

**Slezská Universita v Opavě  
Ústav matematiky**

## **Management rizika**

Loss Prevention & Safety Promotion

Učební text

Zpracoval : F.Babinec

Brno

leden 2005

## Obsah

|      |                                                           |    |
|------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1.   | Úvod do bezpečnostního inženýrství                        | 1  |
| 2.   | Terminologie – základní pojmy                             | 3  |
| 3.   | Významné průmyslové havárie                               | 6  |
| 3.1  | Flixborough                                               | 7  |
| 3.2  | Seveso                                                    | 9  |
| 3.3  | Bhopál                                                    | 11 |
| 3.4  | Mexico City                                               | 12 |
| 4.   | Související legislativa                                   | 19 |
| 5.   | Bezpečnostní audit                                        | 21 |
| 5.1  | Předmět auditu                                            | 21 |
| 5.2  | Hlavní zásady bezpečnostního auditu                       | 22 |
| 6.   | Klasifikace a priorizace zdrojů společenského rizika      | 25 |
| 7.   | Základní přehled vybraných metod                          | 34 |
| 7.1  | Klasifikace metod                                         | 35 |
| 7.2  | Stručná charakteristika metod                             | 36 |
| 8.   | Index požáru a výbuchu (Dow's Fire & Explosion Index)     | 39 |
| 9.   | Index chemického ohrožení (Dow's Chemical Exposure Index) | 56 |
| 10.  | Systematické metody                                       | 68 |
| 10.1 | HAZOP- Hazard and Operability Study                       | 68 |
| 10.2 | FMEA - Failure Mode and Effect Analysis                   | 75 |
| 11.  | Statistika nehod a havárií                                | 80 |
| 11.1 | Statistický popis                                         | 80 |
| 11.2 | Pojetí společenského rizika, přijatelnost rizika          | 83 |
| 12.  | Strom událostí - Event Tree                               | 85 |
| 13.  | Strom poruch - Fault Tree                                 | 89 |
| 14.  | Osnova bezpečnostní zprávy                                | 92 |
| 15.  | Postup vyšetřování nehod                                  | 93 |

|            |    |
|------------|----|
| Literatura | 94 |
|------------|----|

## 1. Úvod do bezpečnostního inženýrství

V roce 1987 obdržel profesor R.M.Solow (ekonom na Massachusetts Institute of Technology) Nobelovu cenu za ekonomiku. Jeho práce se zabývala otázkou stanovení zdrojů **ekonomického růstu**. Profesor Solow došel k názoru, že zdrojem ekonomického růstu jsou výsledky dosahované ve vývoji a aplikaci **nových technologií**.

V průmyslu (procesním, ve strojírenství i v dalších příbuzných oborech) je pojem „nové technologie“ zpravidla propojen s náročnějšími technologickými podmínkami. Většinou se jedná o vyšší provozní teploty a tlaky, obecně náročnější provozní podmínky pro stroje, nástroje, zařízení, aparáty, potrubí, člověka nevyjímaje. V neposlední řadě se jedná také o používání nových technologických médií či výrobu nových látek, které požaduje navazující - odběratelský průmysl. Náročnější provozní podmínky a používané látky bývají potenciálním zdrojem rizika.

Soudobé výrobní průmyslové linky se vyznačují některými společnými charakteristickými rysy :

- **nepřetržitost** výroby ( s dlouhým obdobím mezi plánovanými odstávkami)
- rostoucí **výrobní kapacita** linek (náklady na zařízení s dvojnásobnou kapacitou vzrostou méně než dvojnásobně)
- **intenzifikace** pochodů (náročnější podmínky)
- **vzájemná integrovanost** výrobních linek (navaznost výrob)
- **integrace** procesů (vzájemná provázanost procesů)

Výše uvedené trendy vývoje byly v určitém vývojovém stadiu přerušeny několika závažnými průmyslovými haváriemi, objevily se jisté pochybnosti o správnosti nastoupené vývojové cesty a metodách zajišťování bezpečnosti. Ve vývoji formujícího se bezpečnostního inženýrství tak lze při zpětném pozorování frekvence havárií nalézt určitá charakteristická údobí :

- etapa "**okrajového**" zájmu o bezpečnost (období ojedinělých, byť závažných havárií – oprava po poruše )
- etapa **zvýšeného** zájmu o bezpečnost, tj. bezpečnost především" (po neočekávaných velkých světových haváriích se závažnými následky a dopady na veřejnost)
- soudobá etapa „**ekonomicky přijatelné**“ bezpečnosti

Složitější procesy však vyžadují složitější postupy pro zajištění bezpečnosti. Seznam významných průmyslových havárií, ekonomické ztráty, ztráty na lidských životech a dopady na životní prostředí jsou jistě dostatečně výmluvné.

V praxi se lze setkat se stanoviskem, podle kterého bezpečnostní postupy představují omezení pro rozvoj chemického průmyslu.

Čím je výrobní (chemická, strojírenská atd.) technologie složitější, tím podrobnější informace jsou potřebné pro zajištění bezpečnosti. H.H.Fawcett prohlásil : „Vědět znamená přežít, ingorovat znamená říkat si o zničení.

Od roku 1950 bylo dosaženo významného pokroku v rozvoji bezpečnosti chemického procesu. V současnosti je bezpečnost považována za důležitou vlastnost výrobních technologií a bezpečnostní inženýrství se rozvinulo ve vědeckou disciplínu, která zahrnuje mnoho složitých teorií i praktických poznatků. Jako příklady lze uvést:

- hydrodynamický **model dvoufázového toku** pojišťovacím ventilem
- **dispersní modely** reprezentující vývin toxického mraku po úniku
- **matematické postupy** pro
  - odhalení různých příčin poruchy
  - stanovení pravděpodobnosti poruchy

Pojem **bezpečnost** v původním významu znamená prevenci pracovních úrazů.. Proto je postupně nahrazován pojmem :

„**Loss Prevention**“ - předcházení ztrátám.

## BEZPEČNOSTNÍ INŽENÝRSTVÍ

je odborná disciplína, která přednostně řeší dvě základní otázky :

- **identifikace nebezpečí** - zdrojů rizika (odhalení míst, jevů, stavů, které mají potenciál způsobit ztrátu
- **hodnocení rizika** - stanovení velikosti ztrát a odhad pravděpodobnosti ztrát

## 2. Terminologie - základní pojmy spojené s hodnocením rizika

V anglicky mluvících zemích jsou při formulování základních úkolů bezpečnostního inženýrství používány dva základní pojmy „**hazard**“ (nebezpečí) a „**risk**“ (riziko). V české hovorové řeči oba převzaté pojmy hazard a riziko často splývají, používají se jako synonyma. Naneštěstí jsou i v odborné literatuře oba pojmy „**hazard**“ a „**risk**“ často překládány jako riziko. Výsledkem bývá terminologický chaos a obtížná domluva odborníků.

Např. v anglicky mluvících zemích dochází k zaměňování a překrývání některých termínů ve spojení s pojmy RISK a HAZARD. Např. termín „Hazard identification“ (identifikace nebezpečí) a „Risk Assessment“ (hodnocení rizika) bývají někdy nahrazovány obecnějším pojmem „Hazard Evaluation“ (Vyhodnocení nebezpečí). Pojem „Risk Assessment“ je chápán obdobně jako „Hazard Analysis“ (Analýza nebezpečí).

Nejednotnost terminologie v odborné literatuře v Anglii je zřejmá i z nákresu:

| činnost                                    | Hazard Analysis |         | Risk Assessment |
|--------------------------------------------|-----------------|---------|-----------------|
|                                            | HAZOP – kniha   | IChem E | IChem E         |
| Identifikace nebezpečí                     |                 |         |                 |
| Odhad frekvence výskytu                    |                 |         |                 |
| Odhad následků                             |                 |         |                 |
| Porovnání s kritérii a rozhodnutí o zásahu |                 |         |                 |

IChem E - Institution of Chemical Engineers

Kromě toho bývá pojem **riziko** je chápán v různých odborných disciplínách rozdílně, někdy je však interpretován či používán v nesprávných souvislostech.

Základní pojmy:

### NEBEZPEČÍ - NEBEZPEČNOST - (Hazard)

je **vlastnost látky** nebo **fyzikálního** či **biologického** jevu / děje / faktoru nebo **stav systému** (může-li být systém ve stavu, kdy je nebezpečný, pak se jedná opět o jeho vlastnost), která působí nepříznivě na zdraví člověka, životní prostředí a materiální hodnoty.

Je to vlastnost “vrozená” (daný subjekt jí nelze zbavit), projeví se však pouze tehdy, je-li člověk jejímu vlivu vystaven ( je exponován).

I v případě stavu systému lze hovořit o neoddělitelné vlastnosti. Pokud takový stav z množiny možných stavů vyloučíme, dostaneme nový - jiný systém.

Např. toxicita je nebezpečná vlastnost čpavku, jinou jeho nebezpečnou vlastností je také žíravost. Jedná se o nebezpečnou chemickou látku. Tuto vlastnost (zatím) nedokážeme od čpavku oddělit. Projeví teprve tehdy, dojde-li k expozici, působení čpavku na subjekt.

Jiným příkladem může být ostrý břit (nože). Vlastností břitu je ostrost. Nabroušené ostří je ostré, je to nebezpečná vlastnost. (nikoliv nůž samotný). Tupý nůž již není (tak) nebezpečný. Zavřený nůž se skrytým ostřím také není nebezpečný.

Dalším příkladem může být kluzká podložka, uklouznutí je nebezpečné – nikoliv samotná podlaha.

Nebezpečné mohou být vlastnosti chemické, fyzikálně-chemické, fyzikální, ale i další vlastnosti. Fyzikální vlastnosti lze dále členit na mechanické, tepelné, magnetické, elektrické, akustické, optické atd.). Tak dospějeme k mechanickým, tepelným, magnetickým, elektrickým, či akustickým nebezpečím – zdrojům rizika.

Můžeme říci, že nebezpečí je zdrojem rizika (tím není nic řečeno o druhu rizika a míře rizika, a proto nelze hovořit přímo o riziku).

## **RIZIKO - (Risk)**

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

V užším pojetí se někdy pojem riziko redukuje na pravděpodobnost, se kterou dojde za definovaných podmínek expozice k projevu nepříznivého účinku.

Definice používá termínu EXPOZICE, (doba působení). Je nezbytné si uvědomit, že riziko se rovná nule pouze v případě, že expozice dané látce nenastává (je nulová).

Z definice rizika vyplývá, že riziko je charakterizováno ztrátou (typem ztrát) a frekvencí událostí. Ztráty mohou představovat zdraví člověka, život člověka nebo lidí, majetek nebo životní prostředí. V souvislosti s tím hovoříme o riziku zdravotním, společenském, ekonomickém a ekologickém.

Environmentální riziko je pojem, který zahrnuje riziko pro :

- osoby,
- majetek ,
- životní prostředí.

Používání termínů jako např. mechanické, tepelné, magnetické či elektrické riziko vychází z některých nekvalifikovaných překladů zahraniční literatury, přestože v původní literatuře jsou tyto pojmy důsledně rozlišovány. Zcela zákonitě bychom museli taková rizika definovat, přičemž by se ukázalo, že se jedná o ztráty na zdraví (zdravotní riziko) atd.

**prevence** - organizační a technická opatření nebo činnosti, jejichž cílem je předejít závažné havárii a vytvořit podmínky pro zajištění havarijní připravenosti,

**nebezpečná látka** - vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností klasifikovaných podle zvláštního předpisu (zákonu o chemických látkách a přípravcích) a jsou uvedeny v příloze č.1 k tomuto zákonu),

**závažná havárie** - mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, 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 která vede k bezprostřednímu nebo následnému závažnému poškození nebo ohrožení života a zdraví občanů, hospodářských zvířat, životního prostředí nebo ke škodě na majetku, která přesahuje stanovené limity (např. uvedené v příloze č. 3 k zákonu č. 353.

**objekt** - celý prostor, popřípadě soubor prostorů, v němž je umístěna nebezpečná látka v jednom nebo více zařízeních, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur a činností, ve vlastnictví nebo v užívání provozovatele,

**zařízení** - technická nebo technologická jednotka, ve které je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, rizikem závažné havárie pravděpodobnost vzniku závažné havárie a jejích možných následků, které by mohly nastat během určitého období nebo za určitých okolností,

**riziko závažné havárie** – pravděpodobnost vzniku závažné havárie a jejích možných následků, které by mohly nastat během určitého období nebo za určitých okolností

**provozovatelem** každá právnická osoba nebo fyzická osoba, která ke dni účinnosti tohoto zákona užívá nebo bude užívat objekt nebo zařízení, v němž je nebo bude nebezpečná látka umístěna v množství stejném nebo větším, než je množství uvedené ve sloupci I tabulky I nebo tabulky II uvedených v příloze č. 1 k zákonu č. 353/1999 Sb.,

**zóna havarijního plánování** - území v okolí objektu nebo zařízení, v němž okresní úřad, v jehož územním obvodu se nachází objekt nebo zařízení, kde je umístěna nebezpečná látka (dále jen "okresní úřad"), uplatňuje požadavky havarijního plánování formou vnějšího havarijního plánu a v němž zajišťuje veřejné projednávání stanovených dokumentů.

**umístění nebezpečné látky** – projektované množství nebezpečné látky, která je nebo bude vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována v objektu nebo zařízení nebo která se může nahromadit v objektu nebo zařízení při vzniku závažné havárie,

**kumulativní a synergické účinky** – zvýšení rizika vzniku závažné havárie a závažnosti jejích následků v důsledku blízkosti dalšího objektu nebo zařízení, v němž je umístěna nebezpečná látka,

**vyjádření veřejnosti** – písemné vyjádření každé fyzické osoby nebo právnické osoby k bezpečnostnímu programu prevence závažné havárie nebo bezpečnostní zprávě nebo vnějšímu havarijnímu plánu anebo jejich aktualizaci v průběhu jejich veřejného projednávání (§ 13),

**vrchní státní dozor na úseku prevence závažných havárií** – státní dozor Ministerstva životního prostředí (dále jen „ministerstvo“) nad dodržováním povinností stanovených tímto zákonem,

### 3. Významné průmyslové havárie

Průmyslové havárie = prakticky jediný zdroj reálných informací pro :

- ➡ zdokonalení postupů ,
- ➡ předcházení podobným událostem ,
- ➡ rozvoj bezpečnostního inženýrství.

Mezi tři nejvýznamnější havárie v procesním průmyslu patří :

|                    |                              |              |
|--------------------|------------------------------|--------------|
| <b>FLIXBOROUGH</b> | <b>Velká Británie</b>        | <b>1974,</b> |
| <b>SEVESO</b>      | <b>Itálie, Lombardie</b>     | <b>1976,</b> |
| <b>BHOPAL</b>      | <b>Indie, Madhya Pradesh</b> | <b>1984.</b> |

Uvedené havárie :

- \* značně ovlivnily veřejné mínění,
- \* ovlivnily rozvoj chemické inženýrství ( důraz na bezpečnost procesu )  
a formulaci nové disciplíny - bezpečnostního inženýrství

Flixborough - pravděpodobně nejlépe dokumentovaná havárie  
( Britská vláda trvala na rozsáhlém prověřování havárie)

Mezi další závažné havárie s významnými ztrátami patří :

| místo události | stát       | rok  | ztráty  | substance              |
|----------------|------------|------|---------|------------------------|
| OPPAU          | Německo    | 1921 | (430)   | dusičnan amonný        |
| TESSEANDERLOO  | Belgie     | 1942 | (>:100) | dusičnan amonný        |
| PHILADELPHIA   | USA        | 1963 | (430)   | chlór                  |
| FEYZIN         | Francie    | 1966 | (18)    | sklad propanu a butanu |
|                | Německo    | 1968 | (24)    | vinylchlorid monomer   |
| POTCHESTROOM   | J.Afrika   | 1973 | (18)    | amoniak                |
|                | Brazílie   | 1972 | (37)    | butan                  |
| LITVÍNOV       | ČR         | 1974 | (14)    | etylén                 |
| SAN CARLOS     | Španělsko  | 1978 | (211)   | propylén               |
| HOUSTON        | USA        | 1989 | (23)    | vysokotlaký PE         |
| MEXICO City    | Mexico     | 1984 | (500)   | terminál LPG           |
| BANTRY BAY     | Irská rep. | 1979 | (50)    | nafta                  |

(Údaje v závorkách vyjadřují ztráty na lidských životech.)



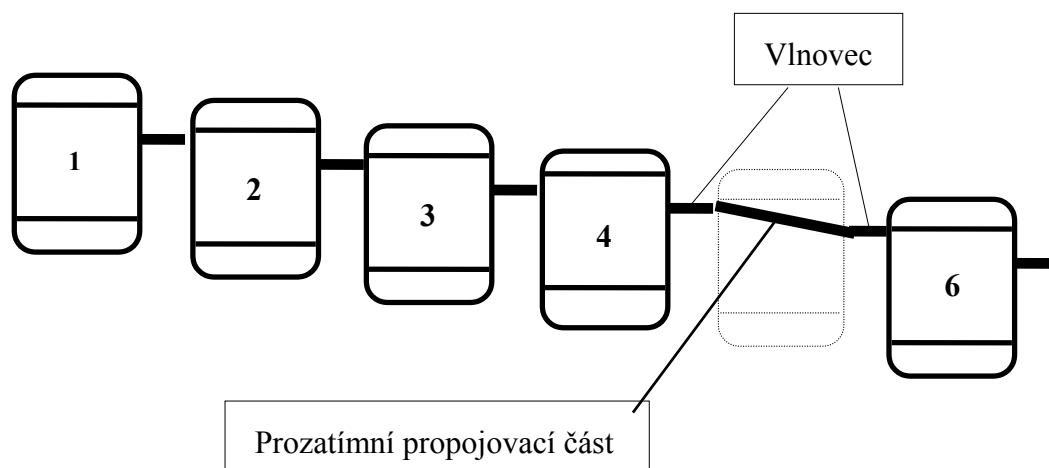
### 3.1 Flixborough

**Havárie : FLIXBOROUGH WORKS**  
**United Kingdom**  
červen , 1974  
**společnost : NYPRO Limited**

netěsnost reaktoru → náhrada spojovacím potrubím → prasknutí potrubí → únik 30 tun cyklohexanu → inicializace → exploze

Proces : KAPROLAKTAM → NYLON  
CYKLOHEXAN ( proces : 155 °C ; 7.9 atm ) (při T = 180 °C má tenzi  $p^{\circ}=6.6$  atm)  
→ EXPANZE (atmosférické podmínky)  
OXIDACE → CYKLOHEXANOL → CYKLOHEXANON  
kapacita : 70 000 t/rok

KASKÁDA REAKTORŮ ( každý 20 tun )  
na 5. reaktoru TRHLINA → odstavení ,  
oprava 28 inch. potrubí → náhrada 20 inch potrubím + kompenzátory  
Nepřiměřený posuv v potrubí + OVER FLEXING → PRASKLÉ POTRUBÍ  
30 tun CYKLOHEXANU → ÚNIK → NEZNÁMÁ INICIALIZACE 45 sec. po úniku  
→ **EXPLOZE**



obr. 3.1

## **HLAVNÍ PŘÍČINY :**

1. Potrubní spojka instalována bez prověření bezpečnosti , bez dozoru zkušených inženýrů.  
Výrobní výkres potrubí byl nakreslen křídou na dveřích strojovny.

- Propojovací potrubí bylo navrženo zcela nevyhovujícím způsobem.
- Je třeba dodržet pravidlo, podle kterého žádná úprava na zařízení nesmí být v horší kvalitě než ostatní zařízení.

2. V provozu uskladněno velké množství nebezpečných látek :

- 330 000 gal cyklohexanu,
- 66 000 galonů nafty,
- 11 000 galonů toluenu,
- 26 400 galonů benzenu
- 460 galonů plynového oleje.

(1 galon = 3.78 litru)

- sklad se po iniciačním výbuchu vzňal

### **Následky havárie :**

- **28 smrtelných zranění**
- **36 zraněných**
- **Zničený provoz , administrativní budova atd.**
- **poškozeno 1821 domů a 167 dalších objektů**

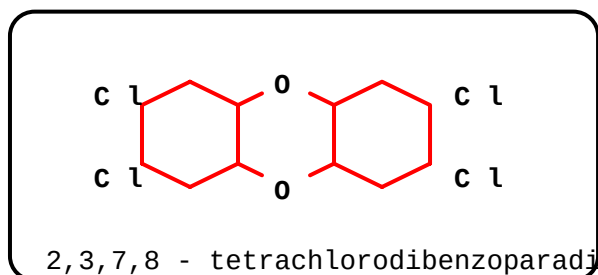
Ztráty při havárii byly zcela neočekávané a překvapivé. Zájem světové veřejnosti byl nebývalý, vláda trvala na velmi pečlivé analýze příčin rozsáhlé havárie.

### 3.2 SEVESO

**Havárie : SEVESO**  
**Itálie, Lombardie, okolí Milána**  
**10. červen 1976**  
**společnost : Icmesa Chem. Corp.**

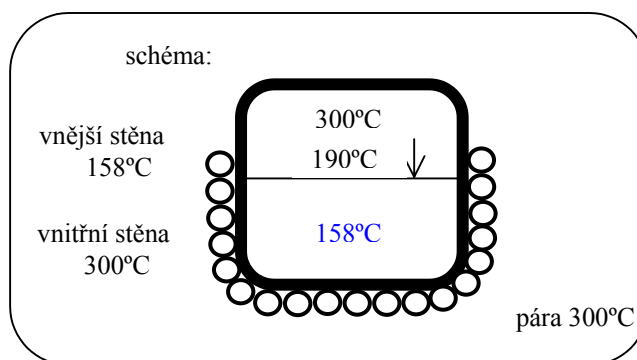
produkce trichlorfenolu → zpracování na hexachlorofen → možnost tvorby nežádoucího tetrachlordibenzoparadioxinu (TCDD) → reaktor mimo kontrolu → únik TCDD do okolí

**tetrachlordibenzoparadioxin - TCDD** : pravděpodobně nejnebezpečnější známé toxikum (karcinogen, mutagen, teratogen)



TCDD - smrtelná dávka pro člověka < než  $10^{-9}$  násobek tělesné hmotnosti  
rozpuštný ve vodě → dekontaminace velmi obtížná

obr.3.2



#### UDÁLOST :

- reaktor s trichlorfenolem mimo kontrolu
- zvýšená produkce TCDD
- bílý mrak nad Sevesem
- kontaminováno rozsáhlé území
- překročení provozní teploty
- únik pojišťovacím ventilem
- silný liják spláchl TCDD do půdy

#### Následky havárie :

- 250 případů postižení
- více než 600 případů evakuace
- 2 000 pacientů - krevní zkoušky
- kontaminovaná oblast ohrazena

## obavy ze SEVESA dnes

- ➞ továrna ICMESA švýcarské společnosti ROCHE po havárii :
  - ☞ **uzavřena**
  - ☞ **dekontaminována (odmořena)**
  - ☞ **srovnána se zemí**
  - ☞ 5 lidí (spol. ICMESA) odsouzeno,  
(3 zbavení viny, 2 podmíněné tresty)
- ➞ **kontaminované látky :** 2 utěsněné jámy  
41 sudů odpadů do Basileje
- ➞ náklady na odškodnění obyvatel : **300 .10<sup>6</sup> CHF**  
(6.66 miliard CK)
- ➞ obsah dioxinu po havárii v krvi postižených  
**3.10<sup>3</sup>** vyšší než u US vojáků  
manipulujících ve Vietnamu s plynem "orange agent"
- ➞ dnes : po navezení hlíny - sportoviště  
z továrny - stěna z růžových cihel
- ➞ dlouhodobé následky :
  - vysoký výskyt kardiovaskulárních problémů
  - následky popálenin kůže
  - v Sevesu se rodí více děvčat  
(dioxin ovlivňuje hormonální stav nebo přímo geny)
- ➞ tzv. **krize svědomí** : direktiva SEVESO,

**dnes : direktiva COMAH či SEVESO 2**

v ČR : zákon č. 353/1999 Sb.

### 3.3 Bhopál

**Havárie : BHOPAL**  
**Indie, Madhya Pradesh**  
**3. prosinec 1984**  
**společnost : Union Carbide**

**produkce pesticidů → meziprodukt - methylizokyanát (MIC) → došlo k chemické reakci MIC s vodou → únik toxické látky do okolí**

meziprodukt v tomto procesu : **m e t h y l i z o k y a n á t ( M I C )**  
extrémně nebezpečná látka -  
reaktivní, toxická, těkavá a hořlavá

**maximální přípustná koncentrace** v průběhu devítihodinové pracovní doby je 0,02 ppm  
( koncentrace MIC 21 ppm drsně dráždí krční a nosní sliznici vyšší koncentrace - smrtelná)

Páry MIC - 2x těžší než vzduch i po úniku se drží při zemi

**MIC reaguje exotermicky s vodou**

reakce je pomalá , při neadekvátním chlazení roste teplota, může dojít k varu MIC,  
zásobníky s MIC musejí být chlazeny !

**UDÁLOST :** Zásobník s velkým množstvím MIC - kontaminován vodou -> Chemická reakce  
-> MIC nad teplotu bodu varu

Páry MIC unikly - na fléru , fléra mimo provoz, uvolnilo značné množství  
(odhaduje se asi 25 tun) toxického MIC ve formě par

TOXICKÝ MRAK se rozšířil na přilehlé městečko - obydlené centrum 1,5 míle -  
v okamžiku výstavby dominantní zdroj obživy v oblasti -> vyrostla u závodu osada

**Následky havárie :**

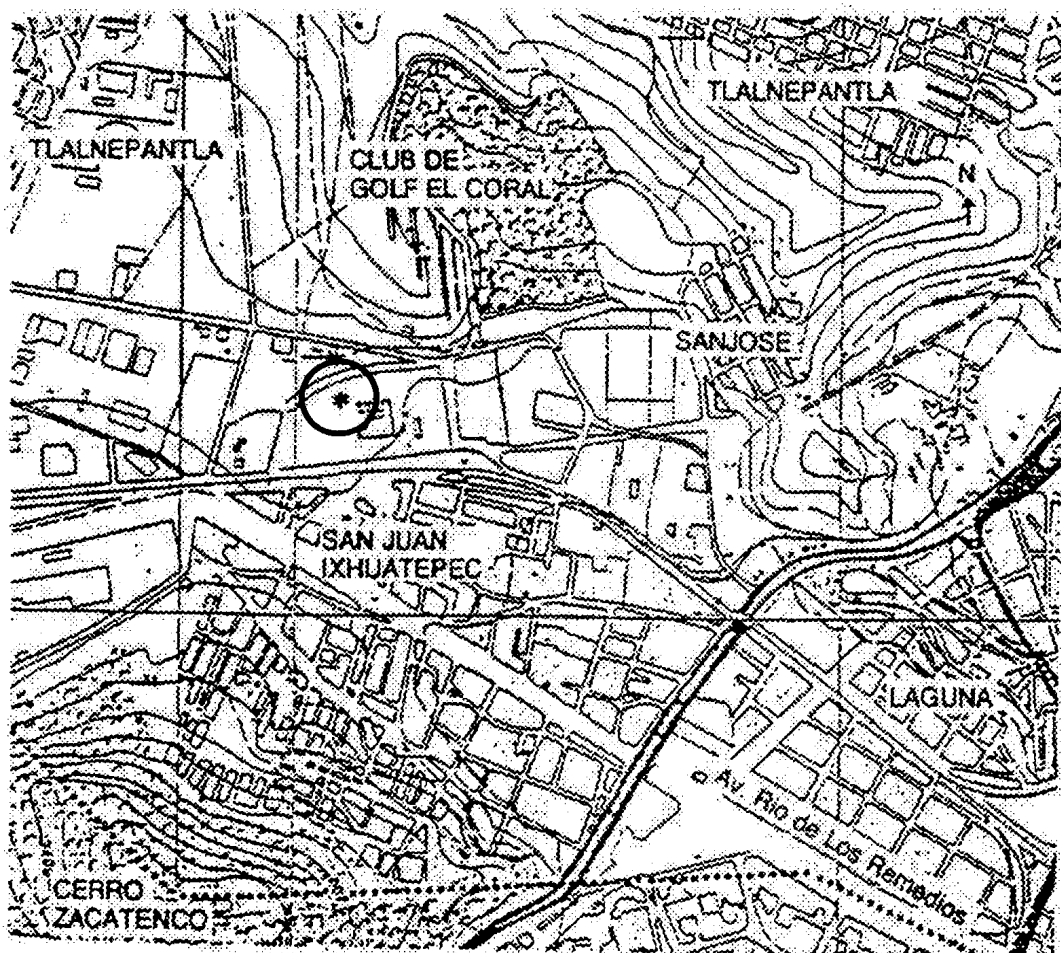
- **2000 smrtelných zranění**
- **20 000 zraněných**
- **v provozu nikdo nezahynul**
- **žádné škody na zařízení**

### 3.4 Mexico City

#### MEXICO CITY, San Juanico, velkokapacitní sklad LPG, 1984

Dne 19. listopadu 1984, přibližně v 5 hod.45 minut ráno došlo k rozsáhlému požáru a sérii explozí ve skladu LPG v podniku PEMEX, San Juan Ixhuatepec (San Juanico). Velkokapacitní sklad byl při havárii zcela zničen, o život přišlo asi 500 lidí.

Havárie byla analyzována týmem specialistů TNO, který byl povolán přibližně dva týdny po havárii, výsledky byly publikovány v práci (Petersen, 1986). Další zprávu vypracovala Skandia International (1985). Mezi dalšími pracemi lze uvést Anon.(1985), Berenblut et al.(1985), Cullen (1985), Kletz (1985p), Petersen (1985,1985LPB,64, 1986a,b, 1988 a), Skandia International (1985), Hagon (1986).

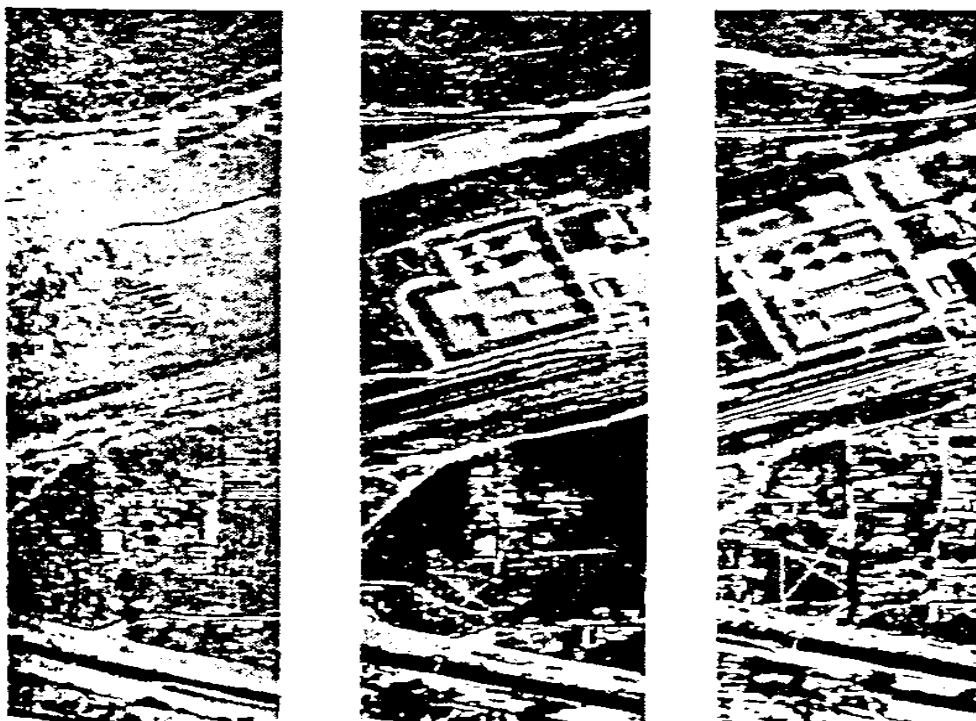


obr. 3.4.1

V ranních hodinách dne 18. listopadu 1984 byl sklad naplněn z rafinérie vzdálené cca 400 km. Předcházející den byl sklad prakticky prázdný a začal se plnit v průběhu odpoledne. Dva největší kulové zásobníky a 48 válcových zásobníků bylo naplněno na 90 procent, čtyři menší kulové zásobníky byly naplněny na 50 procent.

## Situační mapa

Situační mapa skladu LPG PEMEX je na obrázku 3.4.1, podrobnější schéma stanice je na obr. 3.4.3. Nejstarší část závodu, která byla uvedena do provozu v letech 1961-1962 byla starší než 20 let. V kritické době se zastavěná oblast velmi přiblížila ke skladu. Vývoj/přibližování zastavěné oblasti ke stanici je zřejmý ze série snímků na obr. A 4.2 V roce 1984 se zastavěná oblast přiblížila na vzdálenost 200 m, některé domy až na vzdálenost 130 m ke stanici LPG.



obr. 3.4.2

Sklad byl používán pro distribuci (rozvod) LPG, který byl do skladu přiváděn potrubím ze tří různých rafinérií. Skladovací kapacita byla tvořena 6 kulovými zásobníky a 48 válcovými zásobníky o celkové kapacitě 16 000 m<sup>3</sup>.

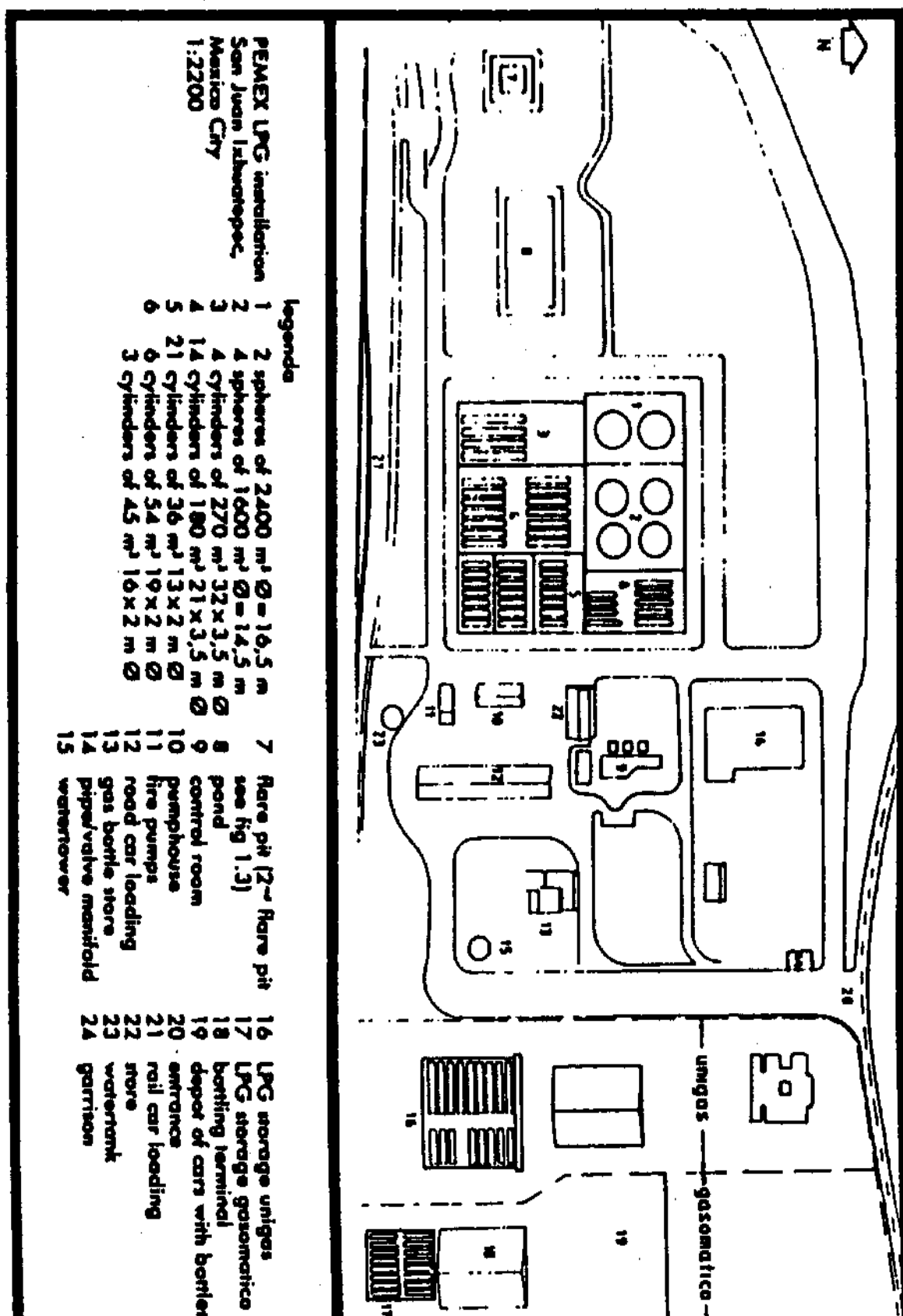
Schéma vlastního skladu je na obr. 3.4.3.

Každý ze dvou největších kulových zásobníků měl objem 2400 m<sup>3</sup>, čtyři další kulové zásobníky měly objem 1600 m<sup>3</sup>. Sklad se rozprostíral na ploše 13 000 m<sup>2</sup>.

Sklad byl vybudován podle API norem a řada zásobníků byla vyrobena v USA.

Ke spalování přebytečného plynu se používal polní hořák (fléra). Hořák byl ponořen pod úroveň terénu, aby nedocházelo ke zhasnutí plamene účinkem silného větru.

Společnost Unigas měla v okamžiku havárie ve vzdálenosti 100-200m severně umístěno 67 autocisteren - GASOMATICO - velký počet tlakových lahví pro domácnosti.



obr. 3.4.3



## Požár a exploze - 1

Dva největší kulové zásobníky a 48 válcových zásobníků bylo naplněno na 90 procent, čtyři menší kulové zásobníky byly naplněny na 50 procent, což představovalo 11 000 m<sup>3</sup> LPG v okamžiku havárie.

Přibližně v 5.45 hod. byl zaznamenán pokles tlaku, stejně jako v čerpací stanici vzdálené 40 km. Potrubí o průměru 8 inch. mezi kulovým zásobníkem F4 a skupinou válcových zásobníků G4 prasklo.

Ve velině se snažili identifikovat příčinu poklesu tlaku, ale bez úspěchu.

Doba úniku se odhaduje na 5 - 10 minut, byl mírný vítr 0,4 m/sec. Vlivem větru a tvaru terénu se plyn šířil na jihozápad. Lidé v nedalekých domech slyšeli hluk unikajícího plynu a cítili zápach plynu.

Když mrak uvolněného plynu dosáhl rozměrů 200 x 150 metrů a výšky 2 m, vznítíl se od fléry. To se stalo ráno v 5.45 hod.

## Vývoj událostí v Mexico City

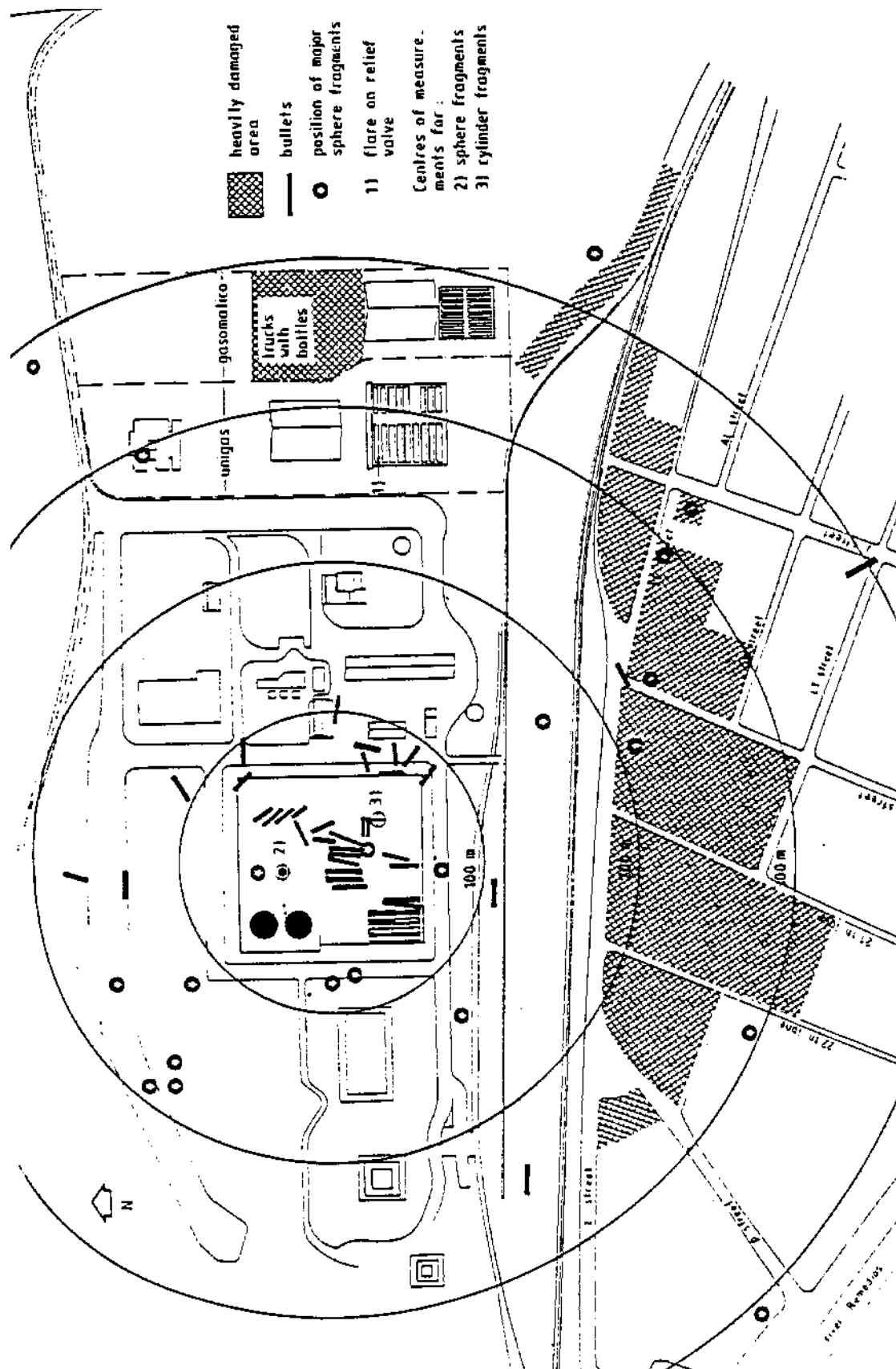
### A) Posloupnost explozí - údaje seismografu

|   |     |        |      |
|---|-----|--------|------|
| 1 | 5 h | 44 min | 52 s |
| 2 | 5 h | 46 min | 01 s |
| 3 | 6 h | 15 min | 53 s |
| 4 | 6 h | 31 min | 59 s |
| 5 | 6 h | 47 min | 56 s |
| 6 | 6 h | 49 min | 38 s |
| 7 | 6 h | 54 min | 29 s |
| 8 | 6 h | 59 min | 22 s |
| 9 | 7 h | 01 min | 27 s |

exploze 2 a 7 byly nejsilnější (5. stupeň RichtEROVY stupnice)

### B) Sled událostí

|             |                                                                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.30        | Roztržení potrubí ( 8 palců.) Zaznamenán pokles tlaku ve velině                                                 |
| 5.40        | Vznícení uvolněného mraku par, bouřlivé hoření a vysoký plamen                                                  |
| 5.45        | První exploze na seismografu, BLEVE<br>Povolání hasiči                                                          |
| 5.46        | Druhá exploze, BLEVE, jedna z nejsilnějších                                                                     |
| 6.00        | Policie zasahuje, je zastavena doprava                                                                          |
| 6.30        | Dopravní chaos                                                                                                  |
| 7 .01       | Poslední exploze na seismografu, BLEVE                                                                          |
| 7.30        | Pokračující exploze zásobníků                                                                                   |
| 8.00-10.00  | Záchranné práce vrcholí                                                                                         |
| 11.00       | Poslední exploze zásobníku                                                                                      |
| 12.00-18.00 | Záchranné práce pokračují                                                                                       |
| 23.00       | Zdolán požár na posledním velkém zásobníku<br>Situační schéma po havárii, oblasti zasažené létajícími fragmenty |



obr. 3.4.5

## VÝSLEDKY ANALÝZY 530 HAVÁRIÍ

SOURCE : INSTITUT NATIONAL DE L' ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

### 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 % |

## GENERALIZOVANÉ ZÁVĚRY ZE STUDIÍ

#### ☞ **Direktiva 82 / 501 / EEC (SEVESO)**

" On the Major-Accident Hazards of Certain Industrial Activities" - tato direktiva již byla nahrazena direktivou SEVESO II

#### ☞ **Direktiva 96/82/EC (SEVESO II)**

„On the control of major-accident hazards involving dangerous substances“

#### ☞ **OSHA 1910.190**

Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals

☞ **SLOŽITÉ PROCESY** je potřeba prověřovat z hlediska bezpečnosti (zařízení, pokud se v něm nic neděje - je celkem vzato bezpečné)

☞ primární pozornost věnovat **nebezpečným látkám**, seznam je vypracován a doplňován

☞ jakékoliv **modifikace procesu** vyžadují následnou studii bezpečnosti (multidisciplinární tým posuzovatelů)

☞ **obyvatelstvo** musí být nutně **seznámeno** s nebezpečím a rizikem, jinak nemůže spolupracovat

- v ČR byl v roce 1999 přijat zákon č. 353,, O prevenci závažných havárií .....“

! po SEVESU schválí kterýkoliv parlament cokoliiv !

**PŘEHLED VYBRANÝCH HAVÁRIÍ**  
(porovnání přímých a nepřímých ztrát při různých haváriích)

| číslo    | výrobna                   | země      | příčina       | ZTRÁTA<br>(miliony dolarů) |                      |
|----------|---------------------------|-----------|---------------|----------------------------|----------------------|
|          |                           |           |               | přímá                      | přerušení<br>provozu |
| rok 1987 |                           |           |               |                            |                      |
| 1        | kyselina octová           | USA       | výbuch        | 200                        | 160                  |
| 2        | rafinérie ropy            | USA       | výbuch, požár | 15                         | 37                   |
| rok 1988 |                           |           |               |                            |                      |
| 3        | polyetylén                | Holandsko | výbuch, požár | 4.4.                       | 22.3                 |
| 4        | amoniak                   | Libye     | výbuch, požár | 10.4                       | -                    |
| 5        | rafinérie ropy            | USA       | výbuch, požár | 300                        | -                    |
| 6        | kys.akrylová estery       | Francie   | výbuch, požár | 8.2                        | 20.4                 |
| 7        | fertilizéry               | Itálie    | požár         | 16.5                       | 5.8                  |
| 8        | peroxid                   | Německo   | požár         | 8.8                        | 16.4                 |
| 9        | barvy ,laky               | Francie   | výbuch, požár | 26.6                       | -                    |
| 10       | vinyl chlorid (monomer)   | Norsko    | výbuch, požár | 16.7                       | 67.4                 |
| 11       | čerpací stanice, terminál | Francie   | výbuch, požár | 26.6                       | -                    |
| 12       | petrochemie               | Holandsko | požár         | 4.3                        | 18.4                 |
| 13       | syntetické palivo         | J.Afrika  | požár         | 18                         | 39                   |
| 14       | lineární alkylbenzen      | Indie     | požár         | 9.6                        | 22.7                 |
| 15       | barvy, zprac. suroviny    | Německo   | výbuch, požár | 62.6                       | 76.5                 |
| 16       | polyester                 | Francie   | výbuch, požár | 6.8                        | 32.5                 |
| 17       | rafinérie ropy            | Japonsko  | výbuch, požár | 30.7                       | 43.6                 |
| 18       | etylénoxid a glykoly      | Belgie    | výbuch, požár | 79.4                       | 208.8                |
| 19       | amoniak                   | Francie   | požár         | 0.6                        | 23                   |
| 20       | rafinérie ropy            | USA       | výbuch, požár | 78.5                       | -                    |
| 21       | syntetické palivo         | J.Afrika  | požár         | 6.2                        | 104.5                |
| 22       | olefiny, štěpení etylénu  | USA       | požár         | 30                         | 60                   |
| 23       | zkapal. a separace plynu  | Thajsko   | prasklá hlava | 7.9                        | 20.2                 |
| 24       | rafinérie ropy            | Venezuela | požár         | 20                         | -                    |
| 25       | olefiny, štěpení etylénu  | USA       | výbuch, požár | 8                          | 56                   |
| 26       | rafinérie ropy            | USA       | hurikán       | 134                        | 138.4                |
| 27       | polymery                  | J.Korea   | výbuch, požár | 26.4                       | 20.7                 |
| 28       | polymery                  | USA       | výbuch, požár | 718                        | 675                  |
| 29       | rafinérie ropy            | Německo   | požár         | 8.8                        | 20.6                 |
| 30       | petrochemie               | USA       | mráz          | 17.2                       | 64                   |
| 31       | petrochemie               | USA       | mráz          | 1                          | 20                   |
| 32       | rafinérie ropy            | USA       | mráz          | -                          | 46                   |
| 33       | rafinérie ropy            | USA       | mráz          | -                          | 63.3                 |

#### 4. Související legislativa

Ve vyspělých zemích Evropy je procesní a pracovní bezpečnosti věnována řada předpisů a doporučení ( a legislativních úprav).

Na základě negativních následků velkých havárií byl v zemích EC již dříve přijat předpis známý pod názvem "Direktiva 82/501/EEC - On the Major accident Hazards of Certain Industrial Activities - SEVESO", v současnosti se hovoří o novelizovaném předpisu Seveso II (Comah). Obdobná situace je i v USA, kde platí obdobný předpis OSHA 1910.119. Přes zjevnou snahu odpovědných organizací je příprava obdobného předpisu v ČR časové velmi náročná.

Positivní roli v ČR sehrává zákon ČNR č. 244/1992 Sb. "O posuzování vlivu na životní prostředí", který upravuje posuzování vlivů připravovaných staveb na životní prostředí a určuje orgány státní správy příslušné k posuzování vlivů. na životní prostředí. Na základě vyjádření odborníků je možno požadovat podrobnější bezpečnostní studii s hodnocením rizika.

- \* direktiva 82/501/EEC - SEVESO

  - „On the major-accident hazards of certain industrial activities“

- \* novelizovaná direktiva 96/82/EC - SEVESO II

  - „On the control of major accident hazards involving dangerous substances“

- \* OSHA 1910.119 - „Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals“

- \* EN 30011 -1,2,3 Guide to quality systems auditing, Auditing, Qualification criteria for auditors, Monitoring an audit programme

- \* EN ISO 9000 - Quality Systems

  - EN ISO 9001:1994 Specification for design/development, production, instalation and servicing

- \* ISO 14000- Environmental Management Systems (EMS)

  - ISO 14001- Environmental Management Systems

    - specification with guidance for use

  - ISO 14 004 - Environmental Management Systems

- \* British Standard BS 8800 : 1996

  - „Guide to Occupational health and safety management“

- \* European Standard prEN 1050 :

  - „Safety of Machinery - Principles for Risk Assessment“

- \* EN 60204-1 : 1992 Safety of Machinery Electrical equipment of machines- General requirements.

- \* zákon ČNR č. 244/1992 Sb. "O posuzování vlivu na životní prostředí"

- \* Zákon č. 157 a 352 „O chemických látkách a chemických přípravcích“

- \* Zákon č. 353 „O prevenci velkých havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky ...

Evropská norma prEN 1050 : Bezpečnost strojů - hodnocení rizika

European Standard prEN 1050 : Safety of Machinery - Principles for Risk Assessment

## **Implementace zákona č. 353/1999 Sb., vyžaduje znalost:**

1. Zákon č.353/1999 Sb., o prevenci závažných průmyslových havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky a o změně zákona....., Sbírka zákonů č.353/1999,částka 111,str.7629.
2. Vyhláška č.8/2000 MŽP zásady hodnocení rizik závažné havárie, rozsah a způsob zpracování bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy, zpracování vnitřního havarijního plánu,zpracování podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a pro vypracování vnějšího havarijního plánu, rozsah a způsob zpracování informací určených veřejnosti, postup při zabezpečování informování veřejnosti v zóně havarijního plánování. Sbírka zákonů č.8/2000,částka 3,str.75.
3. Nařízením vlády č.6/2000, kterým se stanovuje způsob hodnocení bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy ,obsah ročního plánu kontrol, postup při provádění kontroly. obsah informace a obsah výsledné zprávy o kontrole. Sbírka zákonů č. 6/2000,částka 3,str.57.
4. Vyhláška MŽP č.7/2000, kterou se stanovuje rozsah a způsob zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a následcích závažné havárie. Sbírka zákonů č. 7/2000,částka 3,str.61.
5. Nařízení vlády č. 25/1998 Sb.,kterým se stanoví postup hodnocení nebezpečnosti chemických látek a chemických přípravků, způsob jejich klasifikace a označování a vydává Seznam dosud klasifikovaných nebezpečných chemických látek. Sbírka zákonů č. 25/1999, částka 1,str.11.
6. Zákon č. 157/1998 Sb. O chemických látkách a chemických přípravcích ze dne 1.června 1998, Praha, 1998.
7. Zákon č. 352 1999 Sb., kterým se mění zákon č. 157/1998 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích a některé další zákony, částka 111/1999 Sb.

Dále se doporučuje znalost předpisů :

8. Direktiva 82/501/EEC - SEVESO „On the major-accident hazards of certain industrial activities“, 1982.
9. Direktiva 96/82/EC - SEVESO II „On the control of major accident hazards involving dangerous substances“, 1996.
- 10.Předpis OSHA 1910.119 - „Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals“ June, 1992.

## 5. Bezpečnostní audit

### 5.1 Předmět auditu

**AUDIT** je systematická a nezávislá prohlídka s cílem ověřit, jak je vyhověno platným normám a předpisům

Postup prohlídky musí být velmi dobře definovaný, musí být zajištěna důslednost (konsistence) prohlídky, aby mohli auditoři dělat správné závěry.

**Bezpečnostní audit** je prověření celkové, souhrnné bezpečnosti systému. Může být zaměřen na :

- \* management
- \* organizaci
- \* pracovní postupy
- \* pracoviště
- \* provoz/proces
- \* životní prostředí

Bezpečnostní audit - úspěšný postup systematického prověřování bezpečnosti může být použit k dalšímu zvýšení bezpečnosti :

- \* zaměstnanců
- \* zařízení a provozu
- \* životního prostředí
- \* blízkého okolí

Přínos bezpečnostního auditu je následující:

Bezpečnostní audit - nový kvalitativní krok při zajišťování bezpečnosti.

- \* jsou odhalena slabá místa
- \* zvýší se úroveň bezpečnosti
- \* zlepší se "image" podniku
- \* dosahuje se vyšších finančních efektů

Mezi klíčové body inspekce patří především :

- \* pracovní prostředí
  - je provoz čistý a upravený,
  - jsou všechny přístupové a únikové cesty zřetelně označeny a řádně udržovány,
  - jsou k dispozici potřebná záchranná zařízení,  
(záchranné prostředky, prostředky první pomoci atd.),

\* stroje, zařízení, provozy

- je zařízení provozováno přiměřeně a je v dobrém stavu,
- je zařízení bezpečné, je vhodné a funguje správně,
- jsou platné bezpečnostní předpisy k dispozici a jsou správně uzpůsobeny,

\* nebezpečné materiály

- jsou výstražná upozornění správná a jednoznačná,
- jsou nebezpečné látky správně uskladněny,

\* chování zaměstnanců

- jsou nástroje, pomůcky, ochranná zařízení a prostředky pro přepravu užívány právně,
- jsou používány pracovní oděvy vhodné,
- jsou používány předepsané ochranné prostředky.

## 5.2 Hlavní zásady bezpečnostního auditu

Porovnání skutečnosti a optimálního stavu se použije pro :

- **identifikaci a posouzení nedostatků v oblasti bezpečnosti**
- **návrhu zlepšení/zdokonalení**
- **naznačení způsobů, jak mohou být zdokonalení realizována**

Důvody auditu - jsou to zejména následující případy :

- výjimečně vysoká úroveň nehodovosti
- rostoucí výplaty pojistného
- příliš vysoká nemocnost
- změny v předpisech
- změny v produkční návaznosti
- použití nové nebezpečné substance

Každodenní provozní potíže nebo identifikace nedostatků v oblasti bezpečnosti mohou být rovněž signálem pro audit.

Jako příklady lze uvést :

- provozní poruchy mají nebezpečné následky
- bezpečnostní prostředky se nepoužívají

**! SPRÁVNÝ OKAMŽIK PRO ZAHÁJENÍ AUDITU JE PRÁVĚ TEĎ !**



## BEZPEČNOSTNÍ AUDIT

| <b>je</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>není</b>                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ objektivní hodnocení</li><li>⇒ kladný krok</li><li>⇒ možnost pozorovat lidi při jejich práci</li><li>⇒ způsob:<ul style="list-style-type: none"><li>- podněcování ostražitosti a přání pracovat v bezpečných podmínkách</li><li>- stanovení osobní odpovědnosti a pozice v řízení bezpečnosti</li></ul></li><li>⇒ osobní zájem každého</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ plán činností</li><li>⇒ způsob, jak odhalit chyby jednotlivce</li><li>⇒ seznam zákonných povinností</li><li>⇒ seznam vadných zařízení</li><li>⇒ záležitost, která se týká pouze auditora</li></ul> |

### Upozornění !!!

Audit : z nikoho neudělá odborníka,  
nenaučí ho povinnosti vyplývající ze zákona.

### Výběr týmu pro **AUDIT**

- \* kdo bude auditorem
- \* kdo má předpoklady být dobrým auditorem

### Požadavky na auditory:

- odborná způsobilost/kompetence - expertní znalosti a zkušenosti
  - organizační schopnosti
  - zkušenosti v otázkách posuzování bezpečnosti
- osobní vlastnosti
  - objektivní/nestranný
  - společenský
  - empatický (schopnost vcítit se)
  - smysl pro pochopení
  - trpělivý/vytrvalý
- nezávislost
  - rovnocenné postavení
  - nezávislé rozhodování
  - volnost v jednání

auditorský tým = tým technicky zdatných a zkušených odborníků

## **Příprava auditu**

- oblast zkoumání
- cíle auditu
- typ auditu
- trvání auditu
- auditorský tým

Procesní audit se dělá : - v průběhu předem naplánovaných fází

- při provozních nebo procesních změnách
- když to vyžadují mimořádné okolnosti

**Cíl auditu** je posoudit: - **odchylky od limitních hodnot**

- **neočekávané reakce**
- **vliv na životní prostředí**
- **změny kvality**

příklady systémů pro audit:

- systémy s odběry,
- předpisy pro najíždění a odstavování,
- provozní předpisy,
- zpracování odpadů,
- polní hořák,
- technologická schémata

## 6. Klasifikace a priorizace zdrojů společenského rizika

Je potřeba zajistit **objektivní** posouzení **společenského** rizika, které pro obyvatelstvo představuje **umístění** a **provoz** potenciálně nebezpečného průmyslu a navazující činnosti.

Integrace bezpečnosti a vývojových trendů do úvah o společenských a ekonomických přínosech pro společnost by měla být **špičkovým** zájmem **státních** úřadů.

### Bezpečnostní studie průmyslového regionu vyžaduje :

- **multiprofesní realizační tým odborníků**

(bezpečnostní inženýr, ekolog, procesní inženýr, hygienik, hasič, specialista odboru ochrany atd.)

- **přístupnost k informacím o zdrojích rizika**

(seznam, rozmístění, parametry, údaje o látkách, způsob zabezpečení atd.)

- **vhodnou metodu** (metoda IAEA - TECDOC - 727)

Metoda umožňuje stanovení míry rizika pro případy zasažení obyvatelstva následky požáru, výbuchu a úniku toxické látky za hranicemi nebezpečného zařízení.

**IAEA** - International Atomic Energy Agency

### Výrazná přednost vybrané metodiky :

(ve srovnání s jinými generickými metodami)

- jednotný postup pro

- **klasifikaci**
- **priorizaci**

různých zdrojů rizika :

- **fixních zdrojů rizika**

(skladovací zásobníky, tanky, nádrže, plynojemy, sklady tlak. lahví)

- **mobilních zdrojů rizika**

(přeprava v autocisternách, železničních cisternách, po vodní cestě)

- **produktovodů** (přeprava plynů a kapalin potrubím)

přínos :

- ☞ **komparativnost výsledků**
- ☞ **priorizace zdrojů rizika**

### Hlavní zjednodušující předpoklady používaných postupů :

- pro **odhad pravděpodobností a následků** se berou do úvah jenom nejdůležitější faktory (např. hustota populace, bezpečnost dopravy, frekvence naplňování a vypouštění atd.)
- **odhad** možných **následků** vychází z následujících zkušeností :
  - uvažuje se 100% úmrtnost v zasažené oblasti (oblast vlivu fyzikálního efektu nebo účinku toxické látky (obvykle lze očekávat 50-100% úmrtnost)
  - vně zasažené oblasti se neuvažují smrtelné případy
  - faktor ovlivnění se uvažuje v závislosti na typu látky
  - uvažují se **tři** základní možné **kategorie následků** :
    - ♦ **kruhový** tvar zasažené oblasti (jako např. při explozi)
    - ♦ **polokruhový** (jako např. v případě mraku těžkých plynů)
    - ♦ **protáhlý** (jako např. při disperse)
  - ovlivněné pásmo se odhaduje do vzdálenosti 10 000 m
  - látky jsou z hlediska hořlavosti, výbušnosti a toxicity rozříděny do pěti kategorií
  - posuzují se i další činnosti spojené s procesy, skladováním a transportem látek
- Odhad pravděpodobností je založen na následujících předpokladech :
  - průměrná frekvence poruch je dána historií zařízení (zkušenostmi)
  - korekční faktor vyjadřuje rozdíly mezi různými průmyslovými činnostmi
  - metoda využívá "pravděpodobnostních čísel"

### Metoda IAEA - TECDOC - 727 = Klasifikace a priorizace zdrojů společenského rizika

(riziko civilního obyvatelstva odvíjející se od možnosti velké průmyslové havárie)

= extrakt mezinárodních zkušeností s velkými průmyslovými haváriemi

- hořlavých plynů  
kapalin
- toxických plynů  
kapalin
- výbušných látek

**MODEL :** 46 referenčních (typových) průmyslových havárií  
(rozšířený 10 kategoriemi množství nebezpečné látky)

**\* Klasifikace typu činnosti a zařízení**

Po vymezení hranice sledované oblasti a hlavní obecné charakteristiky oblasti (regionu) je třeba shromáždit základní obecné informace o všech nebezpečných zařízeních, všech dopravních cestách a způsobech přepravy nebezpečných látek. Z těchto aktivit se vyberou všechny takové činnosti, které reprezentují riziko a k nim musejí být získány další podrobnější informace. Musí být vytvořen seznam uvažovaných nebezpečných látek a provede se jejich klasifikace.

**\* 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 a to pro každou uvažovanou činnost s ohledem na zasaženou plochu, hustotu populace v oblasti a korekčního faktoru/ů. Tyto faktory zahrnují vlivy vzdálenosti populace, rozložení populace a eventuální možné zmírňující faktory.

**\* Odhad pravděpodobnosti vzniku velké havárie**

- Fixní zařízení

Metoda je založena na odhadu frekvence výskytu velké havárie pro každou posuzovanou činnost, vychází se z tzv. pravděpodobnostních čísel získaných studiem většího počtu havárií. Přitom se uvažuje vliv tzv. korekčních faktorů. Tyto faktory se odhadují na základě frekvence stáčení/plnění, uvažuje se vliv instalovaných bezpečnostních systémů, vliv organizačních a bezpečnostních opatření a pravděpodobný směr větru vzhledem k poloze střediska populace v ovlivněné zóně.

- Přeprava nebezpečného nákladu

Metoda je založena na odhadu frekvence výskytu havárie při přepravě nebezpečné látky s ohledem na typ přepravy (silnice, železnice, vodní cesta, potrubní dálkovod). I zde se aplikují korekčních faktory, které zahrnují vliv :

- bezpečnostní podmínky přepravy,
- hustota dopravy,
- pravděpodobný směr větru s ohledem na polohu střediska populace v uvažované oblasti.

**\* Odhad společenského rizika**

Každá činnost je klasifikována pomocí stupnice následků a stupnice pravděpodobnosti výskytu události. Všechny nebezpečné aktivity v uvažované oblasti se znázorní v matici znázorňující vazbu na pravděpodobnost a následky (viz obr. 4).

**\* Stanovení priorit rizika**

Kritéria pro rozhodnutí o přijatelnosti rizika musejí být definována před tím, než je úloha řešena. Bývají zakreslena do matice rizik, takže všechny činnosti, které nesplňují stanovená kritéria jsou snadno identifikována - odhalena. Takové zdroje rizika, které nesplňují stanovená kritéria jsou vybrány pro další detailní analýzu v tom pořadí (s těmi prioritami) jak překračují stanovená kritéria.

## 6.1 Seznam typových havárií - Klasifikace látek podle kategorie účinku:

| Refer. číslo havárie                                                                               | Typ chemické substance | Popis látkových vlastností substance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Činnost                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6                                                                         | Hořlavá kapalina       | Tenze páry <0.3 bar při 20°C<br><br>Tenze páry ≥0.3 bar při 20°C                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Potrubí<br>Jiná<br>Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Potrubí<br>Jiná                                                                                                                                                      |
| 7<br>8<br>9<br>10<br>11<br>12<br>13                                                                | Hořlavý plyn           | zkapalněný tlakem<br><br>zkapalněný ochlazením<br><br>pod tlakem                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Železnice, silnice, nadzem. zásobník<br>Potrubí<br>Jiná<br>Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Jiná<br>Potrubí<br>Skladování v lahvích (25-100 kg)                                                                                                              |
| 14<br>15                                                                                           | výbušnina              | volně sypaná (jednoduchá exploze)<br>balená (např. ve „shells“)                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 16<br>17<br>18<br>19<br>20<br>21<br>22<br>23<br>24<br>25<br>26<br>27<br>28<br>29                   | Toxická kapalina       | málo toxická<br><br>středně toxická<br><br>vysoce toxická<br><br>velmi vysoce toxická                                                                                                                                                                                                                                                                     | Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Jiná<br>Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Silnice/Železnice<br>Voda<br>Jiná<br>Skladování v zásobníku (s vanou)<br>Silnice/Železnice<br>Voda<br>Jiná<br>Skladování v tanku (s vanou)<br>Silnice/Železnice<br>Voda<br>Jiná |
| 30<br>31<br>32<br>33<br>34<br>35<br>36<br>37<br>38<br>39<br>40<br>41<br>42<br>43<br>44<br>45<br>46 | Toxický plyn           | zkapalněný tlakem: málo toxický<br>středně toxický<br>vysoce toxický<br>velmi vysoce toxický<br>extrémně toxický<br>zkapalněný chlazením: málo toxický<br>středně toxický<br>vysoce toxický<br>velmi vysoce toxický<br>extrémně toxický<br>v potrubí : středně toxický<br>vysoce toxický<br>pod tlakem > 25 bar vysoce toxický<br>Toxické zplodiny hoření | z pesticidů<br>z hnojiv (dusíkatých)<br>z kyseliny sírové<br>z plastů (s chlórem)                                                                                                                                                                               |

# SPOLEČENSKÉ RIZIKO = RIZIKO pro obyvatelstvo

relace



$$\text{RIZIKO} = f(\text{ztrát/frekvence})$$

**ztráty** = f ( - fyzikálně-chemické vlastnosti látky  
                   - racionálně uvážené množství látky  
                   - velikost zasažené oblasti  
                   - hustota osídlení zasažené oblasti  
                   - faktory :distribuce, možnost varování)

**frekvence**= f ( - základního frekvenčního čísla  
                   - četnost manipulace - přečerpávání  
                   - hořlavost látky  
                   - organizačního zajištění bezpečnosti  
                   - směr větru )

**Odhad následků :**

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

kde :

$C_{a,s}$  - následky (odhad počtu smrtelných zranění/událost)  
 A - ovlivněná oblast  
 d - hustota populace uvnitř ovlivněné oblasti  
 $f_A$  - korekční faktor na distribuci lidí v ovlivněné zóně  
 $f_m$  - korekční faktor zahrnující zmírnění následků  
 (u mobilních zdrojů rizika se posuzuje vybraný 1 km úsek přepravní trasy)

**Odhad pravděpodobnosti havárie**

- **pro stabilní zařízení**

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

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

- **při přepravě**

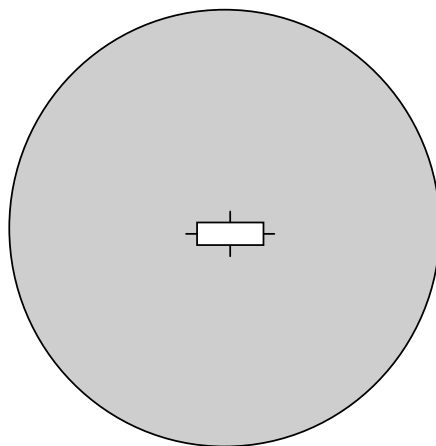
$$N_{t,s} = N^*_{t,s} + n_c + n_{td} + n_p$$

kde :

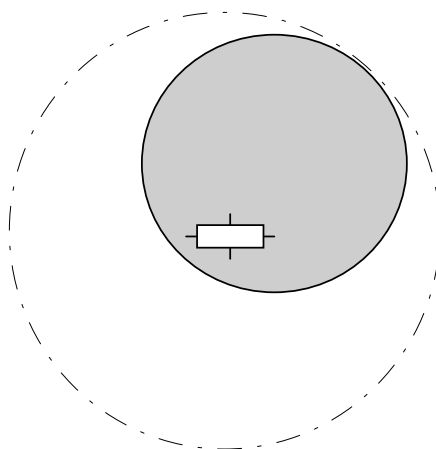
$N^*_{t,s}$  = střední hodnota pravděpodobnostního čísla pro přepravu substance  
 $n_c$  = korekční faktor na zajištění bezpečnosti přepravy  
 $n_{td}$  = korekční faktor zohledňující hustotu přepravy  
 $n_p$  = korekční faktor zohledňující vliv směru větru

## 6.2 Základní geometrické tvary zasažené oblasti

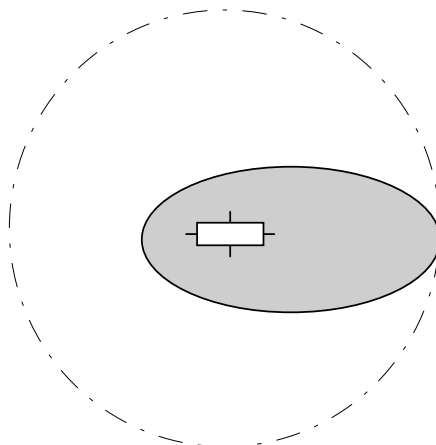
Tvar oblasti zasažené účinkem události závisí na typu nehody.



I - kruhový symetrický tvar zasažené oblasti



II - kruhový nesymetrický tvar zasažené oblasti



III - eliptický (protáhlý) tvar zasažené oblasti

obr. 6.1

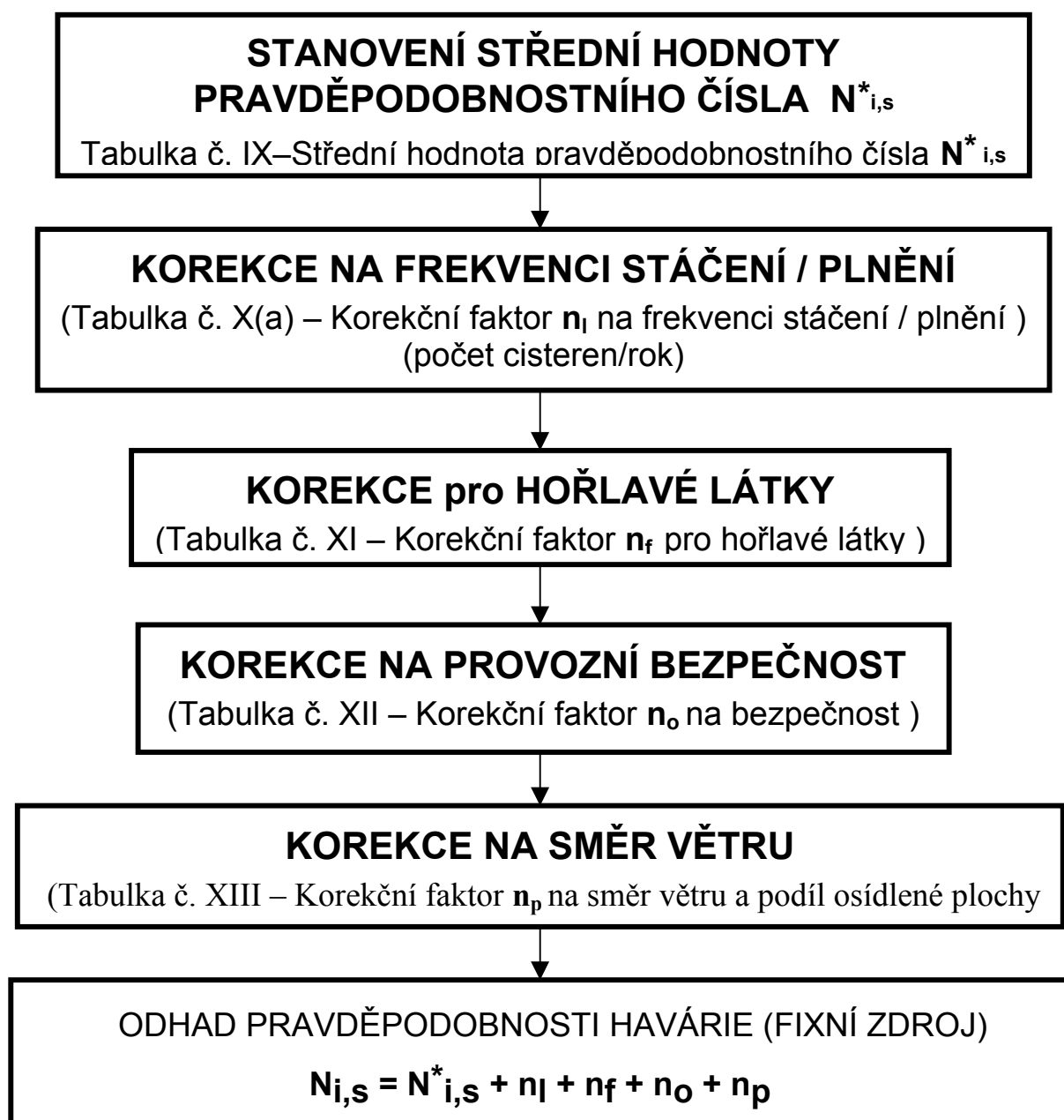


Schéma postupu odhadu ztrát pro různé **zdroje** rizika :



obr. 6.2

Schéma postupu odhadu pravděpodobnosti havárie fixního zdroje rizika:

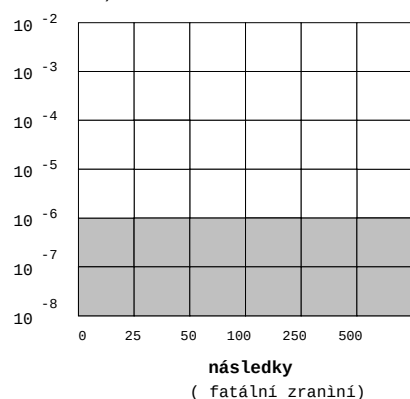


obr. 6.3

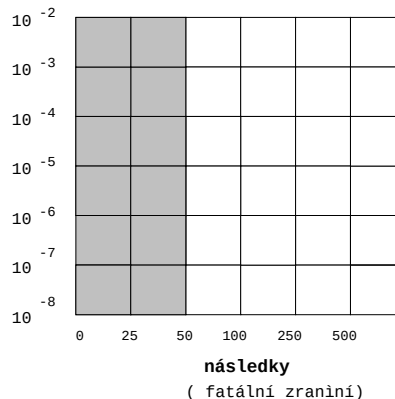
## Matice rizik a kritéria přijatelnosti rizika

- jednoduchá jednostranná kritéria přijatelnosti (nevystihují realitu problému rizika)

frekvence  
(událostí/rok)

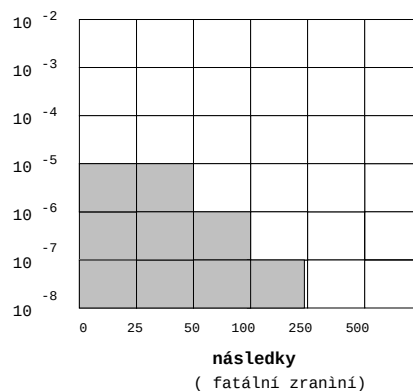


frekvence  
(událostí/rok)



- pro praxi - kombinovaná kritéria přijatelnosti rizika

frekvence  
(událostí/rok)



Metody IAEA-TECDOC-727 **může** být použito pro:

- stanovení předběžného obecného kvantitativního přehledu o různých zdrojích společenského rizika ve větší průmyslové oblasti,
- stanovení priorit u rozdílných zdrojů rizika pro další podrobnější analýzu.

☞ Výsledky dosažené uvedeným postupem mohou být použity jenom jako relativní údaje.

☞ Takto stanovené údaje o riziku nelze používat jako hodnoty absolutní.

Uvedené metody a výsledků **nelze** jednoduše 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 rozdílech, 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
- tvorby havarijního plánu pro zvláštní (mimořádné) situace, které jsou spojeny s rizikem (např. zařízení v zalidněné oblasti, přeprava nebezpečných nákladů v blízkosti zalidněné oblasti).

## 7. Základní přehled vybraných metod

V průmyslově vyspělých zemích se pro identifikaci nebezpečí a/nebo posouzení rizika (bezpečnostní studii) používá více než desítky metod. Nacházejí uplatnění nejen při posuzování bezpečnosti chemického procesu, ale jsou používány také v potravinářském průmyslu, farmacii a v jiných výrobcích, které mohou být zdrojem nebezpečí.

Posuzují se :

**projekční návrhy, nové procesy, stávající procesy, modifikované procesy, kontinuální velkokapacitní jednotky nebo i diskontinuální násové procesy.**

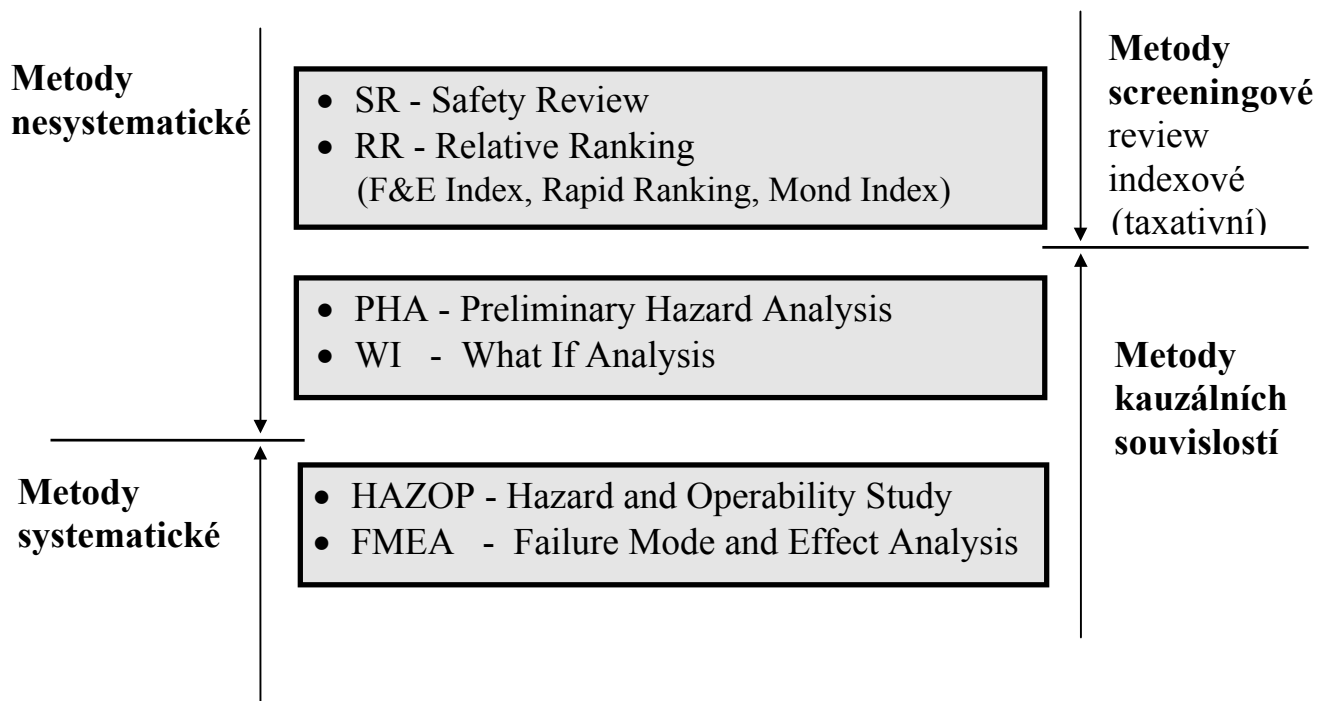
Podrobnější přehled nejčastěji užívaných metod uvádí následující seznam:

|                                    |                                         |         |
|------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| Safety Review                      | Prověření bezpečnosti                   | (SR)    |
| Checklist Analysis                 | Seznam kontrol                          | (CL)    |
| Relative Ranking                   | Relativní klasifikace                   | (RR)    |
| Preliminary Hazard Analysis        | Předběžné posouzení nebezpečí           | (PHA)   |
| What-If Analysis                   | ”Co se stane, když”                     | (WI)    |
| What-If/Checklist Analysis         | Co když / seznam kontrol                | (WI/CL) |
| Hazard and Operability Analysis    | Analýza nebezpečí a provozovatelnosti   | (HAZOP) |
| Failure Modes and Effects Analysis | Analýza příčin a následků poruch        | (FMEA)  |
| Event Tree Analysis                | Analýza stromem událostí                | (ETA)   |
| Fault Tree Analysis                | Analýza stromem poruch                  | (FTA)   |
| Cause-Consequence Analysis         | Analýza příčin - následků               | (CCA)   |
| Human Reliability Analysis         | Analýza spolehlivosti lidského činitele | (HRA)   |

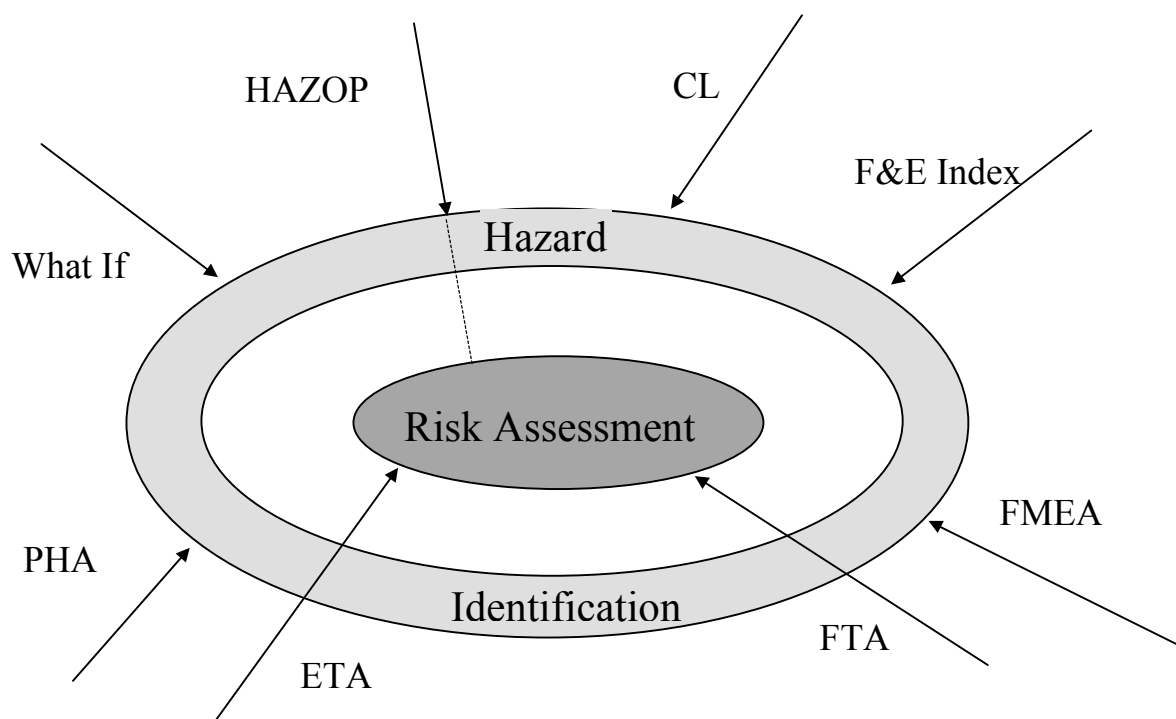
Uvedený přehled metod nelze považovat za úplný nebo vyčerpávající. Kromě toho existuje řada modifikací různých metod. Např. taxativní indexová metoda uvedená jako Relative Ranking (relativní posouzení) reprezentuje vlastně několik metod. Jako konkrétní příklady lze uvést metody Dow Fire & Explosion Index, Mond Index, Rapid Ranking atd.)

Seznam metod není ani úplný, ani preferenční. Nejedná se o metody konkurenční, ale navzájem se doplňující a podporující. Nelze počítat s tím, že by problém bezpečnosti určitého procesu vyřešila studie jedinou metodou. Taková představa je iluzorní, navíc bezpečnostní studie sama o sobě bezpečnost nezvyšuje. Výsledkem detailní a systematické studie však může být seznam doporučení pro snížení rizika a zvýšení bezpečnosti.

## 7.1 Klasifikace metod



## Aplikační možnosti metod



## 7.2 Stručná charakteristika metod

### Metoda " P H A " (Předběžného posouzení nebezpečí)

Metoda PHA bývá aplikována obvykle ve **fázi koncepčního návrhu** projektu provozu, ve fázi dislokace nebo ve fázi vývoje procesu s cílem **vytvořit seznam všech nebezpečí**, která se mohou v procesu vyskytnout.

Aplikace PHA nevylučuje pozdější použití některé další podrobnější metody. V praxi je PHA obvykle považována za prvním stupeň komplexní studie bezpečnosti procesu.

Použití metody PHA v počáteční fázi technického života procesu má dvě základní výrazné přednosti :

- identifikace potenciálních nebezpečí **v počáteční fázi** technického života procesu, kdy případná korekce vyžaduje **minimální náklady** nebo narušení provozu
- podpora práce vývojového týmu při vypracování souboru **provozních předpisů**, které budou používány v průběhu technického života zařízení

Uvedeným postupem mohou být eliminována závažná nebezpečí, minimalizovány následky a bezpečnost zvládnuta od samého začátku. Metoda PHA může být použita také pro stávající zařízení, pokud je požadována všeobecná analýza nebezpečí a potenciálně nebezpečných situací.

### Indexové metody

- **Dow's Fire and Explosion Index (F&EI)**  
metoda vyvinuta společností Dow's Chemical Company pro identifikaci nebezpečí požáru a výbuchu procesních jednotek. F&EI uvažuje rozmanité faktory jako jsou látkové vlastnosti, procesní podmínky, projekt provozu apod.
- **Mond Index** je metoda zavedená společností ICI - Mond Division. Je rozšířenou verzí Dob F&Indexu, zahrnuje nebezpečí ohrožení toxickými látkami.
- **Substance Hazard Index (SHI)** byl navržen Organization Resources Counselors jako nástroj pro klasifikaci nebezpečnosti látek. Index SHI je definován jako podíl rovnovážné koncentrace látky za normální teploty a prudce toxické koncentrace téže látky ve vzduchu.
- **Material Hazard Index (MHI)** je používán ke stanovení limitního množství nebezpečné látky, které je ještě přípustné z hlediska bezpečnosti. Při překročení tohoto limitu musí být provedena bezpečnostní opatření.
- **Chemical Exposure Index (CEI)**  
je další metoda společnosti Dow Chemical Company, která ji vyvinula za účelem posouzení nebezpečí ohrožení toxickou látkou.
- **Threshold Planning Quantity (TPQ) Index** zavedla organizace Enviromental Protection Agency. Pro látky překračující přípustné limity množství musí být podniknuta příslušná bezpečnostní opatření.
- **Rapid Ranking** náleží do kategorie Relative Ranking. Umožňuje rychlou identifikaci nebezpečí požáru a ohrožení toxickou látkou. .

## Metoda WHAT\_IF

je založena na brainstormingu, při kterém kvalifikovaný pracovní tým (dobře obeznámený se zkoumaným procesem) prověřuje formou dotazů a odpovědí neočekávané události, které se mohou v procesu vyskytnout.

Formulované dotazy začínají charakteristickým

„ Co se stane, když ..... ? ”

Odhadují se následky vzniklého stavu nebo situace, navrhuji se opatření a doporučení.

Metoda WHAT IF - v praxi relativně oblíbená, neboť neklade vysoké nároky na čas. Je však nutno počítat s tím, že nižší časová náročnost studie má kořeny v intuitivním, méně systematickém postupu. Tato metoda je velmi efektivní a účinná, pokud má pracovní tým provozní zkušenosti a současně má aplikační zkušenosti s touto metodou. V opačném případě může být výsledek studie diskutabilní.

### **Metoda " Co se stane, když .." v kombinaci s kontrolním seznamem (What-If/Checklist Analysis)**

Tato metoda kombinuje tvořivé rysy analýzy What-If a systematické vlastnosti metody (Checklist) kontrolního seznamu. Metoda těží z předností a kompenzuje nedostatky jednotlivých přístupů. Metoda kontrolního seznamu je založená na zkušenostech autorů kontrolního seznamu. Jestliže seznam není úplný, analýza nemůže účinně pokrýt ohrožující situace. Technika What-If vede tým k tomu, aby uvážil možné nehody a následky, které jsou mimo rámec zkušeností autorů dobrého kontrolního seznamu. Naopak technika kontrolního seznamu propůjčuje analýze What-If systematictější podobu.

Účelem analýzy je identifikovat ohrožení, zvážit obecné typy havárií, které mohou v procesu nastat, zhodnotit kvalitativně účinky těchto havárií a určit zda ochranná opatření proti možným havarijním situacím jsou přiměřená.

Tato technika se obvykle používá k analýze nejobvyklejších ohrožení, které v procesu existují. Metoda se obvykle soustředí na méně podrobnou úroveň rozhodování, než např. FMEA. Často se tato metoda používá k prvnímu hodnocení procesu a je předchůdcem podrobnější studie.

Tým obvykle vytvoří tabulku možných havarijních situací, účinků, ochran a opatření. Výsledky studie mohou také obsahovat vyplněný kontrolní seznam. Někdy se však k dokumentaci výsledků používá popisného způsobu.

Tým by měl mít zkušenosti s projektem, provozem a údržbou zkoumaného procesu. Počet lidí v týmu závisí na složitosti procesu a do jisté míry na fázi života procesu ve které se analýza provádí. Obvykle tato metoda vyžaduje méně lidí a času než strukturovanější techniky.

Pro systematickou a pečlivou analýzu bezpečnosti složitého procesního zařízení se v průmyslově vyspělých zemích Evropy používá metoda označovaná jako HAZOP (Hazard and Operability Study). Jako každá systematická studie, je i aplikace této metody analýzy bezpečnosti náročná na čas, znalosti a zkušenosti. Proto byla zpočátku používána skutečně jen pro analýzu a posouzení nebezpečných (havarijních) stavů u velkokapacitních zařízení. V poslední době se však počet bezpečnostních studií realizovaných metodou HAZOP stále zvyšuje. Metoda HAZOP je v současnosti relativně úspěšnou metodou jakož i uznávaným evropským standardem.

**CHARAKTERISTIKA METODY - HAZOP** vychází z rozboru obvyklé situace v chemickém průmyslu. Řada potenciálních problémů je v projektu přehlédnuta či opomenuta z důvodu značné složitosti projektu a nikoliv z důvodu nedostatku znalostí a zkušeností projekčního týmu.

Autor metody HAZOP ve své původní práci charakterizuje tuto metodu jako spojení dvou základních postupů. Jako první lze uvést "studii provozuschopnosti" (Operability Study), což je v podstatě identifikace nebezpečných situací. Na ni navazuje Hazard Analysis, což je vyhodnocení rizika. Skutečným cílem HAZOPu je však praktické řešení složité identifikační úlohy.

Tomuto poznatku odpovídá logický krok rozdělení systému na dílčí subsystémy, tj. aplikace systémového přístupu - rozděl a zvládni, rozděl a panuj. Také další předpoklad vychází z praktických zkušeností. Provozní hodnoty závažných veličin se musejí pohybovat v mezích, které se považují za bezpečné. Větší vybočení - odchylka mimo stanovené limity může být nebezpečná.

Při porovnání s ostatními metodami spočívá základní přínos metody HAZOP především v systematickém a metodicky propracovaném návodu prohlídek, při kterých se příčiny hledají klasickou otázkou :

„co mohlo způsobit, že ..?“

a následky obdobnou otázkou

„co se stane , když...?“

Otázky se však neformulují nahodile na základě subjektivních znalostí, jak je tomu např. u metody "What If". Výraznou podporou při formulaci těchto dotazů je seznam tzv. klíčových slov (guide words). Připojením klíčového slova k řádné funkci zařízení (intention) se generují prakticky všechny odchylky, které mohou třeba jen teoreticky nastat.

Cílem HAZOP studie složitého procesního zařízení je identifikace nebezpečných stavů, která se mohou na zařízení vyskytnout. Postup analýzy zahrnuje tyto kroky :

odhalení příčin - odhad možných následků - návrhy opatření - ocenění



## 8. Index požáru a výbuchu (Dow's Fire and Explosion Index)

Indexové metody patří ke generickým (typovým, druhovým) metodám identifikace zdrojů rizika. Pomáhají odhalovat specifické zdroje rizika, pro jejichž identifikaci byly na základě zkušeností postupně vyvinuty. Jiné zdroje rizika jimi odhalit nelze, nejsou k tomu vybaveny.

Typickým představitelem indexových metod je metoda Dow's Fire and Explosion Index a Dow's Chemical Exposure Index.

**F&E Index = nástroj**

- reprezentuje více než 30 let zkušeností
- pro odhalení míst s největším potenciálem ztráty
- umožňuje předpovědět - rozsah poškození zařízení  
- ztráty přerušením provozu

Cílem studie metodou F&E Index je :

1. **KVANTIFIKOVAT** reálně očekávané škody následkem požáru, exploze a chemické reaktivity.
2. **IDENTIFIKOVAT** zařízení, která by mohla přispívat ke vzniku a eskalaci nehody.
3. **PREZENTOVAT** zjištěné F&E riziko managementu.

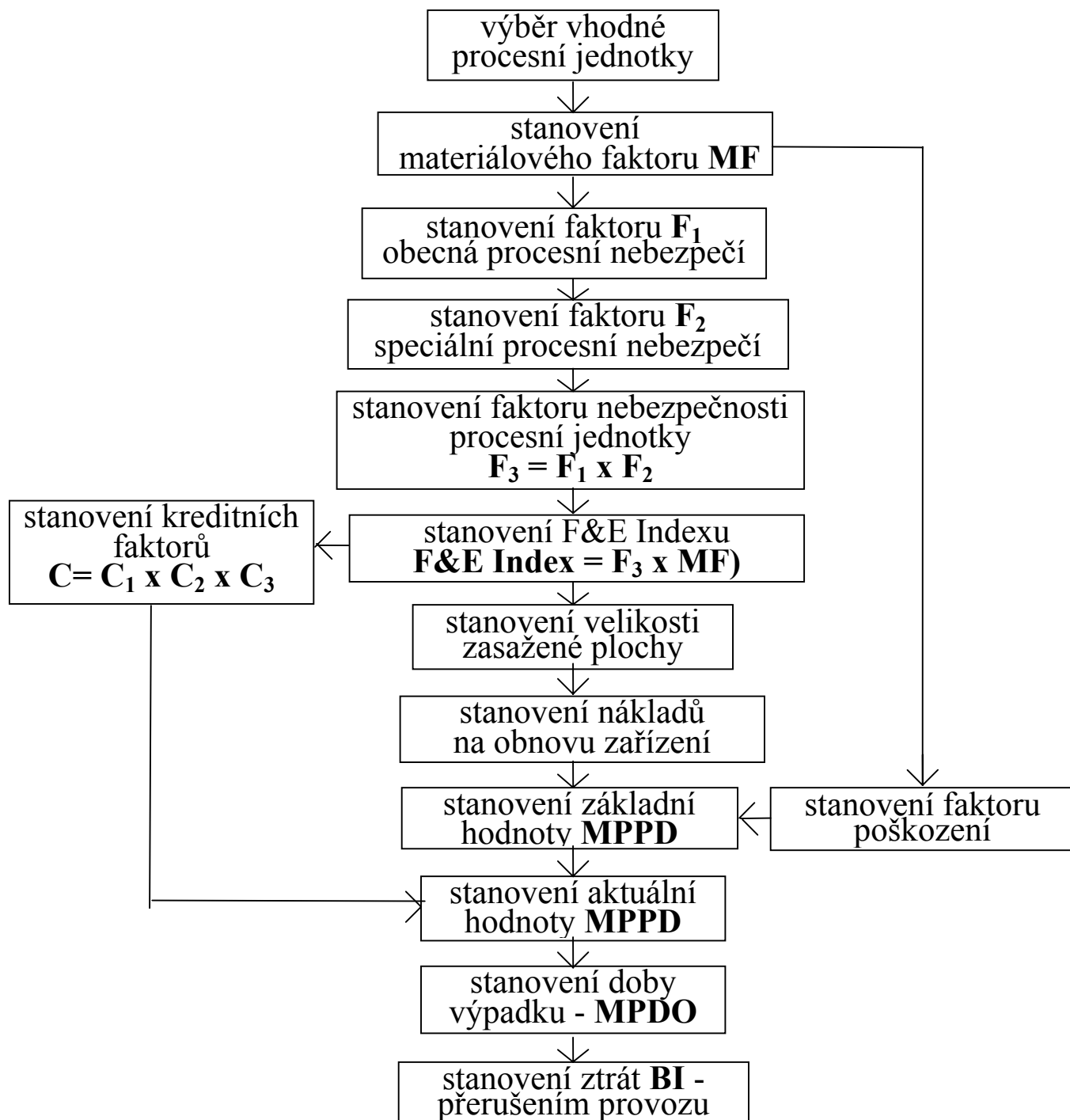
Detailní postup při analýze rizika :

- Výběr procesní jednotky pro studii
- Stanovení materiálového faktoru **MF**
- **Faktory nebezpečnosti** procesní jednotky
  - ☞ **Obecná** procesní nebezpečí
  - ☞ **Speciální** procesní nebezpečí
- Stanovení faktoru nebezpečnosti procesní jednotky  
Stanovení indexu požáru a výbuchu ( **F&E Indexu**)
- **Kreditní faktory** řízení procesu
- Souhrnná **analýza rizika** procesní jednotky  
Diskuse o ztrátách majetku (**MPPD**) a provozních (**BI**)
- Souhrnná analýza rizika výrobní jednotky
- Soubor podkladů pro souhrnnou analýzu rizika

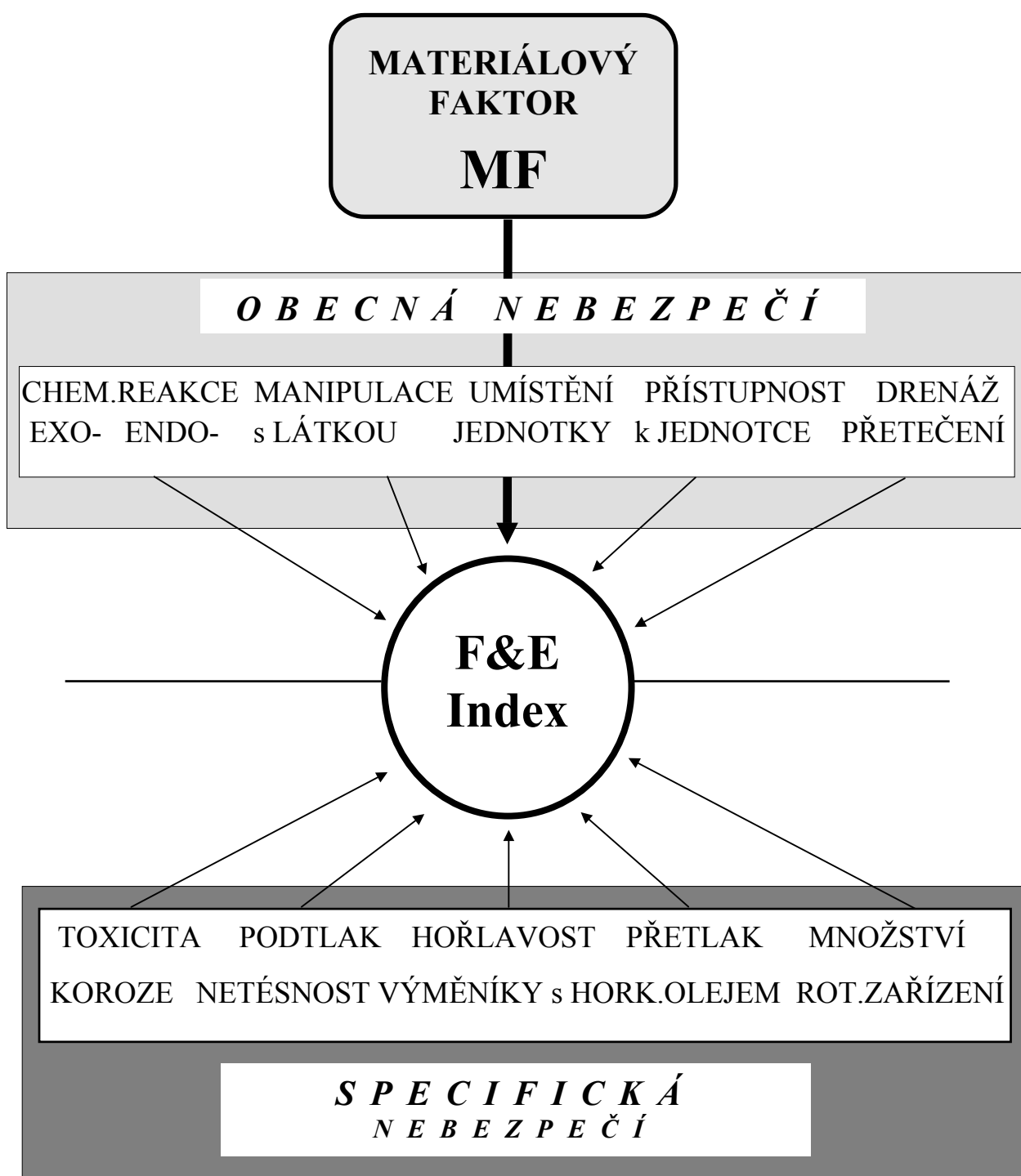
---

**POSTUP STANOVENÍ INDEXU POŽARU A VÝBUCHU  
( FIRE & EXPLOSION INDEXU )  
A DALŠÍCH ÚDAJŮ O RIZIKU**

---



**MPPD** - Maximum Probable Property Damage  
**MPDO** - Maximum Probable Days Outage  
**BI** - Business Interruption



## VÝBĚR PROCESNÍ JEDNOTKY PRO STUDII

První krok - **výběr** procesní jednotky, která má být analýze podrobena.

**Procesní jednotka** (Process Unit) = kterákoliv větší část zařízení

**Přehled faktorů důležitých pro výběr procesní jednotky :**

- a. Energetický potenciál nebezpečné látky  
(vyjádřený materiálovým faktorem MF)
- b. Množství nebezpečného materiálu v procesní jednotce
- c. Hustota investic (Kč/m<sup>2</sup>)
- d. Procesní tlak a procesní teplota
- e. Historie jednotky (potíže končící požárem nebo explozí)
- f. Kritické jednotky z hlediska provozu (např. jednotka termální oxidace)

příklady procesních jednotek: přehřívák, odparka, pec, kolona, absorber, kotel s dehtem.

další příklady : skladovací zásobníky, zásobník vody, čerpadla reaktoru, reaktor, atd.

**ale také :** skladištní budova s materiálem = procesní jednotka

## STANOVENÍ MATERIÁLOVÉHO FAKTORU

materiálový faktor **MF** = míra potenciální energie,  
která se uvolní při požáru nebo výbuchu

$$\mathbf{MF} = f(\text{hořlavosti } N_F \text{ \& reaktivity } N_R)$$

$N_F, N_R$  - údaje NFPA (National Fire Protection Association)

- vyjadřují : hořlavost, reaktivitu (nestabilitu) substance

|                                                                                                                                                       |                         | Reaktivita nebo nestabilita |           |           |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                                                                                                       |                         | $N_R = 0$                   | $N_R = 1$ | $N_R = 2$ | $N_R = 3$ | $N_R = 4$ |
| <b>Kapaliny a plyny</b><br><b>Hořlavost nebo zápalnost<sup>1</sup></b>                                                                                | NFPA<br>325M<br>nebo 49 |                             |           |           |           |           |
| Nehořlavé materiály <sup>2</sup>                                                                                                                      | $N_F = 0$               | 1                           | 14        | 24        | 29        | 40        |
| Bod vzplanutí $> 93,3^\circ\text{C}$                                                                                                                  | $N_F = 1$               | 4                           | 14        | 24        | 29        | 40        |
| $37,8^\circ\text{C} < \text{bod vzplanutí} \leq 93,3^\circ\text{C}$                                                                                   | $N_F = 2$               | 10                          | 14        | 24        | 29        | 40        |
| $22,8^\circ\text{C} \leq \text{bod vzplanutí} < 37,8^\circ\text{C}$ nebo<br>bod vzplanutí $< 22,8^\circ\text{C}$ & bod varu $\geq 37,8^\circ\text{C}$ | $N_F = 3$               | 16                          | 16        | 24        | 29        | 40        |
| bod vzplanutí $< 22,8^\circ\text{C}$ & bod varu $< 37,8^\circ\text{C}$                                                                                | $N_F = 4$               | 21                          | 21        | 24        | 29        | 40        |
| <b>Hořlavý prach nebo mlhy<sup>3</sup></b>                                                                                                            |                         |                             |           |           |           |           |
| St – 1 ( $K_{st} \leq 200$ bar m/sec)                                                                                                                 |                         | 16                          | 16        | 24        | 29        | 40        |
| St – 2 ( $K_{st} = 201 - 300$ bar m/sec)                                                                                                              |                         | 21                          | 21        | 24        | 29        | 40        |
| St – 3 ( $K_{st} > 300$ bar m/sec)                                                                                                                    |                         | 24                          | 24        | 24        | 29        | 40        |
| <b>Hořlavé pevné látky</b>                                                                                                                            |                         |                             |           |           |           |           |
| hutné $> 40$ mm tloušťky <sup>4</sup>                                                                                                                 | $N_F = 1$               | 4                           | 14        | 24        | 29        | 40        |
| pórézní $< 40$ mm tloušťky <sup>5</sup>                                                                                                               | $N_F = 2$               | 10                          | 14        | 24        | 29        | 40        |
| pěna, fibr, prach, atd. <sup>6</sup>                                                                                                                  | $N_F = 3$               | 16                          | 16        | 24        | 29        | 40        |

**Směsi :** MF pro směs se získá na základě údajů o reaktivitě látek  
nebo : komponenta s nejvyšší hodnotou MF

---

## OBECNÁ PROCESNÍ NEBEZPEČÍ

---

Obecná procesní nebezpečí = 6 primárních faktorů významně přispívajících k nebezpečnosti většiny procesních jednotek

### A. Exotermické chemické reakce

**1. SLABĚ EXOTERMICKÉ** reakce - přírážka 0.30

( Hydrogenace - adice atomů vodíku. Hydrolýza - reakce sloučenin s vodou,.

Izomerace - přeskupení atomů v molekule organické látky, Sulfonace - zavedení radikálu  $\text{SO}_3\text{H}$  do molekuly organické látky reakcí s  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Neutralizace - reakce mezi kyselinou a zásadou ).

**2. STŘEDNĚ EXOTERMICKÉ** reakce - přírážka 0.50

Alkylace - připojení alkylové skupiny,

Esterifikace - reakce mezi organickou kyselinou a alkoholem.

Adice - reakce mezi anorganickou kyselinou a nenasyceným uhlovodíkem

Oxidace - slučování substancí s kyslíkem při hoření

Polymerace - spojování molekul do tvaru řetězce

Kondenzace - spojování dvou nebo více org.molekul se štěpením molekul  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$  atd

**3. KRITICKÉ** (na řízení) **EXOTERM.** reakce - přírážka 1.00.

skupina reakcí - významné nebezpečí požáru a exploze

Halogenace - připojení halového prvku k molekule org. látky

**4. ZVLÁŠTĚ CITLIVÉ EXOTERM.** reakce - přírážka 1,25.

Nitrace - náhrada atomu vodíku ve sloučenině nitrační skupinou

### B. Endotermické procesy - přírážka 0.20

použije se pro každý endotermický proces v reaktoru

**Upozornění : tuto přírážku použijte jen pro reaktory.**

pro endotermický proces spojený se spalováním paliva přírážka se zvyšuje na 0.40.

Příklady :

Kalcinace - ohřev materiálu pro odstranění chemicky vázané vody nebo jiných těkavých látek - přírážka 0.40

Elektrolýza - separace iontů pomocí elektrického proudu přírážka 0.20

Pyrolýza nebo krakování - termický rozklad molekul za vysokého tlaku, teploty a/nebo katalyzátoru

přírážka : 0.20 pro elektrický ohřev nebo ohřev horkými plyny

0.40 pro přímý ohřev plamenem

### C. Manipulace s materiálem a přeprava materiálu

faktor - vznik požáru při manipulaci, přepravě a skladování

*Upozornění:* Přírážka se použije bez ohledu na to, zda je parní prostor inertizován.

## D. Procesní jednotky v uzavřených nebo vnitřních prostorách

- otevřené a dobře **větratelné** stavební konstrukce - snížení explozivního potenciálu jednotky
- **mechanické** větrání není tak účinné, jako otevřená konstrukce
- Sběrače a filtry prachu - umísťovat **vně**, mimo prostor se zařízením

**uzavřené prostory** = jakkoli zastřešené plochy kryté ze tří nebo více stran  
nebo  
nezastřešené konstrukce vymezené stěnami na všech stranách

Pokud je vlastní systém (mechanického) větrání navržen tak, že jsou všechny hořlavé výpary odvětrány a rozptýleny, potom může být přírážka snížena.

**E. Přístupnost jednotky** = snadný přístup záchranných vozidel do prostoru jednotky

- přístupnost alespoň ze dvou směrů - „**minimální požadavek**“
- alespoň jeden přístup musí být z silnice / vozovky.

Přirážky pro velké procesní jednotky se špatnou přístupností :

provozy s plochou větší než 10 000 ft<sup>2</sup> (925 m<sup>2</sup>) se špatnou přístupností - přírážka **0.35**

skladištní budovy s plochou větší než 25 000 ft<sup>2</sup> (2 312 m<sup>2</sup>)-  
přírážka **0.35**

pro menší plochy s nedostatečnou přístupností - přírážka **0.20**

## F. Drenáž, odvodnění, zabezpečení proti přetečení

možnost rozlití nebo úniku velkého množství hořlavé nebo zápalné kapaliny (které se zadrží v blízkosti procesního zařízení)

Tyto přírážky se použijí jenom tehdy, pokud :

- materiál v jednotce má bod vzplanutí nižší než 60°C (140°F),  
nebo
- pokud je materiál zpracováván při teplotě nad bodem vzplanutí

je nutné odhadnout jak **objem hořlavé/zápalné látky** tak i **objem požární vody**, který musí být bezpečně odveden mimo nebo zpracován v případě skutečné události

**!!! Jenom perfektní drenáž nevyžaduje žádnou přírážku !!!**

## SPECIÁLNÍ PROCESNÍ NEBEZPEČÍ

= **faktory** zvyšující **pravděpodobnost** vzniku havárie, je uvažováno 12 faktorů :

### A. Toxické materiály/látky

Toxické látky - komplikují zásah zachraňujících osob a tím snižují schopnost pátrat a zmírňovat škodu během nehody.

Pro ocenění této situace se použije **přirážka** ve výši **0.20 x N<sub>H</sub>**. V případě směsi látek se použije složka s nejvyšším faktorem N<sub>H</sub>.

### B. Podtlak - subatmosférický tlak

- možnost průniku vzduchu do systému ☞ **nebezpečí**
- nebezpečí - při kontaktu vzduchu s mlhou nebo při kontaktu citlivého materiálu s kyslíkem
- Přirážka se použije jenom v případech, pokud je absolutní tlak nižší než 500 mm Hg (tj. 10 in Hg ).  
přirážka **0.50**

### C. Provoz uvnitř nebo v blízkosti rozsahu hořlavosti

nebezpečí : podmínky pro hořlavé a zápalné kapaliny

### D. Výbuch prachu

čím jemnější je prach - tím větší je nebezpečí z důvodu rychlého přírůstku tlaku a maxima tlaku, kterého se dosáhne

Všechny prachové materiály mají určitý rozsah velikosti částic. Pro stanovení přirážky se **použije tzv. 10% velikost**, tj. taková velikost částice, pro kterou platí, že 90 % částic je hrubších a 10% částic je jemnějších. Příslušné přirážky jsou uvedeny v tabulce č.3.

Přirážku je nutno použít i v případech, kdy se při testech ukáže, že prach není výbušný.

Tabulka č.3

| PŘIRÁŽKA NA VÝBUŠNOST PRACHU       |                                 |                                                                    |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Velikost částice<br>v mikrometrech | Velikost podle<br>Tyler - Meshe | Přirážka (při použití<br>inertního plynu je přirážka<br>poloviční) |
| 175                                | 60 - 80                         | 0.25                                                               |
| 150 - 175                          | 80 - 100                        | 0.50                                                               |
| 100 - 150                          | 100 - 150                       | 0.75                                                               |
| 75 - 100                           | 150 - 200                       | 1.25                                                               |
| < 75                               | > 200                           | 2.00                                                               |

### E. Otevírací tlak pojišťovacího ventilu

vyšší provozní tlak než atmosférický - přirážka zohledňuje větší uniklé množství netěsností/otvorem

Důvodem je možnost poruchy některého prvku procesní jednotky mající za následek únik hořlavých látek.

Příklad :

Množství uniklého kapalného hexanu otvorem o ploše 6.5 cm<sup>2</sup> při přetlaku 517 kPa (75 psig) představuje téměř 272 kg/min (600 lb/min). Při přetlaku 2 069 kPa (300 psig) bude uniklé množství téměř 2.5 krát větší, tj. 680 kg/min (1 500 lb/min). Přirážka na otevírací tlak zahrnuje specifické nebezpečí při různých úrovních přetlaku. Otevírací tlak rovněž ovlivňuje disperzní charakteristiky.

| <b>PŘIRÁŽKA NA VYSOKÝ TLAK PRO HOŘLAVÉ A ZÁPALNÉ KAPALINY</b> |                   |          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
| Přetlak<br>(MPa)                                              | Přetlak<br>(psig) | Přirážka |
| 6.895                                                         | 1 000             | 0.86     |
| 10.343                                                        | 1 500             | 0.92     |
| 13.790                                                        | 2 000             | 0.96     |
| 17.238                                                        | 2 500             | 0.98     |
| 20.685 - 68.950                                               | 3 000 - 10 000    | 1.00     |
| > 68.950                                                      | > 10 000          | 1.50     |

## F. Nízká teplota

příspěvek k posouzení možné křehkosti uhlíkaté oceli nebo jiných kovových materiálů, které mohou být vystaveny přechodové teplotě křehnutí nebo teplotám nižším.

Pokud byla jednotka řádně posouzena a pokud za normálního i anomálního provozu nedojde k poklesu teplot pod přechodovou teplotu křehnutí materiálu, potom se přirážka nepoužije.

## G. Množství hořlavého/nestabilního materiálu

= přídatné ohrožení plochy větším množstvím hořlavého a nestabilního materiálu v procesní jednotce

### 1. Kapaliny nebo plyny v procesu

Přirážka je závislá na množství hořlaviny, které může uniknout z procesní jednotky nebo spojovacího potrubí během 10 minut. Je třeba zdravým rozumem odhadnout, kolik materiálu může uniknout.

Zkušenosti ukázaly, že toto množství lze rozumně odhadnout uvážením většího z následujících množství :

- i. Množství materiálu v procesní jednotce nebo**
- ii. Množství materiálu v největší propojené jednotce**



Každá propojená jednotka, která může být v okamžiku ohrožení odpojena dálkově ovládanými uzavíracími ventily je vyňata z úvah.

## 2. Skladování kapalin nebo plynů v zásobnících (mimo proces)

Hořlavé a zápalné kapaliny, plyny nebo zkapalněné plyny v zásobnících mimo proces se ohodnotí nižší přírážkou, než zásobníky procesní, neboť nejsou ovlivněny procesem.

Přirážka se stanovuje pomocí na základě celkového **množství materiálu** v zásobníku x **spalné teplo** - Hc faktor. V případě přenosných kontejnerů se uvažuje celkový obsah všech uskladněných kontejnerů.

## 3. Zápalné (hořlavé) pevné látky v zásobnících / prachový materiál v procesu

Tato kategorie pokrývá přírážky pro různá množství uskladněných pevných látek a prachového materiálu v procesní jednotce, pokud je pevná fáze nebo prach uvažován jako základní materiál pro stanovení MF.

Pro stanovení velikosti přírážky jsou rozhodujícími veličinami hustota materiálu, snadnost zapálení (vznícení) a schopnost odolávat účinkům plamene.

## H. Koroze a eroze

Ačkoliv správná konstrukce bere v úvahu vliv koroze a eroze, přesto se objevují u jistých procesů stále problémy s korozí/erozí.

Rychlost koroze je chápána jako **součet rychlostí** vnější a vnitřní koroze.

Pórovitost vyzdívky a nedokonalost plastického povlaku jsou možná příčiny urychlení koroze.

## I. Netěsnosti spojů a těsnění

Těsnění spojů a ucpávky hřídelů mohou být zdrojem úniků hořlavých nebo vznětlivých materiálů, zejména pokud jsou zatíženy tepelnými a tlakovými cykly.

## J. Použití zařízení s otevřeným ohněm

Přítomnost zařízení s otevřeným ohněm v procesu zvyšuje pravděpodobnost zapálení hořlavých kapalin, plynů nebo hořlavého prachu, pokud dojde k jejich úniku.

## K. Výměníky s horkým olejem

Většina teplotonosných médií v olejových výměnících tepla je hořlavá a pracovní teplota olejové náplně je velmi často **vyšší**, než je **bod vzplanutí** nebo **bod varu**. Taková látka zvyšuje nebezpečí v kterékoliv procesní jednotce, kde je použita.

Pokud je teplotonosné médium **nehořlavé** nebo jeho teplota nepřekročí bod vzplanutí, potom se přírážka **nepoužije** (je rovna nule).

| <b>PŘÍRÁŽKA PRO VÝMĚNÍKY TEPLA S HORKÝM OLEJEM</b> |                           |                                                         |                                                                               |
|----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Množství<br>v<br>m <sup>3</sup>                    | množství<br>v<br>galonech | Přirážka pro procesní teploty<br>nad<br>bodem vzplanutí | Přirážka pro procesní teploty<br>odpovídající bodu varu<br>nebo teplotě vyšší |
| < 18.9                                             | < 5 000                   | 0.15                                                    | 0.25                                                                          |
| 18.9 - 37.9                                        | 5 000 - 10 000            | 0.30                                                    | 0.45                                                                          |
| 37.9 - 94.6                                        | 10 000-25 000             | 0.50                                                    | 0.75                                                                          |
| > 94.6                                             | > 25 000                  | 0.75                                                    | 1.15                                                                          |

## I. Rotační stroje

Tato stat' se věnuje nebezpečnosti procesní jednotky s velkým rotačním zařízením. Ačkoliv není stanoveno pravidlo pro oceňování všech typů a velikostí rotačních zařízení, existují statistické údaje které naznačují, že čerpadla a kompresory od určité velikosti pravděpodobně přispívají k nehodovosti.

## STANOVENÍ INDEXU POŽÁRU A VÝBUCHU (F&E INDEXU)

Účinky požáru a/nebo exploze směsi hořlavin se vzduchem, které jsou následkem úniku hořlavého materiálu a jeho vznícení jsou kategorizovány podle bezprostředních příčin:

- rázová vlna nebo prudké hoření/deflagrace
- vystavení vlivu požáru na základě původního úniku
- náraz fragmentu do potrubí a zařízení při explozi nádoby
- další uvolnění hořlavin jako sekundární událost

Závažnost sekundárních událostí se zvyšuje s tím, jak roste hodnota faktoru  $F_3$  (faktor nebezpečnosti procesní jednotky) a hodnota materiálového faktoru (MF).

$$\text{F\&E Index} = (F_3) \times (\text{MF})$$

| <b>STUPNĚ NEBEZPEČNOSTI podle F&amp;E INDEXU</b> |                             |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>PÁSMO F&amp;E INDEXU</b>                      | <b>STUPEŇ NEBEZPEČNOSTI</b> |
| 1 - 60                                           | nepatrný, malý              |
| 61 - 96                                          | mírný                       |
| 97 - 127                                         | střední                     |
| 128 - 158                                        | závažný                     |
| 159 a vyšší                                      | kritický                    |

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

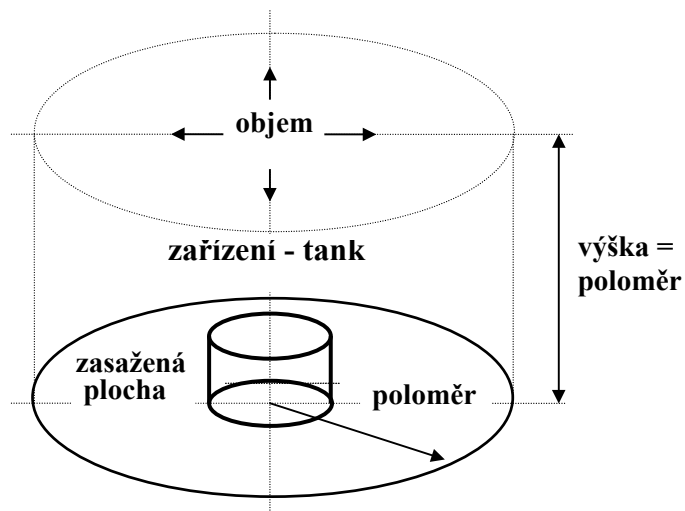
|                                                                                                              |                           |                        |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| PODNIK                                                                                                       | DIVIZE                    | UMÍSTENÍ               | DATUM                             |
| STANOVISTE                                                                                                   | VÝROBNÍ JEDNOTKA          | PROCESNÍ JEDNOTKA      |                                   |
| ZPRACOVAL:                                                                                                   | SCHVALIL:                 | BUDOVA                 |                                   |
| KONTROLOVAL:                                                                                                 |                           |                        |                                   |
| LÁTKY V PROCESNÍ JEDNOTCE                                                                                    |                           | N <sub>H</sub> =       | N <sub>F</sub> = N <sub>R</sub> = |
| PROVOZNÍ STAV                                                                                                | NÁZEV UVAŽOVANÉ SUBSTANCE |                        |                                   |
| ....Projekt..... Najíždění.....Provoz ....Odstavení                                                          |                           |                        |                                   |
| <b>MATERIÁLOVÝ FAKTOR</b> (viz tab.1 nebo příloha A nebo B) Pozor na požadavky při t > 60°C                  |                           |                        |                                   |
| <b>1. Obecná procesní nebezpečí</b>                                                                          |                           | <b>Rozsah Přirážky</b> | <b>Použitá přirážka</b>           |
| <b>Základní hodnota faktoru</b>                                                                              |                           | 1.00                   | <b>1.00</b>                       |
| 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        |                                   |
| D. Umístění jednotky v uzavřených nebo vnitřních prostorách                                                  |                           | od 0.25 do 0.90        |                                   |
| E. Přístupnost k jednotce                                                                                    |                           | od 0.20 do 0.35        |                                   |
| F. Drenáž, zabezpečení proti přetečení m <sup>3</sup>                                                        |                           | od 0.25 do 0.50        |                                   |
| <b>Faktor obecných nebezpečí (F<sub>1</sub>)</b>                                                             |                           |                        |                                   |
| <b>2. Speciální procesní nebezpečí</b>                                                                       |                           |                        |                                   |
| <b>Základní hodnota faktoru</b>                                                                              |                           | 1.00                   | <b>1.00</b>                       |
| A. Toxické látky                                                                                             |                           | od 0.20 do 0.80        |                                   |
| B. Podtlak (< 500 mm Hg)                                                                                     |                           | 0.50                   |                                   |
| C. Provoz uvnitř nebo blízko mezi hořlavosti .. s inertizací ... bez inertizace                              |                           |                        |                                   |
| 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                   |                                   |
| D. Exploze prachu (viz. tabulka 2)                                                                           |                           | od 0.25 do 2.00        |                                   |
| E. Přetlak (viz obr. 2) provozní přetlak ..... kPa přetlaku nastavení pojišťovacích ventilů.....kPa přetlaku |                           |                        |                                   |
| F. Nízká teplota                                                                                             |                           | od 0.20 do 0.30        |                                   |
| G. Množství hořlavé/nestabilní látky množství .....kg H <sub>C</sub> = ..... MJ/kg                           |                           |                        |                                   |
| 1. Kapaliny nebo plyny v procesu (viz obr. 3)                                                                |                           |                        |                                   |
| 2. Kapaliny nebo plyny v zásobníku (viz obr. 4)                                                              |                           |                        |                                   |
| 3. Zápalné pevné látky ve skladu, prach v procesu(viz obr. 5)                                                |                           |                        |                                   |
| H. Vliv koroze a eroze                                                                                       |                           | od 0.10 do 0.75        |                                   |
| I. Netěsnosti spojů a ucpávek                                                                                |                           | od 0.10 do 1.50        |                                   |
| J. Zařízení s otevřeným ohněm (viz obr. 6)                                                                   |                           |                        |                                   |
| K. Tepelné výměníky s horkým olejem (viz tab. 5)                                                             |                           | od 0.15 do 1.15        |                                   |
| L. Rotační zařízení                                                                                          |                           | 0.50                   |                                   |
| <b>Faktor speciálních nebezpečí (F<sub>2</sub>)</b>                                                          |                           |                        |                                   |
| <b>Celkový faktor nebezpečnosti procesní jednotky (F<sub>1</sub> * F<sub>2</sub>) = F<sub>3</sub></b>        |                           |                        |                                   |
| <b>Index požáru a výbuchu (F<sub>3</sub> * MF = F&amp;EI)</b>                                                |                           |                        |                                   |

Pro případ neaplikované přirážky použijte hodnotu 0.00

# ZASAŽENÁ PLOCHA, ZASAŽENÝ PROSTOR

odhad geometrie zasaženého prostoru  
vychází

Z  
F&E Indexu



Jednoduchý příklad :

|                                |          |                                                      |
|--------------------------------|----------|------------------------------------------------------|
| <b>F&amp;E Index</b>           | <b>=</b> | <b>100.0</b>                                         |
| <b>Poloměr zasažené plochy</b> | <b>=</b> | <b>25.6 m (84 ft)</b>                                |
| <b>Zasažená plocha</b>         | <b>=</b> | <b>2 060.0 m<sup>2</sup> (22 170 ft<sup>2</sup>)</b> |
| <b>Výška uvažovaného válce</b> | <b>=</b> | <b>25.6 m (84 ft)</b>                                |

---

## KREDITNÍ FAKTORY ŘÍZENÍ ZTRÁT

---

tři základní skupiny parametrů umožňující řízení ztrát:

|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| <b>C<sub>1</sub></b> | <b>řízení procesu</b>          |
| <b>C<sub>2</sub></b> | <b>oddělitelnost materiálu</b> |
| <b>C<sub>3</sub></b> | <b>protipožární ochrana</b>    |

### 1. Kreditní faktor řízení procesu

|                                              |                |
|----------------------------------------------|----------------|
| a. Náhradní (záložní) zdroje energie         | - 0.98         |
| b. Chlazení                                  | - 0.97 až 0.99 |
| c. Řízení exploze                            | - 0.84 až 0.98 |
| d. Systém nouzového odstavení                | - 0.96 až 0.99 |
| e. Počítačem řízený proces                   | - 0.93 až 0.99 |
| f. Inertní plyn                              | - 0.94 až 0.96 |
| g. Provozní předpisy/postupy                 | - 0.91 až 0.99 |
| h. Přehled reaktivních/reagujících sloučenin | - 0.91 až 0.98 |
| i. Jiné hodnocení rizika                     | - 0.90 až 0.98 |

### 2. Kreditní faktor oddělitelnosti materiálů

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| a. Dálkově ovládané ventily | - 0.96 až 0.98 |
| b. výpustě/odkalování       | - 0.96 až 0.98 |
| c. Drenáž                   | - 0.91 až 0.97 |
| d. Blokování/Interlock      | - 0.98         |

### 3. Kreditní faktor protipožární ochrany

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| a. Detekce úniku                    | - 0.94 až 0.98 |
| b. Konstrukční oceli                | - 0.95 až 0.98 |
| c. Zásobování požární vodou         | - 0.94 až 0.97 |
| d. Zvláštní systémy                 | - 0.91         |
| e. Zkrápěcí systémy/sprinklery      | - 0.74 až 0.97 |
| f. Vodní clony                      | - 0.97 až 0.98 |
| g. Pěna                             | - 0.92 až 0.97 |
| h. Ruční hašení/kontrolní přístroje | - 0.93 až 0.98 |
| i. Ochrana kabelů (kabelové kryty)  | - 0.94 až 0.98 |

## **SOUHRNNÉ POSOUZENÍ RIZIKA PROCESNÍ JEDNOTKY**

**Investice v zasaženém prostoru** = náklady na obnovu zařízení

$$\text{Náklady na obnovu} = \text{původní náklady} * 0.82 * \text{faktor růstu}$$

Koeficient 0.82 = položky nákladů, které nebudou zničeny a neobnovují se  
(staveniště, silnice, podzemní potrubní rozvody a základy)

Faktor růstu se stanoví na základě údajů získaných od odhadce.

**Poznámka:** : Pokud se zasažená plocha částečně překrývá s jinou  
zasaženou plochou, nelze náklady jednoduše sečítat.

### **5. Stanovení faktoru poškození**

Faktor poškození reprezentuje celkový efekt poškození ohněm a tlakovou vlnou, což jsou následky úniku paliva nebo reagující látky z procesní jednotky.

$$\text{Fakt}_{\text{poškození}} = \text{fce ( fakt. nebezpečnosti (F}_3\text{) a MF)}$$

### **6. Základní hodnota maximální očekávané ztráty majetku (Base MPPD)**

na základě hodnoty majetku na zasažené ploše a faktoru poškození se získá:

$$\text{MPPD}_{\text{základní}} = \text{Investice v zasaženém prostoru} \times \text{F poškození}$$

tj. maximální očekávaná ztráta majetku (Base MPPD).

7. **Kreditní faktor ztráty kontroly (Loss Control Credit Factor)**  
je součinem dílčích kreditních faktorů :

$$C_{\text{celkový}} = C_1 * C_2 * C_3$$

8. **Skutečná maximální očekávaná ztráta majetku (MPPD<sub>skutečná</sub>)**  
se stanoví ze vztahu :

$$\text{MPPD}_{\text{skutečná}} = \text{MPPD}_{\text{základní}} \times C_{\text{celkový}}$$

9. **Maximální očekávaný počet dní výpadku výroby (MPDO)**  
je složitou funkcí MPPD<sub>skutečné</sub>

$$\text{MPDO} = \text{fce} (\text{MPPD}_{\text{skutečná}})$$

10. **Přerušení provozu - BI (Business Interruption)**  
pro odhad ztrát vzniklých přerušením provozu lze použít vztah:

$$\text{BI} = \text{MPDO} \times (\text{VPM}/30) \times 0.70$$

kde : VPM - hodnota měsíční produkce  
koeficient 0.70 - reprezentuje fixní náklady plus zisk

# KREDITNÍ FAKTORY ŘÍZENÍ ZTRÁT

## 1. Kreditní faktor řízení procesu (C<sub>1</sub>)

| vybavení                   | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> | vybavení                      | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| a) Náhradní zdroje energie | 0.98                   |                                        | f) Použití inertního plynu    | od 0.94 do 0.96        |                                        |
| b) Chlazení                | od 0.97 do 0.99        |                                        | g) Provozní předpisy/postupy  | od 0.91 do 0.99        |                                        |
| c) Řízená exploze          | od 0.84 do 0.98        |                                        | h) Přehled reaktiv. 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        |                                        |                               |                        |                                        |

C<sub>1</sub> celkem <sup>(3)</sup>

## 2. Kreditní faktor oddělitelnosti materiálu (C<sub>2</sub>)

| vybavení                     | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> | vybavení              | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 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/Intelock | 0.98                   |                                        |

C<sub>2</sub> celkem <sup>(3)</sup>

## 3. Kreditní faktor ochrany před požárem (C<sub>3</sub>)

| vybavení                | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> | vybavení                                  | rozsah hodnoty faktoru | použitá hodnota faktoru <sup>(2)</sup> |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 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) Dodávka požární vody | od 0.94 do 0.97        |                                        | h) Ruční hasicí zařízení /požární hlásiče | od 0.93 do 0.98        |                                        |
| d) Zvláštní systémy     | 0.91                   |                                        | i) Ochrana kabelů                         | od 0.94 do 0.98        |                                        |
| e) Zkrápěcí systémy     | od 0.74 do 0.97        |                                        |                                           |                        |                                        |

C<sub>3</sub> celkem <sup>(3)</sup>

Celkový kreditní faktor <sup>(3)</sup> = C<sub>1</sub> \* C<sub>2</sub> \* C<sub>3</sub> =

## SOUHRNNÉ POSOUZENÍ RIZIKA PROCESNÍ JEDNOTKY

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

<sup>(2)</sup> Pokud kreditní faktor nebyl stanoven, použije se hodnota 1.00.

<sup>(3)</sup> Použije se součin všech tří faktorů.



## 9. CE Index - INDEX CHEMICKÉHO OHROŽENÍ

Index chemického ohrožení (CEI) je relativně jednoduchá metoda pro kvantitativní posouzení potencionálního 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. ***Na základě CEI nelze rozhodnout o tom, zdali provoz je či není bezpečný.***

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 stanovení CEI :

1. Pro stanovení CEI (indexu chemického ohrožení) jsou potřebné následující podklady:
  - a) přesný plán závodu a jeho okolí,
  - b) základní (jednoduché) technologické schéma závodu obsahující údaje o skladovacích kapacitách, hlavních potrubních větvích a chemických aparátech,
  - c) fyzikální a chemické vlastnosti posuzovaných substancí, ERPG/EEPG hodnoty
  - d) příručka k výpočtu CEI
  - e) formulář CEI

Následující schéma znázorňuje algoritmus výpočtu CEI. Tento algoritmus pomáhá i při studiu jednotlivých kroků této metody.

2. V technologickém schématu je nutno identifikovat všechny takové potrubní větve a zařízení, která mohou přispět k významnému úniku toxické látky.
3. Stanovení CEI a nebezpečné vzdálenosti (HD) se provede podle této příručky.
4. Vyplnění formuláře CEI .

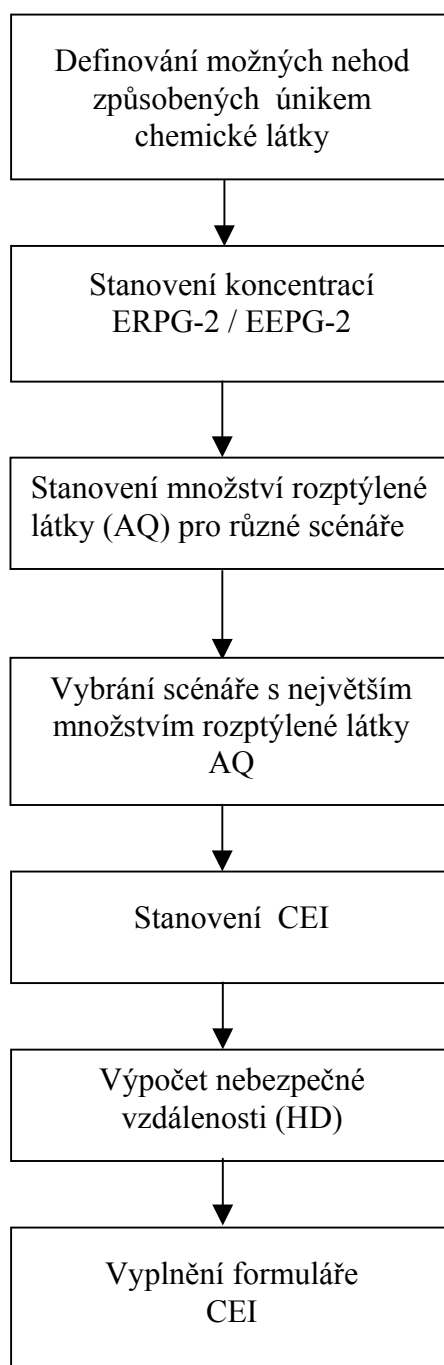
**Pokud je hodnota CEI větší než 200, potom jednotka vyžaduje další posouzení nebezpečnosti.**

***Hodnoty CEI získané pomocí dřívějších metodik nelze porovnávat s výsledky dosaženými zde popisovanou metodikou.***

---

## POSTUP VÝPOČTU CEI - INDEXU CHEMICKÉHO OHROŽENÍ

---



obr. 9.1

vývojový diagram metody CEI

---

## SCÉNÁŘE PRO ODHAD ROZPTYLU UNIKLÉ LÁTKY

---

### 1. POTRUBNÍ VĚTEV

Roztržení potrubní větve s největším průměrem potrubí:

- Pro průměry potrubí menší než 2 palce - 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

### 2. HADICE - úplné roztržení hadice.

### 3. PŘETLAKOVÉ VENTILY S VYÚSTĚNÍM PŘÍMO DO ATMOSFÉRY

Stanoví se celkové množství unikající při otevíracím tlaku pojišťovacího ventilu. Porovnejte s výpočtem pojišťovacího ventilu, kontaktujte specialistu. Předpokládá se, že se veškerý unikající materiál rozptýlí do ovzduší.

### 4. ZÁSOBNÍKY

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

### 5. PŘEPLNĚNÝ ZÁSOBNÍK A ROZLITÍ KAPALINY

### 6. OSTATNÍ

Scénáře mohou být stanoveny na základě provozních nebo technologických zkušeností, mohou být výsledkem kontrol nebo odvozeny z bezpečnostních studií (studií procesního rizika).

Vyhodnocení okamžitého (mžikového) a velmi krátce trvajícího kontinuálního úniku je pro výpočet CEI zjednodušeno. 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.

---

*Po tomto vyhodnocení vyberte pro výpočet CEI únik s největším množstvím látky rozptylované při úniku.*

---

### HODNOTY KONCENTRACÍ ERPG A DOW EEPG

Americká asociace pro průmyslovou hygienu (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 uvedeny v dalším textu :

- |                      |                                                                                                                                                 |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ERPG-1/EEPG-1</b> | je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez výrazných zdravotních změn,                                   |
| <b>ERPG-2/EEPG-2</b> | je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity, |
| <b>ERPG-3/EEPG-3</b> | je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez toho, aby byl smrtelně ohrožený,                              |

TABULKA č.9.1

| HODNOTY ERPG/EPPG pro HAVARIJNÍ PLÁNOVÁNÍ |                   |                     |                                |                 |                                |                 |                                |                 |
|-------------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| Chemická látka                            | Molekul<br>hmotn. | Bod<br>varu<br>(°C) | ERPG-1<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | ERPG-1<br>(ppm) | ERPG-2<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | ERPG-2<br>(ppm) | ERPG-3<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | ERPG-3<br>(ppm) |
| Acetonkyanohydrin*                        | 85,11             | 95                  |                                |                 | 35                             | 10              |                                |                 |
| Akrolein                                  | 56,06             | 52,5                |                                | 0,1             | 1                              | 0,5             | 7                              | 3               |
| Kyselina akrylová                         | 72,06             | 141,4               | 6                              | 2               | 147                            | 50              | 2210                           | 750             |
| Akrylonitril*                             | 53,06             | 77,2                |                                |                 | 43                             | 20              |                                |                 |
| Allylchlorid                              | 76,53             | 44,8                | 9                              | 3               | 125                            | 40              | 939                            | 300             |
| Čpavek                                    | 17,03             | -33,4               | 17                             | 25              | 139                            | 200             | 696                            | 1000            |
| Bróm                                      | 159,81            | 58,7                | 1                              | 0,2             | 7                              | 1               | 33                             | 5               |
| Butadién                                  | 54,09             | -4,4                | 22                             | 10              | 111                            | 50              | 11060                          | 5000            |
| n-butyl akrylát                           | 128,17            | 147,5               | 0,26                           | 0,05            | 131                            | 25              | 1310                           | 250             |
| n-butyliisokyanát                         | 99,13             | 115,13              | 0,04                           | 0,01            | 0,2                            | 0,05            | 4                              | 1               |
| Sirouhlík                                 | 76,14             | 46,3                | 3                              | 1               | 156                            | 50              | 1557                           | 500             |
| Tetrachlórmetan                           | 153,82            | 76,8                | 126                            | 20              | 629                            | 100             | 4718                           | 750             |
| Chlór                                     | 70,91             | -34,0               | 3                              | 1               | 9                              | 3               | 58                             | 20              |
| Trifluorid                                | 92,50             | 11,8                | 0,38                           | 0,1             | 4                              | 1               | 38                             | 10              |
| Chloracetylchlorid                        | 112,94            | 106,0               | 0,5                            | 0,1             | 5                              | 1               | 46                             | 10              |
| Chloroform*                               | 119,38            | 61,7                |                                |                 | 488                            | 100             |                                |                 |
| Chlorpikrin                               | 164,38            | 112,0               |                                | NA              | 1                              | 0,2             | 20                             | 3               |
| Kyselina chlorsulfonová                   | 116,52            | 152                 | 2                              | 0,4             | 10                             | 2,1             | 30                             | 6,3             |
| Chlorotrifluoroethylen                    | 116,47            | -28,2               | 95                             | 20              | 476                            | 100             | 1429                           | 300             |
| Krotonadehyd                              | 70,09             | 102,4               | 6                              | 2               | 29                             | 10              | 143                            | 50              |
| Diketen                                   | 82,08             | 127,4               | 3                              | 1               | 17                             | 5               | 168                            | 50              |
| Dimethylamin                              | 45,08             | 6,9                 | 2                              | 1               | 184                            | 100             | 922                            | 500             |
| Epichlorohydrin                           | 92,52             | 116,4               | 8                              | 2               | 76                             | 20              | 378                            | 100             |
| Ethyl chlorid*                            | 64,51             | 12,3                |                                |                 | 13192                          | 5000            |                                |                 |
| Ethylen dichlorid*                        | 98,96             | 83,5                |                                |                 | 405                            | 100             |                                |                 |
| Ethylen oxid                              | 44,05             | 10,5                |                                | NA              | 90                             | 50              | 901                            | 500             |
| Formaldehyd                               | 30,03             | -19,3               | 1                              | 1               | 12                             | 10              | 31                             | 25              |
| Hexachlorbutadien                         | 260,79            | 214,2               | 32                             | 3               | 107                            | 10              | 320                            | 30              |
| Hexafluoraceton                           | 166,02            |                     |                                | NA              | 7                              | 1               | 339                            | 50              |
| Bromovodík*                               | 80,91             | -66,7               |                                |                 | 17                             | 5               |                                |                 |
| Chlorovodík                               | 36,46             | -85,0               | 4                              | 3               | 30                             | 20              | 149                            | 100             |
| Kyanovodík                                | 27,03             | 25,7                |                                | NA              | 11                             | 10              | 28                             | 25              |
| Fluorovodík                               | 20,01             | 19,6                | 4                              | 5               | 16                             | 20              | 41                             | 50              |
| Sirovodík                                 | 34,08             | -60,3               | 0,14                           | 0,1             | 42                             | 30              | 139                            | 10              |
| 2-isokyanatoethyl<br>metakrylát           | 155,20            | 211,2               |                                | NA              | 1                              | 0,1             | 6                              |                 |
| Isobutyronitril                           | 69,11             | 103,6               | 28                             | 10              | 141                            | 50              | 565                            | 20              |
| Metakrylonitril*                          | 67,09             | 90,3                |                                |                 | 27                             | 10              |                                |                 |
| Metanol                                   | 32,04             | 64,5                | 262                            | 200             | 1310                           | 1000            | 6551                           | 500             |
| Methylamin                                | 31,06             | -6,3                | 13                             | 10              | 127                            | 100             | 635                            | 50              |
| Metyl chlorid                             | 50,49             | -24,1               |                                | NA              | 826                            | 400             | 2065                           | 100             |
| Metyl jodid                               | 141,94            | -6,5                | 145                            | 25              | 290                            | 50              | 726                            | 125             |
| Metyl isokyanát                           | 57,05             | 38,4                | 0,058                          | 0,025           | 1                              | 0,5             | 12                             |                 |
| Methyl merkaptan                          | 48,11             | 6,0                 | 0,01                           | 0,005           | 49                             | 25              | 197                            |                 |
| Perfluoroisobutylén                       | 218,11            |                     |                                | NA              | 1                              | 0,1             | 3                              | 0,34            |
| Fenol                                     | 94,11             | 181,9               | 38                             | 10              | 192                            | 50              | 770                            | 200             |

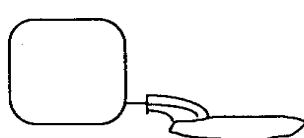
## NÁVOD PRO STANOVENÍ MNOŽSTVÍ LÁTKY ROZPTÝLENÉ PO ÚNIKU DO ATMOSFÉRY

Celkové množství rozptýlené látky se skládá z množství unikajícího ve formě par (plynu), ve formě odpařující se kapaliny a odparem z hladiny rozlité kapaliny.

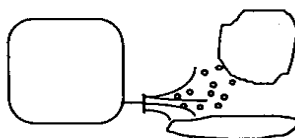
Metoda CEI uvažuje scénáře pro únik kapaliny nebo páry. Např. obsah zásobníku může uniknout hrdlem u dna nádoby v kapalně fázi nebo v plynné fázi hrdlem nad hladinou kapaliny nebo přes pojistný ventil.

Množství rozptylované látky unikající hrdlem nad hladinou nebo pojišťovacím ventilem je největší množství látky, které je dáno podmínkami v zásobníku v okamžiku úniku.

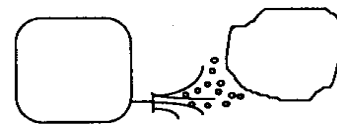
Únik látky v kapalném stavu vyžaduje podrobnější popis. K úniku kapaliny dochází trhlinou, netěsností (nebo i vlivem chyby obsluhy). Kapalina, která je v aparátu, zásobníku nebo v potrubí může uniknout ven, kde na zemi jednoduše vznikne louže (viz obr. A), nebo se může současně částečně odpařovat a vytvořit louži (obráz. B), nebo se kapalina již při úniku odpařuje s takovou intenzitou, že i zbytková kapalina existující ve formě malých kapek je unášena spolu s parami (viz obr. C), a louže se vůbec nevytvoří.



Obrázek A



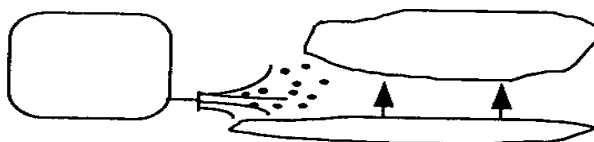
Obrázek B



Obrázek C

Pro odhad chování nebezpečné chemické látky po úniku ze zařízení se použijí provozní podmínky v zařízení (tak se vyhodnotí typ úniku podle obr. A, B nebo C).

Kapalina vytvoří při rozlití na plochu louži a za se rozlévá se podle tvaru plochy. Je-li zásobník uložen v záchytné jímce, kapalina obvykle teče ke stěně jímky a velikost povrchu louže odpovídá tvaru jímky. Ve všech ostatních případech (zásobník bez jímky) se předpokládá, že louže má plochu, která se odvodí z množství uniklé kapaliny. Jakmile se vytvoří louže, začíná odpařování z jejího povrchu. Odpar z povrchu louže se přičítá k přímému odparu při úniku a je rozptylován větrem. Taková událost se řeší s přihlédnutím ke tvaru louže vytvořené únikem v závislosti na čase a předpokládá se, že se dále tvar louže nemění. (viz obr D).

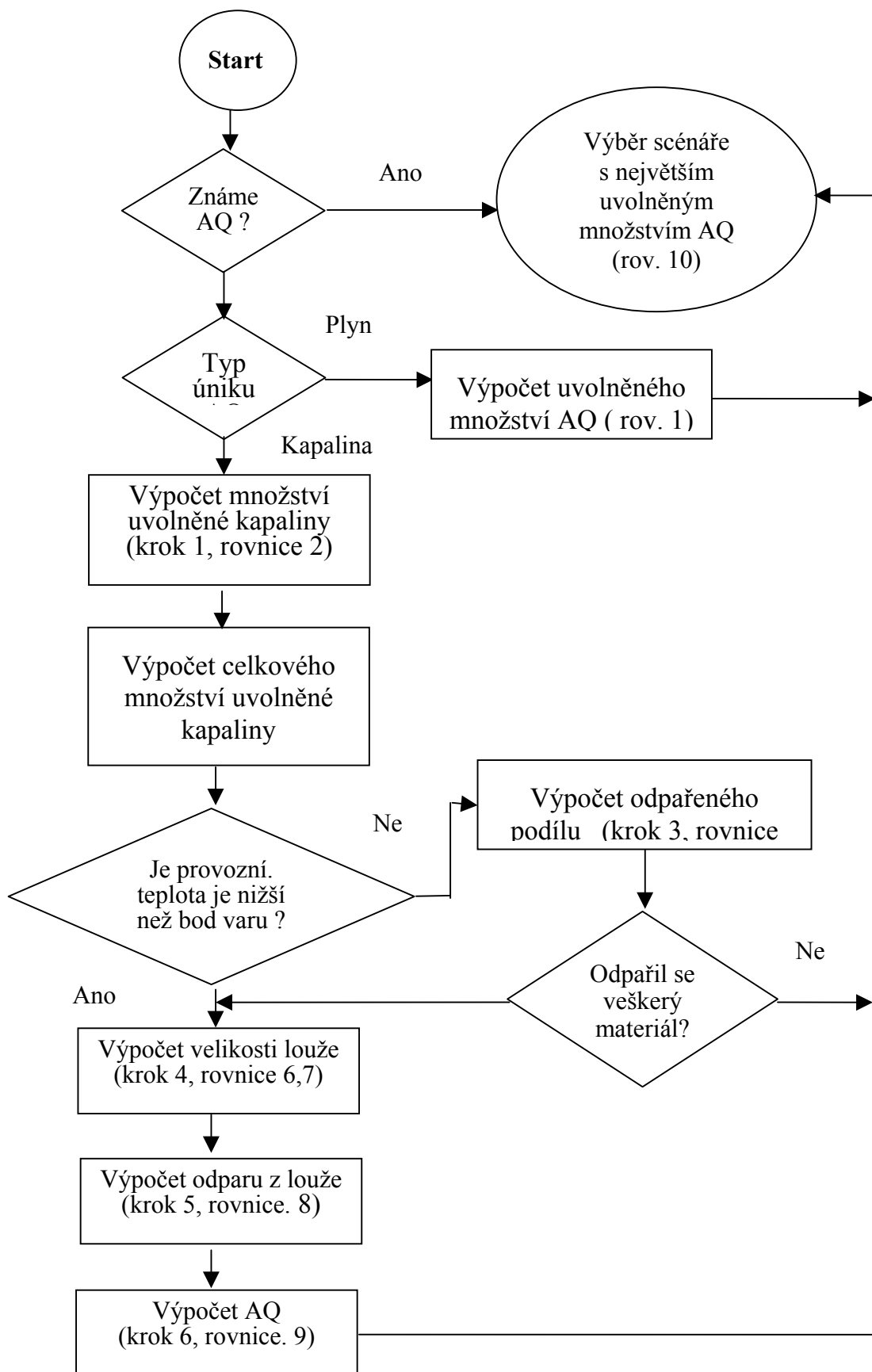


Obrázek D

Množství látky rozptylované větrem do okolí je dáno chováním kapaliny od okamžiku, kdy kapalina opustí zásobník. Pokud se kapalina silně odpařuje, potom je množství rozptylované látky dáno množstvím unikající kapaliny. Pokud je přímé odpařování unikající kapaliny malé a umožňuje vytvoření louže, potom je množství rozptylované látky dáno součtem odparu při úniku a odparu z povrchu vzniklé louže. Závěrem lze říci, že pokud je odpar při úniku malý, je množství rozptylované látky dáno mírou vypařování z povrchu louže.

## VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRO VÝPOČET MNOŽSTVÍ ROZPTÝLENÉ LÁTKY (AQ)

Obrázek č.9.2



---

## ODHAD MNOŽSTVÍ ROZPTYLOVANÉ 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 :

$$AQ = 4,751 \cdot 10^{-6} D^2 P_a \sqrt{\frac{MW}{T + 273}} \quad \{\text{kg/s}\} \quad (\text{Rovnice 1})$$

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.

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

Kde:

$P_g$  ..... provozní přetlak (kPa)

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

$\rho_l$  ..... hustota kapaliny při provozní teplotě (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta h$  ... výška hladina 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 :

$$W_T = 15 \cdot 60 \cdot L = 900 \cdot L \quad \{\text{kg}\} \quad (\text{Rovnice 3})$$

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 6. 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 ::

$$F_v = \frac{C_p}{H_v}(T_s - T_b) \quad (\text{Rovnice 4})$$

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 rozptýlené odpaření  $AQ_f$  je dáno vztahem:

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

Kde:

$L$  .....

rychlost toku kapaliny (kg/s)

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 :

$$W_p = W_T(1-5F_v) \quad \{ \text{kg} \} \quad (\text{Rovnice 6})$$

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:

$$A_p = 100 \frac{W_p}{\rho_l} \quad \{m^2\} \quad (\text{Rovnice 7})$$

Kde:  $W_p$  ..... celkové množství kapaliny uniklé do louže (kg)  
 $\rho_l$  ..... 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:

$$AQ_p = 9,0 * 10^{-4} \left( A_p^{0,95} \right) \frac{(MW) P_v}{T + 273} \quad \{kg/s\} \quad (\text{Rovnice 8})$$

Kde:  $A_p$  ..... plocha louže ( $m^2$ )  
 $MW$  .. molekulová hmotnost  
 $P_v$  ..... tenze par kapaliny při charakteristické teplotě louže (kPa)  
 $T$  ..... charakteristická teplota louže ( $^{\circ}C$ ) (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 rozptylovaného množství je dáno vztahem:

$$AQ = AQ_f + AQ_p \quad \{kg/s\} \quad (\text{Rovnice 9})$$

Kde:  $AQ_f$  ..... množství kapaliny odpařené již při úniku kapaliny ( $kg/s$ )  
 $AQ_p$  .... 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 (11,2 mil/hod) a neutrální povětrnostní podmínky.

$$CEI = 655,1 \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 2}} \quad (\text{Rovnice 10})$$

Kde: AQ .... celkové množství rozptýlené látky (kg/s)  
ERPG-2 .. hodnota v (mg/m<sup>3</sup>)

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 :

$$HD = 6551 \sqrt{\frac{AQ}{ERPG}} \quad \{m\} \quad (\text{Rovnice 11})$$

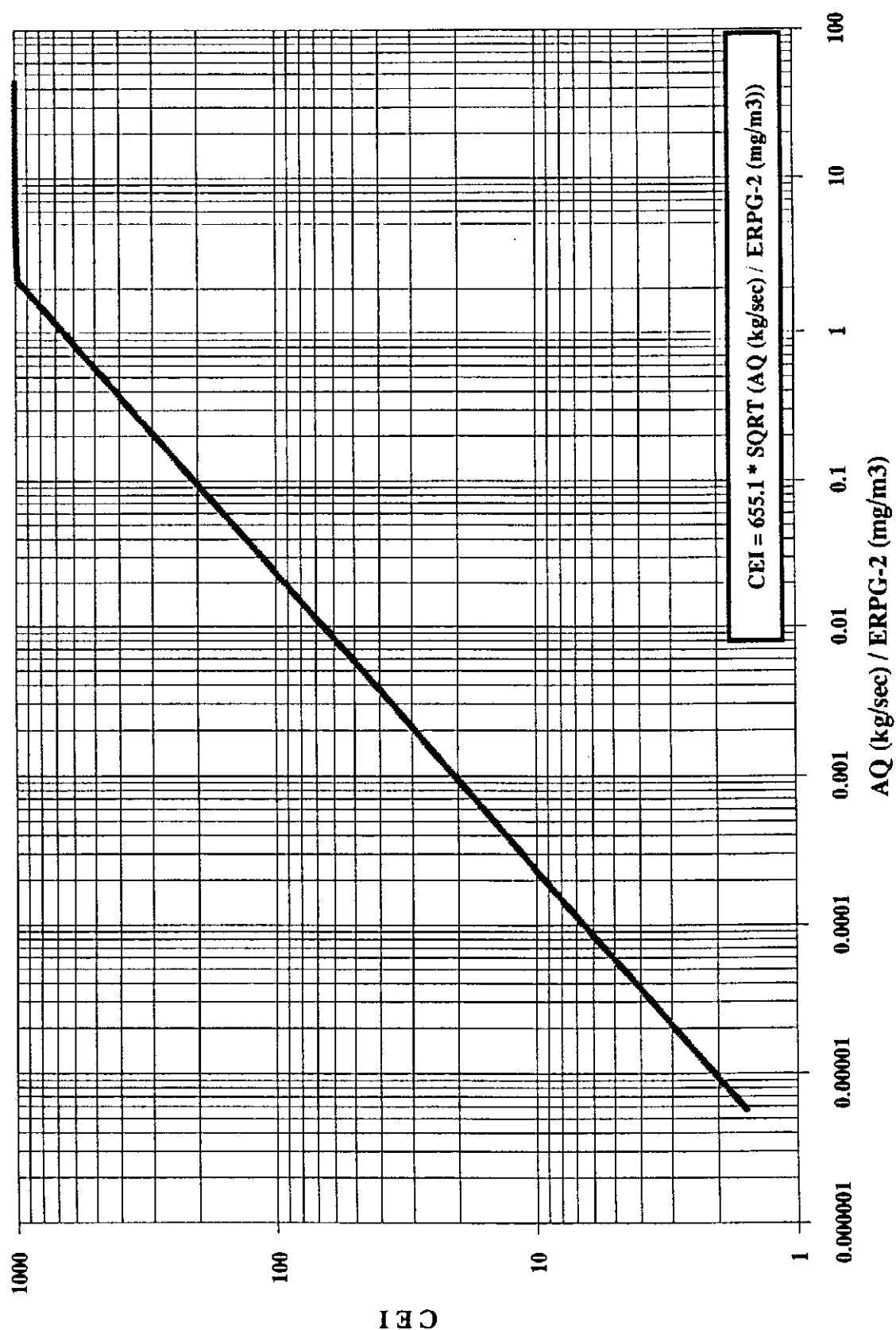
Kde: AQ ..... celkové množství rozptýlené látky (kg/s)  
ERPG = ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3 (mg/m<sup>3</sup>)

Pokud je HD větší jak 10 000 m, pak HD = 10 000 metrů.

### Souhrnný formulář CEI:

| Zařízení: _____                                                                                                                                                                                                                                         | Umístění: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|---|
| Chemická látka: _____                                                                                                                                                                                                                                   | Celkové množství v zařízení: _____                                                                                                                                                                                                                                                              |             |                |                       |   |
| Největší obsah jednoho zásobníku: _____                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| Tlak v zásobníku: _____                                                                                                                                                                                                                                 | Teplota látky: _____                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |                |                       |   |
| 1. Hodnocený scénář: _____                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| 2. Celkové množství rozptýlené látky podle scénáře: _____ kg/s                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| <b>3. Index chemického ohrožení:</b>                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| 4.                                                                                                                                                                                                                                                      | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Koncentrace</th> <th style="text-align: center;">Dosah ohrožení</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">mg/m<sup>3</sup>    PPM</th> <th style="text-align: center;">m</th> </tr> </table> | Koncentrace | Dosah ohrožení | mg/m <sup>3</sup> PPM | m |
| Koncentrace                                                                                                                                                                                                                                             | Dosah ohrožení                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                |                       |   |
| mg/m <sup>3</sup> PPM                                                                                                                                                                                                                                   | m                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |                |                       |   |
| ERPG-1/EEPG-1                                                                                                                                                                                                                                           | _____                                                                                                                                                                                                                                                                                           |             |                |                       |   |
| ERPG-2/EEPG-2                                                                                                                                                                                                                                           | _____                                                                                                                                                                                                                                                                                           |             |                |                       |   |
| ERPG-3/EEPG-3                                                                                                                                                                                                                                           | _____                                                                                                                                                                                                                                                                                           |             |                |                       |   |
| 5. Vzdálenosti k:                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| Veřejnost (obecně uvažovaná hranice podniku)                                                                                                                                                                                                            | _____ m                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                |                       |   |
| K dalšímu zařízení podniku:                                                                                                                                                                                                                             | _____ m                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                |                       |   |
| K jinému podniku:                                                                                                                                                                                                                                       | _____ m                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                |                       |   |
| 6. Hodnota CEI a nebezpečné vzdálenosti určují hladinu nutnosti zpětné kontroly.                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| 7. Je-li nutná další prohlídka, vyplňte kontrolní seznam (CEI Guide, příl. 2, str. 26) a připravte kontrolní soubor.                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |
| 8. Sestavte seznam vizuálních, pachových a zvukových vjemů, které by mohly pocházet z vašeho podniku a obtěžovat obyvatelstvo. (kouř, úniky z pojišťovacích ventilů, zápach slabší, než bezpečná hranice pro látky jako jsou merkaptany, aminy a pod.). |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |                       |   |

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Zhotovil: _____         | Datum: _____ |
| Kontroloval: _____      |              |
| Vedoucí provozu: _____  |              |
| Vedoucí kontroly: _____ |              |
| Ředitel závodu: _____   |              |



**TABULKA FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PRO CEI**

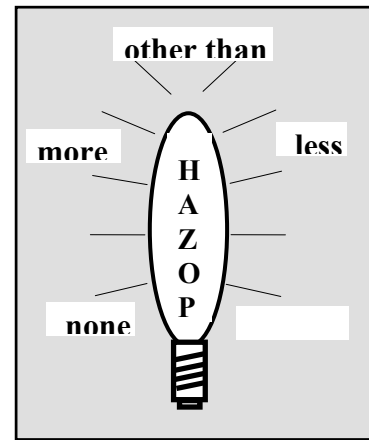
| Chemická látka               | Molekul.<br>hmotnost | Bod varu<br>°C | Tenze par<br>@25°C<br>kPa | Hustota<br>kapaliny<br>@ 25°C<br>kg/m <sup>3</sup> | Hustotak<br>apaliny<br>@ BP<br>kg/m <sup>3</sup> | Hustota<br>plynu<br>@ 25 °C<br>kg/m <sup>3</sup> | Poměr<br>C <sub>p</sub> /H <sub>v</sub><br>1/°C |
|------------------------------|----------------------|----------------|---------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Acrolein                     | 56,06                | 52,5           | 35,866                    | 834,4                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Acrylic acid                 | 72,06                | 141,4          | 0,539                     | 1046,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Acrylonitrile                | 53,06                | 77,2           | 13,900                    | 801,0                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Allyl chloride               | 76,53                | 44,8           | 48,480                    | 931,4                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Ammonia                      | 17,03                | -33,4          | 1002,800                  | 602,3                                              | 684,0                                            | 7,79                                             | 4,01E-03                                        |
| Benzene                      | 78,11                | 80,1           | 12,690                    | 869,8                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Bromine                      | 159,81               | 58,7           | 28,375                    | 3105,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Butadiene                    | 54,09                | -4,4           | 281,090                   | 614,9                                              | 651,0                                            | 6,69                                             | 5,92E-03                                        |
| Carbon disulfide             | 76,14                | 46,3           | 48,120                    | 1256,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Carbo monoxide               | 29,01                | -191,5         | 2807,000                  |                                                    |                                                  |                                                  |                                                 |
| Carbon<br>tetrachlorine      | 153,82               | 76,8           | 15,162                    | 1585,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Chlorine                     | 70,91                | -34,0          | 778,340                   | 1399,0                                             | 1562,0                                           | 25,07                                            | 3,87E-03                                        |
| Chloroacetyl<br>chloride     | 112,94               | 106,0          | 3,330                     | 1412,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Chloroform                   | 119,38               | 61,7           | 26,175                    | 1480,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Chloropicrin                 | 164,38               | 112,0          | 3,356                     | 1648,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Chlorotrifluoro-<br>ethylene | 116,47               | -28,2          | 641,260                   | 1290,0                                             | 1472,0                                           | 35,13                                            | 7,98E-03                                        |
| Crotonadehyde                | 70,09                | 102,4          | 4,787                     | 848,9                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Dimethylamine                | 45,08                | 6,9            | 205,460                   | 649,7                                              | 671,0                                            | 3,96                                             | 4,89E-03                                        |
| Epichlorohydrin              | 92,52                | 116,4          | 2,279                     | 1175,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Ethyl chloride               | 64,51                | 12,3           | 159,950                   | 892,1                                              | 910,0                                            | 4,40                                             | 4,31E-03                                        |
| Ethylene dichloride          | 98,96                | 83,5           | 10,590                    | 1246,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Ethylene oxide               | 44,05                | 10,5           | 174,010                   | 866,0                                              | 887,0                                            | 3,25                                             | 3,65E-03                                        |
| Hydrogen bromide             | 80,91                | -66,7          | 2358,800                  | 1762,0                                             | 2199,0                                           | 95,46                                            | 5,66E-03                                        |
| Hydrogen chloride            | 36,46                | -85,0          | 4773,100                  | 805,2                                              | 1188,0                                           | 113,0                                            | 9,81E-03                                        |
| Hydrogen cyanide             | 27,03                | 25,7           | 98,780                    | 679,6                                              | 679,0                                            | 1,14                                             | 2,83E-03                                        |
| Hydrogen fluoride            | 20,01                | 19,6           | 122,740                   | 981,5                                              | 991,0                                            | 1,15                                             | 4,24E-03                                        |
| Hydrogen sulfide             | 34,08                | -60,3          | 2020,800                  | 767,3                                              | 929,0                                            | 34,30                                            | 5,26E-03                                        |
| Methacrylonitrile            | 67,09                | 90,3           | 9,477                     | 794,9                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Methanol                     | 32,04                | 64,5           | 16,950                    | 786,0                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Methylamine                  | 31,06                | -6,3           | 348,440                   | 655,2                                              | 694,0                                            | 4,66                                             | 3,92E-03                                        |
| Methyl chloride              | 50,49                | -24,1          | 576,540                   | 915,7                                              | 1014,0                                           | 13,12                                            | 4,19E-03                                        |
| Methyl mercaptan             | 48,11                | 6,0            | 201,820                   | 856,6                                              | 884,0                                            | 4,12                                             | 3,87E-03                                        |
| Phenol                       | 94,11                | 181,9          | 0,055                     | 1070,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Phosgene                     | 98,92                | 7,5            | 189,900                   | 1360,0                                             | 1403,0                                           | 7,96                                             | 4,32E-03                                        |
| Propylene oxide              | 58,08                | 34,2           | 71,670                    | 823,2                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Styrene                      | 104,15               | 145,2          | 0,841                     | 901,6                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Sulfur fluoride              | 102,06               | -55,2          | 1747,100                  | 1318,0                                             | 1702,0                                           | 97,38                                            | 9,57E-03                                        |
| Sulfur dioxide               | 64,06                | -10,0          | 392,850                   | 1353,0                                             | 1444,0                                           | 10,86                                            | 3,91E-03                                        |
| Sulfur trioxide              | 80,06                | 44,4           | 35,688                    | 1904,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| Toluene                      | 174,16               | 252,9          | 0,002                     | 1211,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |
| diisocyanate                 |                      |                |                           |                                                    |                                                  |                                                  |                                                 |
| Trimethylamine               | 59,11                | 2,9            | 221,160                   | 624,8                                              | 653,0                                            | 5,68                                             | 6,15E-03                                        |
| Vinyl acetate                | 86,09                | 72,8           | 15,280                    | 924,7                                              |                                                  |                                                  |                                                 |
| Vinyl chloride               | 62,50                | -13,8          | 395,140                   | 902,1                                              | 972,0                                            | 10,90                                            | 3,88E-03                                        |
| Vinylidene<br>chloride       | 96,94                | 31,7           | 79,517                    | 1203,0                                             |                                                  |                                                  |                                                 |

## 10. SYSTEMATICKÉ METODY IDENTIFIKACE

### 10.1 HAZOP - HAZard and Operability Study



Hazard and Operability Study



## SYSTEMATICKÁ STUDIE BEZPEČNOSTI & PROVOZOVATELNOSTI PROCESU

Některé publikace :

1. LAWLEY, H. G.: Operability Studies and Hazard Analysis, Chem. Eng. Progr., vol.70, 1974, No.4, pp. 45-56.
2. JONES, D. W.: Lessons from HAZOP Experiences. Hydrocarbon Processing, April 1982, pp. 77-80.
3. **A Guide to Hazard and Operability Studies**, Chemical Industry Safety & Council of the Chemical Industries Association Limited, 1987.
4. **ČSN IEC 61882 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – Návod k použití**, (2002).
5. **KLETZ, T.A.: Hazop and Hazan**, Identifying and Assessing Process Industry Hazards. 3rd Edition, Institution of Chemical Engineers, Rugby, 1992.
6. Crawley, Frank; Preston, Malcom and Tyler, Brian, HAZOP: Guide to best practice. Guidelines to best practice for the process and chemical industries. European Process Safety Centre, Chemical Industries Association & Institution of Chemical Engineers, 1998.

- **HAZOP** je systematický a praxí ověřený postup !

- místo generického přístupu
- a
- místo intuitivní formulace dotazů typu "WHAT IF"

☞ Systematické generování odchylek od projektovaného stavu

- **HAZOP** - je nástroj ( metoda )
- **HAZOP STUDIE** - týmová práce (jedinec nic nezmůže)
- **HAZOP tým** - realizuje studii

## HAZOP

je metoda vyvinutá **praktiky** ( ICI - Petrochemical Division)  
prověřená v praxi na mnoha případech

Základní předpoklady :

1. **Systémový přístup** k provoznímu souboru
2. **Příčinou** vzniku anomálního stavu

je

**nějaká odchylka**

od projektovaného stavu

3. Pro snadné vytváření odchylek :

## KLÍČOVÁ SLOVA + ÚČEL ZAŘÍZENÍ

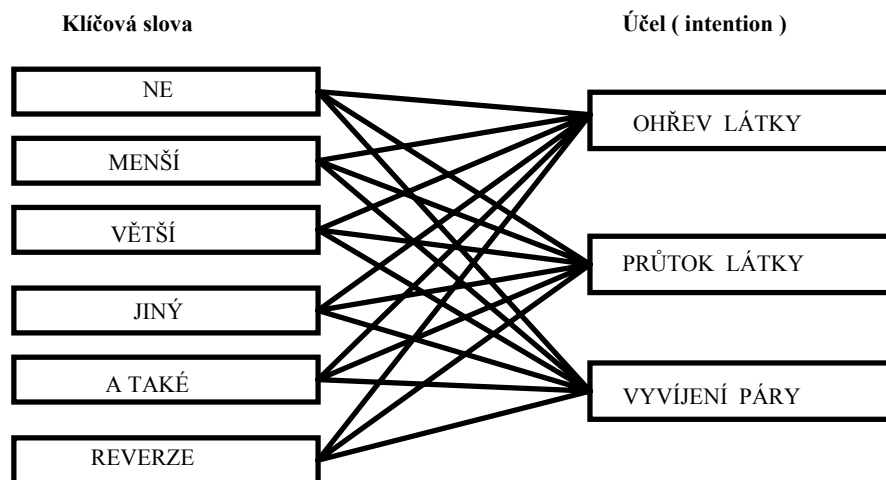
### SLOVNÍK KLÍČOVÝCH SLOV pro studii metodou "HAZOP"

| klíčové slovo                 | logický význam                                       | příklad                     |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
| NENÍ                          | úplná negace původní funkce                          | není chlazení,              |
| VĚTŠÍ                         | kvantitativní nárůst                                 | větší průtok                |
| MENŠÍ                         | kvantitativní pokles                                 | menší průtok                |
| A TAKÉ<br>JAKOŽ I<br>A ROVNĚŽ | kvalitativní nárůst<br>(výskyt ještě jiného případu) | průnik vody do reaktoru     |
| ČASTEČNĚ                      | kvalitativní pokles                                  | zanášení topného hadu       |
| REVERZE                       | opačná funkce (činnost)                              | nepřítomnost některé složky |
| JINÝ                          | úplná náhrada                                        | reversní tok media          |
| PŘEDČASNÝ                     | předčasná funkce (činnost)                           | přítomnost jiných látek     |
| ZPOZDĚNÝ                      | opožděná funkce (činnost)                            |                             |

## Idea HAZOPU

**Odchylka = inicializace vzniku závažného stavu**  
( POZNATEK ODBORNÍKŮ Z PRAXE )

## Vytváření odchylek



Postup studie metodou HAZOP lze popsat těmito kroky:

1. popis účelu (řádné funkce) subsystému (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 - doporučených zásahů

### Složení HAZOP týmu :

- **Vedoucí studie - LEADER :**

Důkladná znalost chemického inženýrství, metody HAZOP  
( není vhodné, zná-li podrobně proces)

- **Sekretář, Tajemník, Zapisovatel**

- **Odborný tým:** - reprezentuje dostupné znalosti, zkušenosti a vědomosti o procesu  
projektant  
procesní chemik / technolog  
strojní inženýr  
bezpečnostní inženýr  
zástupce vedení provozu

V průběhu studie :

Tým se nedoplňuje

Stanoviska dalších odborníků k detailům (jen vyjíměčně)

Příprava **HAZOP** týmu ke studii :

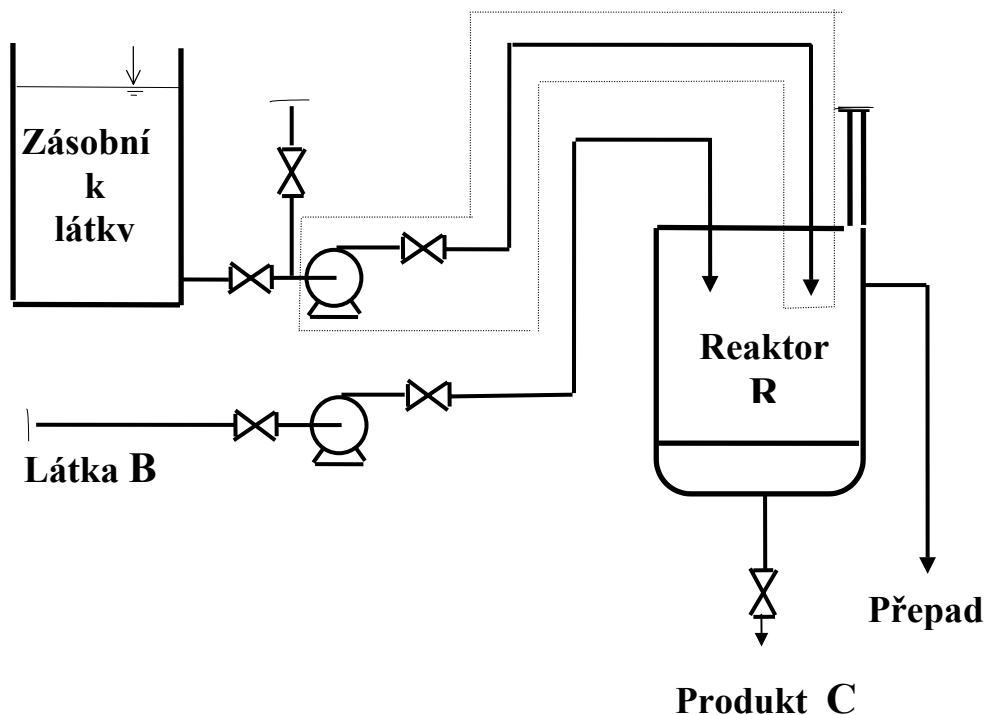
Podle požadavků několikadenní příprava formou přednášek a demonstračních příkladů)

### Způsob zaznamenávání **HAZOP** STUDIE.

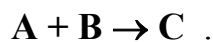
| Klíčové slovo | Odchylka | Příčina | Následek | Akce /<br>doporučení |
|---------------|----------|---------|----------|----------------------|
|               |          |         |          |                      |

## Demonstrační příklad

Postup studie metodou HAZOP lze demonstrovat na jednoduchém systému :



Do reaktoru R vstupují samostatně látky A a B, které reagují na produkt C. V reaktoru probíhá reakce podle rovnice :



Předpokládejme, že koncentrace látky B v reaktoru nesmí nikdy překročit koncentraci látky A, jinak může dojít k explozi.

## HAZOP studie

potrubní větve s čerpadlem  
čerpání látky A ze zásobníku do reaktoru R

Hranice subsystému - tenká čárkovaná čára

Účel subsystému - transport (přečerpávání) látky A ze zásobníku do reaktoru při dodržení zadaných podmínek



např.: **přítok** látky A popisovanou větví do reaktoru R,  
klíčové slovo „**není**“  
připojíme k funkci potrubní větve - tj. **přítoku**.  
↓

odchylka : „**není přítok** látky A potrubní větví do reaktoru“  
nebo také „**není přítok**“

posuzuje se stav, kdy touto větví nic (vůbec nic) neteče

Nalezení příčin :

„Co mohlo způsobit, že **není přítok** látky A do reaktoru.?“

ze strojně technologického schématu - hledání příčin, kdy dojde k úplnému  
přerušení dodávky látky A do reaktoru.

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 :

„Co se stane, když dojde k úplnému přerušení přítoku látky A do reaktoru ? “

do reaktoru jen látka B, roste její koncentrace, přesáhne koncentraci látky A ,  
následek : **exploze**

ve schématu - **odhaleno nebezpečí** (zdroj rizika)

**! HAZOP tak splnil svoji úlohu !**

Identifikovaný zdroj rizika - vyžaduje podrobnější rozbor a posouzení  
další klíčové slovo je „**větší**“  
ve spojení s funkcí „**přítok**“ dostaneme odchylku :  
„ **větší přítok**“ látky A do reaktoru

Nalezení příčin :

„Co mohlo způsobit, že je **větší přítok** látky A do reaktoru?“

s ohledem na provozní charakteristiku : je to možné ?  
pokud ano :

příčina : zvýšený výkon čerpadla  
následky : ?

**Co se stane, když** dojde ke zvětšení přítoku látky A do reaktoru ?

- přebytek látky A - kontaminace produktu - co další výroba ?
- zvýšení průtoku látky A - přeplňování reaktoru- únik přepadem

V dalším je potřeba uvážit, zdali jsou takové stavy nebezpečné.

klíčové slovo je „**menší**“ :  
odchylka :

„ **menší přítok**“ látky A do reaktoru  
je to jiná odchylka, než „žádný přítok“

příčiny odlišné :

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

Následky : obdobné jako v případě „není přítok“.  
Identifikováno nebezpečí (zdroj rizika) - exploze.

Postupně - všechna klíčová slova,  
- všechny myslitelné odchylky.

## Přínos systematické studie metodou HAZOP

### Systematická a důkladná prohlídka zařízení

- identifikace nebezpečných stavů
- a/nebo posouzení provozuschopnosti.

### Možnost vyhodnocení následků chyby operátora

- odhalování takových situací, ve kterých by chyba operátora mohla mít závažné následky

### Odhalování nových nebezpečných stavů

- Systematický postup umožňuje odhalování nových nebezpečných stavů

### Zvýšení efektivity provozního zařízení

- odhalování situací, které mohou vést k narušení provozu, neplánovaným odstávkám, zničení zařízení, ztrátě rozpracované suroviny, ale také ke zdokonalení provozních předpisů.
- výrazný přínos HAZOPu, eliminuje náklady na realizaci studie metodou HAZOP.

### Lepší pochopení procesu

- i nejzkušenější účastníci porady se dozví něco nového : "nikdy předtím jsem o tomto provozu tolik nevěděl".

## APLIKAČNÍ ZKUŠENOSTI S METODOU HAZOP

Úspěšná bezpečnostní studie metodou Hazop vyžaduje :

- zkušené odborníky
- správné rozvržení práce
- dostatečnou vytrvalost
- manažerskou práci s potřebným nasazením pro věc

### FAKTOR ČASU

- nepožadovat umělé urychlení postupu nebo nereálné zkrácení času potřebného pro posouzení bezpečnosti

### ZKUŠENOSTI HAZOP TÝMU

- nedostačují průměrné znalosti a zkušenosti, jsou potřebné ty nejlepší zdroje informací
- nezkušený tým sotva dokáže odhalit zdroje nebezpečí
- málo zkušený tým je nejistý - dlouhá řada doporučení

### ZKUŠENOSTI vedoucího HAZOP TÝMU

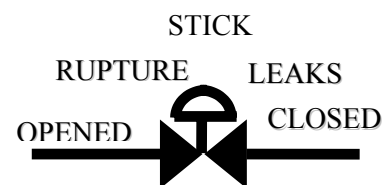
- technicky zdatný + ovládat metodu HAZOP
- vytváří podmínky pro práci ostatních členů týmu
- využívá znalostí všech ostatních účastníků studie

### Některé úkoly pro vedoucího týmu :

- a) Zajištění atmosféry otevřené výměny informací.
- b) HAZOP je identifikace nebezpečí nikoli stanovení míry rizika.
- c) Zvažovat oprávněnost požadavků na bezpečnostní zařízení.
- d) Zvažovat oprávněnost požadavků na parametry zařízení.
- e) Navrhovat jen promyšlená doporučení.
- f) Zaznamenávání výsledků studie.
- g) Věnovat pozornost postupům najíždění a odstavování zařízení.
- h) Aktuální podklady pro HAZOP studii.
- ch) Aplikace HAZOPu při prohlídce nového projektu.
- i) Vhodnost výběru metody HAZOP.
- j) Délka pracovní porady.

## 10.2 FMEA - Failure Modes and Effects Analysis

### Analýza příčin poruch a jejich následků



Jedná se o významnou metodu pro identifikaci nebezpečí u průmyslových zařízení. Postup je založen na systematickém prověřování systému s cílem odhalit možné poruchy, jejich příčiny a následky. Metodicky se vychází spíše z jednotlivých prvků systému než z procesních parametrů systému.

Cílem studie metodou FMEA je odhalit takové poruchy, které mají závažný vliv na bezpečnost a provozování systému.

Hlavním dokumentem, ze kterého se při bezpečnostní studii vychází je funkční schéma systému. V různých oborech se pro taková schémata používá různé označení (např. technologické schéma, konstrukční výkresová dokumentace atd.).

Postup zahrnuje :

1. identifikaci každé poruchy u jednotlivých prvků, uvažování sekvence návazných událostí, hledání příčiny poruchy a odhad možných následků,
2. klasifikace poruch podle závažných charakteristik (možnosti detekce, diagnostiky, výměny atd.)

Pro praktické použití byl postup studie rozpracován do několika základních kroků, které jsou charakterizovány následujícími otázkami:

⇒ Jaký je projev poruchy ?

⇒ Jaké jsou možné příčiny poruchy ?

⇒ Jak může být porucha objevena / detekována ?

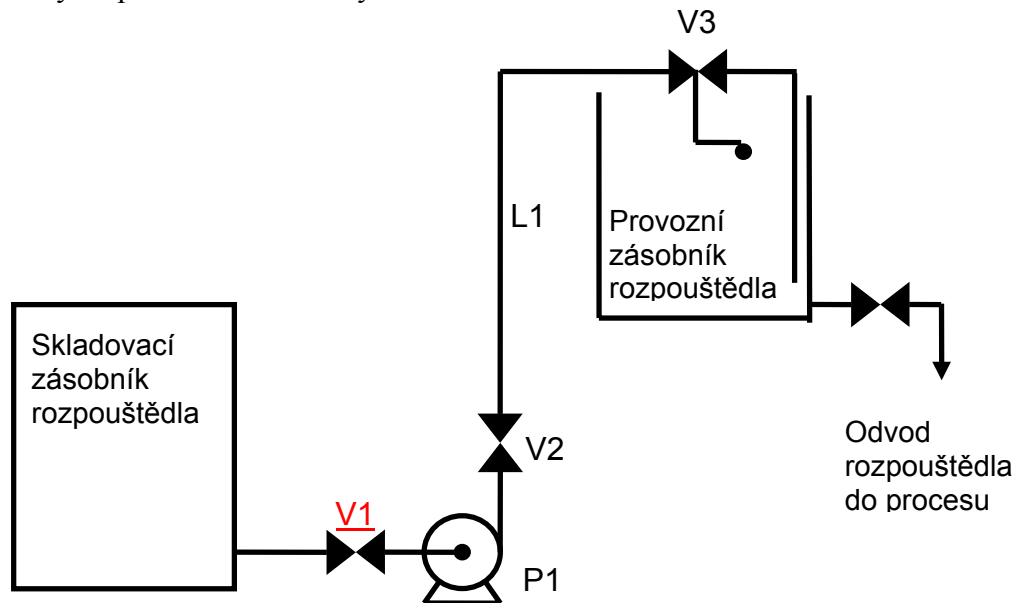
⇒ Jak porucha ovlivní systém ? (jaké jsou následky poruchy)

⇒ Je tento stav přijatelný, co je potřeba udělat ?

**Průběh studie metodou FMEA lze zaznamenávat do formuláře :**

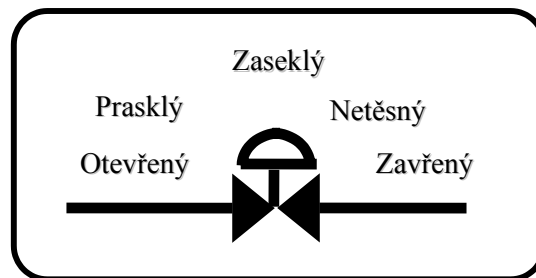
| Prvek | Porucha | Příčina | Detekce | Následek | Doporučení |
|-------|---------|---------|---------|----------|------------|
|       |         |         |         |          |            |
|       |         |         |         |          |            |
|       |         |         |         |          |            |
|       |         |         |         |          |            |

**Demonstrační příklad :** Návrh systému pro skladování rozpouštědla - skladovací zásobník rozpouštědla a provozní zásobník rozpouštědla s potrubním systémem, čerpadlem, plovákovým spínačem a uzavěrnými armaturami..



Jedním z prvků tohoto systému je uzavírací armatura – ventil V1. Důležitým krokem studie je vypracování seznamu poruch, které se mohou u takového prvku vyskytnout. Tento krok studie vyžaduje pečlivou detailní tvořivou práci odborníka se znalostmi z oblasti ventilů (konstrukce, vlastnosti, provozní zkušenosti, poruchovost ventilů).

Uvažované poruchy ventilu jsou přehledně uvedeny v následujícím obrázku. V této fázi nejde o příčiny poruchy (ty se budou zjišťovat, porucha může mít více příčin), ale o poruchu jako stav prvku. Uvažované poruchové stavy ventilu lze charakterizovat takto :



- ventil je otevřený ( v okamžiku, kdy má být zavřený)  
( o tomto stavu je obtížné se přesvědčit vizuální kontrolou)
- těleso ventilu je prasklé (únik směrem ze systému)
- ventil je zaseklý v určité poloze (nelze s ním manipulovat)
- ventil netěsní (propouští i v uzavřené poloze)  
(o těsnosti ventilu se nelze jednoduše přesvědčit vnější prohlídkou)
- ventil je zavřený ( v okamžiku, kdy má být otevřený)  
( rovněž o tomto stavu je obtížné se přesvědčit vizuální kontrolou)

Další postup studie vychází z nalezených poruch uvažovaného prvku. Uvažujme první poruchu u ventilu V1 :

**Prvek 1:** V1  
**Porucha:** Otevřený (má být zavřený)

Každá porucha má svoji příčinu nebo několik příčin, které je potřeba na základě znalostí a zkušeností odhalit. V popisovaném případě byly nalezeny tyto příčiny uvažované poruchy (ventil zůstal otevřený, přestože měl být zavřený):

**Příčina:** a) zlomená hřídelka ventilu  
b) nečistoty v sedle ventilu  
c) koroze

Z provozních důvodů je důležité vědět, jak se může taková porucha projevit za provozu, jak je možno ji odhalit a jaké mohou být její následky.

Detekce uvažované poruchy v systému, tak jak je navržen, není snadnou záležitostí. Neuzavření ventilu se projeví až v okamžiku, kdy bude nutno vyměnit čerpadlo (např. při jeho poruše). Může se stát, že se o otevřeném ventilu přesvědčíme až po demontáži čerpadla ze systému (což bude kritické a velmi nebezpečné).

**Detekce:** Rozlití rozpouštědla při výměně čerpadla při údržbě

Takový způsob detekce poruchy je nepřijatelný, zejména s ohledem na možné následky uvažované poruchy.

**Následek:** 1. Únik rozpouštědla - NEBEZPEČÍ !!!  
2. Nelze bezpečně vyprázdnit skladovací nádrž  
3. Nelze bezpečně provést údržbu čerpadla

**Doporučení:** Úprava projektu (např. použitím odkalovacího ventilu za ventilem V1, jak je zřejmé z obr. na str.55)

Analogicky se rozvíjejí i další poruchy ventilu V1:

**Prvek 1:** V1  
**Porucha:** Uzavřen (má být otevřený)

**Příčina:** a) Chyba obsluhy  
b) Zaseknutí

**Detekce:** Zhoršení / zničení kvality výsledného produktu výroby

- Následek:**
- 1. Po vyprázdnění provozního zásobníku, žádné rozpouštědlo v procesu.**
  - 2. Při chodu čerpadla v prostoru sání - tenze par - přehřívání**  
**- poškození a nutnost opravy čerpadla.**

**Doporučení:** Operátor zkontroluje, jestli je ventil otevřen.

**Instalace LI / LLA v provozní nádrži**  
(tj. indikace a signalizace výšky hladiny v provozní nádrži)

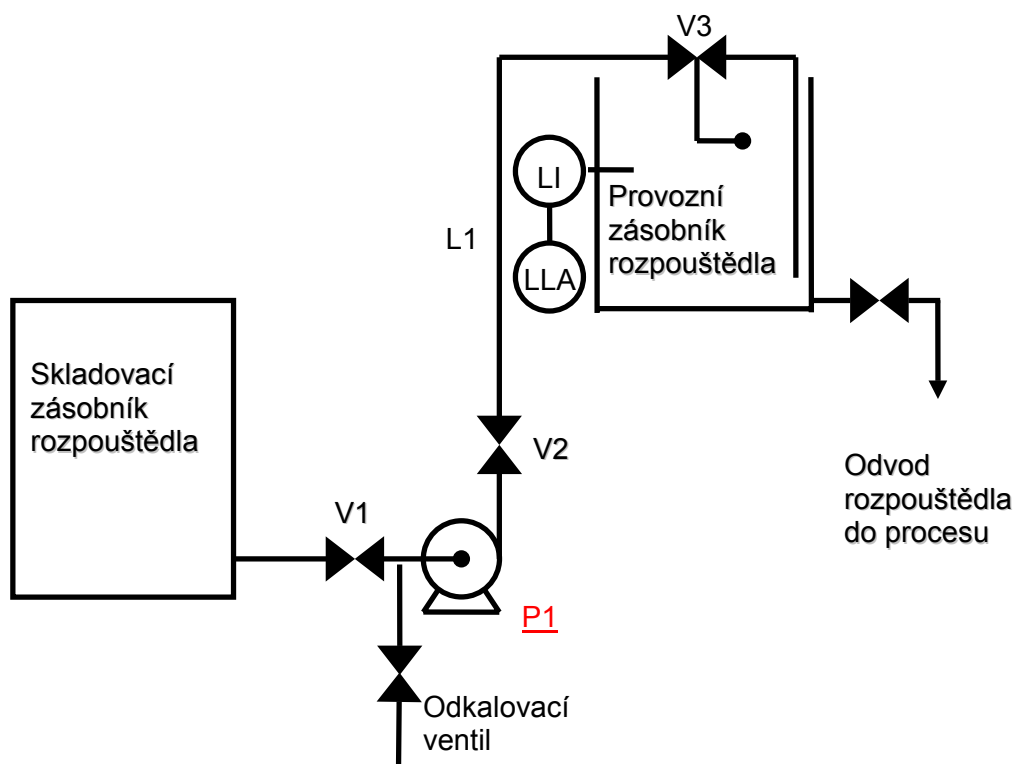
Obdobným postupem se systematicky prověřují poruchy ventilu i dalších prvků systému.

Na základě dvou výše uvedených předchozích doporučení byla navržena úprava původního projektu :

**1. Instalace odkalovacího ventilu**

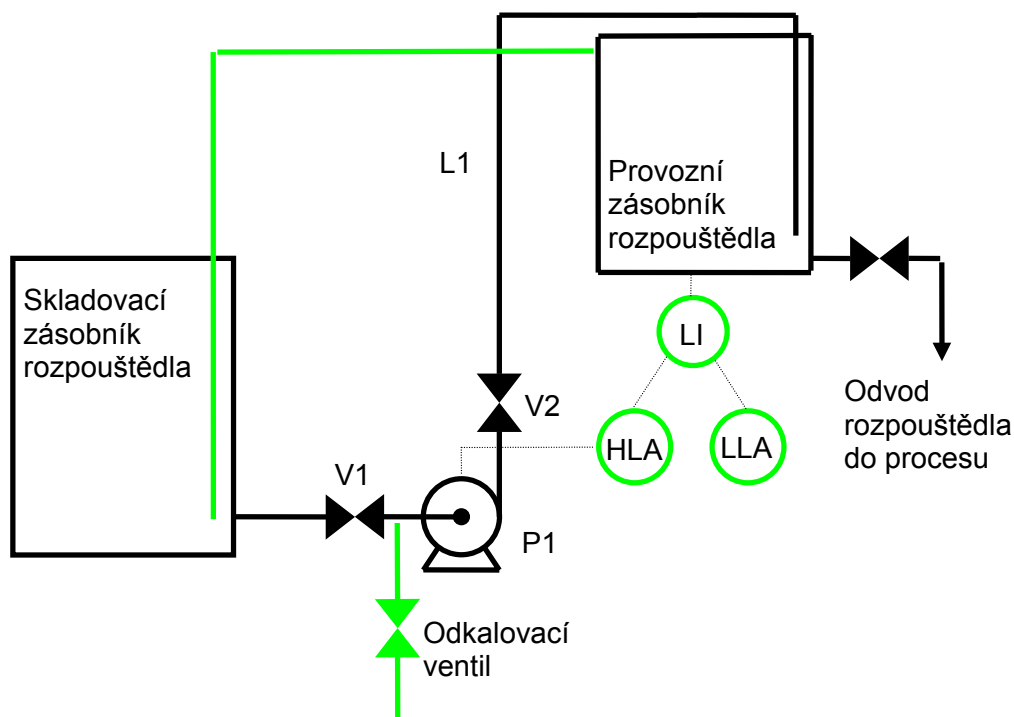
**2. Instalace LI/LLA v provozní nádrži**

Schéma zařízení po úpravě :



Po prověření všech poruch ventilu V1 pokračuje studie bezpečnosti systému dalším prvkem systému, např. čerpadlem P1. Postupně se výše uvedeným postupem prověřují všechny uvažované prvky systému.

V průběhu studie se navrhuje další úprav systému ke zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti systému. V konečné modifikované verzi byl ze systému odstraněn i poruchový plovák, který byl nahrazen potrubním přepadem z provozní nádrže do skladovacího zásobníku.



Metoda FMEA bývá někdy porovnávána s metodou HAZOP. Obě metody jsou charakteristické systematickým postupem, nelze je však považovat za konkurenční.

Filosofie obou metod, jejich výchozí předpoklady i použité postupy jsou zcela rozdílné. FMEA vychází z poruch jednotlivých prvků a rozvíjí jejich dopad na systém jako celek, metoda HAZOP vychází z odchylek parametrů provozních veličin mimo bezpečné limity.

Postup studie metodou FMEA je možno založit na pečlivé práci jednotlivců nebo menšího pracovního týmu, v případě klasického pojetí metody HAZOP jde zcela jednoznačně o týmovou práci.



## 11. Statistika nehod a havárií

Statistické údaje o nehodách jsou důležité pro hodnocení účinnosti bezpečnostního programu. Tyto údaje jsou důležité pro rozhodování, zdali je proces bezpečný či zdali jsou bezpečnostní opatření účinná.

Existuje celá řada statistických metod umožňujících charakterizovat nehodovost a ztrátovost procesu. S těmito statistickými údaji je však nutno zacházet velmi opatrně. Jelikož statistické charakteristiky mají charakter středních hodnot, lze je obtížně použít pro popis jednotlivého případu způsobujícího vážné škody. Dosud však neexistuje žádná jednoduchá metoda, která by byla schopna zvážit vliv všech potřebných aspektů.

### 11.1 Statistický popis

Užívají se tyto formy statistického popisu :

- **OSHA** údaje (injury & fatality)
- **FAR** údaje (Fatal Accident Rate )
- **FR** údaje o úmrtnosti (vztaženy na osobu a rok)

**POZOR !**

**Nelze** jednoduše přepočítávat **OSHA** na **FAR** či **FR** (pokud OSHA údaje zahrnují veškerá zranění)

Údaje **FAR** a **FR** lze přepočítávat

Všechny tyto tři metody dávají údaj, který vyjadřuje počet nehod a/nebo počet fatálních zranění vztažený na danou skupinu osob v průběhu zadané doby.

OSHA je Occupational Safety and Health Administration of the United States Government. OSHA zodpovídá za bezpečnost při práci. Tabulka 1-2 obsahuje některé OSHA definice použitelné pro získávání statistických údajů.

Údaje OSHA jsou stanoveny pro 100 pracovních roků. Přitom pracovní rok představuje asi 2000 hodin (uvažuje se 50 pracovních týdnů v roce krát 40 pracovních hodin v týdnu).

OSHA údaje o nehodách se tudíž vztahují na 200 000 hodin pracovního času, po který je osoba vystavena nebezpečí. Tzv. OSHA incident rate se stanoví na základě počtu

pracovních úrazů a onemocnění a celkového počtu odpovídajících pracovních hodin (pracovních hodin odpovídajících sledovanému intervalu).

Lze použít následující vztah :

$$\text{OSHA incident} = \frac{\text{počet pracovních úrazů} * 200\,000 \text{ hodin}}{\text{celkový počet prac. dní všech osob v uvažov. období}}$$

Tzv. OSHA incident rate může být založen také na počtu zameškaných pracovních dní.

$$\text{OSHA incident} = \frac{\text{počet zameškaných prac. dní} * 200\,000 \text{ hodin}}{\text{celkový počet prac. dní všech osob v uvažov. období}}$$

V Británii se naproti tomu používá údaj označovaný jako FAR, tj. Fatal Accident Rate.

Tento statistický údaj je relativně často používaný a jsou dostupné některé zajímavé údaje. Údaj FAR udává počet neštěstí , které se vyskytly u skupiny 1000 zaměstnanců za celou dobu práce, tj. za 50 let práce.

Časové období 50 let představuje  $50 * 50 * 40$  pracovních hodin tj. při 1000 zaměstnanců  $10^8$  pracovních hodin.

Pro výpočet údaje FAR se použije vztah:

$$\text{FAR} = \frac{\text{počet fatálních případů} * 10^8}{\text{celkový počet pracovních hodin sledované skupiny ve sledovaném období}}$$

Kromě tohoto údaje se používá i tzv. Fatality Rate, který udává intenzitu úmrtí vztaženou na osobu a rok.

FR = počet úmrtí / celkový počet lidí za rok ve sledované populaci.

## STATISTIKA NEHOD V RŮZNÝCH PRŮMYSLOVÝCH ODVĚTVÁCH

| <b>průmysl</b>    | <b>OSHA index<sup>1</sup></b> | <b>FAR index<sup>2</sup></b><br>(počet případů / 10 <sup>8</sup> hodin) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| chemický          | 0.49                          | 4.0                                                                     |
| automobilový      | 1.08                          | 1.3                                                                     |
| ocelářský         | 1.54                          | 8                                                                       |
| papírenský        | 2.06                          |                                                                         |
| těžba uhlí        | 2.22                          | 40                                                                      |
| potravinářský     | 3.28                          |                                                                         |
| stavba konstrukcí | 3.88                          | 67                                                                      |
| zemědělství       | 4.53                          | 10                                                                      |
| masný             | 5.27                          |                                                                         |
| nákladní přeprava | 7.28                          |                                                                         |

### FAR - Fatal Accident Rate

počet fatálních zranění na 1000 lidí po celou dobu práce (tj. 50 let)

(50 let a 1000 lidí = 50 let x 2000 hodin/rok x 1000 lidí = 10<sup>8</sup> hodin)

<sup>1</sup> Accidents Fact, 1985 Edition ( Chicago: National Safety Council, 1985) p. 30.

<sup>2</sup> Frank P Lees, Loss Prevention in the Process Industries (London : Butterworths, 1986), p. 177.

## STATISTIKA FATÁLNÍCH ZRANĚNÍ PŘI RŮZNÝCH ČINNOSTECH

| <b>činnost</b>      | <b>FAR index</b><br>(počet případů / 10 <sup>8</sup> hodin) | <b>FR</b><br>(počet případů na osobu a rok) |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>dobrovolná</b>   |                                                             |                                             |
| pobyt doma          | 3                                                           |                                             |
| <b>cestování</b>    |                                                             |                                             |
| automobilem         | 57                                                          | 17 x 10 <sup>-5</sup>                       |
| na kole             | 96                                                          |                                             |
| letadlem            | 240                                                         |                                             |
| na motocyklu        | 600                                                         |                                             |
| kanoistika          | 1000                                                        |                                             |
| horolezectví        | 4000                                                        | 4x10 <sup>-5</sup>                          |
| kouření (20 / den)  |                                                             | 500 x 10 <sup>-5</sup>                      |
| <b>nedobrovolná</b> |                                                             |                                             |
| zásah meteoritem    |                                                             | 6 x 10 <sup>-11</sup>                       |
| bleskem             |                                                             | 1 x 10 <sup>-7</sup>                        |
| požár               |                                                             | 150 x 10 <sup>-7</sup>                      |
| sražení autem       |                                                             | 600 x 10 <sup>-7</sup>                      |

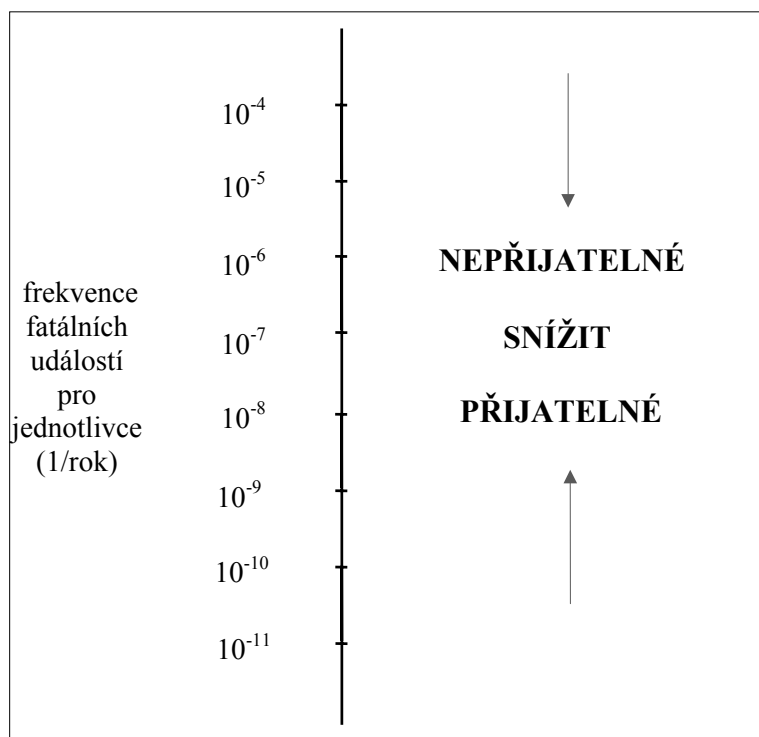
## 11.2 Pojetí společenského rizika, přijatelnost rizika.

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

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

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

### Individuální riziko - kritéria



obr.SR-1

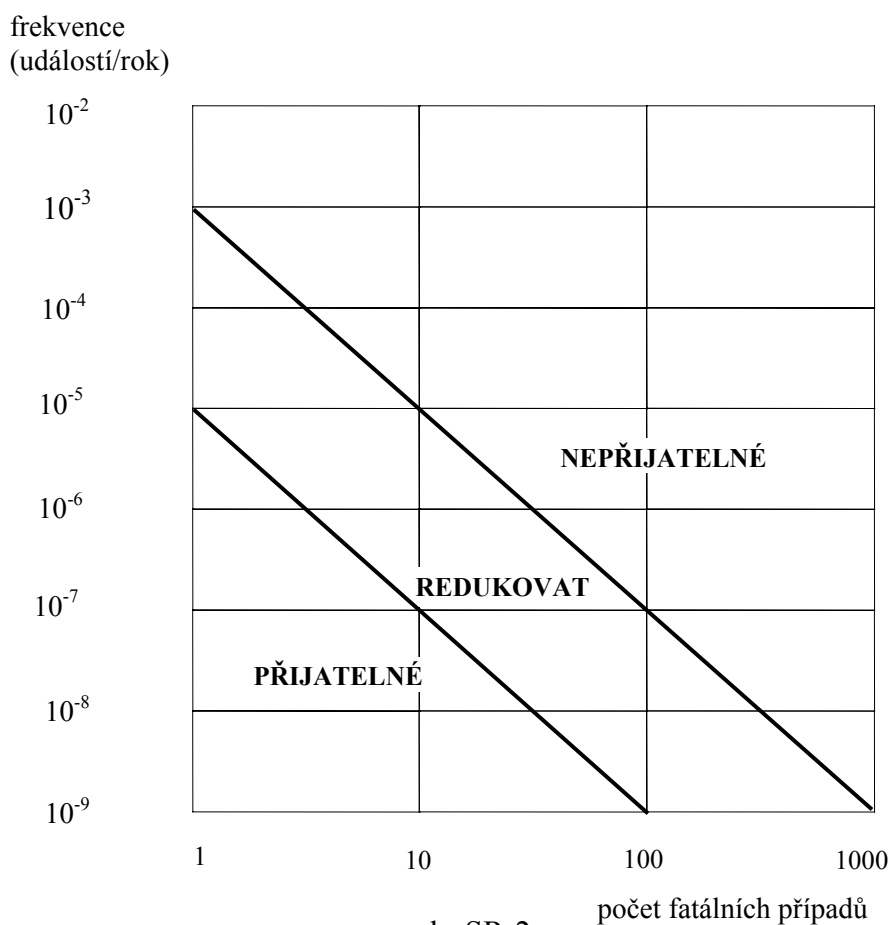
Je zřejmé, že za přijatelnou frekvenci výskytu fatální události se pro jednotlivce považuje frekvence  $10^{-8}$  nebo nižší. Tento údaj lze také interpretovat jako jeden fatální případ ve vzorku  $10^8$  obyvatel v průběhu jednoho roku.

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

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

Kritérium přijatelnosti rizika musí vyjadřovat relaci mezi frekvencí případů a počtem fatálních zranění.

Graficky je taková relace zobrazena na dalším obrázku.



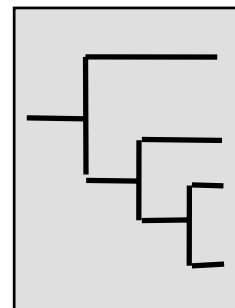
Společenské riziko je vyšší než individuální, jak je z obrázku zřejmé. Společenské riziko pro 1 fatální případ se považuje za přijatelné ještě při frekvenci  $10^{-5}$ , s rostoucím počtem fatálních případů akceptovatelná frekvence klesá. Nepřijatelné společenské riziko je charakterizováno frekvencí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

Pásma mezi hranicí přijatelnosti a nepřijatelnosti rizika je označováno jako pásmo, ve kterém je potřeba riziko opatřeními snížit na přijatelnou mez.

Takto stanovené a obecně akceptované kritérium přijatelnosti je použito pro stanovení kritérií přijatelnosti v této studii a je výrazně vyznačeno ve finální matici rizik.

## 12. STROM UDÁLOSTÍ - EVENT TREE

Strom událostí 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. (ETA - Event Tree Analysis)



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

Bezpečnostní funkce .

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 etc.)
    - 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.

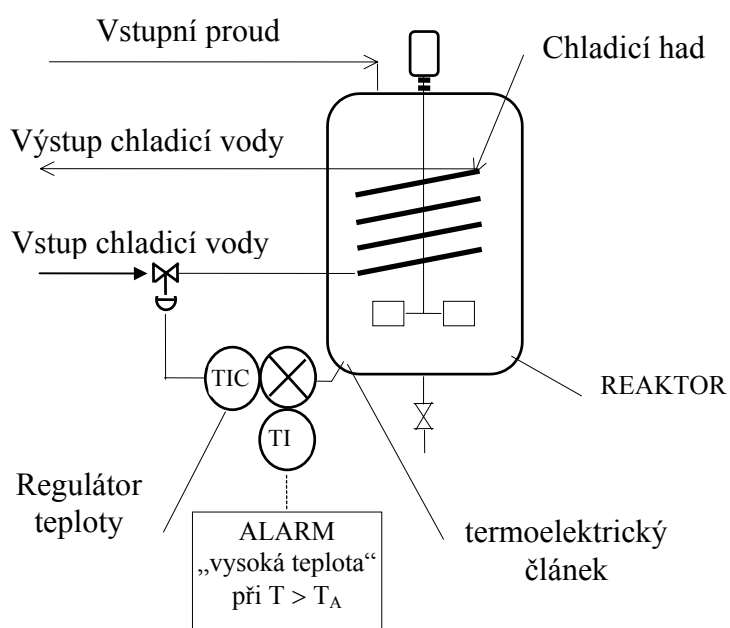
Pokud dojde ovlivnění události, sestrojí se větve pro úspěšný a neúspěšný zásah uvažovaného bezpečnostního systému. Obvykle je úspěšný zásah representován horní větví a neúspěšný zásah spodní větví grafu.

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.

- 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.

Příklad :

Uvažujme chemický reaktor na následujícím obrázku.



obr. ET č.1

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

Předpokládejme, že u tohoto systému byla instalována signalizace (alarm) vysoké teploty upozorňující operátora na vysokou teplotu v reaktoru.

Strom událostí pro uvažovaný scénář vyvolaný výpadkem chlazení je na dalším obrázku.

V systému byly identifikovány celkem 4 bezpečnostní funkce, které mohou zabránit rozvoji iniciační události a tak konečnému následku.

K identifikace jednotlivých bezpečnostních opatření/stupňů dospějeme logickým rozborem vývoje reálné situace.

Při zvyšování procesní teploty v reaktoru dojde k překročení „horní dovolené teploty“ a je signalizována vysoká teploty. 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 nepřijde

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

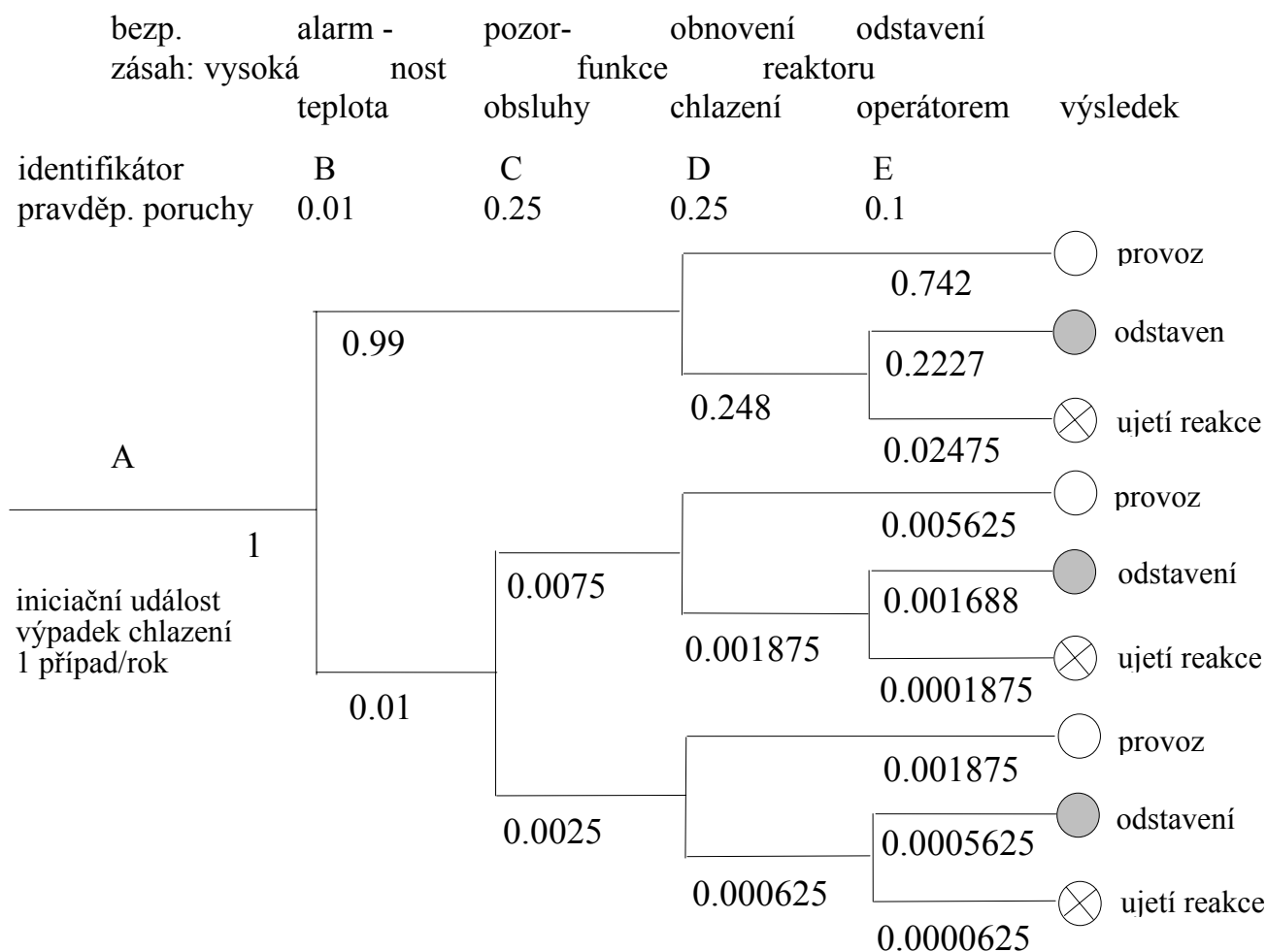
Údaj E... odstavení reaktoru operátorem - v 1 z 10 zásahů obsluhy se nepodaří reaktor včas odstavit

(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.



## Strom událostí pro případ "výpadek chlazení reaktoru"



obr.ET č.2

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.

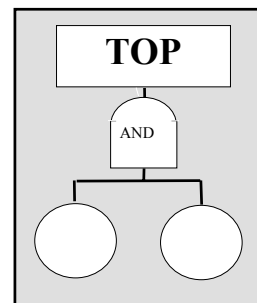
$$\text{Odstavení} = 0.2227 + 0.001688 + 0.0005625 = 0.2250 \text{ případů/rok}$$

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

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.

### 13. STROM 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 :

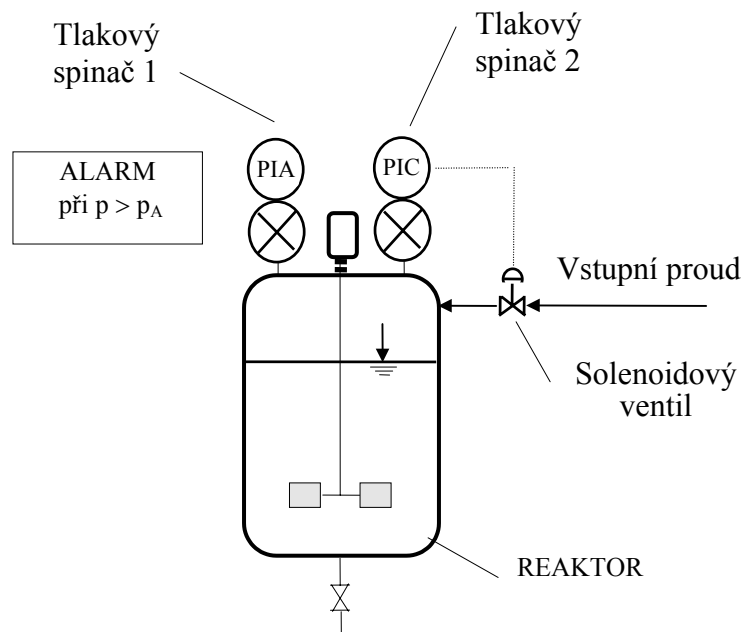
1. Přesně definovat analyzovanou - tzv. vrcholovou událost (Top Event). Popis musí být přesný a přiměřený , např. vysoká teplota v reaktoru, příliš vysoká hladina kapaliny v zásobníku . Naproti tomu se události typu „exploze reaktoru“ nebo „požár v procesu“ jeví jako příliš neurčitý, vágní popis události. Naproti tomu se událost „netěsnost ventilu“ 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 úvah. 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 funktoru. Pokud k vrcholové události dojde jen v případě současného výskytu všech dílčích událostí (paralelní řazení), jde o logický funktor/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 :



obr. FT-1.

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. obr. FT-2

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 rozborem 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 bezporuchost 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 :  $P_2 = 0.04$

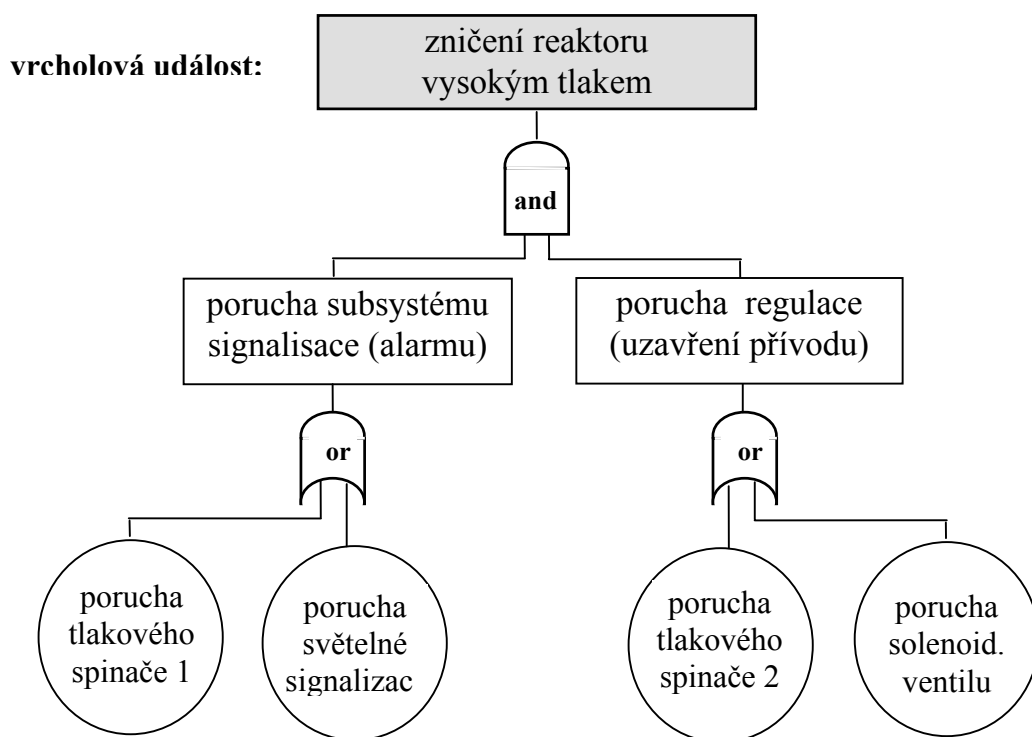
tlakový spínač 2 :  $P_3 = 0.13$ ,

solenoid. 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 0.1648 a pro subsystém regulace dostaneme pravděpodobnost poruchy 0.4258. Pravděpodobnost výskytu vrcholové události/havárie je potom  $P = 0.0702$ .

Nyní je potřeba vyhodnotit následky události a posoudit přijatelnost souvisejícího rizika.



obr. FT-2

## **14. Osnova bezpečnostní zprávy**

### **A. POPIS ZÁVODU, PROVOZNÍ JEDNOTKY A PROCESU**

- a) Popis závodu
- b) Umístění jednotky
- c) Ochranné zóny
- d) Přístupnost k jednotce
- e) Výrobní postup
- f) Konstrukční provedení – použité materiály
- g) Popis procesu – postup výroby
- h) Postup výroby
- i) Dodávky energie
- j) Důvody bezpečnostní zprávy

### **B. POPIS BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMŮ, NEBEZPEČÍ A MOŽNOSTI VÝSKYTU PORUCH**

- a) Bezpečnostní systémy
- b) Filtry a směšovač
- c) Vzduchový filtr
- d) Směšovače
- e) Reaktor, hořáky a odpadní teplo
- f) Kompresory a turbíny
- g) Aparáty kolonového typu
- h) Výparníky, výměníky
- i) Kondenzátory

### **C. IDENTIFIKACE CHEMICKÝCH LÁTEK, PROVOZNÍ (SKLADOVACÍ) PODMÍNKY**

#### **D. POPIS SYSTÉMU BEZPEČNOSTI**

- a) Opatření pro zabezpečení prevence
- b) Zvláštní provozní nebezpečí
- c) Aparáty - výparníky
- d) Zařízení - turbokompresory
- e) turbíny
- f) reaktory
- g) Potrubí, ventily
- h) Obecná provozní nebezpečí
- i) Vliv koroze
- j) Použití nevhodného materiálu
- k) Výpadek energie
- l) Poruchy strojního zařízení
- m) Ochrana před požárem
- n) Nebezpečnost okolních výrobních jednotek
- o) Environmentální rizika
- p) Přílehlající provozy
- q) Přeprava
- r) Živelná nebezpečí /pohromy
- s) Sabotáž
- t) Opatření ke zmírnění následků nehody
- u) Základy a podpůrné konstrukce
- v) Ochranná opatření a bezpečnostní systémy
- w) Havarijní plány
- x) Vnitřní nebezpečí v podniku
- y) Nebezpečí vyvolaná událostmi v sousedních provozech
- z) Odpovědnost
- aa) Dodatečná opatření
- bb) Monitoring, údržba a opravy
- cc) Výcvik osob, provozní a bezpečnostní předpisy
- dd) Dokumentace

#### **E. NÁSLEDKY NEHODY**

#### **F. ZÁVĚR**

## 15. Postup vyšetřování nehod

Platná legislativa ČR vyžaduje vyšetřování nehody - havárie podle platných předpisů. Požadavek je ovšem orientován spíše do polohy „podat hlášení“ dozorujícímu orgánu a je až příliš spojováno s policejním přístupem k vyšetřování.

Tento přístup je opět v průmyslově vyspělých zemích dávno překonán. I v těchto zemích existuje policejní vyšetřování nehod - především tam, kde jde o velké škody, zanedbání, úmysl. Je ovšem rozlišeno od vyšetřování nehod menšího rozsahu. Ty jsou v podnicích prováděny s poněkud jiným přístupem, zaměřením, cílem.

Vychází se ze dvou základních předpokladů :

- každá i drobná nehoda je zdrojem informací
- neustálé opakování a neřešení podstaty drobných nehod může vyústit v závažnou nehodu.

### **Základní cíl vyšetřování - předejít budoucímu opakování nehody**

Vyšetřování musí zodpovědět dvě základní otázky:

Co se stalo?  
Proč se to stalo?

Je třeba zdůraznit, že jde o hledání skutečností, nikoli viníka, je třeba udržovat ovzduší důvěry a úcty, aby se zajistila otevřenost informací o nehodě.

Vyšetřování nehody, by mělo začít co nejdříve po jejím vzniku, protože skutečnosti a důkazy mohou rychle zmizet, tím že se ztratí písemné doklady a zamlží paměť účastníků nehody.

**Příčiny** nehody, které je třeba hledat jsou

- **prvotní**, bezprostřední, označované jako iniciační,
- **dodatečné**, které přispívají k prvotní příčině a k závažnosti havárie,
- **základní** příčiny (stojící v pozadí).

### **Druhotný cíl vyšetřování:**

- zlepšit provoz závodu nebo provozní jednotky,
- informovat zainteresované osoby.

Literatura :

1. Crowl, A.D., Louvar, J.F.: Chemical Process Safety Fundamentals with Applications. PTR Prentice Hall, New Jersey, 1990.
2. Lees, F.P.: Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control. Butterworth & Co (Publishers) Ltd, London, 1980.
3. Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC - 727, Austria, 1996.
4. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, AIChE, CCPS, New York, 1992.
5. Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, CCPS, New York, 1989.
6. Major Hazard Control. A practical manual, PIACT Project, International Labour Office, Geneva, 1988.
7. CAMEO - Computer Aided Management of Emergency Operations, EPA, Washington, USA, 1997.
8. ALOHA - Areal Location of Hazardous Atmospheres, EPA, Washington, USA, October 1997.
9. Industry and Environment, July August September 1988, Vol. 11, No. 3. published by the United Nations environment programm.
10. Zákon č.353/1999 Sb., **O prevenci závažných průmyslových havárií** způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky a o změně zákona....., Sbírka zákonů č.353/1999,částka 111,str.7629.
11. Vyhláška č.8/2000 MŽP zásady hodnocení rizik závažné havárie, rozsah a způsob zpracování bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy, zpracování vnitřního havarijního plánu,zpracování podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a pro vypracování vnějšího havarijního plánu, rozsah a způsob zpracování informací určených veřejnosti, postup při zabezpečování informování veřejnosti v zóně havarijního plánování. Sbírka zákonů č.8/2000,částka 3,str.75.
12. Nařízením vlády č.6/2000, kterým se stanovuje způsob hodnocení bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy ,obsah ročního plánu kontrol, postup při provádění kontroly. obsah informace a obsah výsledné zprávy o kontrole. Sbírka zákonů č. 6/2000,částka 3,str.57.
13. Vyhláška MŽP č.7/2000, kterou se stanovuje rozsah a způsob zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a následcích závažné havárie. Sbírka zákonů č. 7/2000,částka 3,str.61.
14. Direktiva 82/501/EEC - SEVESO „On the major-accident hazards of certain industrial activities“
15. Direktiva 96/82/EC - SEVESO II „On the control of major accident hazards involving dangerous substances“
16. Předpis OSHA 1910.119 - „Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals“ June, 1992.
17. Zákon Č. 157/1998 Sb. O chemických látkách a chemických přípravcích ze dne 1.června 1998, Praha, 1998.
18. Nařízení vlády č. 25/1998 Sb.,kterým se stanoví postup hodnocení nebezpečnosti chemických látek a chemických přípravků, způsob jejich klasifikace a označování a vydává Seznam dosud klasifikovaných nebezpečných chemických látek. Sbírka zákonů č. 25/1999, částka 1,str.11.