

# Analýza nebezpečí a rizik

Prof. Dr. Ing. Aleš Bernatík



Ostrava 2016

## **1. Předmluva**

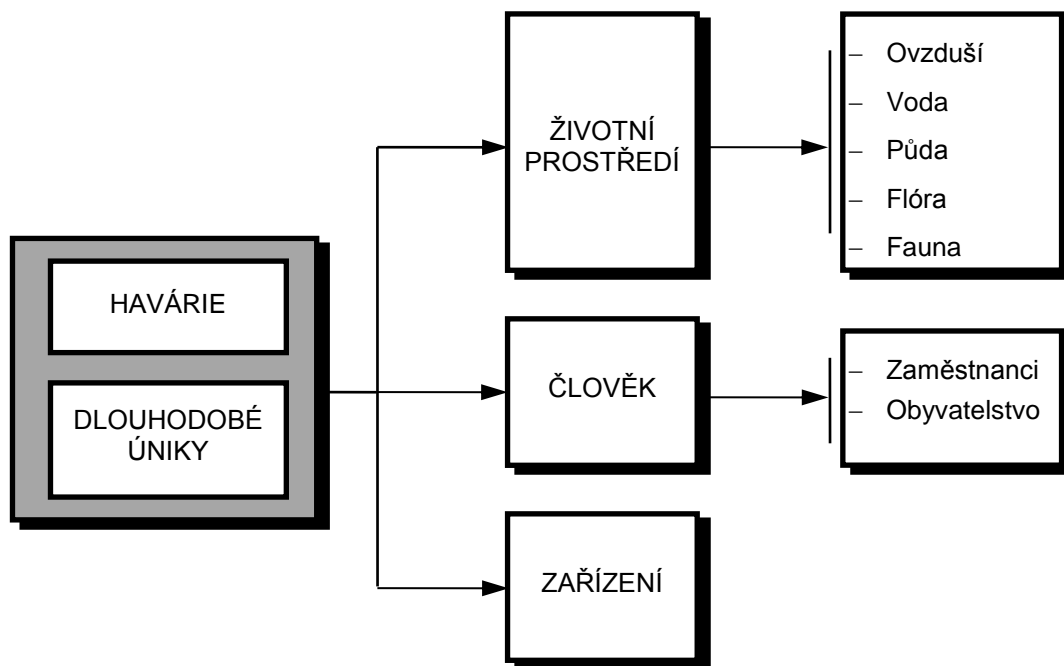
Cílem tohoto učebního textu je stručně seznámit studenty s dynamicky se vyvíjejícím oborem - prevencí závažných havárií. V dnešním technickém světě se objevují průmyslové havárie stále častěji, proto je třeba jejich vzniku předcházet. Tento text stručně shrnuje zkušenosti, poznatky a přístupy k problematice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

V úvodní části jsou shrnuty základní informace z oblasti prevence závažných havárií, především rozbor legislativních předpisů a příklady havárií v minulosti. V další části textu jsou představeny nejčastěji využívané metody hodnocení rizik závažných havárií.

## **2. Úvod do problematiky prevence závažných havárií**

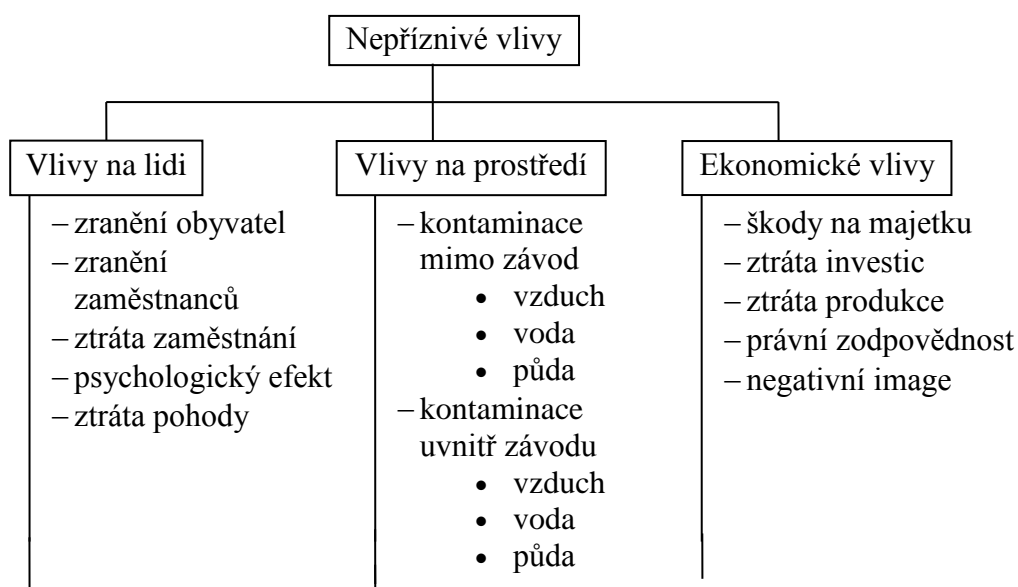
Závažná havárie je definována podle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, jako mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, například závažný únik, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, a vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážnému dopadu na životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat a životní prostředí nebo k újmě na majetku.

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



Obrázek č. 1: Schéma dopadů průmyslové činnosti

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



Obrázek č. 2: Nepříznivé vlivy vyplývající z nebezpečného procesu

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

- z hlediska životů a zdraví lidí:
  - a) úmrtí,
  - b) zranění minimálně 6 zaměstnanců nebo ostatních fyzických osob zdržujících se v objektu nebo u zařízení, pokud jejich hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,
  - c) zranění minimálně jednoho občana mimo objekt nebo zařízení, pokud jeho hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,
  - d) poškození jednoho nebo více obydlí mimo objekt nebo zařízení, které se v důsledku havárie stalo neobyvatelné,
  - e) nutnosti provedení evakuace nebo ukrytí občanů v budovách po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba evakuace nebo ukrytí občanů (počet občanů x doba) přesáhla 500 hodin,
  - f) přerušení dodávky pitné vody, elektrické a tepelné energie, plynu nebo telefonního spojení po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba přerušení dodávky (počet občanů x doba) přesáhla 1 000 hodin,
- z hlediska poškození životního prostředí na:
  - a) území chráněném podle zvláštních předpisů, tj. chráněných územích, vyhlášených pásmech ochrany vodních zdrojů a pásmech ochrany zdrojů minerálních vod o rozloze stejné nebo větší než 0,5 ha,
  - b) ostatním území o rozloze stejné nebo větší než 10 ha,
  - c) toku řeky nebo vodního kanálu o délce stejné nebo větší než 10 km,
  - d) vodní hladině jezera nebo nádrže, které nemají statut vodárenské nádrže podle zvláštního právního předpisu, o rozloze dosahující nebo přesahující 1 ha,
  - e) kolektoru, tj. saturované a nesaturované zóny v místě jímání nebo akumulace podzemních vod, nebo znečištění podzemních vod o rozloze stejné nebo větší než 1 ha,
- z hlediska škod na majetku:
  - a) poškození objektu nebo zařízení původce závažné havárie ve výši stejné nebo převyšující 70 mil. Kč,
  - b) poškození majetku mimo objekt nebo zařízení původce havárie ve výši stejné nebo převyšující 7 mil. Kč,
  - c) závažná havárie vedoucí k následkům mimo území České republiky.

## **2.1. Základní pojmy**

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

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

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

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

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

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

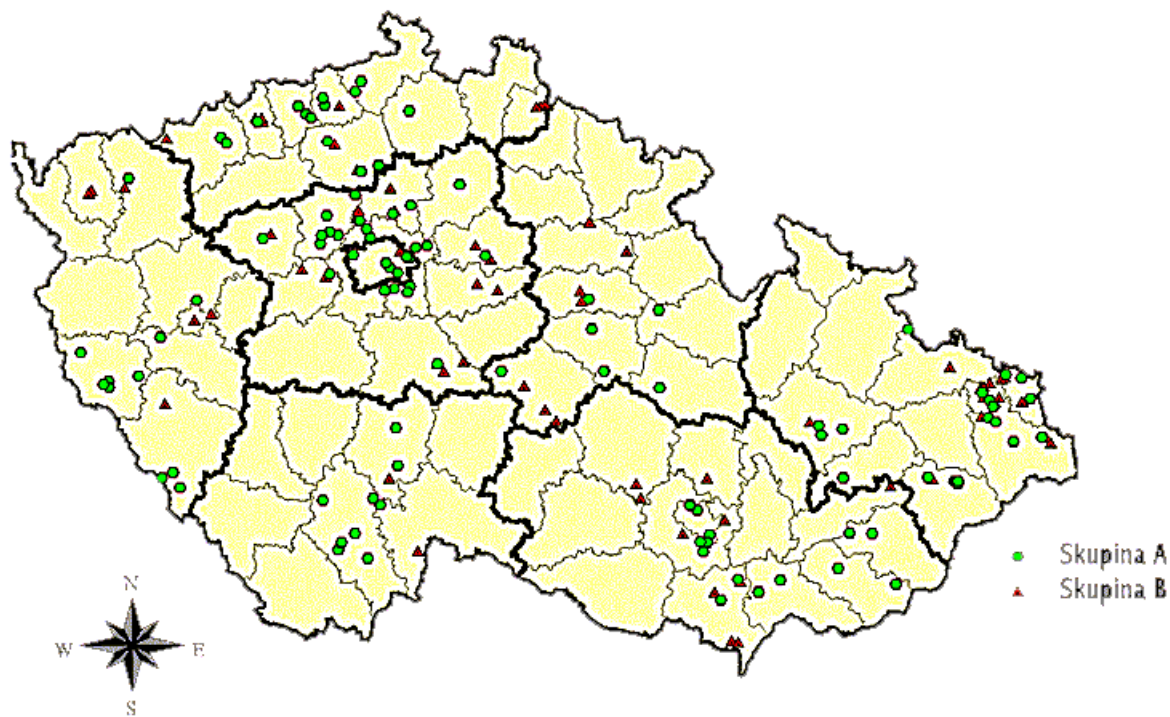
Další důležité pojmy jako scénář, domino efekt, atd. jsou definovány v zákoně o prevenci závažných havárií.

## **2.2. Legislativní rozbor**

Vydávání zákona o prevenci závažných havárií se váže na výskyt velkých průmyslových havárií. Po mnoha haváriích ve světě a především po havárii v italském Seveso (1976) vznikla v Evropském společenství takzvaná Seveso direktiva 82/501/EEC on the Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities. V roce 1996 vyšla novela direktivy Seveso 96/82/EC - Control of Major Accident Hazards Involving Dangerous Substances – známá pod názvem SEVESO II. V roce 2012 proběhla další novelizace této direktivy – SEVESO III.

Právě jako implementace evropské direktivy 96/82/EC - Seveso II byl na konci roku 1999 přijat zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky (dále jen zákon o prevenci závažných havárií). Tento zákon se vztahuje na přibližně 150 průmyslových podniků v ČR (viz Obrázek č. 3) a ustanovuje základní povinnosti provozovatelům těchto objektů. Tento zákon

určuje limity pro zařazení do jednotlivých skupin (skupina A – menší množství nebezpečných látek na území průmyslového podniku; skupina B – větší množství látek) a v průběhu jeho platnosti se provozovatelé přihlašují k povinnostem, které jim tato legislativa ukládá.



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

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

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

Od 1. června 2006 vstoupil v platnost nový zákon o prevenci závažných havárií (**zákon č. 59/2006 Sb.**), který zahrnuje aktuální změny z příslušné legislativy EU a ruší tím platnost zákona č. 353/1999 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Mezi hlavní důvody vypracování nového zákona patří implementace změn ve směrnici Seveso II v roce 2003 (č. 2003/105/ES) jako reakce na závažné havárie minulých let – únik kyanidů z odkaliště dolu v rumunském Baia

Mare (2000), požár skladiště pyrotechnických pomůcek v holandském Enschede (2000) a požár a výbuch ve francouzské továrně na výrobu průmyslových hnojiv v Toulouse (2001). Zákon byl změněn a doplněn v návaznosti na zkušenosti státní správy a provozovatelů objektů získané během 5-ti let působení zákona č. 353/1999 Sb. Z důvodu lepší srozumitelnosti a přehlednosti bylo vypracováno nové znění zákona, ale splnění požadavků existujícího zákona je zcela postačující i pro požadavky nového zákona.

Další novelizace tohoto zákona o prevenci závažných havárií proběhla v roce 2015. V současné době je tedy **aktuální zákon č. 224/2015 Sb.** Hlavní změnou oproti předcházející verzi zákona je sjednocení nové klasifikace nebezpečných látek v celé Evropské unii.

### **2.3. Havárie v minulosti**

Nejznámější velké havárie ve světě:

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

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

SEVESO (Itálie) - 1976, při této havárii došlo k úniku polychlorovaného dibenzodioxinu z reaktoru do ovzduší a k následné kontaminaci okolí (asi 10 km<sup>2</sup>). Příčinou bylo nedodržení standardních provozních procedur před víkendovou odstávkou závodu. Dnes je továrna srovnána se zemí, území je dekontaminováno a po navezení hlíny je zde vybudováno sportoviště.

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

HOUSTON (USA) - 1989, kde v rafinérii ropy došlo k požáru a výbuchu. Bylo zabito 23 dělníků a více než 130 dělníků bylo zraněno. Škody na majetku dosáhly asi 750 milionů USD. Při pravidelné údržbě reaktoru pro výrobu polyethylenu unikl mimořádně hořlavý procesní plyn. Trosky z výbuchu byly nalezeny až 9,7 km od místa exploze.

Závažné havárie se nevyhýbají ani České republice, dokladem toho může být rok 2002, kdy se staly 3 závažné havárie (Spolana, Spolchemie, BorsodChem), které byly hlášeny Evropské unii do střediska MAHB (Major Accident Hazards Bureau) v italské Ispře. Příkladem dalších známých havárií

jsou havárie v Košicích (1996), kde při úniku oxidu uhelnatého zemřelo 9 lidí, havárie v Olomouci (1996), která způsobila smrt 2 lidí po intoxikaci sulfanem, který vznikl únikem kyseliny sírové do kanalizace nebo velký požár v Litvínově (1996), který měl nepříznivý vliv na okolní životní prostředí.

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

#### **PŘÍČINY:**

|   |                        |      |
|---|------------------------|------|
| ➤ | <b>VADY MATERIÁLU</b>  | 48 % |
| ➤ | <b>CHYBA ČLOVĚKA</b>   | 31 % |
| ➤ | <b>CHEMICKÁ REAKCE</b> | 12 % |
| ➤ | <b>JINÉ PŘÍČINY</b>    | 18 % |
| ➤ | <b>VNĚJŠÍ VLIVY</b>    | 7 %  |

#### **NÁSLEDKY:**

|   |                           |      |
|---|---------------------------|------|
| ➤ | <b>TOXICKÉ EMISE</b>      | 21 % |
| ➤ | <b>POŽÁRY</b>             | 21 % |
| ➤ | <b>ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ</b> | 17 % |
| ➤ | <b>EXPLOZE</b>            | 12 % |
| ➤ | <b>ZNEČIŠTĚNÍ VODY</b>    | 45 % |

### ***2.4. Klasifikace nebezpečných látek***

Klasifikace nebezpečných látek se řídí podle zákona o chemických látkách a chemických přípravcích. Klasifikace spočívá v zařazení látky do jedné nebo více skupin nebezpečnosti a na základě výsledků klasifikace se látce nebo přípravku přiřadí donedávna standardní věty označující specifickou rizikovitost (R-věty). V současné době se přechází na klasifikace podle H – vět a nových symbolů sjednocených pro Evropskou unii (označení klasifikace CLP). Mezi hlavní skupiny nebezpečnosti patří:

- Fyzikální nebezpečnost (hořlavost, výbušnost)
- Nebezpečí pro zdraví (toxicita)
- Nebezpečnost pro ŽP (nebezpečnost pro vodní prostředí)





*Přehled symbolů nebezpečnosti podle evropské klasifikace CLP*

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

## **2.5. Bezpečnostní list**

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

Zpracování bezpečnostního listu se řídí vyhláškou. Bezpečnostní list je členěn do 16 povinných kapitol:

1. Identifikace látky nebo přípravku a výrobce nebo dovozce
2. Informace o složení přípravku
3. Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku
4. Pokyny pro první pomoc
5. Opatření pro hasební zásah

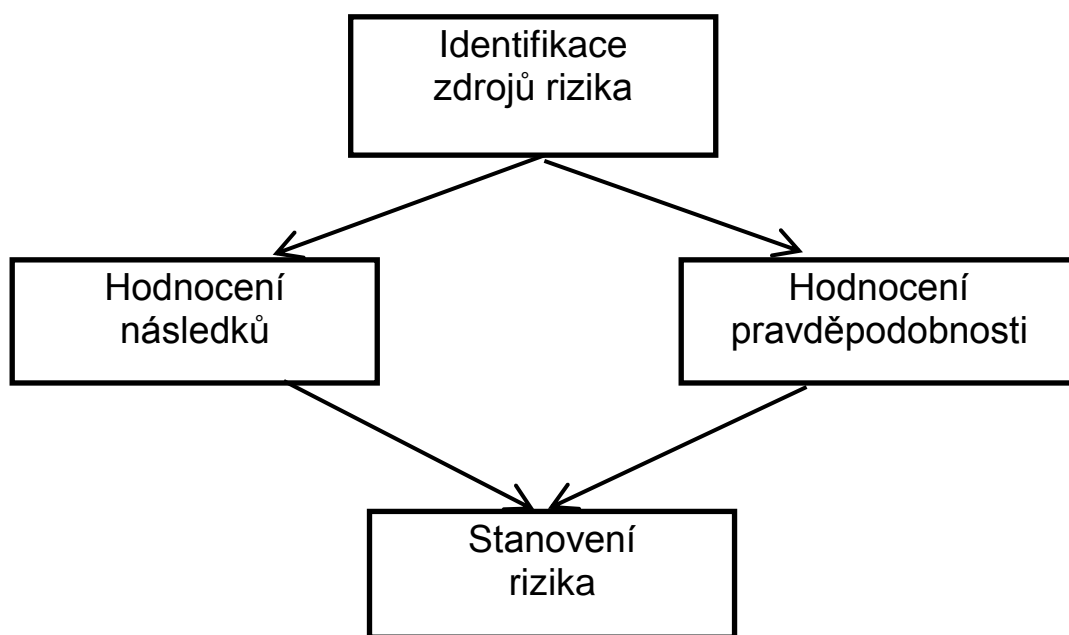
6. Opatření v případě náhodného úniku látky nebo přípravku
7. Pokyny pro zacházení s látkou nebo přípravkem
8. Omezování expozice látkou nebo přípravkem a ochrana osob
9. Informace o fyzikálních a chemických vlastnostech látky nebo přípravku
10. Informace o stabilitě a reaktivitě látky nebo přípravku
11. Informace o toxikologických vlastnostech látky nebo přípravku
12. Ekologické informace o látce nebo přípravku
13. Pokyny pro odstraňování látky nebo přípravku
14. Informace pro přepravu látky nebo přípravku
15. Informace o právních předpisech vztahujících se k látce nebo přípravku
16. Další informace vztahující se k látce nebo přípravku

### **3. Hodnocení rizik**

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

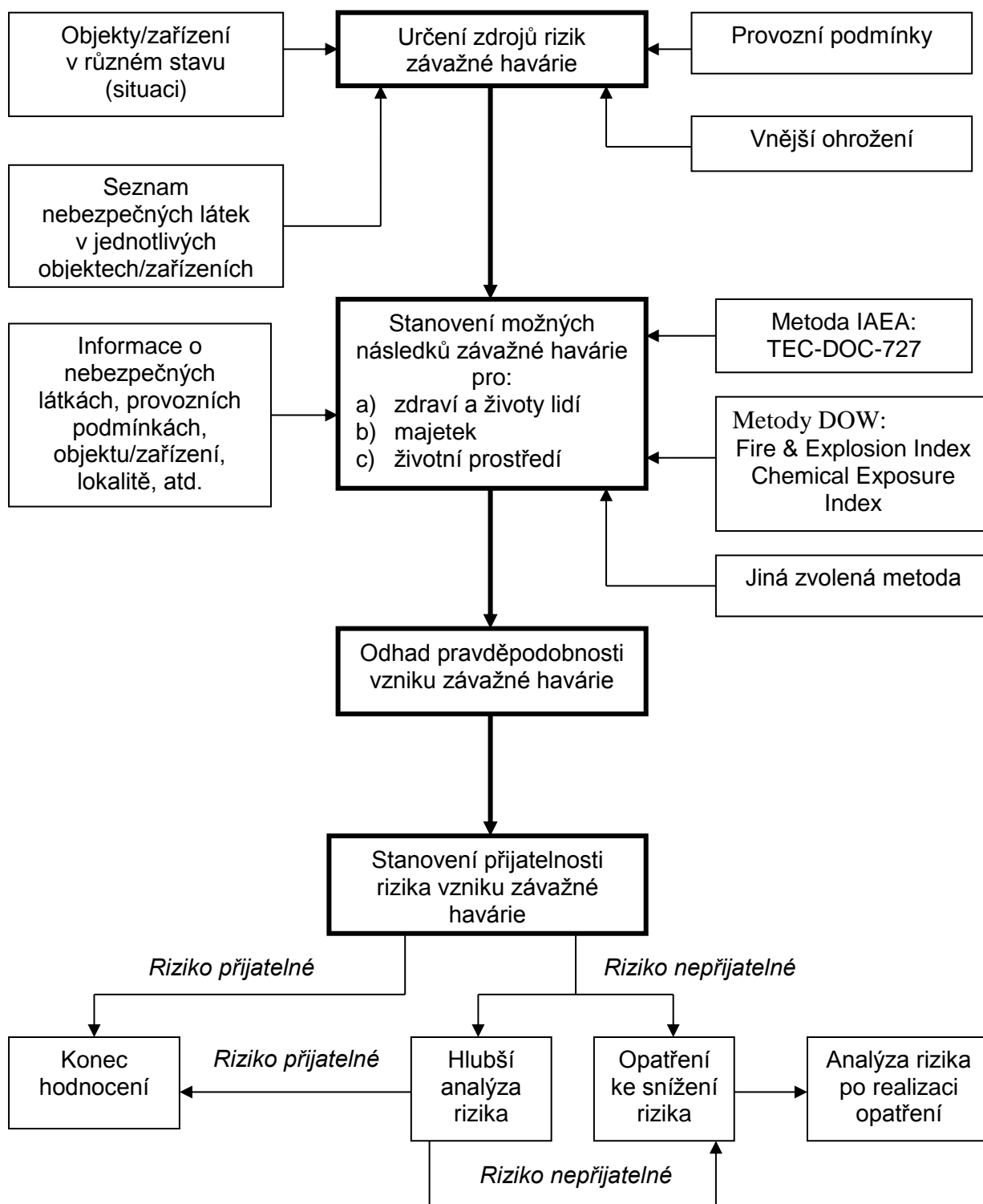
- a) identifikaci zdrojů rizika (nebezpečí),
- b) určení možných scénářů událostí a jejich příčin, které mohou vyústit v závažnou havárii,
- c) odhad dopadů možných scénářů závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek,
- d) odhad pravděpodobností scénářů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

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



*Obrázek č. 4: Základní kroky analýzy rizik [1]*

Na dalším schématu (viz Obrázek č. 5) jsou tyto základní kroky detailně popsány formou doporučeného schématu hodnocení rizik pro podniky zařazené do méně závažné skupiny A.



Obrázek č. 5: Kostra metodologie hodnocení rizik pro zpracování bezpečnostního programu

### 3.1. Dílčí metody analýzy rizik

Výběr vhodné metody pro bezpečnostní studii je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují kvalitu provedení bezpečnostní studie. V praxi je využíváno velké množství metod v různých variantách, ale většinou vycházející jen z několika nejznámějších a nejuznávanějších metod (tabulka č. 2), od kterých se zásadně neliší.

Tabulka č. 1: Přehled nejvyužívanějších dílčích metod

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

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

#### 3.1.1 Indexové metody (RR)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **3.1.2 Revize bezpečnosti (SR)**

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

### **3.1.3 Kontrolní seznam (CL)**

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

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

### **3.1.4 Předběžná analýza ohrožení (PHA)**

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

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

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

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

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

### **3.1.5 Analýza What if (WI)**

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

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

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

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

### **3.1.7 Analýza nebezpečnosti a provozovatelnosti (HAZOP)**

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

### **3.1.8 Analýza příčin a následků poruch (FMEA)**

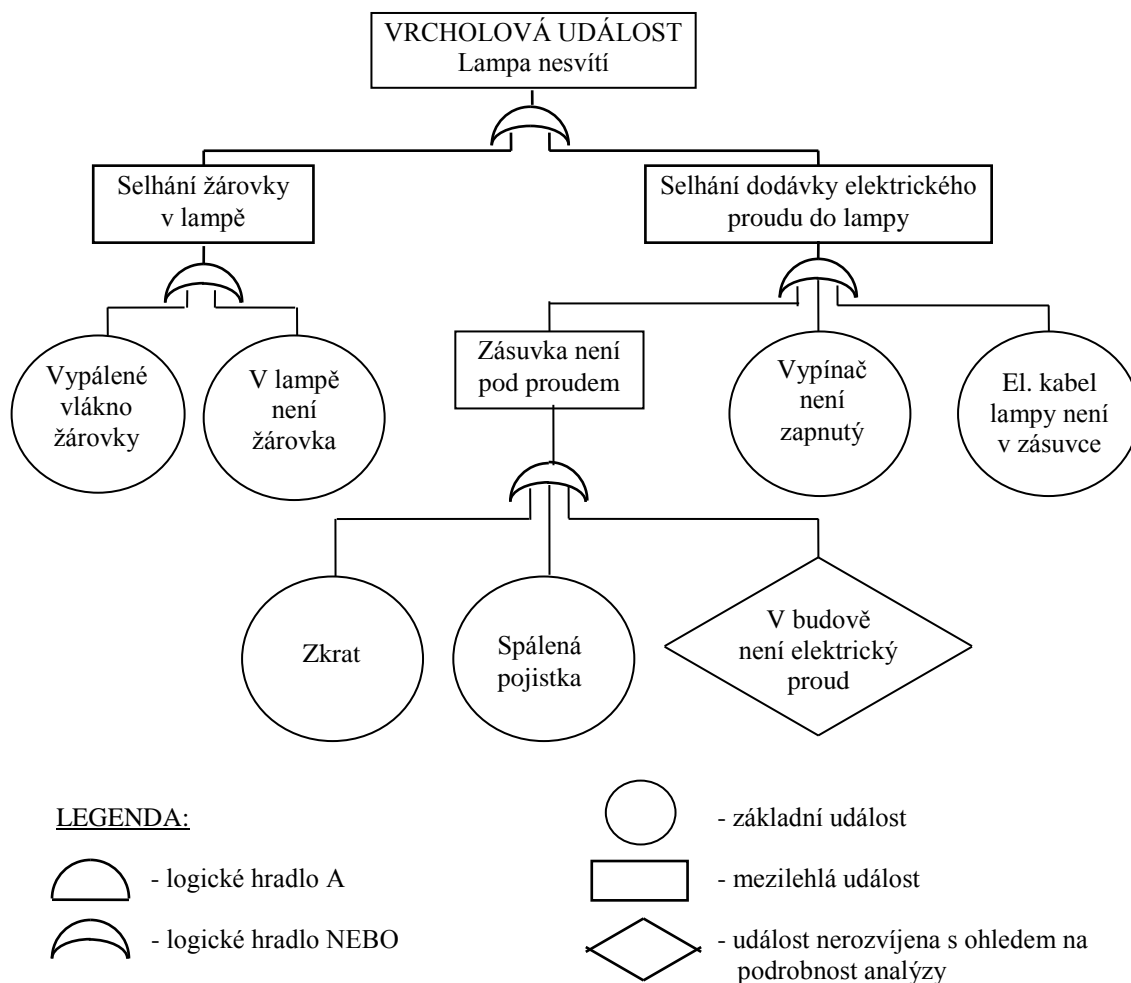
Metoda sestavuje tabulku příčin poruch a jejich následků na systém nebo podnik. FMEA identifikuje jednoduché poruchy, které mohou významně přispívat k havárii, ale nehodí se na vyčerpávající seznam poruch. Je snadno použitelná při změnách a modifikacích procesu. Může být provedena jedním analytikem,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



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

### 3.1.9 Analýza stromem poruch (FTA)

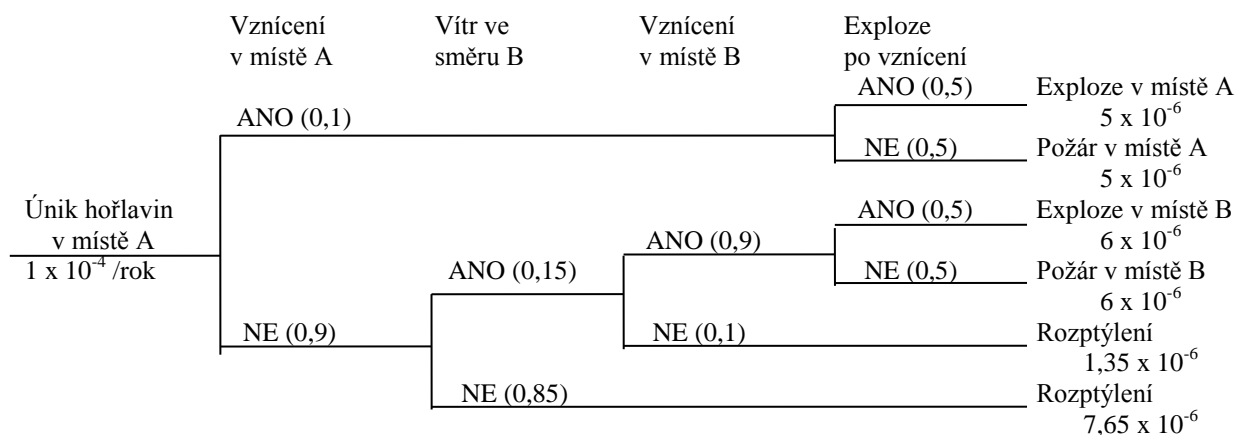
Je deduktivní metoda, která vyhledává jednotlivé havárie nebo systémové poruchy a určuje příčiny těchto událostí. FTA je grafický model různých kombinací poruch zařízení a lidských chyb, které mohou vyústit v hlavní systémovou poruchu nazývanou „vrcholová událost“ (viz Obrázek č. 6). Dobře se hodí i na rozsáhlé systémy, může stanovit úplný výčet minimálních poruch. Model je založen na Booleovské algebře (hradla „a“, „nebo“ a jiné) při vyhledávání minimální poruchy vedoucí k vrcholové události, výsledkem jsou typy poruch a kvantitativně přiřazené pravděpodobnosti poruch systémů, pokud známe pravděpodobnosti primárních příčin. Studii může provádět jeden nebo více analytiků, kteří mohou doporučit bezpečnostní zlepšení procesu. Metoda se nehodí pro rané fáze projektování, je náročná na čas a náročnost se zvyšuje v závislosti na složitosti systému.



Obrázek č. 6: Příklad stromu poruch pro případ selhání lampy [2]

### 3.1.10 Analýza stromem událostí (ETA)

Metoda graficky vyjadřuje možné výsledky havárie vyplývající z iniciační události. Výsledkem jsou havarijní sekvence, řada poruch a chyb vedoucích k havárii (posuzuje se úspěch nebo porucha funkce systému). Havarijní sekvence představují logickou kombinaci událostí, mohou být převedeny do modelu stromu poruch a dále kvantitativně hodnoceny. Je vhodná pro analýzu komplexního procesu, který má několik druhů bezpečnostních systémů. Analýza může být provedena jedním analytikem, ale 2 - 4 analytici jsou často preferováni. Analytici mohou využít výsledky k doporučení pro snížení pravděpodobnosti a/nebo následků potenciálních poruch. Příklad stromu událostí je na Obrázek č. 7, pravděpodobnost úniku hořlavin byla stanovena pro LPG, další větvení pravděpodobnosti je provedeno pro imaginární případ, pro konkrétní situaci je třeba vzít v úvahu místní podmínky a vlastnosti látky. Výsledné pravděpodobnosti nežádoucích událostí jsou dány součinem pravděpodobností na jednotlivých větvích.



Obrázek č. 7: Příklad stromu událostí úniku hořlavin [3]

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

### 3.1.11 Analýza příčin a následků (CCA)

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

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

### 3.1.12 Analýza lidského faktoru (HRA)

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

### 3.2. Výběr dílčí metody podle fáze života zařízení

Výběr nejvhodnější metody je kritický krok zajišťující úspěch analýzy rizik. Specialista hodnotící zdroje rizik by měl mít volnost ve výběru metody, ale jedním z faktorů ovlivňujících výběr metody je i fáze života procesu. V tabulce č. 3 jsou zaznamenány možnosti využití jednotlivých metod v různých fázích života procesu.

Tabulka č. 2: Typické využití dílčích metod analýzy rizik [4]

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

+ běžně využívané

- zřídka využívané nebo nevhodné

## 4. Závěr

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

Proto byl v tomto učebním textu zařazen stručný přehled dostupných metod, které se používají především v úvodních částech analýzy rizik. U těchto vybraných metod je vždy uvedena stručná charakteristika, omezení metody a princip metody.

Cílem tohoto učebního textu bylo představit základní informace z oblasti prevence závažných havárií a analýzy nebezpečí a rizik.

### **Použitá literatura:**

1. Bartlová, I., Balog K.: Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií, Edice SPBI Spektrum 7., Ostrava 1998, ISBN: 80-86111-07-05
2. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis - CPQRA, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989, ISBN 0-8169-0402-2
3. Ferjenčík, M., Nejedlý J.: Metodologie hodnocení míry rizika velkých havárií - Kvantitativní analýza rizika chemických procesů, České ekologické manažerské centrum (CEMC) Praha, 1992
4. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992, ISBN 0-8169-0473-1.