



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

POROVNÁNÍ METOD ANALÝZY RIZIK ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ

COMPARISON OF METHODS FOR RISK ANALYSIS OF MAJOR ACCIDENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH MARADA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK TABAS, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vojtěch Marada

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Porovnání metod analýzy rizik závažných havárií

v anglickém jazyce:

Comparison of methods for risk analysis of major accidents

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je tvorba přehledu metod pro analýzu rizik závažných havárií.

Bakalář řešeršním způsobem zpracuje přehled používaných metod a rozdělí je do skupin podle možného způsobu použití.

Cíle bakalářské práce:

1. Tvorba seznamu používaných metod.
2. Stručná charakteristika jednotlivých metod.
3. Rozdělení metod podle možného způsobu použití.

Seznam odborné literatury:

1. Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií).
2. CROWL, A. D.; LOUVAR, F. J. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. New Jersey: Prentice Hall, 1990. ISBN: 0 – 13 – 129701 – 5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Tabas, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 17.11.2011

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářské práce se zabývá metodami, používanými v bezpečnostním inženýrství pro analýzu rizik závažných havárií, podle zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií ve znění pozdějších předpisů. Práce je rozdělena do tří hlavních částí. První část obsahuje stručný legislativní rozbor zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů a požadavků na provozovatele, které z tohoto zákona vyplývají. Druhá část se zabývá charakteristikou vybraných (v praxi nejčastěji používaných) metod analýzy rizik závažných havárií. Pro každou z uvažovaných metod je uvedena její stručná charakteristika, identifikovány výstupy metody, postup použití a zhodnocení možností použití metody. V závěrečné části práce jsou jednotlivé vzájemně porovnány a je stanovena vhodnost jejich použití pro různé části analýzy rizik závažných havárií.

KLÍČOVÁ SLOVÁ

Prevence závažných havárií, analýza rizik, metody analýzy rizik.

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the methods used in safety engineering for the risk analysis of major accidents, according to Act No. 59/2006 Coll., on the prevention of major accidents, as amended by later regulations. The thesis is divided into three main parts. The first part includes the legislative summary of Act No. 59/2006 Coll. on the prevention of major accidents, as amended by later regulations and requirements for owners, which result from this law. The second part deals with the characteristics of the selected (most commonly used in practise) methods for risk analysis of major accidents. For each of the methods is given its brief characteristic, output, technique of use and appreciation of use. In the final part all the methods are compared and the usability in different parts of the risk analysis of major accidents is specified.

KEYWORDS

Prevention of major accidents, risk analysis, risk analysis methods.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARADA, V. *Porovnání metod analýzy rizik závažných havárií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Tabas, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Porovnání metod analýzy rizik závažných havárií* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marka Tabase, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 25. května 2012

.....
Vojtěch Marada

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Marku Tabasovi, Ph.D. za ochotu, čas a odborné vedení při řešení této práce a za předané znalosti a cenné rady.

Obsah

1. ÚVOD	14
2. PREVENCE ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ – POŽADAVKY/LEGISLATIVA	15
2.1 Zákon č. 59/2006 Sb. – zákon o prevenci závažných havárií	15
2.1.1 Základní pojmy	15
2.1.2 Metodika pro návrh zařazení objektu do skupiny A/B	16
2.1.3 Bezpečnostní dokumentace	18
2.2 Analýza a hodnocení rizik závažné havárie	19
3. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA METOD PRO ANALÝZU A HODNOCENÍ RIZIK PODLE ZÁKONA O PREVENCI ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ	20
3.1 Metoda FEI	21
3.1.1 Postup stanovení F&E Indexu	21
3.1.2 Další výstupy z metody FEI	22
3.1.3 Zhodnocení a využitelnost metody FEI	23
3.2 Metoda CEI	24
3.2.1 Postup stanovení CE Indexu	24
3.2.2 Další výstupy metody CEI	25
3.2.3 Zhodnocení a využitelnost metody CEI	26
3.3 Metoda výběru podle CPR 18E	27
3.3.1 Postup stanovení indikačního a selektivního čísla	27
3.3.2 Zhodnocení a využitelnost metody výběru podle CPR 18E	29
3.4 Metoda What-If	30
3.4.1 Postup metody What-If	30
3.4.2 Zhodnocení a využitelnost metody What-If	31
3.5 Metoda HAZOP	32
3.5.1 Postup metody HAZOP	32
3.5.2 Zhodnocení a využitelnost metody HAZOP	35
3.6 Metoda FMEA	36
3.6.1 Postup metody FMEA	36
3.6.2 Zhodnocení a využitelnost metody FMEA	37
3.7 Metoda FTA	38
3.7.1 Postup metody FTA	38
3.7.2 Zhodnocení a využitelnost metody FTA	38
3.8 Metoda ETA	40
3.8.1 Postup metody ETA	40
3.8.2 Zhodnocení a využitelnost metody ETA	40
4. POROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ METOD PRO ANALÝZU A HODNOCENÍ RIZIK	42
5. ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM PŘÍLOH	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	48

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1. Úvod

Ve všech zemích s rozvinutou průmyslovou výrobou je obyvatelstvo a životní prostředí ohroženo rizikem, jehož zdrojem jsou nebezpečné chemické látky a směsi, které jsou ve výrobním procesu používány, vyráběny nebo v jeho průběhu vznikají. Všeobecně se klade důraz především na ekonomicky co nejefektivnější výrobu, to však v některých případech může vést k zanedbávání bezpečnosti. Jednou z možností, jak eliminovat riziko vzniku závažné havárie v průmyslovém/chemickém podniku, je omezení používání nebezpečných chemických látek a směsí, s ohledem na jejich význam ve výrobním procesu je však zřejmé, že tento přístup je prakticky nerealizovatelný.

Období zvýšeného zájmu o průmyslovou bezpečnost nastalo v 80. a 90. letech minulého století v důsledku několika závažných průmyslových havárií (např. Flixborough – Velká Británie 1974, Bhópál – Indie 1984, Houston – USA 1989). Mezi nejznámější patří havárie z italského Sevesa (1976), při níž došlo k úniku nebezpečného tetrachlordibenzoparadioxinu. Výsledkem byly dlouhodobé negativní dopady na okolní obyvatelstvo a životní prostředí. Ještě v roce 1999 byly v testovaných vzorcích podzemní a pramenité vody v okolí místa havárie zjištěny koncentrace trichlorethylenu 50x vyšší, než jsou bezpečnostní limity a dodnes se v této oblasti rodí děti s genetickým postižením, způsobeným účinky trichlorethylenu.

Na základě těchto průmyslových havárií byla Evropským společenstvím v roce 1976 přijata tzv. SEVESO direktiva 82/501/EEC. Po zkušenostech z implementace direktivy 82/501/EEC a havárií, které následovaly po přijetí této direktivy, byla v roce 1996 vydána direktiva 96/82/EC, tzv. SEVESO II. V současné době je připravována třetí novela této direktivy. V reakci na direktivu SEVESO byl v České republice přijat zákon o prevenci závažných havárií č. 353/1999 Sb., resp. následující novely. V současné době platí zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů, který vychází z direktivy SEVESO II.

Závažné havárie z minulého století významně ovlivnily veřejné mínění, vedly k většímu důrazu na bezpečnost procesů a stály za rozvojem nové odborné disciplíny – bezpečnostního inženýrství. Toto odvětví se stále dynamicky vyvíjí na základě nových poznatků z havárií a také v reakci na zavádění nových technologií a postupů do výroby. Přestože jsou na bezpečnost nových zařízení, uváděných do provozu, kladeny stále přísnější požadavky, zvyšují se současně požadavky na výkon těchto zařízení, tzn. stále tvrdší provozní podmínky (vysoké tlaky, teploty, atd.), což přispívá ke zvýšení nebezpečí vzniku havárie.

Bezpečnostní inženýrství se zabývá identifikací nebezpečí (odhalení potencionálních zdrojů rizika) a hodnocením rizika (určení rozsahu a pravděpodobnosti dopadu havárie). Cílem je odhalení všech zdrojů rizika, minimalizace pravděpodobnosti vzniku závažné havárie a minimalizace dopadu havárie na zdraví osob, zvířat, životní prostředí a majetek tzn. především prevenci v dané oblasti.

Cílem této bakalářské práce je zpracování seznamu a stručná charakteristika vybraných metod, používaných v bezpečnostním inženýrství pro analýzu rizik závažných havárií, rozdělení těchto metod podle způsobů použití a jejich výstupů a návrh vhodnosti použití jednotlivých metod.

2. Prevence závažných havárií – požadavky/legislativa

2.1 Zákon č. 59/2006 Sb. – zákon o prevenci závažných havárií

Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů, zavádí do české legislativy příslušné evropské směrnice o kontrole nebezpečí vzniku závažných havárií. Stanovuje systém prevence závažných havárií pro objekty, ve kterých jsou umístěny nebo zpracovávány nebezpečné chemické látky.

Cílem tohoto zákona je minimalizace rizika vzniku a omezení následků závažných havárií na životy lidí, zvířat, životní prostředí a majetek. Zákon č. 59/2006 Sb. stanovuje povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob, vlastnicích nebo užívajících objekty, kde jsou umístěny nebo zpracovávány nebezpečné chemické látky.

Zákon [1] se nevztahuje na:

- vojenské objekty a zařízení,
- nebezpečí způsobené ionizujícím zářením,
- silniční, drážní, leteckou, vodní, potrubní přepravu vybraných látek, včetně související nakládky, vykládky, přečerpání, dočasného skladování,
- dobývání ložisek nerostů v dolech, lomech, na moři, prostřednictvím vrtů, s výjimkou povrchových objektů,
- skládky odpadu.

Pro účely tohoto zákona je definováno několik základních pojmů, uvedených v následující kapitole.

2.1.1 Základní pojmy [1]

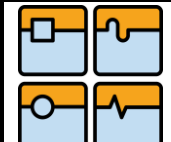
Provozovatel: Právnická osoba nebo podnikající fyzická osoba, která užívá nebo bude užívat objekt nebo zařízení, ve kterém je nebo bude vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována nebezpečná látka.

Objekt: Prostor nebo soubor prostorů, ve kterých je umístěna jedna či více nebezpečných látek v jednom či více zařízeních, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur.

Zařízení: Technická nebo technologická jednotka, ve kterém je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována. Zahrnuje také všechny části nezbytné pro provoz – potrubí, stroje, nákladové prostory, průmyslové dráhy.

Nebezpečná látka: Vybraná nebezpečná chemická látka, uvedená v příloze č. 1 k zákonu č. 59/2006 Sb. ve sloupci 1 tabulky I nebo splňující kritéria stanovená ve sloupci 1 tabulky II a přítomné v objektu nebo zařízení jako surovina, výrobek, vedlejší produkt, zbytek nebo meziprodukt, včetně těch látek, u kterých se dá předpokládat, že mohou vzniknout v případě havárie.

Seznam nebezpečných látek: Seznam, ve kterém je uveden druh, množství, klasifikace a fyzikální forma všech nebezpečných látek, umístěných v objektu nebo zařízení.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Závažná havárie: 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.

Zdroj rizika (nebezpečí): Vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku závažné havárie.

Riziko: Pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností.

Skladování: Umístění určitého množství nebezpečných látek pro účely uskladnění, uložení do bezpečného opatrování nebo udržování v zásobě.

Domino efekt: Možnost zvýšení pravděpodobnosti vzniku nebo velikosti dopadů závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti objektů nebo zařízení a umístění nebezpečných látek.

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 ztrátě kontroly průběhu průmyslového chemického procesu nebo při vzniku závažné havárie.

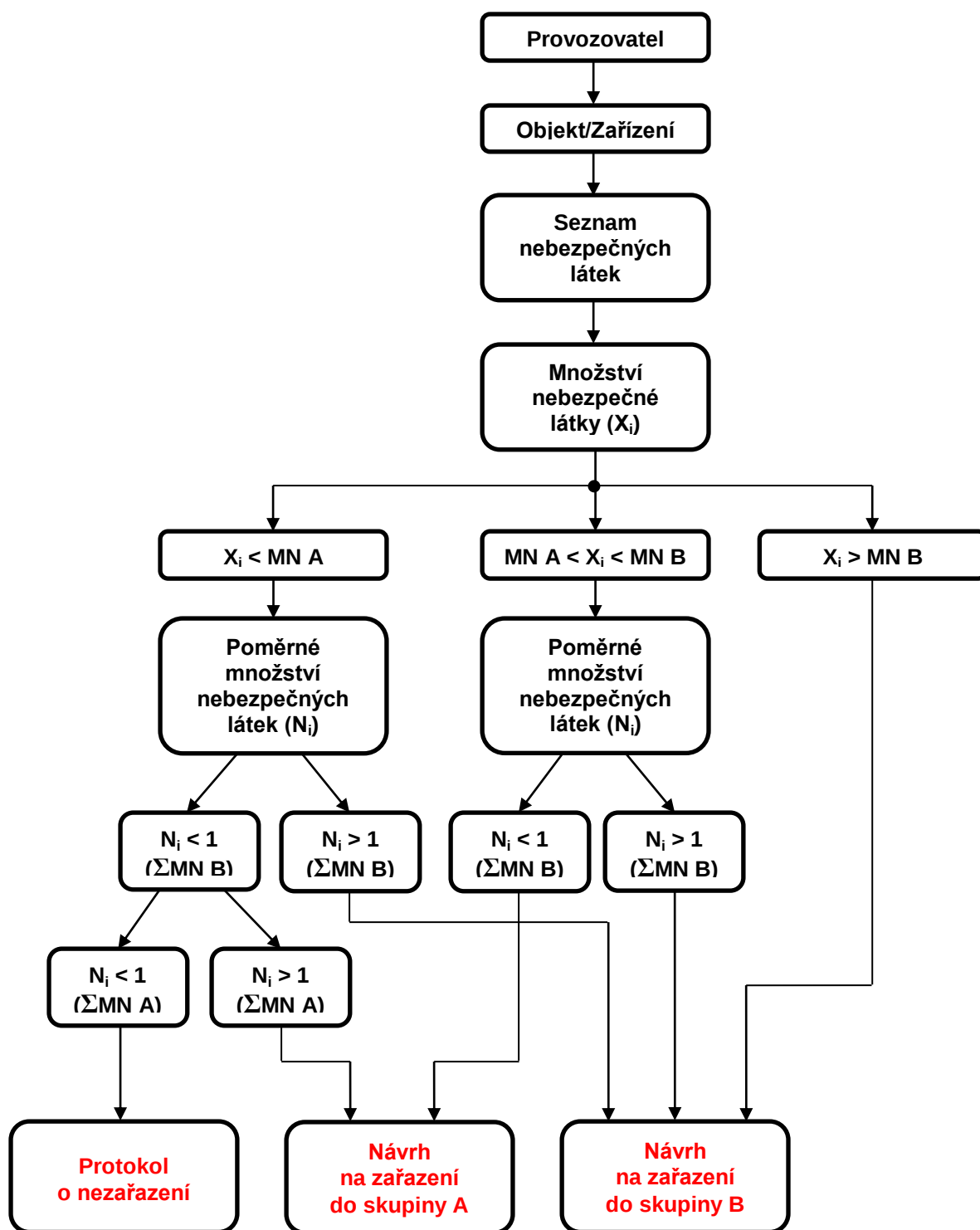
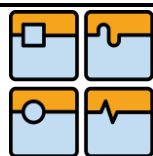
Scénář: Variantní popis rozvoje závažné havárie, popis rozvoje příčinných a následných na sebe navazujících a vedle sebe i posoupně probíhajících událostí, a to buď spontánně probíhajících anebo probíhajících jako činnosti lidí, které mají za účel zvládnout průběh závažné havárie.

Další pojmy jsou uvedeny v zákoně č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných, ve znění pozdějších předpisů.

2.1.2 Metodika pro návrh zařazení objektu do skupiny A/B

Požadavky na provozovatele objektu nebo zařízení s nebezpečnými látkami, definované zákonem č. 59/2006 Sb., závisí na množství a typu nebezpečných látek v objektu. Každý provozovatel musí vypracovat tzv. Návrh na zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo B nebo tzv. Protokol o nezařazení. Tento dokument je posouzen příslušným krajským úřadem, který rozhoduje o konečném zařazení objektu nebo zařízení.

Metodika pro návrh zařazení objektu do některé ze skupin je zřejmá z obrázku Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Metodika zařazení objektu do skupiny A/B

kde: X_i = množství dané nebezpečné látky, $i \in \langle 1, n \rangle$,
 n = celkový počet nebezpečných látek v objektu/provozu,
 $MN A$ = množství nebezpečné látky pro zařazení do skupiny A,
 $MN B$ = množství nebezpečné látky pro zařazení do skupiny B,
(tato množství jsou uvedena v příloze k zákonu č. 59/2006 Sb., viz Příloha 1)

N_i = poměrné množství nebezpečných látek [1], určí se podle následující rovnice (1):

$$N_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_i} \quad (1)$$

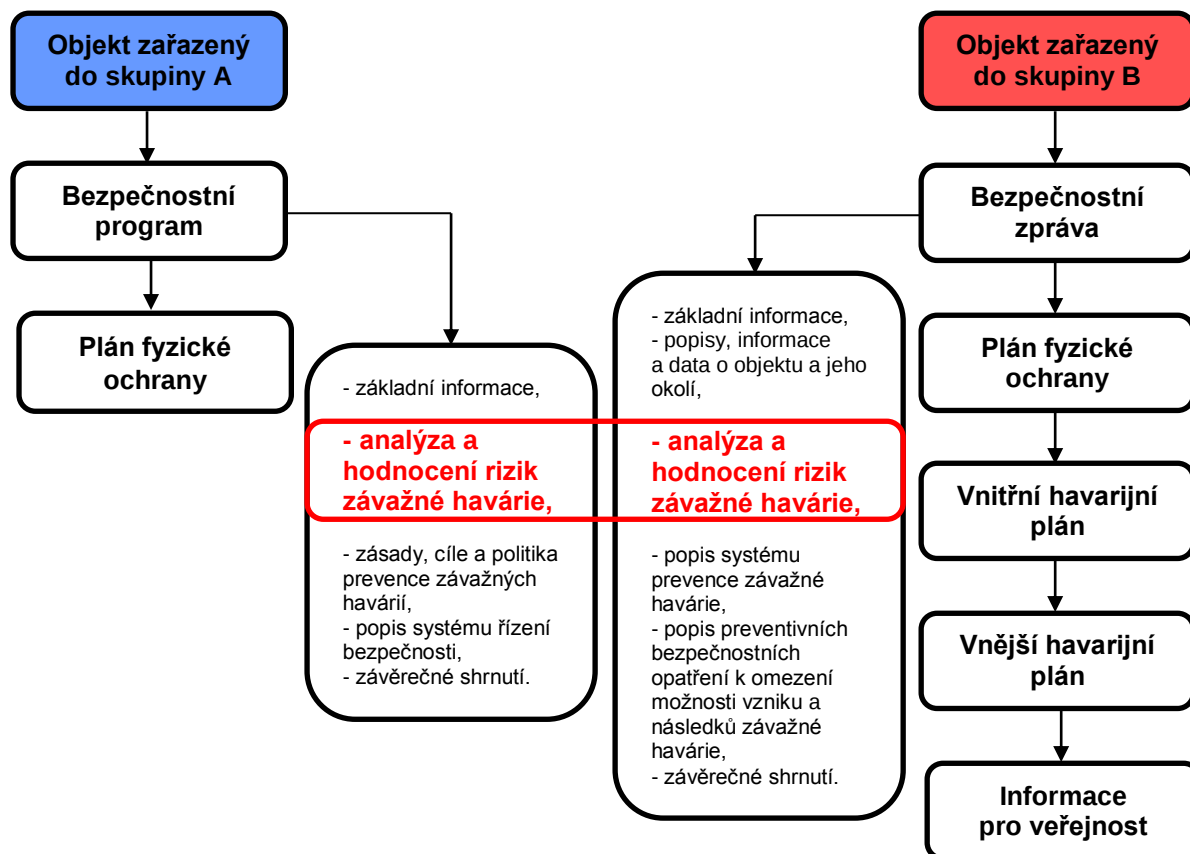
q_i = množství nebezpečné látky i umístěné v objektu/ zařízení,

Q_i = příslušné množství nebezpečné látky, uvedené v příloze k zákonu č. 59/2006 Sb., viz Příloha 1

Detailní obsah Návrhu na zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A/B nebo Protokolu o nezařazení je uveden v zákoně č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných, ve znění pozdějších předpisů.

2.1.3 Bezpečnostní dokumentace

V návaznosti na zařazení objektu do příslušné skupiny je provozovatel tohoto objektu povinen vypracovat bezpečnostní dokumentaci v příslušném rozsahu. Povinnosti provozovatele objektu zařazeného do skupiny A a B jsou zřejmé z obrázku Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Bezpečnostní dokumentace vyplývající ze zařazení objektu do skupiny A a B

Detailní obsah a způsob zpracování jednotlivých dokumentů je uveden v příslušné legislativě – Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných, ve znění pozdějších předpisů, Vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií, atd.

Z obrázku Obr. 2.2 je zřejmé, že jak provozovatel objektu zařazeného do skupiny A, tak do skupiny B musí vypracovat analýzu a hodnocení rizik závažné havárie v příslušném rozsahu.

2.2 Analýza a hodnocení rizik závažné havárie

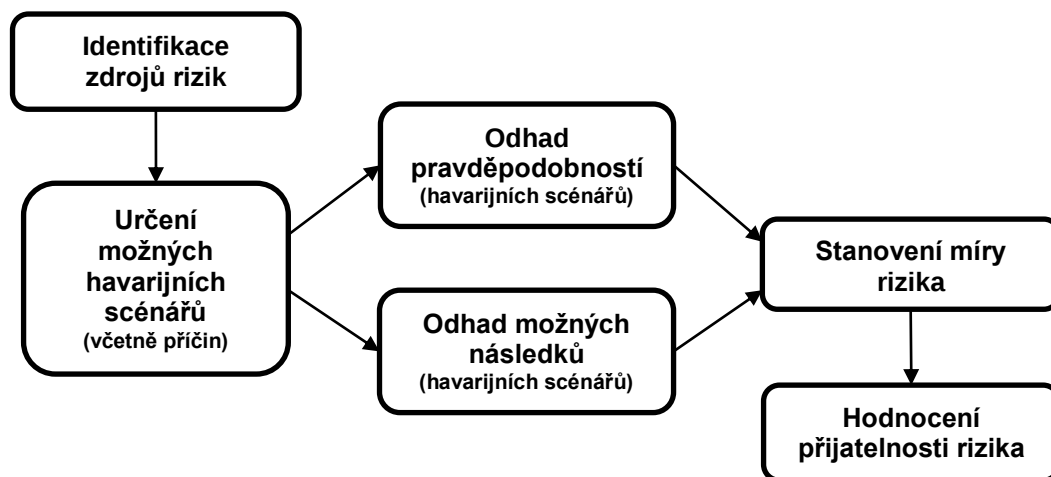
Analýzu a hodnocení rizik závažné havárie je povinen vypracovat provozovatel objektu nebo zařízení, zařazeného do skupiny A/B, podle zákona o prevenci závažných havárií.

Analýza a hodnocení rizik závažné havárie musí obsahovat [1]:

- identifikaci zdrojů rizik,
- určení možných havarijních scénářů, včetně jejich příčin (s nejzávažnějšími dopady na zdraví a životy osob, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek),
- odhad možných následků havarijních scénářů (na zdraví a životy osob, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek),
- odhad pravděpodobností havarijních scénářů,
- stanovení míry rizika,
- hodnocení přijatelnosti rizika.

Součástí analýzy a hodnocení rizik je také hodnocení posouzení domino efektu, posouzení vlivu spolehlivosti lidského činitele, atd. Detailní postup a rozsah analýzy a hodnocení rizik závažné havárie je uveden ve vyhlášce č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií.

Základní schéma postupu analýzy a hodnocení rizik je uvedeno na obrázku Obr. 2.3.



Obr. 2.3 Postup analýzy rizik podle zákona o prevenci závažných havárií

3. Stručná charakteristika metod pro analýzu a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií

Pro jednotlivé části analýzy a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií se používá celá řada metod. Mezi tyto metody patří:

- bezpečnostní prohlídka (Safety Review – SR),
- analýza pomocí kontrolního seznamu (Checklist Analysis – CA),
- metody relativní klasifikace (Relative Ranking – RR),
- předběžná analýza nebezpečí/zdrojů rizika (Preliminary Hazard Analysis – PHA),
- analýza „Co se stane, když ...“ (What-If Analysis),
- studie nebezpečí a provozuschopnosti (Hazard and Operability Analysis/Study – HAZOP),
- analýza způsobů a důsledků poruch (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA),
- analýza stromu poruch (Fault Tree Analysis – FTA),
- analýza stromu událostí (Event Tree Analysis – ETA),
- analýza příčin a následků (Cause-Consequence Analysis – CCA),
- analýza spolehlivosti lidského činitele (Human Reliability Analysis – HRA).

Přehled metod, doporučených ministerstvem životního prostředí, byl publikován ve věstníku MŽP č. 3/2007 [3].

Vzhledem k tomu, že některé používané metody nebyly původně určeny pro analýzu rizik závažných havárií, nelze vždy přiřadit konkrétní metodu ke konkrétní části analýzy a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií. V této práci jsou proto zhodnoceny možnosti využití nejčastěji používaných metod (s ohledem na jejich výstupy) pro jednotlivé části analýzy a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.

Vzhledem k rozsahu bakalářské práce byly uvažovány pouze některé (nejčastěji) používané metody. Jednalo se tyto metody:

- Metoda FEI,
- Metoda CEI,
- Metoda výběru podle CPR 18E,
- Metoda What-If,
- Metoda HAZOP,
- Metoda FMEA,
- Metoda FTA,
- Metoda ETA.

3.1 Metoda FEI

Metoda Fire and Explosion Index – FEI (Index požáru a výbuchu) byla vyvinuta společností Dow's Chemical Company v roce 1994. Jedná se o indexovou metodu, určenou primárně pro identifikaci zdrojů rizik s hořlavými nebo výbušnými látkami. Mimo identifikace zdrojů rizik v průmyslovém areálu, lze pomocí metody FEI také odhadnout možné ztráty způsobené požárem nebo výbuchem posuzovaných provozních jednotek.

Výstupem metody FEI pro každou posuzovanou jednotku je tzv. F&E Index. Podle velikosti tohoto indexu lze posuzované jednotky seřadit podle nebezpečnosti a přiřadit těmto jednotkám stupeň nebezpečnosti podle metody FEI. Jednotlivé stupně nebezpečnosti podle metody FEI jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.1. **Pro hodnotu F&E Indexu > 128 je nutno provést další detailnější analýzu rizika.**

Tab. 3.1 Stupně nebezpečnosti podle metody FEI [4]

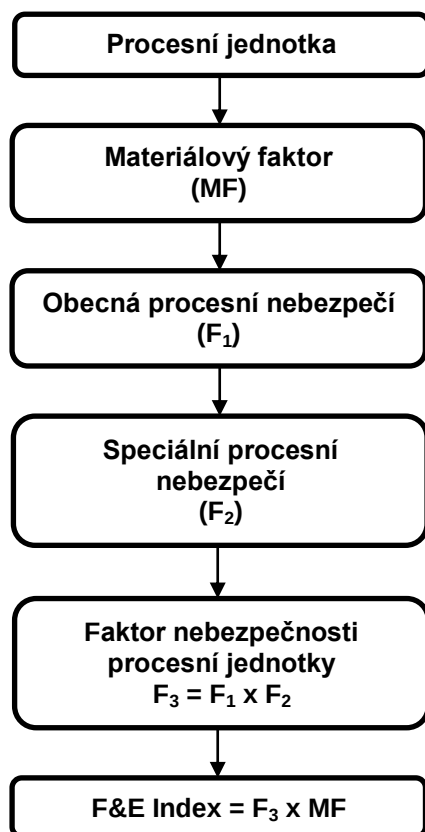
F&E Index	Stupeň nebezpečnosti podle metody FEI
1 - 60	nepatrný, malý
61 - 96	mírný
97 - 127	střední
128 - 158	závažný
159 a vyšší	kritický

3.1.1 Postup stanovení F&E Indexu

Hodnota F&E indexu se určí jako součin tzv. materiálového faktoru MF a faktoru nebezpečnosti procesní jednotky F_3 . Materiálový faktor závisí na vlastnostech látky v posuzované jednotce a vyjadřuje míru potenciální energie, která se může z posuzované jednotky uvolnit při požáru nebo výbuchu. Faktor nebezpečnosti procesní jednotky zohledňuje charakter procesu v posuzované jednotce, provozní podmínky, umístění a přístupnost posuzované jednotky, atd. Celkem se jedná o 18 faktorů (obecná procesní nebezpečí F_1 x speciální procesní nebezpečí F_2).

Jednotlivé faktory jsou stanoveny podle konkrétních podmínek provozu a na základě přírážek, volených podle příručky k metodě FEI. Záznam zvolených přírážek, výpočet jednotlivých faktorů a výpočet F&E indexu je zaznamenáván do charakteristického formuláře.

Postup stanovení F&E Indexu je zřejmý z obrázku Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Postup stanovení F&E Indexu

3.1.2 Další výstupy z metody FEI

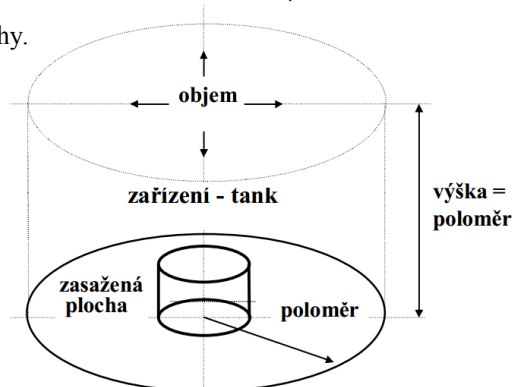
Pomocí metody FEI lze také odhadnout možné ztráty způsobené požárem nebo výbuchem posuzované jednotky. Odhadnout lze:

- velikost zasažené plochy,
- ekonomické ztráty.

Odhad plochy zasažené případným požárem nebo výbuchem posuzované jednotky je pouze orientační a stanovuje se na základě F&E indexu podle rovnice (2). Geometrie zasažené plochy je zřejmá z obrázku Obr. 3.2.

$$r = \text{F\&E index} \times 0,256 \quad (2)$$

kde: r [m] = poloměr zasažené plochy.



Obr. 3.2 Geometrie zasažené plochy [4]

V případě ekonomických ztrát lze pomocí metody FEI odhadnout:

- maximální očekávané ztráty na majetku (MPPD – Maximum Probable Property Damage),
- ztráty způsobené přerušením provozu (BI – Business Interruption).

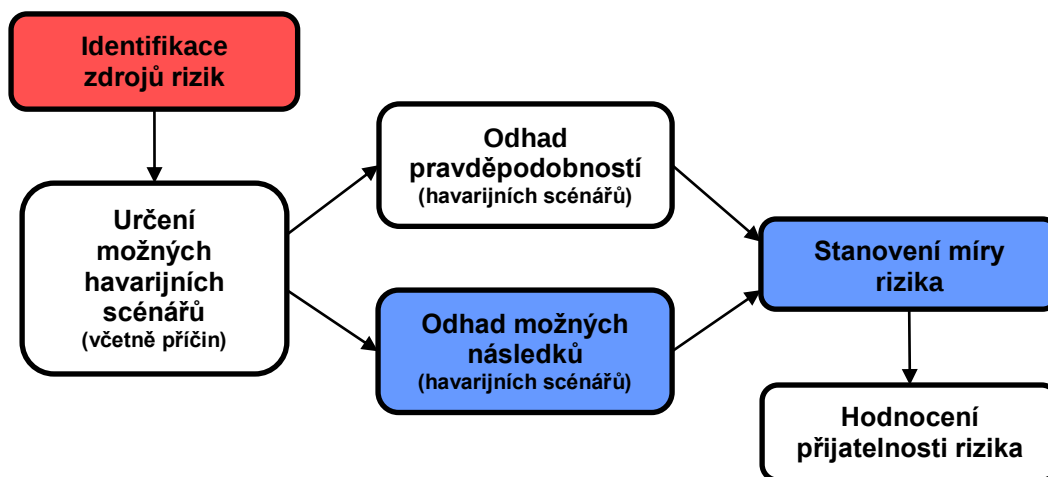
3.1.3 Zhodnocení a využitelnost metody FEI

Zhodnocení a využitelnost metody FEI je zřejmé z tabulky Tab. 3.2. Na obrázku Obr 3.3 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu FEI při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.2 Zhodnocení a využitelnost metody FEI

Klasifikace metody	Nesystematická metoda	
	Screeningová metoda (indexová)	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Identifikace zdrojů rizik	Omezení: - pouze jednotky s hořlavými a výbušnými látkami.
	Odhad možných následků - velikost zasažené plochy případným požárem nebo výbuchem, - ekonomické ztráty: * maximální očekávané ztráty na majetku, * ztráty způsobené přerušením provozu.	Omezení: - pouze jednotky s hořlavými a výbušnými látkami, - odhad zasažené plochy je pouze orientační, - odhad ekonomických ztrát je pouze orientační.
	Stanovení míry rizika - viz tabulka Tab. 3.1.	Omezení: - pouze jednotky s hořlavými a výbušnými látkami, - pouze stupně nebezpečnosti podle stupnice metody FEI,
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - relativně jednoduchá metoda, - široké spektrum využitelnosti viz výše (možnost prezentace srozumitelných výsledků analýzy managementu společnosti), - neustálý vývoj metody.	Zápory: - pouze jednotky s hořlavými a výbušnými látkami, - odhad možných následků je pouze orientační.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.3 Využitelnost metody FEI v analýze a hodnocení rizik

3.2 Metoda CEI

Metoda Chemical Exposure Index – CEI (Index chemického ohrožení) byla, podobně jako předchozí popisovaná metoda (FEI), vyvinuta v roce 1994 společností Dow's Chemical Company. Jedná se o indexovou metodu, určenou pro identifikaci zdrojů rizik s toxickými látkami a pro účely havarijního plánování. Pomocí metody CEI lze také odhadnout dosah toxických mraků (pro určité koncentrace) při úniku z posuzované jednotky.

Výstupem metody CEI je tzv. CE Index. Podle velikosti tohoto indexu lze provést prioritizaci posuzovaných jednotek (zdrojů rizika) s toxickými látkami, avšak nelze rozhodnout o bezpečnosti posuzované jednotky.

3.2.1 Postup stanovení CE Indexu

Hodnota CE Indexu se stanoví z poměru celkového rozptýleného množství toxické látky AQ a koncentrace ERPG-2 (pro toxickou látku v posuzované jednotce). Celkové rozptýlené množství toxické látky je dáno součtem množství této látky odpařené při úniku a odparem této látky z povrchu louže. Při stanovení celkového rozptýleného množství toxické látky je nutné zohlednit charakter posuzovaného zařízení (volba havarijního scénáře), fyzikálně-chemické vlastnosti toxické látky v posuzovaném zařízení a provozní podmínky.

Metoda CEI připouští 4 možné typy úniku toxické látky z posuzovaného zařízení:

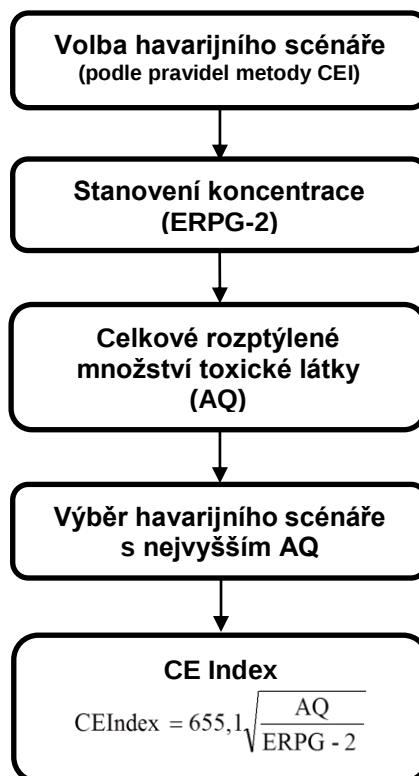
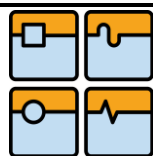
- únik plynné fáze a následný rozptyl toxické látky,
- únik kapalně fáze, tvorbu louže a následný odpar a rozptyl toxické látky z povrchu louže,
- únik kapalně fáze, současný odpar toxické látky při úniku a tvorba louže s následným odparem toxické látky z jejího povrchu (celkové množství odpařené toxické látky je pak dáno součtem obou odpařených množství) a následný rozptyl toxické látky,
- únik kapalně fáze s následným odparem a rozptylem celého unikajícího množství toxické látky (nedochází k tvorbě louže).

Metoda CEI je založena na řadě zjednodušujících předpokladů – doba úniku toxické látky ze zařízení, konstantní meteorologické podmínky (rychlost větru, třída stability ovzduší), atd. Jednotlivé předpoklady a výpočtové vzorce pro stanovení celkového rozptýleného množství toxické látky AQ jsou uvedeny v příručce k této metodě.

Pro stanovení CE Indexu je nutno znát také toxikologické vlastnosti toxické látky v posuzovaném zařízení – koncentrace ERPG-2.

Výsledky jednotlivých výpočtů, nutných pro stanovení CE indexu, jsou zaznamenávány do charakteristického formuláře. Postup stanovení CE Indexu je zřejmý z obrázku Obr. 3.4.

Podle velikosti indexu CE Indexu nelze rozhodnout o bezpečnosti posuzované jednotky, platí však, že **pokud je CE Index > 200, potom jednotka vyžaduje další detailnější posouzení.**



Obr. 3.4 Postup stanovení CE Indexu

3.2.2 Další výstupy metody CEI

Metodou CEI lze také odhadnout dosah toxických mraků pro koncentrace ERPG-1, ERPG-2 a ERPG-3. Jedná se o následující koncentrace:

- ERPG-1: je maximální koncentrace látky ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez výrazných zdravotních změn.
- ERPG-2: je maximální koncentrace látky ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity.
- ERPG-3: je maximální koncentrace látky ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez toho, aby byl smrtelně ohrožený.

Dosahy toxických mraků pro jednotlivé koncentrace tzv. hazard distance HD jsou pouze přibližné a stanovují se podle rovnice (3).

$$HD_x = 6551 \sqrt{\frac{AQ}{ERPG}} \quad (3)$$

kde: HD_x [m] = hazard distance pro jednotlivé koncentrace (ERPG-1, ERPG-2 a ERPG-3),
 AQ [kg/s] = celkové rozptýlené množství toxické látky,
 $ERPG$ [mg/m³] = jednotlivé koncentrace toxické látky v posuzovaném zařízení (ERPG-1, ERPG-2 a ERPG-3).

Pozn.: Pokud je HD_x větší než 10 000 m, pak je $HD_x = 10\,000$ m.

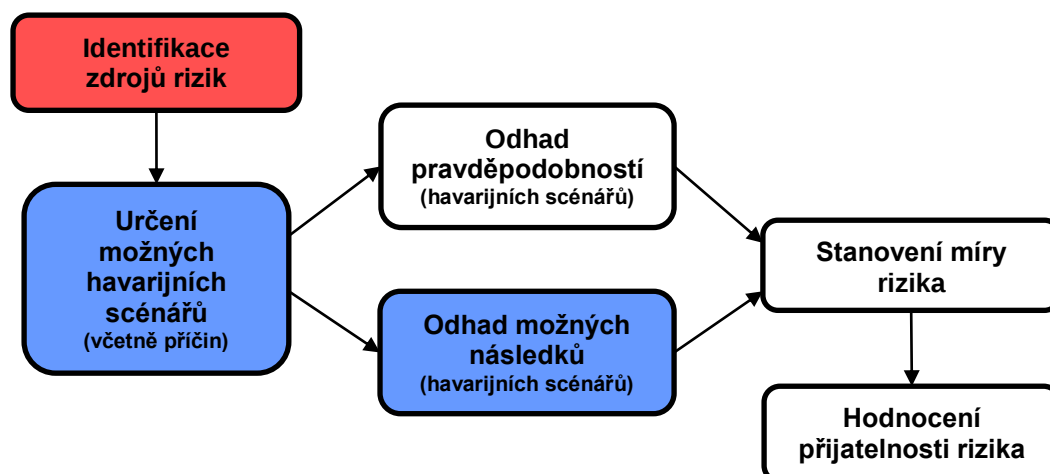
3.2.3 Zhodnocení a využitelnost metody CEI

Zhodnocení a využitelnost metody CEI je zřejmé z tabulky Tab. 3.3. Na obrázku Obr 3.5 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu CEI při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab 3.3 Zhodnocení a využitelnost metody CEI

Klasifikace metody	Nesystematická metoda	
	Screenigová metoda (indexová)	
	Identifikace zdrojů rizik	Omezení: - pouze jednotky s toxickými látkami.
	Určení možných havarijních scénářů - výběr havarijních scénářů podle charakteru posuzované jednotky.	Omezení: - jedná se pouze o výběr možných havarijních scénářů podle pravidel uvedených v příručce metody CEI. Pozn.: Volba jiných než uveřejněných havarijních scénářů je možná, ale závisí pouze na zkušenostech posuzovatele a nikoliv na metodě.
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Odhad možných následků - dosah toxických mraků (tzv. hazard distance – HD) při případném úniku toxické látky.	Omezení: - pouze jednotky s toxickými látkami, - pouze pro koncentrace ERPG-1, ERPG-2 a ERPG-3, - odhad dosahu toxického mraku je pouze přibližný (konstantní meteorologické podmínky, atd.), max. hodnota HD = 10 000 m.
	Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Zápory: - pouze jednotky s toxickými látkami, - odhad dosahu toxického mraku je pouze přibližný, - výsledky metody CEI nelze porovnávat s jinými indexovými metodami (např. metodou FEI), - výsledky metody CEI získané pomocí starších verzí metody CEI nelze porovnávat s novějšími verzemi metody CEI.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.5 Využitelnost metody CEI v analýze a hodnocení rizik

3.3 Metoda výběru podle CPR 18E

Metoda výběru podle CPR 18E byla vyvinuta nizozemským institutem průmyslové bezpečnosti (TNO) a publikována v příručce Guidelines for Quantitative risk assessment – Purple Book CPR 18E. Jedná se o metodu určenou pro identifikaci zdrojů rizik. Použití této metody není omezeno charakterem nebezpečné látky, lze ji použít pro látky toxické, hořlavé i výbušné.

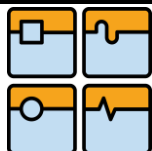
Výstupem metody výběru podle CPR 18E pro každou posuzovanou jednotku je tzv. indikační číslo A, které vyjadřuje míru skutečné nebezpečnosti jednotky. Indikační číslo A se stanovuje v závislosti na množství nebezpečné látky v této jednotce, jejích chemických a fyzikálních vlastnostech a provozních podmínkách. Z indikačního čísla se dále určují tzv. selektivní čísla S, která vyjadřují nebezpečnost posuzované jednotky vzhledem ke zvoleným místům ve vzdálenosti L od jednotky. Podle velikosti indikačních čísel lze provést prioritizaci posuzovaných jednotek (zdrojů rizika), podle selektivních čísel, stanovených k definovaným bodům (hranice posuzovaného objektu, obydlená oblast) a pravidel definovaných v metodě výběru podle CPR 18E, lze provést výběr jednotek pro další detailnější posouzení.

3.3.1 Postup stanovení indikačního a selektivního čísla

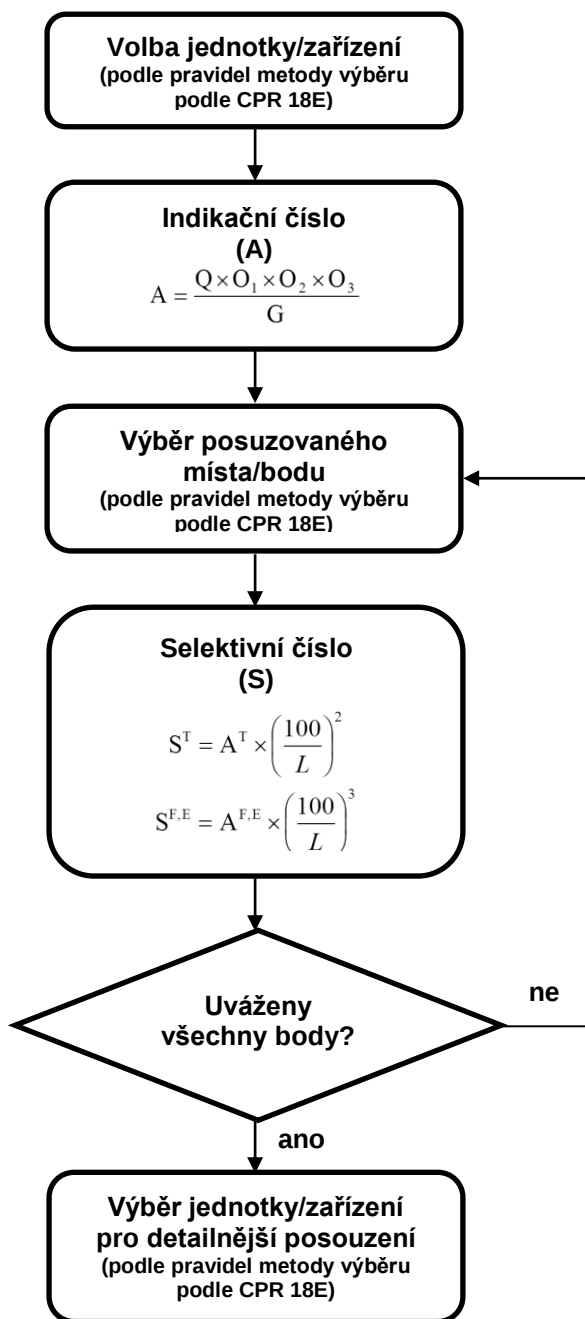
Indikační číslo A se stanovuje jako poměr množství nebezpečné látky v posuzované jednotce Q, vynásobeného třemi faktory (O_1 , O_2 a O_3), reprezentujícími provozní podmínky, a tzv. mezního množství nebezpečné látky G. Mezní množství nebezpečné látky G se stanovuje podle pravidel metody výběru podle CPR 18E a zohledňuje charakter nebezpečné látky v posuzované jednotce (toxická, hořlavá, výbušná látka). Faktory O_1 , O_2 a O_3 zohledňují typ posuzované jednotky (procesní/skladovací), umístění posuzované jednotky (vně/uvnitř budovy, jímka/bez jímky) a provozní podmínky (skupenství nebezpečné látky, tlak par).

Selektivní čísla S jsou stanovována podle charakteru nebezpečné látky v posuzované jednotce a určí se jako součin příslušného indikačního čísla A a faktoru $(100/L)^2$ pro toxické látky nebo $(100/L)^3$ pro látky hořlavé a výbušné, kde L představuje vzdálenost jednotky k posuzovanému místu ($L \geq 100$ m). Podle pravidel metody výběru podle CPR 18E se selektivní číslo pro každou posuzovanou jednotku stanovuje min. v 8 bodech na hranici posuzovaného objektu a v obydlené oblasti nejbližší posuzované jednotce.

Pro detailnější posouzení jsou pak podle pravidel metody vybrány takové jednotky, kde $S \geq 1$ (na hranici posuzovaného objektu nebo obydlené oblasti nejbližší posuzované jednotce). Další upřesňující pravidla pro výběr jednotek pro detailnější posouzení jsou spolu pravidly pro stanovení limitního množství G a volbu faktorů O_1 , O_2 a O_3 uvedeny v příručce metody. Schéma postupu metody výběru podle CPR 18E pro jednu posuzovanou jednotku je znázorněno na obrázku Obr. 3.6.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 3.6 Schéma postupu metody výběru podle CPR 18E pro jednu posuzovanou jednotku

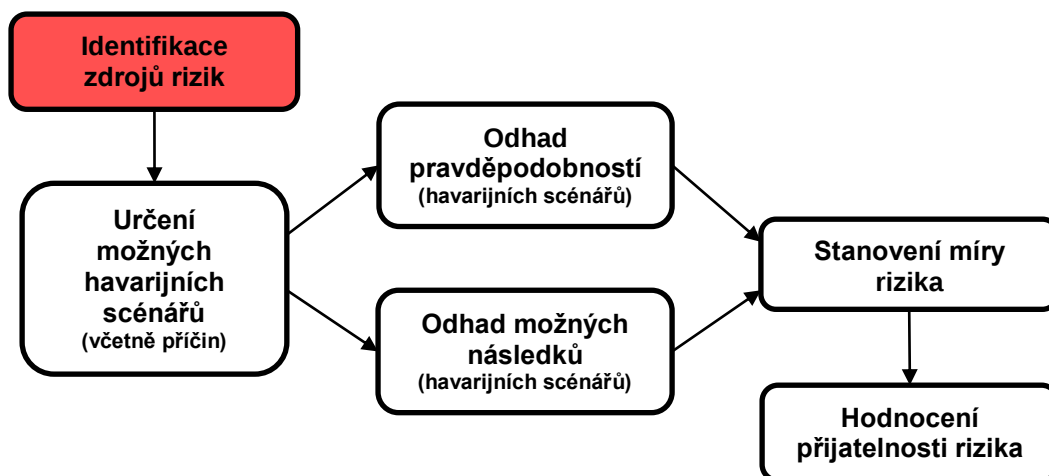
3.3.2 Zhodnocení a využitelnost metody výběru podle CPR 18E

Zhodnocení a využitelnost metody výběru podle CPR 18E je zřejmé z tabulky Tab. 3.4. Na obrázku Obr. 3.7 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu výběru podle CPR 18E při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.4 Zhodnocení a využitelnost metody výběru podle CPR 18E

Klasifikace metody	Nesystematická metoda	
	Screeningová metoda	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Identifikace zdrojů rizik	Pozn.: - lze posuzovat jednotky s toxickými, hořlavými a výbušnými látkami.
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - lze posuzovat jednotky s toxickými, hořlavými a výbušnými látkami, - je uvažován vliv umístění posuzované jednotky v objektu, - při korektní aplikaci metody výběru podle CPR 18E možnost významné časové úspory v navazujících stupních analýzy rizik, - neustálý vývoj metody.	Zápory: - relativně vysoké nároky na odborné znalosti zpracovatele studie metodou výběru podle CPR 18E (volba posuzovaných jednotek, atd.), - aplikační zkušenosti zpracovatele s metodou výběru podle CPR 18E (sběr vstupních údajů, atd.), - úzké zaměření metody (identifikace zdrojů rizik).

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.7 Využitelnost metody výběru podle CPR 18E v analýze a hodnocení rizik

3.4 Metoda What-If

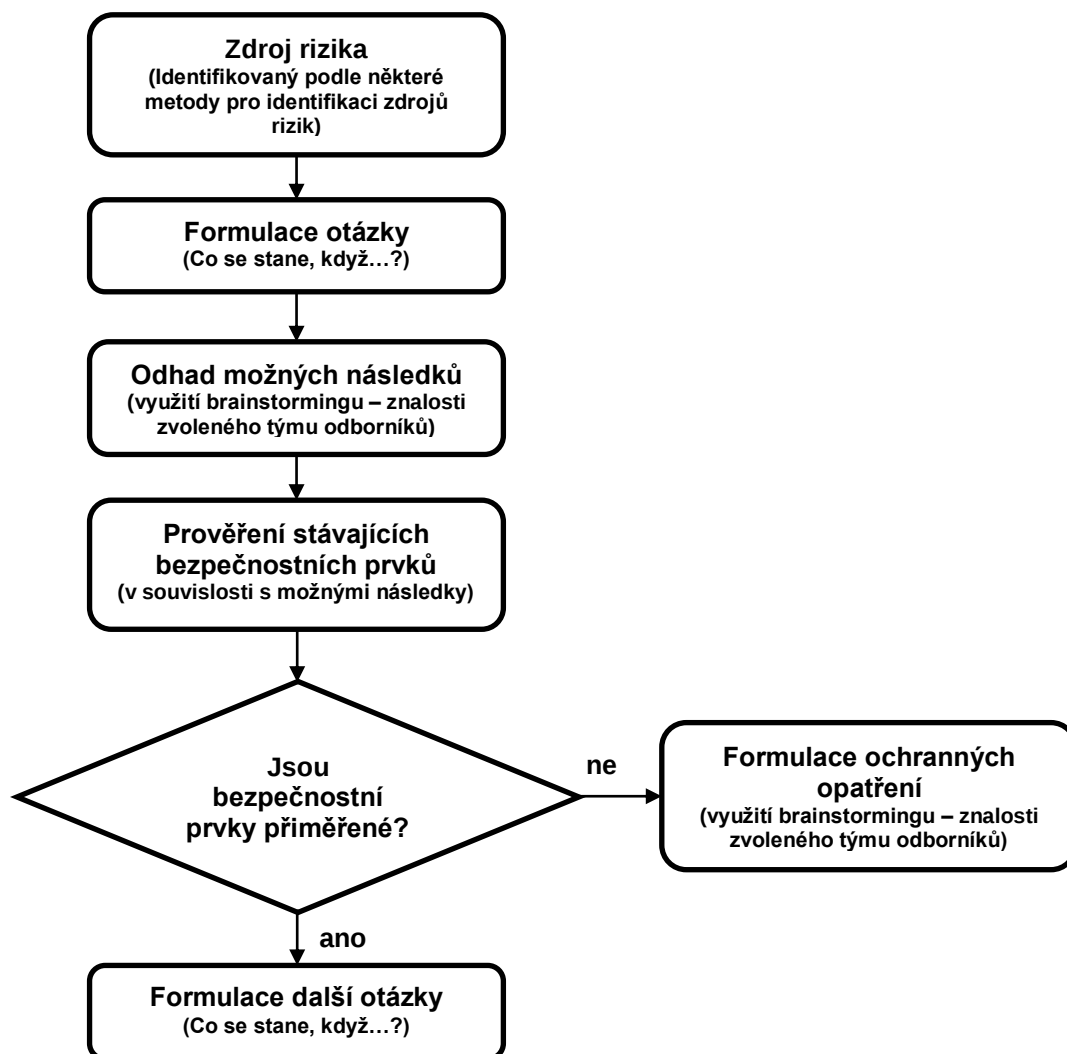
Metoda What-If (What-If Analysis) je nesystematická analytická metoda, určená pro detailní analýzu identifikovaných zdrojů rizik, zaměřená na prověření neočekávaných/nebezpečných událostí, které se mohou na posuzovaném zařízení vyskytnout.

Výstupem metody What-If pro každý posuzovaný zdroj rizika je seznam nebezpečných situací, které mohou vést k nežádoucím následkům, tzn. seznam možných havarijních scénářů. Tato metoda dále umožňuje návrh ochranných opatření pro zabránění vzniku identifikované nebezpečné situace nebo pro zmírnění možných následků.

3.4.1 Postup metody What-If

Metoda What-If je založena na brainstormingu. Vhodně zvolený tým odborníků prověřuje formou otázek a odpovědí možné nebezpečné události, které se mohou na posuzovaném zdroji rizika vyskytnout. Formulované otázky začínají charakteristickým: „**Co se stane, když...?**“ (např.: „Co se stane, když vypadne chlazení v reaktoru?“).

V závislosti na rozvoji jednotlivých scénářů (podle možných následků) jsou doporučovány ochranná opatření. Postup rozvoje jednoho scénáře je znázorněn na obrázku Obr. 3.8.



Obr. 3.8 Schéma postupu rozvoje jednoho scénáře metodou What-If

Výsledky studie jsou zaznamenávány do tabulky nebo formou strukturovaného popisu.

V praxi se setkáváme také s modifikací What-If/Checklist Analysis, která byla vyvinuta spojením metody What-If a metody Checklist (Kontrolní seznam) ve snaze omezit hlavní nevýhodu metody What-If – nesystematický přístup.

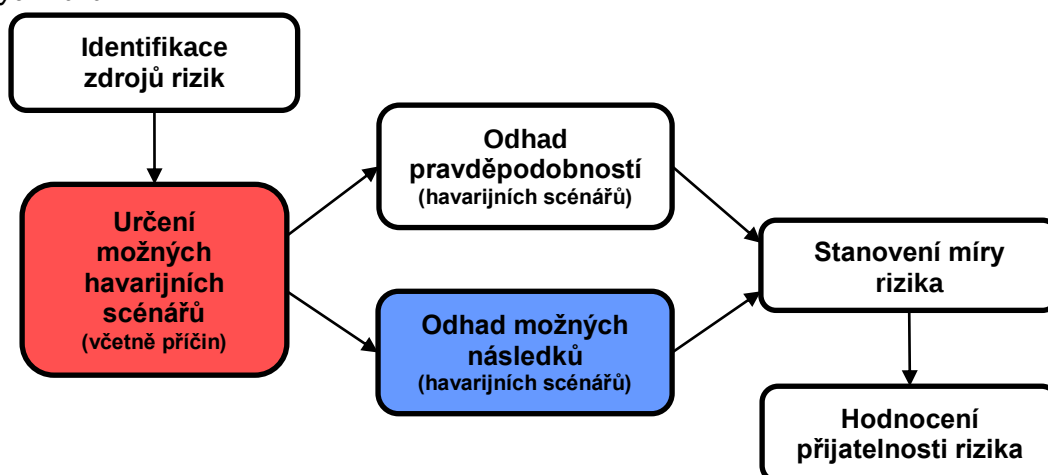
3.4.2 Zhodnocení a využitelnost metody What-If

Zhodnocení a využitelnost metody What-If je zřejmé z tabulky Tab. 3.5. Na obrázku Obr. 3.9 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu What-If při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

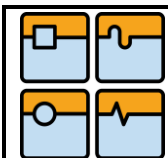
Tab. 3.5 Zhodnocení a využitelnost metody What-If

Klasifikace metody	Nesystematická metoda Metoda kauzálních souvislostí	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Určení možných havarijních scénářů	Omezení: - kvalita výstupů je silně závislá na zkušenostech (provozních/aplikačních) zvoleného týmu odborníků.
	Odhad možných následků	Omezení: - jedná se pouze o kvalitativní odhad následků – rozvoj havarijního scénáře bez navazujícího kvantitativního modelování není možné při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií využít .
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - principiálně jednoduchá metoda, - možnost formulace ochranných opatření (po diskuzi v týmu odborníků), - časově nenáročná, - vysoká efektivita a účinnost metody (v závislosti na zkušenostech (provozních/aplikačních) zvoleného týmu odborníků).	Zápory: - nesystematická metoda $\Rightarrow$ možnost opomenutí některých havarijních scénářů (v závislosti na zkušenostech (provozních/aplikačních) zvoleného týmu odborníků), - vysoké nároky na provozní znalosti jednotlivých členů odborného týmu, - aplikační zkušenosti jednotlivých členů odborného týmu, - úzké zaměření metody (určení možných havarijních scénářů).

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.9 Využitelnost metody What-If v analýze a hodnocení rizik



3.5 Metoda HAZOP

Metoda Hazard and Operability Study (HAZOP) byla vyvinuta v roce 1964 společností ICI Group (Imperial Chemical Industry). V současné době je tato metoda zavedeným standardem a je prověřena léty praktických aplikací. Metoda HAZOP slouží pro podrobnou systematickou analýzu identifikovaných zdrojů rizik se zaměřením na prověření nebezpečných stavů, které se mohou na posuzovaném zařízení vyskytnout.

Výstupem metody HAZOP je detailní identifikace posuzovaného zdroje rizika (v případě složitého technologického/procesního celku) a seznam nebezpečných stavů, které mohou vést k nežádoucím následkům, tzn. seznam možných havarijních scénářů (včetně stanovení příčin/souběhu příčin a odhadu možných následků – rozvoj havarijního scénáře). Tato metoda dále umožňuje návrh opatření pro zabránění vzniku identifikovaného nebezpečného stavu nebo pro zmírnění možných následků.

3.5.1 Postup metody HAZOP

Metoda HAZOP je založena na následujících předpokladech:

- systémový přístup k posuzovanému zdroji rizika (rozdělení složitého systému na jednotlivé subsystémy),
- příčinou vzniku nebezpečného stavu je odchylka od projektovaného (bezpečného) stavu,
- brainstorming.

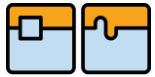
Prvním krokem při analýze metodou HAZOP je rozdělení posuzovaného zdroje rizika (systému) na jednotlivé subsystémy a přiřazení účelu/funkce každému definovanému subsystému.

Dalším krokem je vygenerování jednotlivých odchylek od projektovaného stavu (pro každou funkci každého subsystému) pomocí tzv. klíčových slov. Odchylky se generují připojením klíčového slova k příslušné funkci posuzovaného subsystému. Seznam klíčových slov metody HAZOP je uveden v tabulce Tab. 3.6.

Tab. 3.6 Seznam klíčových slov metody HAZOP

Klíčové slovo	Logický význam	Příklad
není	úplná negace původní funkce	není ohřev
větší	kvantitativní nárůst	větší tlak
menší	kvantitativní pokles	menší tlak
a také/jakož i/a rovněž	kvalitativní nárůst (výskyt ještě jiného případu)	zanášení topného hadu
částečně	kvalitativní pokles	nepřítomnost některé složky
reverze	opačná funkce (činnost)	reverzní tok látky
jiný	úplná náhrada	přítomnost jiné látky
předčasný	předčasná funkce (činnost)	předčasný ohřev
zpožděný	opožděná funkce (činnost)	zpožděný ohřev

Tento postup při správné aplikaci umožňuje vygenerovat prakticky všechny odchylky, které mohou třeba jen teoreticky nastat (systematický přístup).

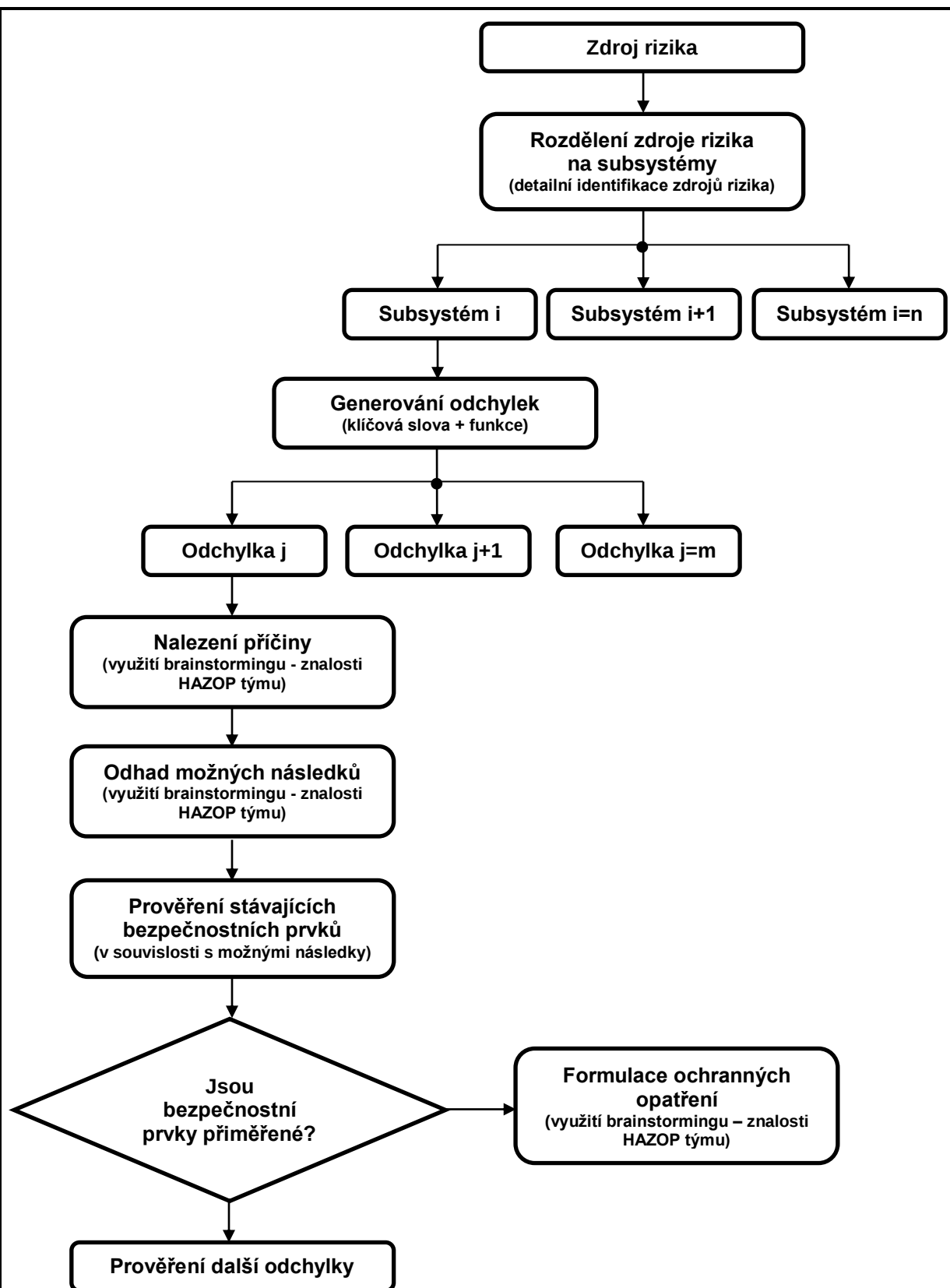
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Dalším krokem metody HAZOP je nalezení příčiny nebo souběhu příčin vedoucích k vygenerované odchylce – HAZOP tým hledá pomocí brainstormingu odpověď na otázku „**Co mohlo způsobit, že...?**“.

Po nalezení možné příčiny následuje rozvoj scénáře směrem k možným následkům – HAZOP tým hledá pomocí brainstormingu odpověď na otázku „**Co se stane, když...?**“.

Posledním krokem při analýze metodou HAZOP je (podle možných následků) formulace opatření pro zabránění vzniku nebezpečného stavu nebo pro zmírnění možných následků.

Výsledky studie HAZOP jsou nejčastěji zaznamenávány do tabulky. Postup metody HAZOP je znázorněn na obrázku Obr. 3.10.



Obr. 3.10 Schéma postupu metody HAZOP

kde: n = celkový počet posuzovaných subsystémů, $i \in \langle 1, n \rangle$,
 m = celkový počet posuzovaných odchylek, $j \in \langle 1, m \rangle$.

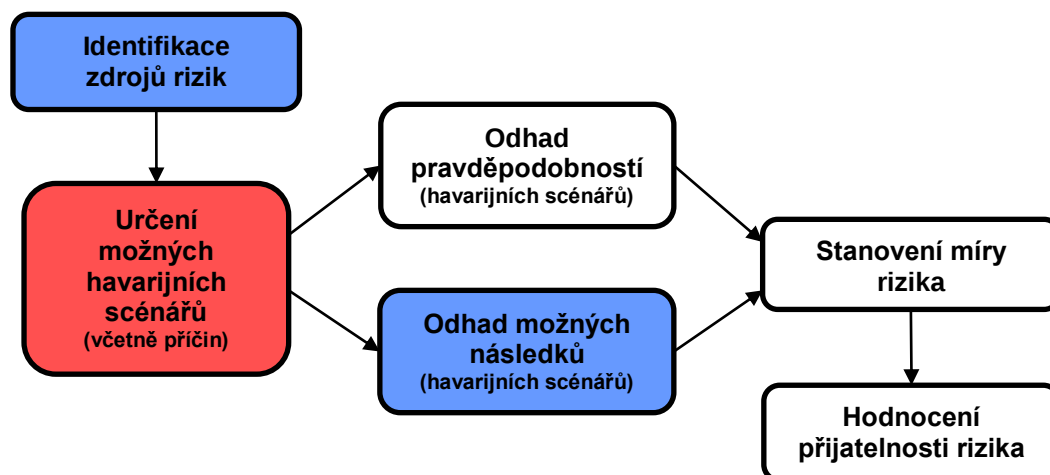
3.5.2 Zhodnocení a využitelnost metody HAZOP

Zhodnocení a využitelnost metody HAZOP je zřejmé z tabulky Tab. 3.7. Na obrázku Obr. 3.11 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu HAZOP při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.7 Zhodnocení a využitelnost metody HAZOP

Klasifikace metody	Systematická metoda	
	Metoda kauzálních souvislostí	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Identifikace zdrojů rizik - detailní identifikace posuzovaného zdroje rizika (rozdělení složitého systému na jednotlivé subsystémy).	Pozn.: - možnost identifikace zdrojů rizik pouze pomocí metody HAZOP je vzhledem časové náročnosti velmi problematické ⇒ vhodná je kombinace s jednodušší metodou pro identifikace rizik. Omezení: - vysoké nároky na odborné znalosti zpracovatele (rozdělení složitého systému na subsystémy, atd.) + aplikační zkušenosti s metodou HAZOP.
	Určení možných havarijních scénářů	Pozn.: - systematický přístup – možnost nalezení všech havarijních scénářů.
	Odhad možných následků	Omezení: - jedná se pouze o kvalitativní odhad následků – rozvoj havarijního scénáře bez navazujícího kvantitativního modelování není možné při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií využít .
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - principiálně jednoduchá metoda, - systematický a důkladný přístup, - možnost formulace opatření (po diskuzi v HAZOP týmu) - možnost použití metody HAZOP v různých oblastech průmyslu (chemický, strojírenský, farmaceutický průmysl, atd.), - možnost využití metody HAZOP při hodnocení spolehlivosti lidského činitele, - možnost využití metody HAZOP pro zvýšení účinnosti posuzovaného zařízení, zvýšení odborných znalostí obsluhy, atd.	Zápory: - časová náročnost analýzy metodou HAZOP, - vysoké nároky na provozní znalosti jednotlivých členů HAZOP týmu, - aplikační zkušenosti vedoucího HAZOP týmu s metodou HAZOP.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.11 Využitelnost metody HAZOP v analýze a hodnocení rizik

3.6 Metoda FMEA

Metoda Failure Modes and Effects Analysis – FMEA (Analýza příčin poruch a jejich následků) je systematická metoda, která byla vyvinuta pro identifikaci poruch průmyslových zařízení, včetně odhadu příčin těchto poruch a možných následků. S ohledem na vlastnosti této metody je použitelná jak při návrhu nových systému, tak při úpravách stávajících (provozovaných) systémů. Metoda FMEA slouží pro podrobnou systematickou analýzu identifikovaných zdrojů rizik se zaměřením na prověření možných poruch, které se mohou na posuzovaném zařízení vyskytnout.

Výstupem metody FMEA je seznam poruch, které mohou vést k nežádoucím následkům, tzn. seznam možných havarijních scénářů (včetně stanovení příčin/souběhu příčin a odhadu možných následků – rozvoj havarijního scénáře). Tato metoda dále umožňuje návrh opatření pro zabránění vzniku identifikované poruchy nebo pro zmírnění možných následků.

3.6.1 Postup metody FMEA

Při analýze metodou FMEA se vychází z funkčního schéma posuzovaného zdroje rizika (systému), rozloženého na jednotlivé prvky (subsystémy), které jsou detailně hodnoceny. Pro každý prvek jsou určeny všechny možné poruchy a kritické stavy, příčiny vedoucí ke vzniku těchto stavů, možnosti detekce kritických stavů, možné následky poruchy a případně navržena doporučení pro zamezení poruchy.

V praxi se analýza metodou FMEA často doplňuje o hodnocení RPN (Risk priority number), které slouží pro prioritizaci jednotlivých identifikovaných scénářů. Index RPN se určí jako součin indexu frekvence, závažnosti a možnosti detekce. Každý z těchto indexů nabývá hodnot 1-10, přičemž hodnota 10 představuje největší nebezpečí. **Při hodnotě RPN > 150 je doporučeno provést nápravná opatření pro zvýšení bezpečnosti.**

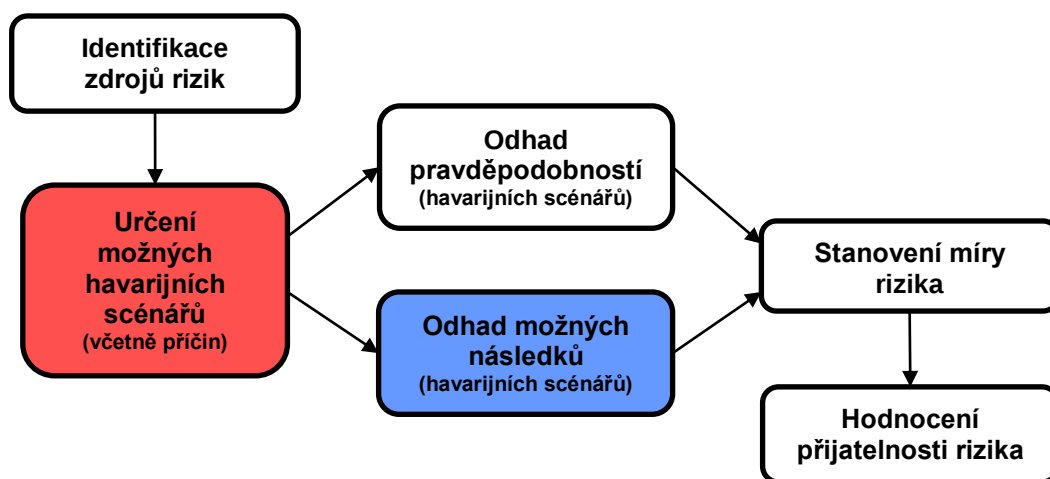
3.6.2 Zhodnocení a využitelnost metody FMEA

Zhodnocení a využitelnost metody FMEA je zřejmé z tabulky Tab. 3.8. Na obrázku Obr. 3.12 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu FMEA při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.8 Zhodnocení a využitelnost metody FMEA

Klasifikace metody	Systematická metoda	
	Metoda kauzálních souvislostí	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Určení možných havarijních scénářů - jedná se o systematický přístup, který vychází z funkčního schématu příslušného systému.	Omezení: - vysoké nároky na odborné znalosti zpracovatele v posuzované oblasti analýzy metodou FMEA.
	Odhad možných následků	Omezení: - jedná se pouze o kvalitativní odhad následků – rozvoj havarijního scénáře bez navazujícího kvantitativního modelování není možné při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií využít .
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - systematický a důkladný přístup, - možnost formulace opatření, - možnost zaměření metody FMEA do různých oblastí průmyslu (chemický, strojírenský, farmaceutický průmysl, atd.).	Zápory: - časová náročnost analýzy metodou FMEA, - vysoké nároky na odborné znalosti (v příslušné oblasti) zpracovatele analýzy metodou FMEA, - nižší efektivita (ve srovnání s metodou HAZOP) určování podrobného seznamu kombinací možných poruch a havarijních scénářů, - omezené možnosti hodnocení vlivu lidského činitele.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.12 Využitelnost metody FMEA v analýze a hodnocení rizik

3.7 Metoda FTA

Metoda Fault Tree Analysis – FTA (Analýza stromem poruch) byla vyvinuta pro potřeby elektrotechnického průmyslu firmou Bell Telephone Laboratories v roce 1962. Díky své univerzálnosti je její využití možné téměř v jakémkoliv odvětví průmyslu, včetně procesního. Jedná se o systematickou deduktivní metodu, používanou v procesním/chemickém průmyslu pro detailní identifikaci příčin, resp. souběhu příčin konkrétního havarijního scénáře a pro odhad pravděpodobnosti vzniku tohoto scénáře.

Výstupem metody FTA je strom poruch, což je logický graf, vycházející z tzv. vrcholové události – Top Event (následek havarijního scénáře) a rozvíjející se podle příčin a okolností, které této události předchází. Jednotlivé prvky stromu poruch jsou spojovány pomocí operátorů booleovské logiky na základě souvislostí mezi jejich příčinami a následky.

3.7.1 Postup metody FTA

Před sestavením stromu poruch je nutné:

- posoudit/vhodně definovat vrcholovou událost (následek posuzovaného havarijního scénáře),
- přesně definovat výchozí stav posuzovaného systému/subsystému,
- definovat podrobnost analýzy metodou FTA (v závislosti na dostupnosti údajů o pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události),
- stanovit okolnosti, které nebudou při analýze metodou FTA uvažovány.

Při sestavování stromu poruch se vychází z vrcholové události (následek posuzovaného havarijního scénáře) a jednotlivé prvky stromu poruch jsou spojovány pomocí operátorů booleovské logiky (AND, OR, atd.).

Úroveň podrobnosti stromu poruch závisí jednak na požadavcích praxe, ale převážně na dostupnosti údajů o pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události $\Rightarrow$ podrobnost analýzy metodou FTA v praxi je ovlivněna dostupností údajů o spolehlivosti prvků.

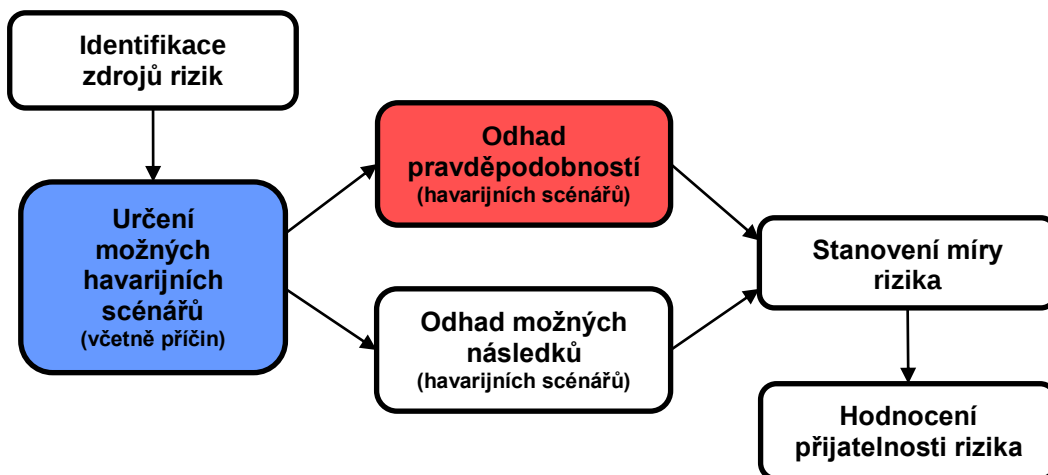
3.7.2 Zhodnocení a využitelnost metody FTA

Zhodnocení a využitelnost metody FTA je zřejmé z tabulky Tab. 3.9. Na obrázku Obr. 3.13 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu FTA při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.9 Zhodnocení a využitelnost metody FTA

Klasifikace metody	Systematická metoda Deduktivní postup	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Určení možných havarijních scénářů - detailní identifikace příčin resp. souběhu příčin pro konkrétní havarijní scénář resp. následek (vrcholovou událost).	Omezení: - vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele (úroveň podrobnosti analýzy – podle dostupnosti údajů o pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události, atd.).
	Odhad pravděpodobností - výpočet pravděpodobnosti vrcholové události (havarijního scénáře) na základě pravděpodobností poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události.	Omezení: - dostupnost a věrohodnost údajů tzn. pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události (odborná literatura).
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - systematická metoda, - možnost využití metody FTA v různých oblastech průmyslu (elektrotechnický, chemický, strojírenský, farmaceutický průmysl, atd.).	Zápory: - časová náročnost (pracnost) analýzy metodou FTA, - vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele analýzy metodou FTA, - podrobnost analýzy metodou FTA je závislá na dostupnosti údajů o pravděpodobnosti poruch jednotlivých, které přispívají k vrcholové události.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.13 Využitelnost metody FTA v analýze a hodnocení rizik

3.8 Metoda ETA

Metoda Event Tree Analysis – ETA (Analýza stromem událostí) byla vyvinuta pro potřeby jaderného průmyslu v reakci na havárii jaderné elektrárny Three Miles Island v roce 1979. Jedná se o systematickou induktivní metodu, používanou v chemickém průmyslu pro detailní rozvoj scénářů, vycházejících z jedné příčiny, s uvažováním bezpečnostních prvků posuzovaného systému a pro odhad pravděpodobnosti vzniku těchto scénářů.

Výstupem metody ETA je strom událostí, což je logický graf, vycházející z tzv. iniciační události – (příčina scénáře) a rozvíjející se směrem k možným (havarijním) následkům, tzv. konečným stavům. Na základě tohoto stromu je možné následně navrhnout modifikaci/doplnění bezpečnostních prvků posuzovaného systému.

3.8.1 Postup metody ETA

Strom událostí systematicky popisuje rozvoj scénářů od známé iniciační události k možným konečným stavům (havarijním následkům). Iniciační událostí může být neočekávaný stav systému (výpadek, porucha), ale také lidská chyba. Analýza metodou ETA se používá u systémů s bezpečnostními prvky, které brání rozvoji posuzované iniciační události. Bezpečnostními prvky se rozumí systémy, umožňující odstavení posuzovaného systému, signalizující možné poruchy nebo také obsluha posuzovaného systému. Má-li iniciační událost přímý důsledek – havarijní stav, je vhodnější použití dříve popisované metody FTA.

Při sestavování stromu událostí je nutno postupovat ve správném pořadí podle funkce bezpečnostních prvků. Dojde-li k ovlivnění události, větví se graf pro úspěšný a neúspěšný zásah.

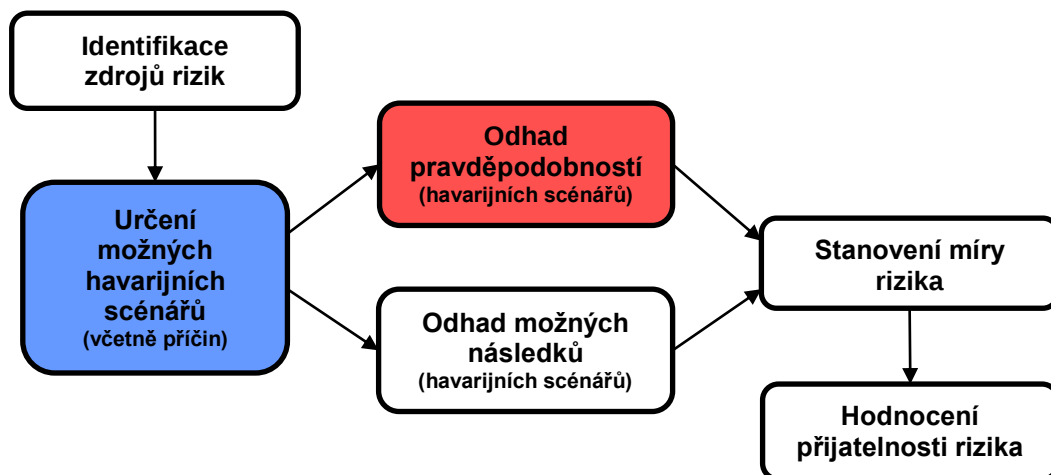
3.8.2 Zhodnocení a využitelnost metody ETA

Zhodnocení a využitelnost metody ETA je zřejmé z tabulky Tab. 3.10. Na obrázku Obr. 3.14 jsou vyznačeny oblasti, ve kterých je možné metodu ETA při analýze rizik využít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití popisované metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít s určitými omezeními.

Tab. 3.10 Zhodnocení a využitelnost metody ETA

Klasifikace metody	Systematická metoda Induktivní postup	
Výstupy z metody (využitelnost metody)	Určení možných havarijních scénářů - detailní rozvoj možných (havarijních) scénářů pro konkrétní iniciační událost (příčinu) s uvážením stávajících bezpečnostních prvků posuzovaného systému.	Omezení: - vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele analýzy metodou ETA.
	Odhad pravděpodobností - výpočet pravděpodobnosti možných konečných stavů (možných (havarijních) následků) na základě údajů o pravděpodobnosti úspěšného/neúspěšného zásahu bezpečnostních prvků posuzovaného systému.	Omezení: - dostupnost a věrohodnost údajů tzn. pravděpodobnost úspěšného/neúspěšného zásahu jednotlivých bezpečnostních prvků posuzovaného systému (odborná literatura).
Zhodnocení metody (postřehy z aplikací metody)	Klady: - systematická metoda, - možnost návrhu modifikace/doplnění bezpečnostních prvků posuzovaného systému, - možnost využití metody ETA v různých oblastech průmyslu (energetický, chemický, průmysl, atd.).	Zápory: - časová náročnost (pracnost) analýzy metodou ETA, - vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele analýzy metodou ETA, - výsledky analýzy metodou ETA jsou závislé dostupnosti a věrohodnosti údajů o pravděpodobnosti úspěšného/neúspěšného zásahu jednotlivých bezpečnostních prvků posuzovaného systému.

Pozn.: Výstupy z metody = výstupy z popisované metody při analýze rizik podle zákona o prevenci závažných havárií.



Obr. 3.14 Využitelnost metody ETA v analýze a hodnocení rizik

4. Porovnání možností metod pro analýzu a hodnocení rizik

Z existujících metod, které lze použít při analýze a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií, byly vzhledem k rozsahu bakalářské práce vybrány pouze ty metody, které patří v praxi k nejčastěji používaným. Při zpracování této bakalářské práce byly uvažovány následující metody:

- Metoda FEI,
- Metoda CEI,
- Metoda výběru podle CPR 18E,
- Metoda What-If,
- Metoda HAZOP,
- Metoda FMEA,
- Metoda FTA,
- Metoda ETA.

Uvažované metody jsou primárně určeny pro identifikaci zdrojů rizik, určení havarijních scénářů a pravděpodobnosti těchto scénářů. Metody a postupy, používané pro další části analýzy rizik (odhad následků, stanovení míry a přijatelnosti rizika), nebyly v této práci rozebírány.

Z vypracovaných charakteristik uvažovaných metod (viz kapitola 3) je zřejmé, že žádná z těchto metod není natolik komplexní, aby mohla být použita ve více částech analýzy a hodnocení rizik podle zákona o prevenci závažných havárií. Použití v jiných částech analýzy rizik, než pro kterou jsou primárně určeny, je u některých metod možné, vždy však s určitými omezeními. Omezením jednotlivých metod může být například jejich použití pouze pro určitý typ nebezpečných látek (FEI – pouze hořlavé a výbušné látky, CEI – pouze toxické látky), nesystematičnost metody (What-If, FEI, CEI) a z toho vyplývající možnost opomenutí některých zdrojů rizika/havarijních scénářů, nebo také vysoká náročnost některých metod na čas nebo odborné znalosti zpracovatele analýzy (HAZOP, FMEA). Z těchto důvodů je nutné vždy pečlivě volit co nejvhodnější kombinaci metod a postupů pro analýzu a hodnocení rizik závažných havárií.

Pro komplexní zpracování analýzy a hodnocení rizik závažných havárií podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, je nutné použití kombinace několika metod. Výběr metod a postup analýzy rizik závisí na požadované přesnosti/hloubce analýzy, typu nebezpečných látek a mnoha dalších faktorech. Příkladem vhodné kombinace může být použití metody výběru podle CPR 18E pro identifikaci zdrojů rizik, kterou lze použít pro všechny typy nebezpečných látek a umožňuje prioritizaci nejnebezpečnějších zdrojů rizika a metody HAZOP, která bude použita pro podrobnou systematickou analýzu vybraných zdrojů rizika. Pro přesné stanovení možných následků je následně nutné použití speciálních modelovacích nástrojů, pro určení míry rizika a hodnocení přijatelnosti rizika zase použití statistických dat a metod pro určení frekvence výskytu závažné havárie a možných ztrát, způsobených touto havárií.

Zhodnocení a využitelnost metod pro analýzu rizik závažných havárií (uvažovaných v této bakalářské práci) je zřejmé z tabulky Tab. 4.1. V tabulce jsou vyznačeny oblasti analýzy rizik závažných havárií, ve kterých je možné jednotlivé metody použít. Červeně jsou vyznačeny oblasti primárního využití metody a modře oblasti, ve kterých je možné metodu využít pouze s určitými omezeními.

Tab. 4.1 Zhodnocení a využitelnost metod pro analýzu rizik závažných havárií

	FEI	CEI	CPR 18E	What-If	HAZOP	FMEA	FTA	ETA
Identifikace zdrojů rizik								
Určení havarijních scénářů								
Odhad pravděpodobnosti scénáře								
Odhad možných následků								
Stanovení míry rizika								
Hodnocení přijatelnosti rizika								

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování seznamu a stručné charakteristiky vybraných metod, používaných v bezpečnostním inženýrství pro analýzu rizik závažných havárií, rozdělení těchto metod podle způsobů použití, jejich výstupů a návrh vhodnosti použití jednotlivých metod.

Některé metody, uvažované v této práci, nebyly primárně vytvořeny pro analýzu rizik podle zákona o prevenci závažných havárií, ale pro interní potřeby podniků nebo různých průmyslových odvětví. Z tohoto důvodu často v praxi dochází k nevhodnému použití metod a tím i k zavádějícím výsledkům prováděné analýzy rizik. Proto je vždy nutné zohlednit možnosti a omezení zvolené metody a uvážit odborné znalosti zpracovatele bezpečnostní dokumentace. Tato bakalářská práce může sloužit jako stručný přehled vlastností, omezení a možností použití zpracovaných metod.

Úvodní část práce byla věnována historickému pozadí vzniku bezpečnostního inženýrství a zavádění legislativních změn, týkajících se prevence závažných havárií, především evropských direktiv SEVESO. Byly prostudovány a zpracovány informace, týkající se platné legislativy v České republice – zákon č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů a vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií. Tyto dokumenty stanovují požadavky na systém prevence závažných havárií pro objekty, ve kterých jsou umístěny nebo zpracovávány nebezpečné chemické látky, definují požadavky na provozovatele těchto zařízení a na bezpečnostní dokumentaci, kterou musí provozovatel vypracovat. Součástí bezpečnostní dokumentace je i analýza rizik závažných havárií.

V další části práce se nachází stručné charakteristiky vybraných metod pro analýzu rizik závažných havárií. V těchto charakteristikách byly uvedeny údaje o vzniku dané metody, popsány možnosti jejího využití, identifikovány výstupy jednotlivých metod (ve vztahu k analýze rizik závažných havárií) a následně podrobněji popsán postup použití, včetně schématického zobrazení. Všechny zjištěné informace byly pro každou metodu shrnuty do přehledné tabulky, ve které jsou uvedeny klady a zápory každé metody, možnost použití a omezení při použití metody pro analýzu rizik závažných havárií a jednoduchého diagramu, ve kterém jsou graficky znázorněny oblasti primárního a sekundárního použití jednotlivých metod v analýze rizik závažných havárií.

V závěrečné části bakalářské práce byly jednotlivé metody porovnány. Byly obecně zhodnoceny možnosti použití a omezení jednotlivých metod. Z výsledků je zřejmé, že pro komplexní analýzu rizik závažných havárií je nutné použití kombinace několika metod analýzy rizik a byl uveden příklad vhodné kombinace metod. Na závěr byly všechny posuzované metody analýzy rizik závažných havárií seřazeny do matice, ve které byly graficky znázorněny možnosti použití jednotlivých metod v různých oblastech analýzy rizik závažných havárií podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií.

Seznam použité literatury

- [1] Česká republika. Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů*, 2. 2. 2006, s. 842–869. ISSN 1211-1244.
- [2] Česká republika. Vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažných havárií. In: *Sbírka zákonů*, 22. 5. 2006, s. 3081–3115. ISSN 1211-1244.
- [3] Česká republika. 4. Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí pro postup při zpracování dokumentu „Analýza a hodnocení rizik závažné havárie“ podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. *Věstník ministerstva životního prostředí*, 2007, 17, 3, s. 1–15. ISSN 0862-9013.
- [4] BABINEC, František. *Bezpečnostní inženýrství: Loss Prevention & Safety Promotion: Učební text*. Brno, 2000.
- [5] Česká republika. Zákon č. 488/2009 Sb., kterým se mění zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií), ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*, 11. 12. 2009, s. 8558–8560. ISSN 1211-1244.
- [6] TABAS, Marek. *Kvalitativní modelování závažných scénářů*. Brno, 2009. 88 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce František BABINEC.
- [7] LÁSKOVÁ, Andrea. *Metodika selekcie zdrojov rizika závažnej havárie*. Brno, 2009. 89 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce František BABINEC.
- [8] SKŘEHOT, Petr et al. *Prevence nehod a havárií: 1. díl: Nebezpečné látky a materiály*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009, 341 s. ISBN 978-80-86973-70-8.
- [9] SKŘEHOT, Petr et al. *Prevence nehod a havárií: 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009, 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.
- [10] *CPR 18E: Guidelines for quantitative risk assessment* [online]. 1st. ed. Den Haag: Sdu, 1999, [250] p. [cit. 2012-05-21]. ISBN 90-120-8796-1. Dostupné z: <http://content.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf>
- [11] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I*. [online]. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006, 86 s. [cit. 2012-05-21]. ISBN 80-866-3489-2. Dostupné z: <http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/040/cs/sys/resource/PDF/skripta-PZH-I.pdf>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [12] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií II.* [online]. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006, 104 s. [cit. 2012-05-21]. ISBN 80-866-3490-6. Dostupné z: <http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/040/cs/sys/resource/PDF/skripta-PZH-II.pdf>
- [13] SLUKA, Vilém. Analýza a hodnocení rizik pro účely zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnost* [online], 2009, roč. 2, č. 4. Dostupný z: http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2009/analyza-rizik_sluka.html. ISSN 1803-3687.
- [14] BERNATÍK, Aleš. Metody hodnocení rizik závažných havárií v podmínkách nezařazených zdrojů rizik. In: *112* [online]. Praha : MV-generální ředitelství HZS ČR, 2006 [cit. 2012-05-21]. Dostupný z: http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/clanky/prevence_havarii/nezarazena_rizika060202.html
- [15] Metody hodnocení rizik. In: *Poradce bezpečnosti a ochrany zdraví 6/2011* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/hodnoceni_rizik120104.html
- [16] PROCHÁZKOVÁ, Dana. Metodiky hodnocení rizik. In: *112* [online]. č. 3, 2004 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/clanky/rizeni_bozp/hodnoceni_rizik040331.html

Seznam příloh

Příloha 1: Minimální množství nebezpečných látek, která jsou určující pro zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo skupiny B a pro sčítání poměrného množství nebezpečných látek.....	49
--	----

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Metodika zařazení objektu do skupiny A/B	17
Obr. 2.2 Bezpečnostní dokumentace vyplývající ze zařazení objektu do skupiny A a B	18
Obr. 3.1 Postup stanovení F&E Indexu	22
Obr. 3.2 Geometrie zasažené plochy	22
Obr. 3.3 Využitelnost metody FEI v analýze a hodnocení rizik	23
Obr. 3.4 Postup stanovení CE Indexu	25
Obr. 3.4 Využitelnost metody CEI v analýze a hodnocení rizik	26
Obr. 3.6 Schéma postupu metody výběru podle CPR 18E pro jednu posuzovanou jednotku	28
Obr. 3.7 Využitelnost metody výběru podle CPR 18E v analýze a hodnocení rizik	29
Obr. 3.8 Schéma postupu rozvoje jednoho scénáře metodou What-If	30
Obr. 3.9 Využitelnost metody What-If v analýze a hodnocení rizik	31
Obr. 3.10 Schéma postupu metody HAZOP	34
Obr. 3.11 Využitelnost metody HAZOP v analýze a hodnocení rizik	36
Obr. 3.12 Využitelnost metody FMEA v analýze a hodnocení rizik	37
Obr. 3.13 Využitelnost metody FTA v analýze a hodnocení rizik	39
Obr. 3.14 Využitelnost metody ETA v analýze a hodnocení rizik	41

Seznam tabulek

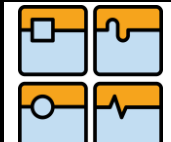
Tab. 3.1 Stupně nebezpečnosti podle metody FEI	21
Tab. 3.2 Zhodnocení a využitelnost metody FEI	23
Tab. 3.3 Zhodnocení a využitelnost metody CEI.....	26
Tab. 3.4 Zhodnocení a využitelnost metody výběru podle CPR 18E	29
Tab. 3.5 Zhodnocení a využitelnost metody What-If	31
Tab. 3.6 Seznam klíčových slov metody HAZOP	32
Tab. 3.7 Zhodnocení a využitelnost metody HAZOP	35
Tab. 3.8 Zhodnocení a využitelnost metody FMEA	37
Tab. 3.9 Zhodnocení a využitelnost metody FTA.....	39
Tab. 3.10 Zhodnocení a využitelnost metody ETA	41
Tab. 4.1 Zhodnocení a využitelnost metod pro analýzu rizik závažných havárií.....	43

Přílohy

Příloha 1: Minimální množství nebezpečných látek, která jsou určující pro zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo skupiny B a pro sčítání poměrného množství nebezpečných látek [1]

Tabulka I – Jmenovitě vybrané nebezpečné látky

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

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poznámka 1 k Tabulce I

Dusičnan amonný (5 000/10 000) - hnojiva schopná samovolného rozkladu.

Používá se pro vícesložková/směsná hnojiva (vícesložková/směsná hnojiva obsahující dusičnan amonný s fosforečnanem a/nebo uhličitanem draselným), u kterých je obsah dusíku z dusičnanu amonného

- 15,75 % hmotnostních (*obsah dusíku z dusičnanu amonného 15,75 % hmotnostních odpovídá dusičnanu amonnému o koncentraci 45 %*) až 24,5 % hmotnostních (*obsah dusíku z dusičnanu amonného 24,5 % hmotnostních odpovídá dusičnanu amonnému o koncentraci 70 %*), a které obsahují celkem více než 0,4 % spalitelných/organických látek nebo splňují požadavky zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.
- 15,75 % hmotnostních (*obsah dusíku z dusičnanu amonného 15,75 % hmotnostních odpovídá dusičnanu amonnému o koncentraci 45 %*) nebo méně a spalitelné látky nejsou omezeny, a které jsou podle mezinárodní úmluvy¹⁾ schopny samovolného rozkladu.

Poznámka 2 k Tabulce I

Dusičnan amonný (1 250/5 000) - jakost pro hnojiva.

Používá se pro hnojiva na bázi dusičnanu amonného a pro vícesložková/směsná hnojiva na bázi dusičnanu amonného, u kterých je obsah dusíku z dusičnanu amonného

- větší než 24,5 % hmotnostních kromě směsí dusičnanu amonného s dolomitem, vápencem a/nebo uhličitanem vápenatým o čistotě alespoň 90 %,
- větší než 15,75 % hmotnostních u směsí dusičnanu amonného a síranu amonného,
- větší než 28 % hmotnostních (*obsah dusíku z dusičnanu amonného 28 % hmotnostních odpovídá dusičnanu amonnému o koncentraci 80 %*), u směsí dusičnanu amonného s dolomitem, vápencem a/nebo uhličitanem vápenatým o čistotě alespoň 90 %,

a které splňují požadavky zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.

Poznámka 3 k Tabulce I

Dusičnan amonný (350/2 500) - průmyslová jakost.

Používá se pro dusičnan amonný a přípravky z dusičnanu amonného, jejichž obsah dusíku z dusičnanu amonného je

- 24,5 % až 28 % hmotnostních a které neobsahují více než 0,4 % spalitelných látek,
- více než 28 % hmotnostních, a které neobsahují více než 0,2 % spalitelných látek,
- vodné roztoky dusičnanu amonného, ve kterých je koncentrace dusičnanu amonného větší než 80 % hmotnostních.

¹⁾ Doporučení OSN pro přepravu nebezpečného zboží: Příručka pro zkoušky a kritéria, část III, pododdíl 38/2.

Poznámka 4 k Tabulce I

Dusičnan amonný (10/50) - materiál nevyhovující požadované specifikaci a hnojiva, která nesplňují požadavky detonační zkoušky.

Používá se pro

materiál vyřazený v průběhu výrobního postupu a dusičnan amonný a přípravky z dusičnanu amonného, hnojiva na bázi dusičnanu amonného a vícesložková/směsná hnojiva na bázi dusičnanu amonného podle poznámek 2 a 3, které se vracejí nebo byly vráceny výrobcí, do dočasného skladovacího nebo zpracovatelského zařízení k přepracování, využití nebo zpracování vedoucím k jejich bezpečnému používání, protože již nevyhovují specifikacím uvedeným v poznámkách 2 a 3;

hnojiva podle první odrážky poznámky 1 a podle poznámky 2, která nesplňují požadavky zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.

Poznámka 5 k Tabulce I

Dusičnan draselný (5 000/10 000) - směsná hnojiva na bázi dusičnanu draselného s dusičnanem draselným ve formě granulí nebo mikrogranulí.

Poznámka 6 k Tabulce I

Dusičnan draselný (1 250/5 000) - směsná hnojiva na bázi dusičnanu draselného s dusičnanem draselným v krystalické formě.

Poznámka 7 k Tabulce I

Polychlorované dibenzofurany (CDF) a polychlorované dibenzodioxiny (CDD).

Skutečné množství jednotlivých polychlorovaných dibenzofuranů (CDF) a polychlorovaných dibenzodioxinů (CDD) se vynásobí koeficienty uvedenými v následující tabulce:

Koeficienty toxických faktorů pro příbuzné látky			
2,3,7,8-TCDD	1	2,3,7,8-TCDF	0,1
1,2,3,7,8-PeDD	0,5	2,3,4,7,8-PeCDF	0,5
		1,2,3,7,8-PeCDF	0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD		1,2,3,7,8,9-HxCDF	
1,2,3,7,8,9-HxCDD		1,2,3,6,7,8-HxCDF	
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01		
OCDD	0,001	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	
		OCDF	0,001
T = tetra, Pe = penta, Hx = hexa, Hp = hepta, O = okta			

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

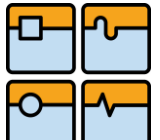
Nebezpečné látky, které jsou klasifikovány jako (viz poznámka 1)	množství v tunách	
	sloupec 1	sloupec 2
1. Vysoce toxické	5	20
2. Toxické	50	200
3. Oxidující	50	200
4. Výbušné (viz poznámka 2) když látka, přípravek nebo předmět patří do podtřídy 1.4 Dohody ADR	50	200
5. Výbušné (viz poznámka 2) když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

Poznámka 1 k Tabulce II

Látky a přípravky se klasifikují podle zákona č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

U látek a přípravků, které nejsou klasifikovány jako nebezpečné podle výše uvedeného zákona, například odpady, ale přesto jsou přítomné nebo by mohly být v závodě přítomné a mají nebo pravděpodobně mají za podmínek existujících v závodě rovnocenné vlastnosti z hledisek potenciálu závažné havárie, se dodržují postupy pro prozatímní klasifikaci v souladu s článkem upravujícím tuto oblast v příslušné vyhlášce.

U látek a přípravků s vlastnostmi, které vedou k více než jedné klasifikaci, se pro účely tohoto zákona použije nejnížší kvalifikační množství. Pro použití vzorce pro sčítání poměrného množství nebezpečných látek, uvedeného v části 2, však kvalifikační množství musí být vždy kvalifikační množství odpovídající příslušné klasifikaci.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poznámka 2 k Tabulce II

„Výbušnými“ se rozumí:

- látka nebo přípravek, u kterých hrozí nebezpečí výbuchu při nárazu, tření, požáru nebo vybuchují jiným zdrojem zapálení (označení specifické rizikovosti standardní větou R2),
- látka nebo přípravek, které představují mimořádné nebezpečí výbuchu nárazem, třením, ohněm nebo vybuchují jinými zdroji zapálení (označení specifické rizikovosti standardní větou R3),
- látka, přípravek nebo předmět zařazené podle Dohody ADR do třídy 1.

Definice zahrnuje pyrotechnické látky, které jsou pro účely tohoto zákona definovány jako látky (nebo směsi látek), které jsou určeny k tvorbě tepla, světla, zvuku, plynu nebo dýmu nebo kombinace těchto efektů prostřednictvím nevýbušné, neuhasínající exotermické chemické reakce.

Látky a předměty třídy 1 jsou podle klasifikačního schématu Dohody ADR zařazeny do podtříd 1.1 až 1.6. Jde o tyto podtřídy:

- Podtřída 1.1 Látky a předměty, které jsou schopné hromadného výbuchu (hromadný výbuch je takový výbuch, který postihuje téměř celý náklad prakticky okamžitě).
- Podtřída 1.2 Látky a předměty ohrožující okolí rozletem střepin a trosek, které však nejsou schopné hromadného výbuchu.
- Podtřída 1.3 Látky a předměty zahrnující v sobě nebezpečí požáru a vykazující malé nebezpečí tlakové vlny nebo malé nebezpečí rozletu střepin nebo malé nebezpečí roztrhání, rozmetání či obě, ale bez nebezpečí hromadného výbuchu,
 - (a) při hoření vykazující výrazné tepelné záření nebo
 - (b) které postupně hoří tak, že vykazují malé účinky působení tlakové vlny nebo střepin nebo obou těchto účinků.
- Podtřída 1.4 Látky a předměty, které v případě zážehu nebo vznícení vykazují jen malé nebezpečí výbuchu. Účinky jsou převážně omezeny na kus bez rozletu úlomků větších rozměrů nebo většího ohrožení okolí. Oheň, působící zevně, nesmí vyvolat prakticky současný výbuch téměř celého obsahu kusu.
- Podtřída 1.5 Velmi málo citlivé látky schopné hromadného výbuchu, které jsou tak znečitlivělé, že pravděpodobnost jejich roznětu nebo přechodu hoření v detonaci je při běžných podmínkách velmi nízká. Jako minimální požadavek pro tyto látky je stanoveno, že nesmějí vybuchovat při zkoušce v ohni.
- Podtřída 1.6 Extrémně znečitlivělé předměty, které nejsou schopné hromadného výbuchu. Předměty obsahují jen extrémně znečitlivělé detonující látky a vykazují zanedbatelnou pravděpodobnost jejich neúmyslné iniciace nebo rozšíření.

Definice také zahrnuje výbušné nebo pyrotechnické látky nebo přípravky v předmětech. Pokud je známo množství výbušné nebo pyrotechnické látky nebo přípravku v předmětu, pak pro účely tohoto zákona se uvažuje toto množství. Pokud množství není známo, pak se pro účely tohoto zákona pokládá takový předmět za výbušný.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 54
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poznámka 3 k Tabulce II

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

- a) hořlavé kapaliny: látky a přípravky, které mají bod vzplanutí vyšší než nebo rovno 21 °C a méně než nebo rovno 55 °C (označení specifické rizikovosti standardní větou R10), podporující hoření;
- b) vysoce hořlavé kapaliny
 - 1) - látky a přípravky, které se mohou zahřát a nakonec vzplanout v kontaktu se vzduchem za okolní teploty bez jakéhokoli přívodu energie (označení specifické rizikovosti standardní větou R17),
 - látky a přípravky, které mají bod vzplanutí nižší než 55 °C a které zůstávají pod tlakem kapalné, u kterých zejména podmínky zpracování jako vysoký tlak nebo vysoká teplota mohou vytvořit nebezpečí závažné havárie,
 - 2) látky a přípravky s bodem vzplanutí nižším než 21 °C, které nejsou extrémně hořlavé (označení specifické rizikovosti standardní větou R11, druhá odrážka písm. b) bod 1).
- c) extrémně hořlavé plyny a kapaliny:
 - 1) kapalně látky a přípravky, které mají bod vzplanutí nižší než 0 °C a bod varu (nebo v případě rozmezí varu počáteční bod varu), který je za normálního tlaku nižší nebo rovný 35 °C (označení specifické rizikovosti standardní větou R12), a
 - 2) plyny, které jsou hořlavé ve styku se vzduchem za okolní teploty a tlaku (označení specifické rizikovosti standardní větou R 12), vyskytující se v plynném nebo nadkritickém stavu, a
 - 3) hořlavé a vysoce hořlavé kapalně látky a přípravky udržované o teplotě nad jejich bodem varu.