad (\text{kg/s}) \quad (15)$$

Kde: AQ_f ... množství kapaliny rozptylované odpařením při úniku (kg/s)

AQ_p ... odpar kapaliny z povrchu louže (kg/s)

Jestliže je celkové množství AQ vyšší než rychlost toku kapaliny (L), potom $AQ = L$.

CEI a výpočet nebezpečné vzdálenosti

Index chemického ohrožení (index toxicity)

Pro všechny výpočty CEI se předpokládá rychlost větru 5 m/s a neutrální povětrnostní podmínky.

$$CEI = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 2}} \quad (16)$$

Kde: AQ celkové množství rozptýlované látky (kg/s)
ERPG-2 .. hodnota v (mg/m³)

Pokud jsou vypočtené hodnoty CEI větší jak 1000, pak CEI = 1000.

Nebezpečná vzdálenost (Hazard Distance - HD)

Nebezpečná vzdálenost (HD) je vzdálenost odpovídající koncentracím ERPG-1,-2 nebo -3 a stanoví se ze vztahu :

$$HD = 6551 \sqrt{\frac{AQ}{ERPG}} \quad \{m\} \quad (17)$$

Kde: AQ celkové množství rozptýlené látky (kg/s)
ERPG = ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3 (mg/m³)

Omezení metody CEI

Metoda CEI nezahrnuje dvoufázový tok z trhliny (kapalina + pára) vzhledem ke složitosti výpočtů. CEI uvažuje únik toxické látky ze zásobníku jako únik kapaliny ze spodní výpustí, jako únik páry z vrchní výpustí nebo únik páry přes pojistný ventil.

Délka úniku látky ze zásobníku je stanovena na max. 15 min, kdy se předpokládá, že louže dosáhne konečné velikosti. Všechny výpočty předpokládají rychlost větru 5 m/s a neutrální podmínky počasí.

Pokud jsou vypočtené hodnoty CEI větší než 1000, pak CEI = 1000. Pokud je nebezpečná vzdálenost (HD) větší jak 10000 m, pak HD = 10000 m.

Výsledky CEI pro případovou studii

Podrobný výpočet metody CEI je uveden pro zdroj č. 1, výsledky posouzení všech zdrojů jsou shrnuty v tabulce č. 12.

Čpavek je skladován v kulovém zásobníku o průměru 12,4 m., pod jeho vlastním výparným tlakem a okolní teplotou 30 °C.

Přetlak uvnitř zásobníku, P _g	1064 kPa
Teplota uvnitř zásobníku T _s	30 °C
Normální bod varu T _b	-33,4 °C
Hustota kapaliny v zásobníku ρ _l	594,5 kg/m ³
Poměr C _p / H _v	4,01 E -03
Výška kapaliny v zásobníku Δh	9,3414 m

Průměr díry D	50,8 mm
Molekulová hmotnost MW	17,03 kg/kmol
Množství	500 t

Krok 1. Stanovení rychlosti výtoku unikající kapaliny:

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} D^2 \rho_l \sqrt{\frac{1000 P_g}{\rho_l} + 9,8 \Delta h}$$

$$L = 61,8 \text{ kg/s}$$

Krok 2. Stanovení celkového množství uniklé kapaliny:

$$W_T = 900 \cdot L \text{ (kg)}$$

$$W_T = 900 \cdot 61,8 = 55\,620 \text{ kg}$$

Krok 3. Výpočet odpařeného množství (podílu) kapaliny:

$$F = \frac{C_p}{H_v} (T_s - T_b)$$

$$F_v = 4,01 \text{E-}03 \cdot (30 - (-30,4))$$

$$F_v = 0,254$$

Množství kapaliny rozptylované odpařením AQ_f je dáno vztahem:

$$AQ_f = 5(F_v)(L)$$

Protože je $F_v > 0,2$ pak $AQ_f = L$

$AQ_f = 61,8 \text{ kg/s}$ a louže se neutváří - přechod na krok 6.

Krok 6. Výpočet celkového rozptylovaného množství:

Celkové rozptylované množství je dáno vztahem:

$$AQ = AQ_f + AQ_p$$

Protože $AQ_f = L$ a $AQ_p = 0$ je

$$AQ = 61,8 \text{ kg/s}$$

Výpočet CEI:

$$\text{ERPG-2} = 139 \text{ mg/m}^3$$

$$CEI = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{\text{ERPG-2}}}$$

$$CEI = 655,1 \sqrt{\frac{61,8}{139}} = 436,8$$

Výpočet nebezpečné vzdálenosti HD:

$$\text{ERPG-2} = 139 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{ERPG-1} = 17 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{ERPG-3} = 696 \text{ mg/m}^3$$

$$HD = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{\text{ERPG}}}$$

$$HD = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{\text{ERPG}}}$$

$$HD = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{\text{ERPG}}}$$

$$HD = 6551 \sqrt{\frac{61,8}{139}}$$

$$HD_2 = 4368 \text{ m}$$

$$HD = 6551 \sqrt{\frac{61,8}{17}}$$

$$HD_1 = 10000 (12490) \text{ m}$$

$$HD = 6551 \sqrt{\frac{61,8}{696}}$$

$$HD_3 = 1952 \text{ m}$$

Souhrnné výsledky metody CEI jsou zařazeny do následující tabulky.

Tabulka č. 12: Souhrnné údaje metody CEI

Procesní jednotka hlavní substance	výsledky Dow's CEI			
	CEI	nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-1} (m)	nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-2} (m)	nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-3} (m)
1. čpavek – zásobník	436,8	10 000	4 368	1 952
2. čpavek – cisterna	437,5	10 000	4 375	1 955
3. čpavek – potrubí s kapalinou	567,7	10 000	5 677	2 537
5. sirouhlík – cisterna	230	10 000	2 308	730

Pomocí metody CEI byl stanoven Index chemického ohrožení pro skladování a přepravu čpavku a pro stáčení cisterny sirouhlíku. Protože je hodnota CEI ve všech případech větší než 200, jednotky vyžadují další posouzení nebezpečnosti.

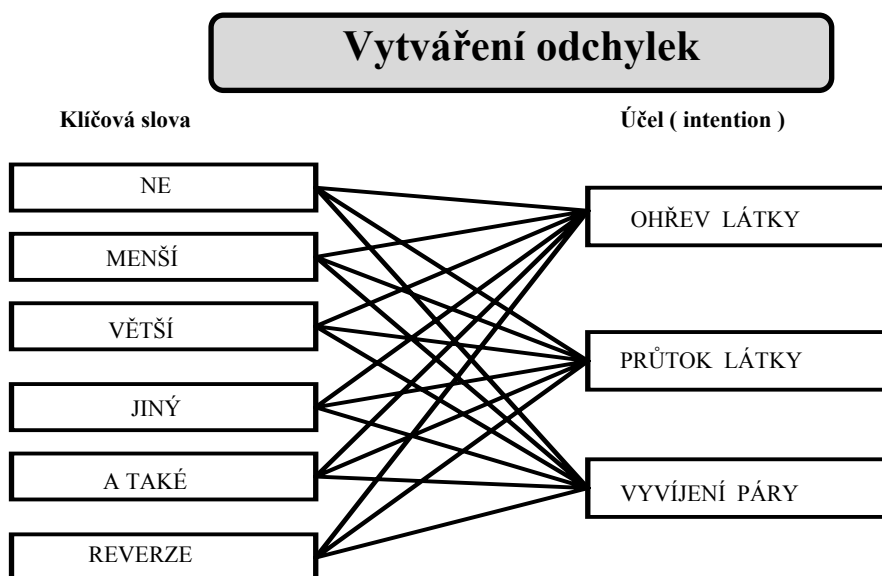
Ve výše uvedených odstupových vzdálenostech od posuzovaných zdrojů rizika je nutno počítat s definovanými následky podle hodnot ERPG. Je zřejmé, že hodnoty ERPG jsou stanoveny s ohledem na citlivou část populace (děti, nemocní lidé atd.). Proto vycházejí vzdálenosti HD relativně velké.

4.2. Příklad metody HAZOP

HAZOP (Hazard and Operability Study) - systematická studie bezpečnosti & provozovatelnosti procesu je metoda vyvinutá technikou v ICI - Petrochemical Division a je prověřená v praxi na mnoha případech. Vychází ze základního předpokladu, že příčinou vzniku havarijního stavu je nějaká odchylka od projektovaného stavu. Pro snadné vytváření odchylek je používáno kombinace klíčových slov a účelu zařízení. Seznam klíčových slov je uveden v následující tabulce a způsob vytváření odchylek v následujícím schématu (Obrázek č. 17).

Tabulka č. 13: Slovník klíčových slov pro studii metodou HAZOP

klíčové slovo	logický význam	příklad
NENÍ	úplná negace původní funkce	není chlazení
VĚTŠÍ	kvantitativní nárůst	větší průtok
MENŠÍ	kvantitativní pokles	menší průtok
A TAKÉ JAKOŽI A ROVNĚŽ	kvalitativní nárůst (výskyt ještě jiného případu) kvalitativní nárůst	průnik vody do reaktoru zanášení topného hadu
ČÁSTEČNĚ	kvalitativní pokles	částečný průtok
REVERZE	opačná funkce (činnost)	reverzní tok media
JINÝ	úplná náhrada	přítomnost jiných látek
PŘEDČASNÝ	předčasná funkce (činnost)	
ZPOZDĚNÝ	opozděná funkce (činnost)	



Obrázek č. 17: Charakteristika metody HAZOP [10]

Postup studie metodou HAZOP lze popsat těmito kroky:

1. popis účelu (řádné funkce) subsystému (např. chlazení, ohřev) - jeden subsystém, pokud možno jedna základní funkce;
2. popis odchylky od požadované funkce (např. není chlazení) - využití definovaných tzv. klíčových slov;
3. nalezení příčiny nebo souběhu příčin vedoucích k odchylce (hledání odpovědi na otázku „co mohlo způsobit, že..“);
4. stanovení možných následků a doporučených zásahů.

Složení HAZOP týmu je vhodné uspořádat následujícím způsobem:

- Vedoucí studie - důkladná znalost chemického inženýrství a metody HAZOP.
- Sekretář - zapisovatel.
- Odborný tým: - reprezentuje dostupné znalosti, zkušenosti a vědomosti o procesu (např. projektant, procesní chemik / technolog, strojní inženýr, bezpečnostní inženýr, zástupce vedení provozu).

Příklad způsobu zaznamenání výsledků metodou HAZOP je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 14: Příklad způsobu zaznamenání výsledků metodou HAZOP

HAZOP STUDIE				
Projekt:				
Sybsystém:				
Popis systému:				
Klíčové slovo	Odchylka (příklad pro chlazení)	Příčina	Následek	Akce / doporučení
NENÍ	není chlazení,			
VĚTŠÍ	větší průtok			
MENŠÍ	menší průtok			
A TAKÉ JAKOŽ I A ROVNĚŽ	průnik vody do reaktoru / zanášení topného hadu			
ČÁSTEČNĚ	částečný průtok			
REVERZE	reversní tok media			
JINÝ	přítomnost jiných látek			
PŘEDČASNÝ				
ZPOŽDĚNÝ				

Přínos systematické studie metodou HAZOP

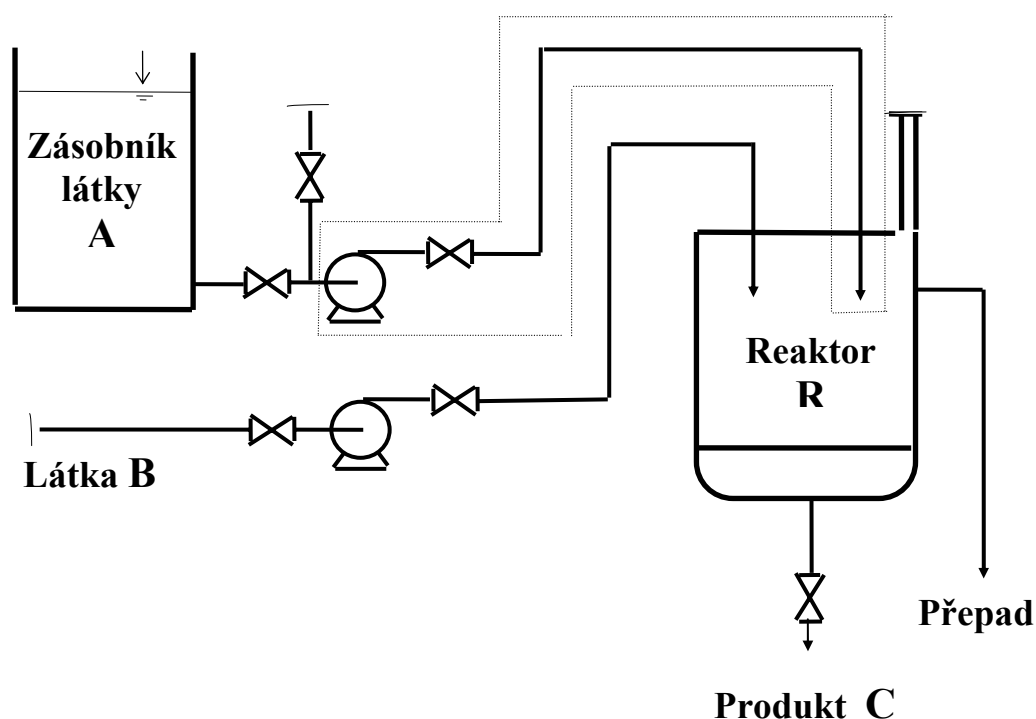
Studie představuje systematickou a důkladnou prohlídku zařízení, která identifikuje nebezpečné stavy a posuzuje provozuschopnost. Dále umožňuje vyhodnotit následky chyb operátora a odhalovat takové situace, ve kterých by chyba operátora mohla mít závažné následky. Systematický postup umožňuje odhalování nových nebezpečných stavů, které se mohou na zařízení objevit, a odhalování situací, které mohou vést k narušení provozu, neplánovaným odstávkám, zničení zařízení, ztrátě rozpracované suroviny, ale také ke zdokonalení provozních předpisů.

Úspěšná bezpečnostní studie metodou HAZOP vyžaduje zkušené odborníky, správné rozvržení práce, dostatečnou vytrvalost a manažerskou práci s potřebným nasazením pro věc. Nezkušený tým sotva dokáže odhalit zdroje

nebezpečí a málo zkušený tým je nejistý, čehož výsledkem je dlouhá řada doporučení.

Demonstrační příklad

Postup studie metodou HAZOP lze demonstrovat na jednoduchém systému (viz Obrázek č. 18), kdy do reaktoru vstupují samostatně látky A a B, které reagují na produkt C. V reaktoru probíhá reakce podle rovnice $A + B \rightarrow C$. Předpokládejme, že koncentrace látky B v reaktoru nesmí nikdy překročit koncentraci látky A, jinak může dojít k explozi.



Obrázek č. 18: Demonstrační příklad metody HAZOP [10]

Jako příklad je studii podroben nejprve subsystém potrubní větve s čerpadlem určený k čerpání látky A ze zásobníku do reaktoru (na schématu označena hranice subsystému tenkou čárkovanou čarou). První klíčové slovo „není“ připojíme k funkci potrubní větve - tj. přítoku a generujeme odchylku „není přítok látky A potrubní větví do reaktoru“ nebo také „není přítok“, tj. posuzuje se stav, kdy touto větví nic (vůbec nic) neteče. Pokračuje se nalezením příčin: „Co mohlo způsobit, že není přítok látky A do reaktoru?“. Ze strojně technologického schématu byly nalezeny možné příčiny:

- prázdný zásobník látky A;
- porucha čerpadla - mechanická;
 - elektrická;
 - jiná (vypnuto, není proud atd.);

- prasklé potrubí;
- uzavřený ventil na výtlaku čerpadla.

V dalším kroku se odhadují možné následky, např. pomocí otázek typu: „Co se stane, když dojde k úplnému přerušení přítoku látky A do reaktoru ?“. Do reaktoru proudí jen látka B, roste její koncentrace, přesáhne koncentraci látky A a následkem je exploze. Ve schématu tak bylo odhaleno nebezpečí (zdroj rizika) a HAZOP tak splnil svoji úlohu! Takto identifikovaný zdroj rizika pak vyžaduje podrobnější rozbor a posouzení.

Další klíčové slovo je „větší“, ve spojení s funkcí „přítok“ dostaneme odchylku „větší přítok“ látky A do reaktoru. Příčinu odchylky hledáme pomocí otázek „Co mohlo způsobit, že je větší přítok látky A do reaktoru?“ Je to možné s ohledem na provozní charakteristiku zařízení? Příčinou může být zvýšený výkon čerpadla a následky hledáme například pomocí otázky „Co se stane, když dojde ke zvětšení přítoku látky A do reaktoru?“. Zjišťujeme, že:

- přebytek látky A znamená kontaminaci produktu a je potřeba zjišťovat, co to znamená pro další výrobu;
- zvýšení průtoku látky A může způsobit přeplňování reaktoru a únik látky přepadem.

Dále je potřeba uvážit, zdali jsou takové stavy nebezpečné.

U klíčového slova je „menší“ může být nalezena odchylka „menší přítok“ látky A do reaktoru, což představuje odlišné příčiny než odchylka „žádný přítok“:

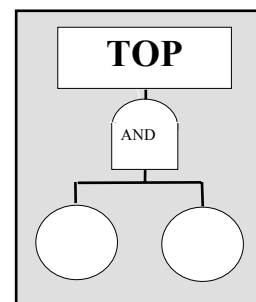
- ventil na výtlaku čerpadla je mírně přivřený (nedostatečně otevřený);
- potrubí je částečně ucpané;
- čerpadlo nedává plný výkon - opotřebení lopatek;
- ventily jsou opotřebované;

Následky jsou obdobné jako v případě „není přítok“ a je identifikováno nebezpečí (zdroj rizika) - exploze.

Postupně se tímto způsobem aplikují všechna klíčová slova a identifikují se všechny myslitelné odchylky.

4.3. Příklad analýzy stromem poruch - Fault Tree

Analýza bezpečnosti metodou stromu poruch byla vyvinuta pro potřeby elektrotechniky, rozvíjena v letectví a široké použití našla v jaderné energetice. Na základě výsledků dosažených v jaderné energetice je dnes používána také v procesním průmyslu. Sestavení stromu poruch pro kterýkoliv systém je velmi náročné na čas, znalosti a zkušenosti.



Strom poruch je logický graf, který slouží k odhalení cest, kterými se mohou v systému šířit poruchy. Jde o postup deduktivní, vychází se z přesně definované konečné poruchy - vrcholové události - tzv. „Top Event“ a hledají se příčiny nebo souběhy příčin (rozvíjejí se scénáře), které mohou konečnou událost způsobit.

Před zahájením analýzy je nutno řešit tyto úkoly:

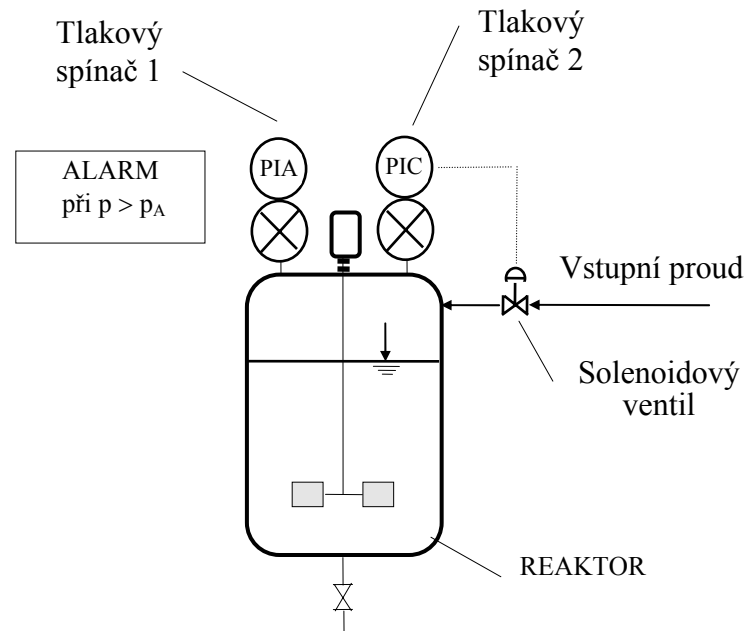
1. Přesně definovat analyzovanou - tzv. vrcholovou událost (Top Event). Popis musí být přesný a přiměřený, např. vysoká teplota v reaktoru, příliš vysoká hladina kapaliny v zásobníku. Naproti tomu se události typu „exploze reaktoru“ nebo „požár v procesu“ jeví jako příliš neurčitý, vágní popis události. Opačně zase událost typu „netěsnost ventilu“ se jeví pro tuto analýzu jako příliš specifická, detailní.
2. Popis sledované události. Jaké okolnosti/podmínky musejí nastat, aby k takové události došlo.
3. Stanovte okolnosti, které se při analýze nebudou brát do úvahy. Jsou to případy, které jsou nepravděpodobné, nebo se neuvažují. Může to být účinek tornáda, blesku, porucha el. vedení atd.
4. Stanovte fyzikální hranice systému. Které části systému (ještě) vezmete do úvah při sestavování stromu poruch.
5. Popište uvažovaný stav systému, které ventily jsou otevřeny a které zavřeny? Jaké jsou uvažované výšky hladin? Jedná se o normální provozní stav?
6. Definujte úroveň podrobnosti analýzy. Je prvkem ventil nebo je ventil soubor prvků?

Vlastní sestavení stromu poruch má řadu kroků. Vychází se z vrcholové události, kterou analyzujeme. V dalších krocích se hledají možnosti předzvěsti vrcholové události/poruchy v jednotlivých subsystémech. Tato fáze analýzy je náročná na čas, znalosti a zkušenosti. Postupuje se tak, že se hledají dílčí události, které přispívají/vedou k vrcholové události.

Závažným krokem je posouzení logického vztahu mezi dílčími událostmi a událostí vrcholovou - přiřazení logického operátoru. Pokud k vrcholové události dojde jen v případě současného výskytu všech dílčích událostí (paralelní

řazení), jde o logický operátor „and“. Pokud má dílčí událost za následek vrcholovou událost, (sériové řazení), jde o logický operátor „or“.

Příkladem může být sestavení stromu poruch pro případ jednoduchého systému s tlakovým reaktorem na následujícím obrázku.



Obrázek č. 19: Demonstrační příklad metody FTA [10]

Popis řešeného problému:

1. Vrcholová událost - zničení reaktoru vysokým tlakem.
2. Okolnosti vedoucí k výskytu: vysoký procesní tlak v reaktoru.
3. Neuvažované události: porucha míchadla, porucha el. vedení.
4. Hranice uvažovaného systému: viz schéma zařízení.
5. Uvažovaný stav: Solenoidový ventil je otevřený, nátok do reaktoru volný.
6. Úroveň podrobnosti - viz Obrázek č. 20.

Generování stromu poruch vychází z vrcholové události. Nárůstu tlaku v reaktoru brání dva subsystémy. Jde o regulaci přívodu vstupního proudu do reaktoru na základě hodnoty tlaku a havarijní signalizaci překročení horní povolené hodnoty tlaku. Pokud je jeden ze systémů bezporuchový, lze vrcholové události předejít. Pokud současně selžou oba subsystémy, dojde k havárii. Poruchové stavy těchto subsystémů se propojí logickým operátorem „and“ (jsou řazeny paralelně - kterýkoliv z nich je schopen vrcholové události/poruše zabránit.).

Generování stromu poruch pokračuje rozbořem dvou uvažovaných subsystémů. Poruchový stav subsystému signalizace bude vyvolán poruchou tlakového spínače 1 nebo poruchou světelné signalizace. To znamená, že kterýkoliv z uvedených prvků může vyvolat poruchu subsystému - odpovídající logický operátor bude „or“.

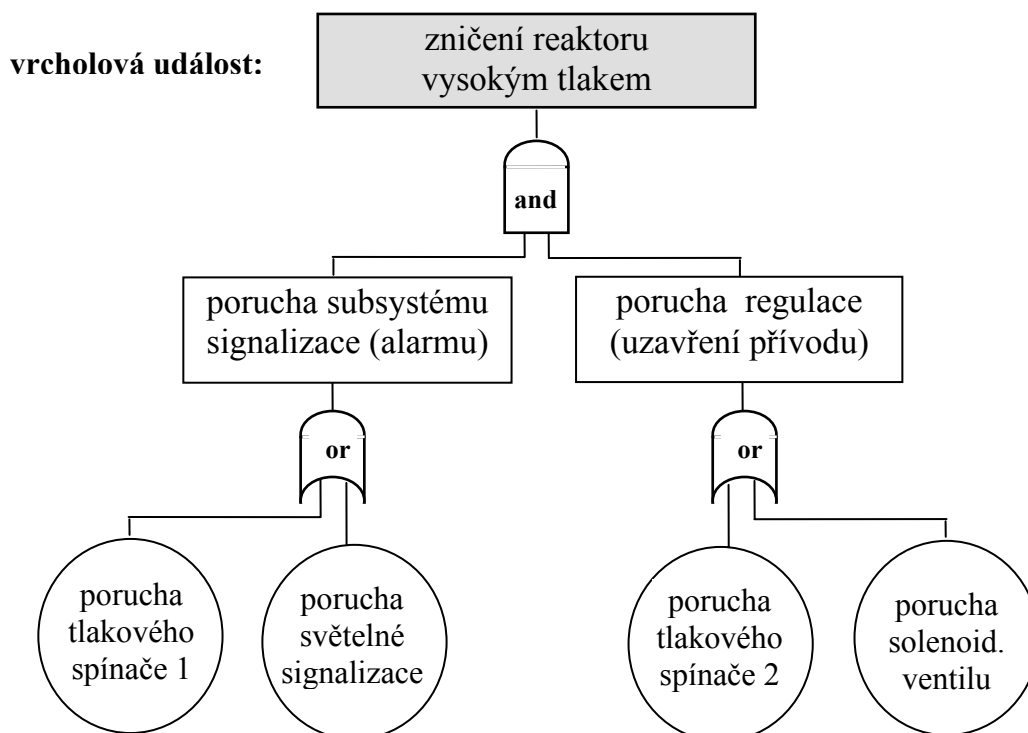
Analogická situace je i v případě poruchy subsystému regulace. Bezporuchový provoz vyžaduje bezporuchovost tlakového spínače i solenoidového ventilu. Prakticky to znamená, že porucha kteréhokoliv prvku znamená poruchu subsystému.

Na této úrovni analýza končí, poruchy prvků nejsou dále analyzovány. Úroveň podrobnosti analýzy bývá ovlivňována jednak požadavky praxe a jednak požadavkem na kvantitativní ocenění stromu událostí. Úroveň analýzy je potom ovlivněna dostupností údajů o spolehlivosti prvků. Prvkem je potom taková část subsystému, jejíž spolehlivostní charakteristiky jsou známy, nebo se předpokládá, že je lze získat. Dělení systému na prvky je vždy účelovou záležitostí.

Pokud jsou známy spolehlivostní charakteristiky, lze stanovit pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků. Předpokládejme, že pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků systému byly stanoveny takto :

tlakový spínač 1 : $P_1 = 0,13$ světelná signalizace : $P_2 = 0,04$
 tlakový spínač 2 : $P_3 = 0,13$ solenoidový ventil : $P_4 = 0,34$

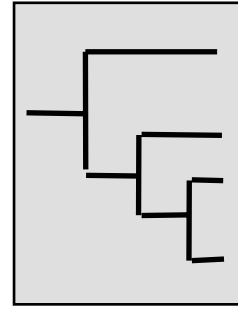
Použitím jednoduchých pravidel z oblasti matematické logiky (průnik a sjednocení nezávislých jevů) dostaneme konečný výsledek. Pro subsystém signalizace dostaneme pravděpodobnost poruchy 0,17 a pro subsystém regulace dostaneme pravděpodobnost poruchy 0,47. Pravděpodobnost výskytu vrcholové události/havárie je potom $P = 0,0799$.



Obrázek č. 20: Výsledný strom poruch [10]

4.4. Příklad analýzy stromem událostí - Event Tree

Strom událostí (ETA - Event Tree Analysis) je logický graf, který popisuje logický rozvoj scénáře od tzv. iniciační události směrem k možným závažným následkům. Jedná se o induktivní systematický postup rozvíjející iniciační událost postupnými logickými kroky (možnými sekvencemi), kterými se berou do úvah tzv. bezpečnostní funkce systému včetně úspěšnosti takové funkce/zásahu.



Výsledkem je logický graf rozvoje iniciační události a pravděpodobnostní hodnocení scénáře s ohledem na různé možné následky.

Pokud se stane v provozu nějaká neočekávaná událost (výpadek, nehoda), bývá systém vybaven tzv. bezpečnostními systémy, které mají ochrannou funkci, tj. brání šíření nehody, výpadku, události. V neposlední řadě má tuto funkci i obsluha zařízení. Takové systémy mohou zasáhnout úspěšně nebo mohou i ony selhat. Metoda stromu událostí vyhodnocuje následky iniciační události s ohledem na reálné vlastnosti bezpečnostních systémů a spolehlivost člověka.

Obvyklý postup při analýze pomocí stromu událostí:

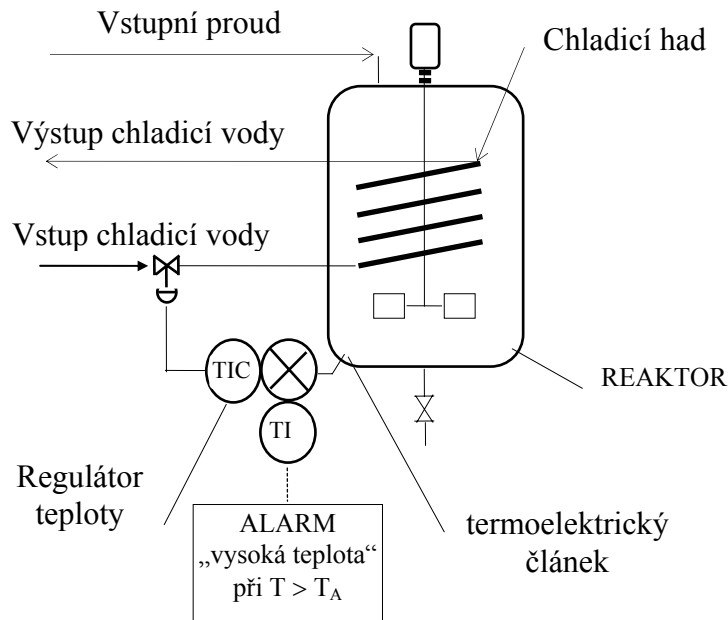
1. identifikace sledované iniciační události;
 2. identifikace bezpečnostních funkcí bránících šíření iniciační události;
 3. sestavení stromu událostí;
 4. vyhodnocení logického grafu a možných následků.
-
1. Iniciační událost je charakteristická tím, že představuje poruchu některého systému, poruchu zařízení nebo i chybu člověka. Pokud má iniciační událost bezprostřední následek, je vhodnější použití metody FTA pro odhalení příčin poruch. Analýza stromem událostí nachází uplatnění v případech, kdy rozvoji iniciační události (šíření poruchy) brání instalované systémy (signalizace, bariéry, odstavení) nebo předem přijatá opatření (postupy obsluhy a údržby), které zmírňují možné následky.
 2. Mezi systémy s bezpečnostní funkcí patří především :
 - systémy automatického odstavení (shutdown systems, interlock systems, atd.)
 - varovná signalizace pro obsluhu (upozorňující na výskyt iniciační události)
 - zásah operátora po varovném signálu nebo na základě předpisů
 - systémy zmírňující následky události (pojišťovací ventily, zkrápěcí zařízení, hasicí zařízení, atd.)
 - bariéry a prostředky omezení následků iniciační události

3. Sestavení stromu událostí vychází z iniciační události. Bezpečnostní funkce je nutno identifikovat ve správném chronologickém pořadí, ve kterém se podílejí na zmírňování následků případné události. Při sestavování stromu událostí je nutno kvalifikovaně posoudit, zda bezpečnostní funkce ovlivní průběh události. Pokud dojde k ovlivnění události, sestrojí se větve pro úspěšný a neúspěšný zásah uvažovaného bezpečnostního systému. Obvykle je úspěšný zásah reprezentován horní větví a neúspěšný zásah spodní větví grafu.

Pokud nedojde k ovlivnění průběhu iniciační události, graf se nevětví a zvažuje se funkce dalšího bezpečnostního systému. Každé větvení zakládá novou větev, novou sekvenci událostí.

4. Úplný sestavený logický graf umožňuje pravděpodobnostní hodnocení vývoje události. Vstupními hodnotami jsou pravděpodobnosti pro úspěšný či neúspěšný zásah bezpečnostního systému. Vyhodnocením se získají pravděpodobnosti uvažovaných konečných stavů. Takto lze stanovit pravděpodobnost nevratné posloupnosti poruch a navrhnout úpravy vedoucí ke zlepšení.

Na následujícím obrázku je uveden chemický reaktor, pro který bude představen postup analýzy stromem událostí.



Obrázek č. 21: Demonstrační příklad metody ETA [10]

Exotermická reakce probíhající v reaktoru vyžaduje chlazení. Výpadek chlazení je nebezpečný, je zdrojem rizika. Hrozí „tepelné ujetí“ reaktoru s následnou explozí.

Strom událostí pro uvažovaný scénář vyvolaný výpadkem chlazení je na dalším obrázku (viz Obrázek č. 22).

Předpokládejme, že u tohoto systému byla instalována signalizace (alarm) vysoké teploty upozorňující operátora na vysokou teplotu v reaktoru. V systému byly identifikovány celkem 4 bezpečnostní funkce, které mohou zabránit rozvoji iniciační události a tak konečnému následku.

K identifikaci jednotlivých bezpečnostních opatření/stupňů dospějeme logickým rozbořem vývoje reálné situace. Při zvyšování procesní teploty v reaktoru dojde k překročení „horní dovolené teploty“ a je signalizována vysoká teplota. Prvním stupněm je signalizace (alarm) - „vysoká teplota“ v reaktoru. Druhý stupeň představuje monitorování stavu reaktoru operátorem, kterému při běžné prohlídce reaktoru neujde zvyšování teploty v reaktoru (na základě místního měření teploty). Třetím stupněm je možnost obnovení funkce chlazení zásahem operátora. Posledním krokem je možnost odstavení reaktoru zásahem operátora.

Chronologická posloupnost bezpečnostních funkcí :

- signalizace pro operátora " vysoká teplota";
- zjištění nárůstu při běžné prohlídce reaktoru;
- zásah operátora - obnovení funkce chlazení;
- operátor odstaví reaktor.

Pravděpodobnostní ocenění bezpečnostních funkcí (vstupní údaje pro hodnocení scénáře):

Údaj B... alarm „vysoká teplota“ - 1 signál ze sta signálů neprijde.

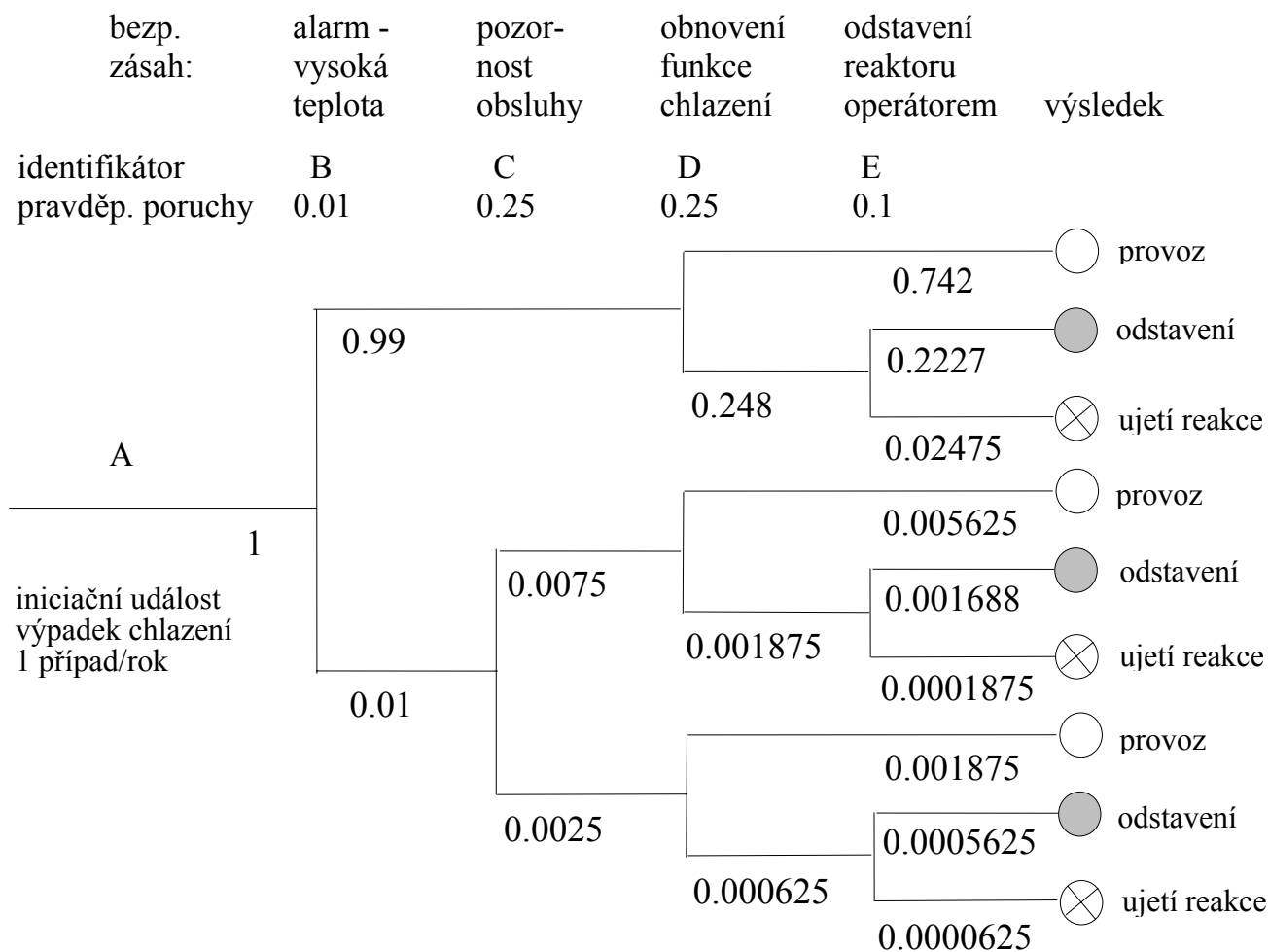
Údaj C... monitorování teploty operátorem při kontrole - v 1 ze 4 případů obsluha nezjistí nárůst teploty.

Údaj D... obnovení funkce chlazení - v 1 ze 4 případů se nepodaří obnovit funkci chlazení.

Údaj E... odstavení reaktoru operátorem - v 1 z 10 zásahů obsluhy se nepodaří reaktor včas odstavit.

(Jde o údaje o spolehlivosti prvků systému a lidského činitele).

Signalizace „vysoká teplota“ je první bezpečnostní funkcí a pravděpodobnost úspěšné signalizace je vysoká. Graf se větví a zvažuje se ovlivnění vývoje situace další bezpečnostní funkcí. Pokud bylo zvýšení teploty v reaktoru úspěšně signalizováno, neovlivní další funkce (tj. monitorování teploty při obchůzce) vývoj situace a graf se nevětví. Pokud však není zvýšení teploty signalizováno, má monitorování teploty operátorem zásadní význam, jde o důležitou bezpečnostní funkci (i tato bezpečnostní funkce má jistou pravděpodobnost úspěchu a graf se větví. Další postup větvení grafu je analogický.



Obrázek č. 22: Strom událostí pro případ "výpadek chlazení reaktoru" [10]

Spektrum konečných možných stavů je zřejmé z logického grafu. Pravděpodobnost výskytu jednotlivých konečných stavů se získá jednoduchým výpočtem. Příklad detailního výpočtu je patrný z následujících rovnic.

$$\text{Odstavení} = 0.2227 + 0.001688 + 0.0005625 = 0.2250 \text{ případů/rok}$$

$$\text{Ujetí} = 0.02475 + 0.0001875 + 0.0000625 = 0.0250 \text{ případů/rok}$$

Při generování scénáře se obvykle vychází z předpokladu, že tato iniciační událost (např. výpadek chlazení) lze očekávat jednou za rok. Celý postup výpočtu se tak zjednoduší. Pokud lze iniciační událost očekávat s jinou frekvencí, lze výsledky jednoduše přepočítat.

5. Závěr

Hodnocení rizika je definováno jako komplexní proces určení závažnosti a pravděpodobnosti vzniku nežádoucí situace a rozhodnutí, jaká opatření budou učiněna k eliminaci, případně omezení rizika na přijatelnou míru. Klíčovou otázkou pro analýzu rizika je volba vhodné metody hodnocení rizik.

Proto byl v tomto učebním textu zařazen stručný přehled dostupných metod, které se používají především v úvodních částech analýzy rizik. U těchto vybraných metod je vždy uvedena stručná charakteristika, omezení metody a na případových studiích a demonstračních příkladech je čtenář seznamován s principem metod.

Cílem tohoto učebního textu bylo představit základní informace z oblasti prevence závažných havárií. Na tuto publikaci navazuje druhý díl "Prevence závažných havárií II.", který se zaměřuje na detailní kvantitativní analýzu rizik (QRA) a systém řízení rizik.

Použitá literatura:

1. Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí pro postup při zpracování dokumentu „Návrh na zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo B“ podle zákona č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií, Věstník MŽP 6/04
2. Bartlová, I., Balog K.: Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií, Edice SPBI Spektrum 7., Ostrava 1998, ISBN: 80-86111-07-05
3. 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
4. Ferjenčík, M., Nejedlý J.: Metodologie hodnocení míry rizika velkých havárií - Kvantitativní analýza rizika chemických procesů, České ekologické manažerské centrum (CEMC) Praha, 1992
5. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992, ISBN 0-8169-0473-1.
6. Guidelines for Quantitative Risk Assessment, CPR 18E Purple Book, 1999, Hague.
7. IAEA - TECDOC – 727, Manual for the classification and prioritisation of risks due to major accidents in process and related industries, International Atomic Energy Agency, Austria, 1996.
8. Manual – Dow's Fire & Explosion Index, Hazard Classification Guide, 7th Edition, January 1994.
9. Manual – Dow's Chemical Exposure Index, 1st Edition, AIChE, New York, 1994.
10. Babinec, F.: Bezpečnostní inženýrství (učební text), VUT Brno.
11. Mika O., Vik M., Kelnar L.: Rozšířené a závažné zdroje rizik, 112 Odborný časopis požární ochrany, IZS a ochrany obyvatelstva, 9/2004.
12. Guides to Chemical Risk Management, Chemical Safety in Your Community: EPA's New Risk Management Program, EPA 550-B-99-010, May 1999

Příloha č. 1 - Hodnocení rizik nezařazených zdrojů rizik

V současnosti probíhá výběr zařízení, pro které je vyžadována bezpečnostní dokumentace z oblasti prevence závažných havárií, na základě limitních množství nebezpečných látek uvedených v zákoně o prevenci závažných havárií. Tento poměrně jednoduchý postup podle součtového vzorce přináší své klady i zápory. Na jednu stranu jednoznačným způsobem rozhodne o zařazení podniku do skupiny A nebo B, ale z druhé strany nic neříká o riziku vyplývajícím pro okolí. V některých případech může zdroj rizika s podlimitním množstvím nebezpečných látek umístěný například v hustě obydleném území představovat větší ohrožení, než větší zdroj s nadlimitním množstvím umístěný mimo obytná území. Proto jsou v následujícím textu stručně uvedena možná východiska pro hodnocení nezařazených zdrojů rizika.

Charakteristika nezařazených zdrojů rizika

Nezařazené zdroje rizika lze definovat jako technologická zařízení obsahující menší množství nebezpečných látek, než jsou dány v limitech zákona o prevenci závažných havárií. Prevence havárií těchto zdrojů rizika tak není v současnosti legislativně zabezpečena, proto není vytvářen patřičný tlak na řízení a snižování rizik při provozování takovýchto zařízení.

Nezařazené zdroje rizika jsou charakterizovány podle vlastností a množství umístěných nebezpečných látek. Jde především o toxické, hořlavé nebo výbušné látky. Jako příklady typických nezařazených zdrojů rizik lze uvést zařízení s amoniakem do 50 t, s chlorem do 10 t nebo LPG do 50 t. Uvádí se, že takovýchto nezařazených zdrojů rizika se vyskytuje na území ČR řádově stovky až tisíce [11]. Následující tabulka podává příklady často se vyskytujících nezařazených zdrojů rizika.

Tabulka č. 15: Příklady typických nezařazených zdrojů rizika

Nebezpečná látka	Příklad zařízení	Poznámka
čpavek	pivovary, mlékárny, chladírny, masokombináty, zimní stadióny	čpavek ve strojovnách chlazení
chlor	úpravny vod, bazény, koupaliště	chlor v 500 kg sudech nebo 45 kg láhvích
acetylén	sklady tlakových láhví	nejčastěji 50 l láhve s obsahem 8 kg C ₂ H ₂
LPG	čerpací stanice, domácí zásobníky, sklady láhví	nejčastěji zásobníky 5 m ³ nebo láhve 10 kg

Poměrně často vyskytující se nebezpečnou látkou je čpavek. Pro své specifické vlastnosti se využívá ve strojovnách chlazení, proto nachází velké využití v potravinářském průmyslu. Množství čpavku ve strojovnách chlazení se

liší především podle velikosti provozu, například masokombináty mívají 1,8 t, 7 t nebo i 48 t čpavku, pivovary 7 t nebo 25 t, mlékárny 6,6 t nebo 10 t. Dále se čpavek nachází na zimních stadiónech pro účely chlazení ledu, množství čpavku se pohybuje např. 6 t, 7,5 t až 12 t v případě, že na celý systém chlazení je využíván čpavek. V případě, že na sekundární okruh je využívána například solanka, klesá množství čpavku ve strojovně na zimním stadionu na cca 0,4 t.

Další nebezpečnou toxickou látkou vyskytující se u nezařazených zdrojů rizika je chlor, kdy se využívá v procesu úpravy vod. Do velkých úpravěn vod se chlor dodává v 500 nebo 600 kg sudech, pro příklad můžeme uvést, že celkově se v úpravně vyskytlo 9 t chloru (18 sudů). Menší dochlorovací stanice mají chlor v tlakových láhvích po 45 kg (např. 10 láhví). Rovněž na koupalištích a krytých bazénech se pohybuje zásoba chloru mezi 0,4 – 0,5 t.

Mezi hořlavé látky v nezařazených zdrojích rizika je nutné počítat acetylén ve skladech plynů, kdy celkové množství acetylénu se může pohybovat na úrovni 0,8 t až 2 t. Nejčastěji jsou využívány tlakové láhve o objemu 50 l, které obsahují 8 kg acetylénu.

Vzhledem k rostoucím cenám klasických pohonných hmot se zvyšuje zájem o levnější LPG (zkapalněný propan-butan). Jsou budovány nové čerpací stanice LPG, kdy nejsou dostatečně dořešeny odstupové vzdálenosti od benzinových čerpacích stanic. V případě havárie je velké nebezpečí tzv. domino efektu, kdy havárie jednoho zařízení může způsobit závažnou havárii druhého zařízení. Běžně se pohybuje množství LPG na čerpacích stanicích od 2,1 t do 4,2 t v různě velkých zásobnících (např. zásobník o objemu 5 m³ obsahuje 2,1 t LPG). Podobné zásobníky se používají pro vytápění domácností (1,1 nebo 2,1 t LPG pro rodinné domy) nebo pro provozovny na odloučených místech (např. hotel - 8,4 t LPG). Tyto zásobníky mohou být podzemní nebo nadzemní. Dále je propan-butan prodáván v tlakových láhvích různých velikostí (2, 5, 10 nebo 33 kg PB). Zdroj rizika mohou představovat především větší sklady lahví, kdy celkové množství propan-butanu může dosahovat 1 až 4 t. Při prodeji LPG se mohou vyskytovat i zvláštní případy zdrojů rizika, kdy například provozovatelé železniční cisternu určenou pro přepravu LPG upraví na stacionární zásobník, který obsahuje maximálně 23,8 t LPG. Pro informaci přepravu LPG na kratší vzdálenosti zajišťují autocisterny (menší 9,5 t, větší 15,5 t LPG).

Velkou skupinu nezařazených zdrojů rizika představují čerpací stanice pohonných hmot – automobilových benzínů a motorové nafty. Při běžném provozu nejsou čerpací stanice vnímány jako významný zdroj rizika, přesto ze statistických údajů vyplývá určitá míra rizika závažné havárie. Různě velké čerpací stanice mohou obsahovat například 7,4 t, 50 t, 100 t nebo 190 t benzínu a 17 t, 50 t nebo 112 t nafty, ve většině případů v různě velkých podzemních nádržích.

Z těchto potenciálních zdrojů rizik byla vybraná pro případovou studii hodnocení rizik ta zařízení, která představují typické zástupce vyskytující se na různých lokalitách. Některé typy zařízení byly vzaty v úvahu vícekrát, pokud obsahovaly rozdílné množství nebezpečných látek na různých lokalitách. Výsledný seznam vybraných zdrojů rizik je uveden v následující tabulce.

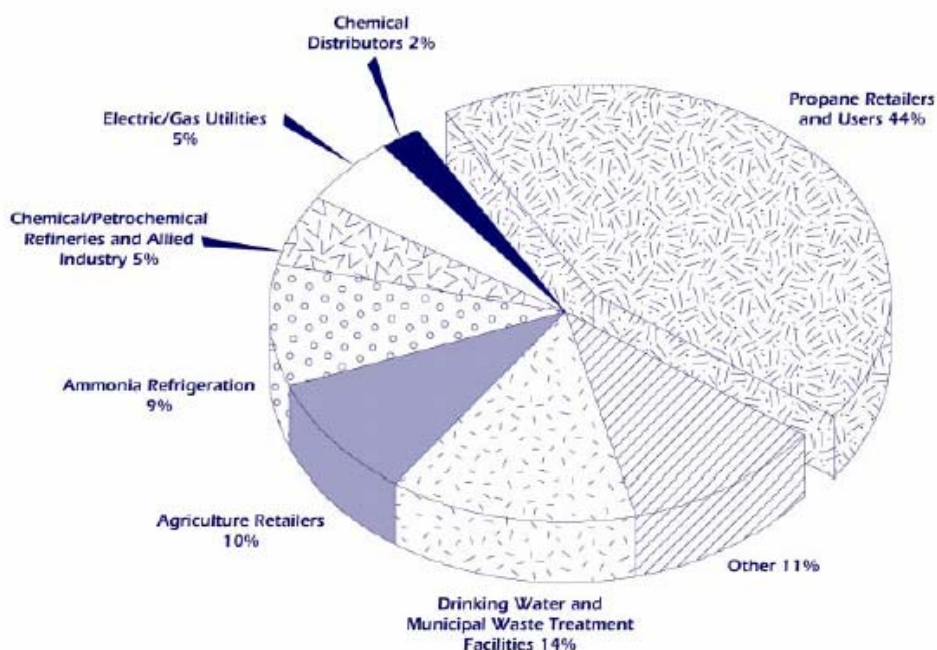
Tabulka č. 16: Přehled vybraných zdrojů rizik pro účely hodnocení rizik

Zdroj č.	Zařízení	Látka	Druh látky	Množství (t)
1	zimní stadión	čpavek	toxická	0,4
2	zimní stadión	čpavek	toxická	7
3	pivovar	čpavek	toxická	25
4	masokombinát	čpavek	toxická	48
5	koupaliště	chlor	toxická	0,045
6	úpravna vod	chlor	toxická	0,5
7	úpravna vod	chlor	toxická	9
8	sklad lahví	acetylén	hořlavá	2
9	sklad láhví	LPG	hořlavá	1
10	zásobník	LPG	hořlavá	2,1
11	zásobník	LPG	hořlavá	8,4
12	cisterna	LPG	hořlavá	23,8
13	čerpací stanice	benzín	hořlavá	7,4
14	čerpací stanice	benzín	hořlavá	190
15	čerpací stanice	nafta	hořlavá	17
16	čerpací stanice	nafta	hořlavá	112

Přístup k prevenci závažných havárií v USA

Na následujícím obrázku je uvedeno rozdělení typů zařízení podléhajících programu managementu rizik podle americké organizace Environmental Protection Agency (US EPA). V celých Spojených státech je zařazeno pod účinnost tohoto programu přibližně 66 000 podniků, ve srovnání s evropským přístupem jsou limity množství nebezpečných látek pro zařazení průmyslových podniků do tohoto programu přísnější.

Types of Facilities Regulated by the Risk Management Program Rule



Obrázek č. 23: Typy zařízení podléhající Programu managementu rizik v USA [12]

Výsledky metody výběru pro nezařazené zdroje

Výsledky hodnocení vybraných nezařazených zdrojů rizik pomocí metody výběru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 17 – Výsledky metody výběru pro posuzované zdroje rizik

Zdroj č.	Skladovaná látka	Typ látky	Množství látky Q (kg)	Faktory pro provozní podmínky			Mezní hodn. G (kg)	Indikační č. A
				O ₁	O ₂	O ₃		
1	čpavek	1,0	400,0	1,0	0,1	10,0	3 000	0,133
2	čpavek	1,0	7000,0	1,0	0,1	10,0	3 000	2,333
3	čpavek	1,0	25000,0	1,0	0,1	10,0	3 000	8,333
4	čpavek	1,0	48000,0	1,0	0,1	10,0	3 000	16,000
5	chlor	1,0	45,0	1,0	0,1	10,0	300	0,150
6	chlor	1,0	500,0	1,0	0,1	10,0	300	1,667
7	chlor	1,0	9000,0	0,1	0,1	10,0	300	3,000
8	acetylén	2,0	2000,0	0,1	1,0	10,0	10 000	0,200
9	LPG	2,0	1000,0	0,1	1,0	10,0	10 000	0,100
10	LPG	2,0	2100,0	0,1	1,0	10,0	10 000	0,210
11	LPG	2,0	8400,0	0,1	1,0	10,0	10 000	0,840
12	LPG	2,0	23800,0	0,1	1,0	10,0	10 000	2,380
13	benzín	2,0	7400,0	0,1	0,1	1,0	10 000	0,007
14	benzín	2,0	190000,0	0,1	0,1	1,0	10 000	0,190
15	nafta	2,0	17000,0	0,1	0,1	1,0	10 000	0,017
16	nafta	2,0	112000,0	0,1	0,1	1,0	10 000	0,112

Komentář výsledků:

Pro zjednodušení můžeme předpokládat, že indikační číslo A je ve vzdálenosti 100 m rovno selektivnímu číslu. Se zvyšující se vzdáleností nad 100 m hodnota selektivního čísla klesá, proto můžeme konstatovat, že pokud je indikační číslo A větší než 1, zdroj rizika představuje nebezpečí minimálně do 100 m vzdálenosti. Podle tohoto předpokladu můžeme z výše uvedených zdrojů rizika vybrat významná zařízení, které v případě havárie mohou ovlivnit vzdálenost nad 100 m ($A > 1$).

Mezi zařízení s rizikem závažné havárie byly vyhodnoceny:

- **zařízení se čpavkem** - s množstvím od 3 t mohou následky potenciální havárie přesáhnout vzdálenost 100 m (zimní stadióny, pivovary, mlékárny, masokombináty),
- **zařízení s chlorem** – s množstvím od 0,3 t mohou následky potenciální havárie přesáhnout vzdálenost 100 m (úpravny vod),
- **zařízení s LPG** – s množstvím od 10 t mohou následky potenciální havárie přesáhnout vzdálenost 100 m (autocisterny, železniční cisterny).

Výsledkem metody výběru je konstatování, že výše uvedená zařízení ($A > 1$) vyžadují kvantitativní hodnocení rizika (QRA).

Dalším potenciálním využitím metody výběru je možnost stanovení vzdálenosti, kdy selektivní číslo S jednotlivých zařízení poklesne pod hodnotu 1, což by znamenalo bezpečnou vzdálenost pro ochranu obyvatelstva. Pro výše uvedená významná zařízení byly stanoveny následující bezpečné vzdálenosti:

- zdroj č.2 – zimní stadión, 7 t čpavku – bezpečná vzdálenost 160 m,
- zdroj č.3 – pivovar, 25 t čpavku – bezpečná vzdálenost 290 m,
- zdroj č.4 – masokombinát, 48 t čpavku – bezpečná vzdálenost 410 m,
- zdroj č.6 – úpravna vod (1 sud), 0,5 t chloru – bezpečná vzdálenost 130 m,
- zdroj č.7 – úpravna vod (celý sklad), 9 t chloru – bezpečná vzdálenost 180 m,
- zdroj č.12 – cisterna LPG, 23,8 t LPG – bezpečná vzdálenost 140 m.

Uvedené bezpečné vzdálenosti nám podávají prvotní představu o vhodných odstupových vzdálenostech obytných míst od vybraných nezařazených zdrojů. Tyto výsledky je nutné potvrdit detailním hodnocením následků potenciálních havárií těchto zařízení.

Použitelnost metody výběru pro nezařazené zdroje

Lze konstatovat, že metodu výběru je možné použít pro prvotní hodnocení nezařazených zdrojů rizik. Metodu výběru lze použít jak klasickým způsobem (s přesnou lokalizací zdroje rizik a nejbližší obytné zástavby) tak i zjednodušenou obecnější formou, kdy je jako výsledek rozhodnuto, zda zařízení vyžaduje detailní kvantitativní hodnocení rizika.

Výsledky metody IAEA-TECDOC 727 pro nezařazené zdroje

Výsledky hodnocení vybraných nezařazených zdrojů rizik pomocí metody IAEA-TECDOC-727 jsou uvedeny v následující tabulce. Pro účely vzájemného srovnání zdrojů rizik byly použity pro některé vstupní údaje stejné hodnoty, např. hustota zalidnění (25 osob/ha), frekvence stáčení/plnění (10-50 x za rok).

Tabulka č. 18 – Výsledky metody IAEA-TECDOC-727 pro posuzované zdroje rizik

Zdroj č.	Zařízení	Látka	Množství (t)	Vzdálenost účinku (m)	Počet ohrožených osob	Četnost události (případu / rok)
1	zimní stadión	čpavek	0,4	zanedbatelná	-	-
2	zimní stadión	čpavek	7	50	0,16 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-5}$
3	pivovar	čpavek	25	100	0,6 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-5}$
4	masokombinát	čpavek	48	100	0,6 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-5}$
5	koupaliště	chlor	0,045	nelze zařadit	-	-
6	úpravna vod	chlor	0,5	100	0,3 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-7}$
7	úpravna vod	chlor	9	500	20	$3 \cdot 10^{-7}$
8	sklad lahví	acetylén	2	zanedbatelná	-	-
9	sklad láhví	LPG	1	zanedbatelná	-	-
10	zásobník	LPG	2,1	25	0,2 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-7}$
11	zásobník	LPG	8,4	50	0,8 (cca 1)	$3 \cdot 10^{-7}$
12	cisterna	LPG	23,8	100	3	$1 \cdot 10^{-6}$
13	čerp. stanice	benzín	7,4	zanedbatelná	-	-
14	čerp. stanice	benzín	190	zanedbatelná	-	-
15	čerp. stanice	nafta	17	zanedbatelná	-	-
16	čerp. stanice	nafta	112	zanedbatelná	-	-

Komentář výsledků:

Na základě výsledků metody IAEA-TECDOC-727 je možné rozdělit posuzovaná zařízení do tří skupin:

- s vyhodnoceným rizikem vzniku havárie s následky,
- se zanedbatelným účinkem a bez ohrožení životů osob,
- zařízení, které nelze vůbec zařadit z důvodů malého obsahu nebezpečných látek.

Další úvahy se týkají pouze zařízení ve skupině a), kdy je vyhodnoceno riziko závažné havárie. Pro jednotlivé nebezpečné látky lze konstatovat tyto závěry:

- **Zařízení se čpavkem** – množství od 5 t představuje ohrožení do vzdálenosti 50 m od zdroje.
- **Zařízení s chlorem** – množství od 0,2 t představuje ohrožení do vzdálenosti 100 m od zdroje.
- **Zařízení s LPG** – množství od 1 t představuje ohrožení do vzdálenosti 25 m od zdroje.

Menší množství u výše uvedených látek neumí metoda vyhodnotit.

Jako nejzávažnější zdroj rizika byl vyhodnocen sklad chloru v úpravně vod, který při obsahu až 9 t chloru představuje ohrožení cca 20 osob do vzdálenosti 500 m. Pravděpodobnost takové události byla vyhodnocena na $3 \cdot 10^{-7}$. Vzhledem k tomu, že chlor je ve skladu uložen nejčastěji v 500 kg sudech, je jen velice nízká pravděpodobnost, že dojde k úniku chloru ze všech cca 18 sudů zároveň. Pravděpodobnější je poškození jednoho sudu a ohrožení okolí skladu do 100 m.

Metoda IAEA-TECDOC-727 obsahuje rovněž údaje o minimální vzdálenosti obydlí od jednotlivých zdrojů rizik. Tyto vzdálenosti jsou stanoveny pro rozhodovací proces, zda je potřeba zahrnout zdroje rizik do studie touto metodou. Tedy pokud se zařízení s nebezpečnou látkou vyskytují v menší vzdálenosti od obydlí než jaké jsou uvedeny v následující tabulce, je nezbytné provést hodnocení rizik pro tyto zařízení.

Tabulka č. 19 – Minimální vzdálenosti od obytných ploch podle metody IAEA-TECDOC-727

Zdroj č.	Nebezpečná látka v zařízení	Min. vzdálenost od obytných zón (m)
1 - 4	Čpavek	100
5 - 7	Chlor	100
8	Acetylén	100
9 - 11	LPG	100
12	LPG	200
13 - 16	Benzín, nafta	50

Tyto údaje o minimální vzdálenosti zařízení od obytných ploch lze použít jako předběžné stanovení doporučených odstupových vzdáleností obydlí od zařízení s nebezpečnou látkou.

Použitelnost metody IAEA-TECDOC-727 pro nezařazené zdroje

Lze konstatovat, že metodu IAEA-TECDOC-727 je možné použít pro prvotní hodnocení nezařazených zdrojů rizik. Metoda je použitelná pro množství nebezpečných látek v zařízení od 0,2 t, ale u celé řady látek bude znamenat toto i vyšší množství pouze zanedbatelné následky bez možností získání konkrétních výsledků rizika. V případě takových výsledků bude potřeba aplikovat jinou metodu hodnocení rizik.

Dalším faktorem, který může ovlivnit výsledky, jsou korekční faktory obydlené oblasti části kruhu f_A a vzdálenosti f_d , pomocí kterých se upřesňuje počet ohrožených osob. Pro stanovení těchto korekčních faktorů je nezbytná znalost konkrétní situace v okolí zařízení a zkušenosti zpracovatele studie.

Výsledky metody F&E Index pro nezařazené zdroje

Výsledky hodnocení vybraných nezařazených zdrojů rizik pomocí metody F&E Index jsou zařazeny v následující tabulce. Metodu lze použít pouze pro látky klasifikované jako hořlavé nebo výbušné, proto zařízení s chlorem nebyla hodnocena.

Tabulka č. 20 – Výsledky F&EI posuzovaných zdrojů rizik

Zdroj č.	Zařízení	Látka	Množství (t)	MF	F&EI	Stupeň nebezpečí	Poloměr zasažené plochy (m)
1	Zimní stadión	Čpavek	0,4	4	30,8	Malý	7,8
2	Zimní stadión	Čpavek	7	4	30,8	Malý	7,8
3	Pivovar	Čpavek	25	4	38,7	Malý	9,8
4	Masokombinát	Čpavek	48	4	44,0	Malý	11,2
5	Koupaliště	Chlor	0,045	1	-	-	-
6	Úpravna vod	Chlor	0,5	1	-	-	-
7	Úpravna vod	Chlor	9	1	-	-	-
8	Sklad láhví	Acetylén	2	29	120,6	Střední	30,6
9	Sklad láhví	LPG	1	21	133,7	Závažný	34,0
10	Zásobník	LPG	2,1	21	141,4	Závažný	35,9
11	Zásobník	LPG	8,4	21	149,2	Závažný	37,9
12	Cisterna	LPG	23,8	21	155,4	Závažný	39,5
13	Čerpací stanice	Benzín	7,4	16	51,2	Malý	13,0
14	Čerpací stanice	Benzín	190	16	56,0	Malý	14,2
15	Čerpací stanice	Nafta	17	10	32,0	Malý	8,1
16	Čerpací stanice	Nafta	112	10	35,0	Malý	8,9

Komentář výsledků:

Zařízení se čpavkem představují jen malý stupeň nebezpečí požáru nebo výbuchu. Je zřejmé, že čpavek je nebezpečný především z hlediska toxicity. Sklad láhví acetylénu představuje střední stupeň nebezpečí, což odpovídá

zkušenostem z praxe, ale dolet trosk tlakových láhví způsobený výbuchem je znám do vzdálenosti 150 - 200 m. Skladování LPG představuje závažný stupeň nebezpečí, poloměr zasažené plochy 30 – 40 m se u těchto zařízení vztahuje spíše na následky požáru, tlaková vlna po výbuchu bude dosahovat větších vzdáleností. Zásobníky benzínu a nafty představují jen malý stupeň nebezpečí.

Použitelnost metody F&E Index pro nezařazené zdroje

Lze konstatovat, že metodu F&E Index je možné použít pro prvotní hodnocení nezařazených zdrojů rizik s obsahem hořlavých a výbušných látek. Z praktických zkušeností používání této metody vyplývá, že stanovené zasažené plochy se vztahují především pro případy požáru. Účinky tlakové vlny a doletu trosk po výbuchu je lépe hodnotit jinými metodami.

Je rovněž důležité uvážit stav nebo časový okamžik provozu zařízení. Jednotlivé stavy jako jsou normální provoz, najíždění, odstavování, plnění, vyprazdňování, atd. často představují jedinečné podmínky ovlivňující hodnotu F&EI. V případě nutnosti je pro stanovení závažnosti rizika potřebné prověřit více než jeden stav zařízení.

Výsledky metody CEI pro nezařazené zdroje

Výsledky hodnocení vybraných nezařazených zdrojů rizik pomocí metody CEI jsou uvedeny v následující tabulce. Metodu lze použít pouze pro látky klasifikované jako toxické, proto byla hodnocena zařízení se čpavkem a s chlorem. Podle doporučení metody byly výpočty provedeny pro průměrnou díru v zásobníku 2 palce (50,8 mm).

Tabulka č. 21 – Výsledky CEI posuzovaných zdrojů rizik

Číslo	Látka	Množství v zásobníku [kg]	Rychlost úniku kapaliny [kg/s]	Index chem. ohrožení CEI	Nebezpečná vzdálenost HD		
					EPRG-2 [m]	EPRG-1 [m]	EPRG-3 [m]
1	čpavek	400	71,3	469,1	4763	10000	2128
2	čpavek	7000	71,4	469,3	4766	10000	2130
3	čpavek	25000	71,4	469,6	4768	10000	2131
4	čpavek	48000	71,6	470,0	4772	10000	2133
6	chlor	500	75,8	1000	10000	10000	7607
7	chlor	9000	76,9	1000	10000	10000	7660

Komentář výsledků:

Pro všechny zařízení se čpavkem a chlorem vyšel CEI větší než 200, proto zařízení vyžadují další detailnější analýzu. Výsledné indexy a nebezpečné vzdálenosti jsou téměř shodné, protože metoda nebere v úvahu do výpočtu množství látky. Rychlost úniku je stanovena pomocí výšky hladiny nad dírou

(tzn. hydrostatickým tlakem kapaliny), což v případě hodnocených zkapalněných plynů nehraje významnou roli vzhledem k vysokému tlaku par.

Použitelnost metody CEI pro nezařazené zdroje

Lze konstatovat, že metodu CEI je možné použít pro předběžné hodnocení nezařazených zdrojů rizik s obsahem toxických látek. Je zřejmé, že hodnoty ERPG jsou stanoveny s ohledem na citlivou část populace (děti, nemocní lidé atd.), proto vycházejí vzdálenosti HD relativně velké.

Z výsledku aplikace metody vyplývá, že výsledky jsou konzervativní (nadhodnocené) vzhledem k reálně očekávaným následkům. V této relativně velké zasažené ploše lze očekávat spíše zhoršení životních podmínek (např. zápachem). Největší zkreslení výsledků nastává u zdrojů rizika s malým množstvím nebezpečné látky.

Shrnutí hodnocení rizik nezařazených zdrojů

Jako zdroje rizika nezařazené pod účinnost zákona o prevenci závažných havárií byly identifikovány například potravinářské komplexy (pivovary, mlékárny, masokombináty), sportovní areály (zimní stadióny, koupaliště), úpravný vod, sklady tlakových láhví, čerpací stanice a zásobníky LPG.

Z těchto identifikovaných zařízení byly vyhodnoceny jako významné zdroje rizika především:

- **zařízení se čpavkem** – zimní stadióny, pivovary, mlékárny, masokombináty,
- **zařízení s chlorem** – úpravný vod,
- **zařízení s LPG** – nadzemní zásobníky.

Základní přístupy pro snižování rizik jsou:

- náhrada nebezpečné látky za méně nebezpečnou,
- změna technologie za modernější s menším množstvím nebezpečných látek,
- snižování zásob nebezpečných látek na nezbytné minimum,
- účinné oddělení množství nebezpečných látek v zařízení (např. dálkovými ventily) a tím snížení množství unikající látky v případě havárie.

Jako příklad možného snižování rizik lze uvést problematiku zimních stadiónů, které bývají umístěny většinou v centrech měst. Zimních stadiónů se jen v Moravskoslezském kraji nachází 17 a obsahují rozdílná množství amoniaku pro účely chlazení ledové plochy. Ve většině starších zimních stadiónů je kolem 6 t amoniaku, v rekonstruovaných nebo nových stadiónech,

kdy přechodem na sekundární okruh chlazený jinou látkou (například solankou nebo glykolem), se sníží množství amoniaku na 400 kg.

Dále jsou uvedeny fotografie typických nezařazených zdrojů rizik (viz. foto č. 1 – 4).



Foto č.1: Strojovna chlazení na zimním stadiónu



Foto č.2: Potrubí s amoniakem pod ledovou plochou zimního stadiónu



Foto č.3: Chlorovací stanice v úpravně vod



Foto č.4: Přečerpávání LPG z železniční cisterny do autocisterny

Prevence závažných havárií I.

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: 80-86634-89-2