

Bezpečnosť chemických prevádzok - závažné priemyselné havárie

Šolc Marek, Ing., PhD., Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, Katedra integrovaného manažérstva

Anotácia

Predkladaný príspevok sa zaoberá problematikou bezpečnosti chemických prevádzok, popisujú sa v ňom všeobecné trendy v oblasti hodnotenia závažných priemyselných havárií, v stručnosti sú popísané charakteristické prejavy typových scenárov, dôsledky závažných priemyselných havárií a aké sú príčiny vzniku závažných priemyselných havárií, stručne popisuje selekciu zdrojov pre kvantitatívne hodnotenie rizika, popisuje ako sa následne odhaduje veľkosť spoločenského rizika, ako sa posúdi prijateľnosť spoločenského rizika a nakoniec, aký je všeobecný trend hodnotenia rizika v oblasti priemyselných havárií.

Kľúčové slová: bezpečnosť, havárie, scenár, následky, riziko.

1. Úvod

Chemický priemysel a priemysel, pri ktorom sa využívajú chemické látky, so sebou neprinášajú len užitočné produkty, bez ktorých by súčasná moderná spoločnosť nemohla fungovať, ale prinášajú aj mnohé riziká, ktoré si bežný spotrebiteľ často nevedomuje. Výroba, spracúvanie, používanie, skladovanie a prepravovanie chemických látok v sebe ukrývajú riziká, ktoré môžu v konečnom dôsledku viesť až k závažnej priemyselnej havárii s vážnymi následkami na život a zdravie ľudí, životné prostredie a majetok.

2. História havárií v podmienkach Českej republiky

Špecifické miesta pri posudzovaní rizika majú postupy, ktoré posudzujú veľké priemyselné havárie. Existuje niekoľko postupov, pomocou ktorých je možné mapovať plošne riziko priemyselnej havárie. Tieto metódy vznikali na základe požiadaviek verejnej mienky, ako aj priemyselnej praxe. Z minulosti vo svete sú známe havárie hlavne z oblasti chémie, plynárenstva, hutníctva a baníctva. Špecifické sú havárie z oblasti jadrového a vojenského priemyslu, ktoré majú osobitné miesto. Stručný prehľad závažných havárií, ktoré vznikli v Českej republike v poslednom desaťročí je v nasledujúcej tabuľke:

Dátum	Podnik resp.organizácia	Stručný popis havárie	Dôsledky závažnej priemyselnej havárie
August 2002	Spolana a.s., Neratovice	Zatopením areálu spoločnosti pri augustových povodniach došlo vplyvom vztaku k uvoľneniu zásobníka a k narušeniu potrubných rozvodov s chlóróm. Došlo k úniku cca 80,8 ton chlóróm, z toho 760kg sa dostalo do ovzdušia	Množstvo uniknutého chlóróm, vplyv na ekológiu, obmedzenie obyvateľstva v okolí
November 2002	Spoločnosť pre chemickú a hutnícku výrobu a.s., Ústí nad Labem	Výbuch s následným požiarom v prevádzke Umelej živice II. Celá prevádzka bola zničená požiarom (cca 80 ton surovín a produktov)	Priame škody na majetku spoločnosti 166,8 mil Kč.
December 2002	BorsodChem-MCHZ s.r.o., Ostrava	Výbuch havarijného zásobníka vo výrobe nitrobenzénu. Havarijný zásobník je určený k odvodu zmesi z drenáží pri odstavení výroby a k zachycovaniu nitračnej zmesi v neštandardných situáciách. Zariadenie bolo odstavené od 24.12.2002	Škody na majetku spoločnosti cca 100mil Kč.
Január 2003	Sellier a Bellot, a.s.	Výbuch pri čerpaní jímky pri objekte výroby traskavej ortuti	Úmrtie
Február 2003	BP Česká republika v.o.s. – tankovište a plniareň Dýšina	Výbuch unikajúceho plynu – PB	Zranenie

Tab. 1 História závažných priemyselných havárií v Českej republike
Tab. 1 History of major industrial accidents in the Czech Republic

3. Legislatíva v oblasti závažných priemyselných havárií (ZPH)

3.1 Európska legislatíva v oblasti závažných priemyselných havárií

V členských štátoch Európskej únie je prevencia závažných priemyselných havárií upravená Smernicami Rady a dohovorom o cezhraničných účinkoch priemyselných havárií.

- *Smernica Rady 82/501/EHS* o veľkých havarijných nebezpečenstvách určitých priemyselných činností (SEVESO I), [1]
- *Smernica Rady 96/82/ES* o kontrole nebezpečenstiev veľkých havárií s prítomnosťou nebezpečných látok (SEVESO II), [2]
- *Rozhodnutie Komisie 1999/314/ES* týkajúce sa dotazníka, ktorý sa vzťahuje na smernicu Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečenstiev veľkých havárií s prítomnosťou nebezpečných látok, [3]
- *Smernica 2003/105/ES Európskeho parlamentu a Rady* dopĺňajúca *Smernicu Rady 96/82/ES* (SEVESO II), [4]
- *Dohovor EHK OSN* o cezhraničných účinkoch priemyselných havárií.

3.2 Legislatíva v oblasti závažných priemyselných havárií v Českej republike

- *Zákon č. 59/2006 Sb.*, o prevencii závažných havárií spôsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami alebo chemickými prípravkami a o zmene zákona č. 258/2000 Sb., o ochrane verejného zdravia a o zmene niektorých súvisiacich zákonov, v znení neskorších predpisov, a zákona č. 320/2002 Sb., o zmene a zrušení niektorých zákonov v súvislosti s ukončením činnosti okresných úradov, v znení neskorších predpisov, (zákon o prevencii závažných havárií), [5]
- *Vyhláška č. 103/2006 Sb.*, o stanovení zásad pre vymedzenie zón havarijného plánovania a o rozsahu a spôsobe vypracovania vnútorného havarijného plánu, [6]
- *Vyhláška č. 250/2006 Sb.*, ktorou sa stanoví rozsah a obsah bezpečnostných opatrení fyzickej ochrany objektov alebo zariadenia zaradené do skupiny A alebo do skupiny B, [7]
- *Nariadenie vlády č. 254/2006 Sb.*, o kontrole nebezpečných látok, [8]
- *Vyhláška č. 255/2006 Sb.*, o rozsahu a spôsobe spracovania hlásenia o závažnej havárii a konečnej správy o vzniku a dopadoch závažnej havárie, [9]
- *Vyhláška č. 256/2006 Sb.*, o podrobnostiach systému prevencie závažných havárií. [10]

4. Prejavy a dôsledky závažných priemyselných havárií

Prejav potenciálu spôsobiť nežiadúce následky (uplatnenie zdroja rizika) predstavuje priemyselnú haváriu, vyznačujúcu sa priebehom fyzikálnych a chemických procesov, nepriaznivo pôsobiacich na svoje okolie hlavne vplyvom tepelnej radiácie, pretlakovej vlny, alebo nebezpečnej koncentrácie toxickkej látky a v konečnom dôsledku vyvolávajúcej škody. Dôsledky typu požiar, výbuch, toxický mrak, nerozlišujú vlastnicke pomery v podniku. [11] Rast kapacít výrobných jednotiek, zavádzanie technológií s extrémnymi pracovnými podmienkami, kde je predpoklad zvýšeného nebezpečenstva úniku toxických, horľavých a výbušných látok, kladie náročnejšie požiadavky v oblasti zabránenia vzniku havárií. V chemickom priemysle, kde sú riziká najmarkantnejšie, možno havárie resp. mimoriadne udalosti rozdeliť do niekoľko dominantných skupín:

- a. mechanické poškodenie a zrútenie objektov,
- b. dopravné nehody,
- c. popálenie žieravinami,
- d. únik toxických látok spôsobujúcich otravu,
- e. požiare,
- f. výbuchy,
- g. uvoľnenie významných toxických látok.

Práve posledné tri uvedené skupiny môžu spôsobiť nárast závažných havárií so značnými následkami – mnohonásobné smrteľné nehody a závažné environmentálne udalosti. [12]

5. Charakteristické typové scenáre (požiare, výbuchy, uvoľnenie toxických látok)

Požiare sú udalosti, ktoré doprevádzajú ľudstvo od okamžiku, odkedy si ľudia začali budovať obydlia z horľavých materiálov a požiare stále patria medzi najobávanejšie nešťastia. Požiar je najčastejším typom udalosti, ktoré vedú k rozsiahlému poškodeniu zariadenia a majetku. Najčastejšie dochádza k prípadom požiarov v spojitosti s priemyselnými chemickými látkami, hlavne po úniku horľavej chemickej látky. V prípade úniku väčšieho množstva horľavej látky, zvlášť pokiaľ je v tekutej resp. v plynnej fáze, je pravdepodobné, že dôjde k zapáleniu iniciačným zdrojom a následne k vzniku požiaru. Druhým najčastejším prípadom je situácia, pri ktorej najskôr dôjde k vzniku iného, klasického

požiaru vybavenia, konštrukcie alebo elektroinštalácie a tento požiar sa rozšíri na zariadenia, v ktorom sa skladuje alebo spracováva priemyslová horľavina (domino efekt). Pre nebezpečné chemické látky existujú rôzne typy požiarov, ktoré sa odlišujú mechanizmom t.j.:

- tryskové požiare (tzv. jet-fire)- sú výsledkom úniku stlačených horľavých plynov alebo kvapalín,
- bleskové požiare (tzv. flash-fire),
- požiare doprevádzané skypením obsahu nádrže (tzv. boil-over),
- BLEVE (explózie expandujúcich pár vriacej kvapaliny).
- požiare nádrží a kaluží (tzv. pool-fire)- vyskytujú sa v prípadoch úniku kvapaliny, ktorá vytvorí kaluž a tá je potom zapálená, prípadne vyteká horiaca kvapalina zo zásobníka, technológie alebo potrubia,
- požiare skladovaných tuhých látok,
- toxický rozptyl

Typ následku	Popis	Prejav	Poznámka
BLEVE	Únik prehriatych pár s následným vznietením a horením fireballu. Horenie fireballu trvá rádovo sekundy.	Hustota tepelného toku fireballu [kWm^{-2}].	čas do vzniku fireballu je závislý na objeme zásobníka, teplote ohrievania zásobníka.
Pool Fire (horenie mláky)	Zapálenie horľavej kvapaliny. Vyhorenie mláky trvá rádovo minúty (do vyhorenia paliva, alebo uhasenia).	Hustota tepelného toku [kWm^{-2}].	podmienkou je prítomnosť horľavej kvapaliny, iniciačného zdroja a okysličovadla.
Jet Fire	Únik stlačených horľavých plynov, alebo pár s okamžitým vznietením unikajúceho prúdu.	Hustota tepelného toku [kWm^{-2}], ale len v poli tryskajúceho plameňa a tesnej blízkosti.	podmienkou sú splnené tlakové pomery pre vznik tejto udalosti.
Flash Fire	Vyhorenie mraku horľavých plynov alebo pár. Proces je relatívne pomalý.	Hustota tepelného toku [kWm^{-2}].	je charakterizované pomalým šírením plameňa bez zvýšenia okolitého tlaku.
Boil over	Prevretie cez okraj zásobníka s možnosťou rozšírenia na väčšiu plochu.	Hustota tepelného toku [kWm^{-2}].	charakteristický pre ropné prchavé látky, doba do vyvretia, vyvretie do okolia
VCE	Výbuch ohraničeného mraku horľavých plynov, alebo pár.	Zmena tlaku Δp v čase.	rýchla zmena tlaku v čase.
UVCE	Výbuch neohraničeného mraku horľavých plynov, alebo pár.	Zmena tlaku Δp v čase.	rýchla zmena tlaku v čase.
Toxický rozptyl	Únik toxickej látky v kvapalnej, alebo plynnej fáze zo zdroja a následný rozptyl plynnej fázy do okolia v závislosti na meteorologických podmienkach.	Koncentrácia látky v príslušnej vzdialenosti (v ppm, alebo mgm^{-3}).	rozptyl a výpar látky je závislý na poveternostných podmienkach okolia, fyzikálnych a chemických vlastnostiach látky.

Tab. 2 Charakteristické prejavy typových scenárov [13]

Tab. 2 Characteristic symptoms typical scenarios

6. Selekcija zdrojov pre kvantitatívne hodnotenie rizika

6.1 Metóda výberu

Metóda výberu [14,15] umožňuje selekciju (výber) takých zdrojov rizika ZPH, ktoré svojimi následkami presahujú hranice areálu podniku a vyžadujú ďalšiu kvantitatívnu analýzu rizika (QRA-Quantitative Risk Assessment).

Výpočet indikačných čísel- A

Indikačné číslo A je numerická hodnota, ktorá vyjadruje pomer medzi skutočným a medzným množstvom nebezpečnej látky, ktoré je považované za relatívne bezpečné. Indikačné číslo A je bezrozmerné číslo vypočítané podľa vzťahu:

$$A^{E,F,T} = \frac{Q * O_1 * O_2 * O_3}{G} \quad [-] \quad (1)$$

kde:

- $A^{E,F,T}$ – indikačné číslo jednotky pre explozívne, horľavé, resp. toxické látky [-],
 Q – množstvo nebezpečnej látky prítomnej v zariadení [kg],
 O_1 – faktor pre pracovnú jednotku alebo skladovaciu jednotku [-],
 O_2 – faktor zohľadňujúci umiestnenie jednotky [-],
 O_3 – faktor zohľadňujúci procesné podmienky, predstavuje mieru pre posúdenie množstva látky v plynnej fáze a v prípade jej úniku [-],
 G – medzné množstvo nebezpečnej látky [kg].

V tab. 3 je uvedený ako príklad zoznam zdrojov hodnotených metódou výberu.

Zdroj č.	Lokalizácia	Látka- typ zariadenia	V [m ³]	ρ [kg.m ⁻³]	Q [ton]	Faktory [-]			G [Kg]	A [-]
						O ₁	O ₂	O ₃		
1	H01,H02	Nafta	500	845,0	402	0,1	0,1	0,2	10000	0,1
2	H03	Benzín	1000	775,0	752	0,1	0,1	0,55	10000	0,4
3	H04	Benzín	500	775,0	369	0,1	0,1	0,55	10000	0,7
4	H07	Nafta	6000	845,0	4918	0,1	0,1	0,2	10000	3,3
5	H08	Benzín	6000	775,0	4911	0,1	0,1	0,55	10000	9,0

Tab. 3 Zoznam zdrojov hodnotených metódou výberu [13]

Tab. 3 List of sources evaluated by the method of choice

V náväznosti na údaje uvedené v tab. 3 sú pre hodnotené jednotky stanovené hodnoty selektívneho čísla.

Výpočet selektívnych čísel- S

Selektívne číslo S vyjadruje mieru ohrozenia priestoru za hranicami objektu na základe vzdialenosti zdroja od posudzovaného bodu na hranici podniku. Vzťah S pre horľavé a explozívne látky je nasledovný:

$$S^{E,F} = \left(\frac{100}{L}\right)^3 * A^{E,F} \quad [-] \quad (2)$$

a pre toxické látky je:

$$S^T = \left(\frac{100}{L}\right)^2 * A^T \quad [-] \quad (3)$$

kde:

- $S^{E,F,T}$ – selektívne číslo jednotky pre explozívne, horľavé, resp. toxické látky [-],
 L – vzdialenosť látky k posudzovanému miestu, pričom minimálna vzdialenosť je 100 m.

Pre analyzovaný závod sa vypočítalo selektívne číslo S pre 19 bodov na hranici objektu a pre 4 body mimo. Objekty mimo reprezentujú najbližšie osídlenie. Body 19-22 sú bodmi, kde sa nachádzajú obydlia.

Hranice podniku			Zdroje					Vybrané zdroje podľa hodnoty S
			S1,S2	S3	S4	S7	S8	
Bod č.	X _H [m]	Y _H [m]	313	292	296	232	195	
			13	32	21	30	32	
			0,08	0,41	0,68	3,28	9,00	
Selektívne čísla								

1	0	0	0,00	0,02	0,08	0,60	2,31	
2	110	0	0,01	0,07	0,19	2,08	9*	
3	220	-15	0,08*	0,41*	0,68*	3,28*	9*	
4	330	-8	0,08*	0,041*	0,68*	2,97	4,54	
5	440	-17	0,04	0,11	0,31	0,72	1,44	
6	550	-17	0,01	0,02	0,10	0,32	0,70	
7	660	-17	0,00	0,01	0,05	0,18	0,41	
8	770	-17	0,00	0,00	0,03	0,11	0,27	
9	880	-34	0,00	0,00	0,02	0,08	0,19	
10	880	-13	0,00	0,00	0,02	0,08	0,19	
11	770	5	0,00	0,00	0,03	0,11	0,27	
12	660	13	0,00	0,01	0,05	0,18	0,42	
13	550	13	0,01	0,02	0,10	0,32	0,71	
14	470	22	0,02	0,07	0,22	0,58	1,19	S8
15	402	70	0,07	0,27	0,50	1,07	2,03	S7,S8
16	305	101	0,08*	0,41*	0,68*	3,16	5,34	S7,S8
17	190	101	0,02	0,23	0,38	3,28*	9*	S7,S8
18	110	12	0,01	0,07	0,20	2,16	9*	S7,S8
19	181	-110	0,01	0,07	0,22	1,48	4,42	S7,S8
20	400	-195	0,01	0,03	0,12	0,42	0,96	
21	207	-237	0,00	0,02	0,09	0,46	1,24	
22	51	-237	0,00	0,01	0,05	0,32	0,97	

Tab. 4 Hodnoty selektívneho čísla pre príslušné zdroje (* $L \leq 100m$)

Tab. 4 Selective value numbers for the resources

Z tab. 4 pre $S > 1$ plynú zdroje, ktoré je potrebné podrobiť kvantitatívnej analýze rizika. Sú to S7 a S8, t.j. H07,08. Tabelárne prezentovaný výstup je neprehľadný a boli vytvorené princípy pre grafickú interpretáciu týchto výsledkov.[13]

6.2 Hodnotenie metódou Dow's Fire and Explosion index (FEI)

Dow's fire & Explosion index (F&EI) [16] je jedným z nástrojov používaných pre vyhodnotenie reálnej možnosti požiaru, explózie a reaktivity u procesného zariadenia s uvážením jeho obsahu. Pre porovnanie a verifikáciu v procese selekcie sa vykonáva stanovenie charakteristických parametrov FEI. Materiálový faktor MF predstavuje mieru potencionalnej energie nebezpečnej látky stanovenej podľa NFPA. Jeho hodnota sa stanovuje na základe horľavosti N_F a N_R (tab. 5). Index požiaru a výbuchu reprezentovaný hodnotou FEI je funkciou faktora obecných ohrození (F1) a faktora špeciálnych ohrození (F2). Celkový faktor ohrozovania procesnou jednotkou F3 je súčinom faktorov F1 a F2. Stupeň ohrozenia SN je v tejto metóde v 5 stupňovej škále, pričom hodnota FEI väčšia ako 128 vyžaduje podrobnejšie hodnotenie rizika príslušnej procesnej jednotky.

		Reaktivita alebo nestabilita				
Kvapaliny a plyny	NFPA 325M alebo 49	$N_R = 0$	$N_R = 1$	$N_R = 2$	$N_R = 3$	$N_R = 4$
Horľavosť alebo zápalnosť						
Nehorľavé materiály	$N_F = 0$	1	14	24	29	40
Bod vzplanutia $> 93,3^\circ C$	$N_F = 1$	4	14	24	29	40
$37,8^\circ C < \text{bod vzplanutia} \leq 93,3^\circ C$	$N_F = 2$	10	14	24	29	40
$22,8^\circ C \leq \text{bod vzplanutia} < 37,8^\circ C$ alebo bod vzplanutia $< 22,8^\circ C$ & bod varu $\geq 37,8^\circ C$	$N_F = 3$	16	16	24	29	40
Bod vzplanutia $< 22,8^\circ C$ & bod varu $< 37,8^\circ C$	$N_F = 4$	21	21	24	29	40
Horľavý prach alebo hmly						
St – 1 ($K_{st} \leq 200$ bar m/sek)		16	16	24	29	40
St – 2 ($K_{st} = 201-300$ bar m/sek)		21	21	24	29	40
St – 3 ($K_{st} > 300$ bar m/sek)		24	24	24	29	40
Horľavé pevné látky						
Hutné > 40 mm hrúbky	$N_F = 1$	4	24	24	29	40
Porézne < 40 mm hrúbky	$N_F = 2$	10	24	24	29	40
Pena, fiber, prach, atď.	$N_F = 3$	16	24	24	29	40

Tab. 5 Stanovenie materiálového faktora [16]

Tab. 5 Determination of material factor

V tab. 6 sú prehľadne uvedené súhrne parametre FEI pre už vyššie analyzované zdroje H01-H05.

Zdroj č.	Lokalizácia	Látka	V [m ³]	MF	FEI	SN	C
1	H01,H02	Nafta	500	10	54	I	0,61
2	H03	Benzín	1000	16	106	III	0,59
3	H04	Benzín	500	16	102	III	0,59
4	H07	Nafta	6000	10	65	II	0,59
5	H05	Benzín	6000	16	106	III	X

Tab. 6 Hodnoty FEI jednotlivých jednotiek

Tab. 6 FEI values of individual units

Obdobne by sa dalo poukázať na ďalšie metódy slúžiace na primárnu selekciu. Tieto metódy boli vybrané zámerné, nakoľko je ich možné využiť v integračných prístupoch.

6.3 Zhodnotenie výsledkov kvalitatívnych metód

Sumárne výsledky metódy výberu a metódy FEI sú pre analyzované zdroje sumárne zhrnuté v tab. 7 s cieľom selekcie a aplikovania princípu verifikácie. Tab. 7 obsahuje aj poradie závažnosti zdrojov rizík ZPH vypočítané oboma metódami.

Zdroj č.	Lokalizácia	Látka	A ^F	S ^F	Poradie	FEI	SN	Poradie
1	H01,H02	Nafta	0,1	0,07	5	54	I	4
2	H03	Benzín	0,4	0,27	4	106	III	1
3	H04	Benzín	0,7	0,5	3	102	III	2
4	H07	Nafta	3,3	3,16	2	65	II	3
5	H05	Benzín	9,0	5,34	1	106	III	1

Tab. 7 Porovnanie výsledkov metódy výberu a metódy FEI [13]

Tab. 7 Comparison of results of selection methods and methods of FEI

Porovnaním poradia sa vytvorí hierarchia zdrojov, ktoré budú podrobené príslušnému výpočtu v zmysle rovníc ($R_i = n_i \cdot p_i$; $R = \{n_i, p_i\}$; $f_i = p_i \cdot F_i$; $R_i = p_i \cdot F_i \cdot n_i$) pre príslušné charakteristické dôsledky tab. 2.

7. Odhad spoločenského rizika

Pri vyhodnocovaní spoločenského rizika v dôsledku ZPH je potrebné najprv odhadnúť pravdepodobnosti vzniku jednotlivých typov ZPH a ich frekvenciu. Havarijné scenáre pre jednotlivé hodnotené zariadenia, ktoré môžu nastať v dôsledku úniku VNL ako iniciačnej udalosti, môžeme zobrazit' napr. pomocou stromu udalostí – ETA. Výsledné udalosti predstavujú jednotlivé identifikované typy ZPH. Vetvy stromu udalostí môžeme kvantitatívne popísať formou pravdepodobnosti udalosti s výslednou pravdepodobnosťou P_u pre každý typ identifikovanej ZPH [17]. Pomocou základných frekvencií podľa [18] so zohľadnením existujúcich preventívno-bezpečnostných opatrení sa kvantifikuje frekvencia únikov VNL f_u . V prípade zahrnutia viacerých nepriaznivých stavov sa používajú stromy porúch – FTA, v ktorých vrcholová udalosť predstavuje ZPH. Výsledné frekvencie jednotlivých ZPH sú stanovené ako aritmetický súčin hodnôt frekvencie úniku a pravdepodobnosti vzniku ZPH podľa vzťahu:

$$f_u = f_u \cdot P_u \quad [\text{udalosť.rok}^{-1}] \quad (4)$$

kde:

f_u – výsledná frekvencia jednotlivých závažných priemyselných havárií [udalosť.rok⁻¹]

f_u – frekvencia únikov vybranej nebezpečnej látky

P_u – pravdepodobnosť udalostí

Na základe vypočítaných fyzikálnych prejavov ZPH a posúdenia ich vplyvu na populáciu sa odhaduje počet ohrozených osôb. V oblasti priemyselných havárií sa najčastejšie používa rovnica (5), kde sa formou F/N krivky zobrazujú jednotlivé riziká pre príslušné scenáre a porovnávajú sa s akceptovateľnou hodnotou (spoločensky prijateľnou).

$$R_i = f_i \cdot n_i^{-k} \quad (5)$$

kde:

R_i – riziko i-tej hladiny

f_i – frekvencia i-tej hladiny

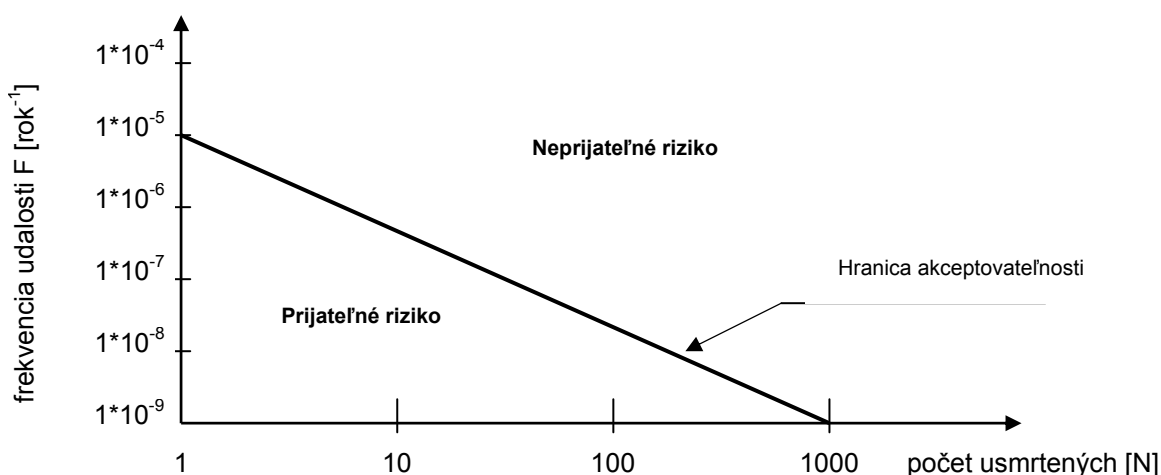
n_i – následok i-tej hladiny

k- exponent

	Kritérium individuálneho rizika		Kritérium spoločenského rizika	
	Súčasnú	Predchádzajúce	Súčasnú	Predchádzajúce
Existujúce zariadenia	$10^{-5} \cdot \text{rok}^{-1}$	$10^{-5} \cdot \text{rok}^{-1}$	$10^{-3} \cdot N^{-2}$	$10^{-1} \cdot N^{-2}$
Nové zariadenia	$10^{-6} \cdot \text{rok}^{-1}$	$10^{-6} \cdot \text{rok}^{-1}$	$10^{-4} \cdot N^{-2}$	$10^{-3} \cdot N^{-2}$
Zanedbateľné riziko	vždy ALARP	$10^{-8} \cdot \text{rok}^{-1}$	vždy ALARP	$10^{-5} \cdot N^{-2}$

Tab. 8 Kritéria individuálneho a spoločenského rizika (ALARP- As Low As Reasonably Possible) [13]
Tab. 8 Criteria for individual and societal risk

Podľa vzťahu (5) a tab. 8 sa vypočíta spoločensky prijateľné riziko F_{pr} . Z výslednej hodnoty pravdepodobnosti výskytu ZPH F_p s uplatnením vzťahu (5) sa explicitne vypočíta maximálny prijateľný počet usmrtených ľudí N pre existujúci scenár. Kritérium spoločensky prijateľného rizika je v ISO 2394. Na obr. 1 je zobrazené hranice rizikovosti podľa Holandského prístupu transformovaného do Slovenskej legislatívy v oblasti závažných priemyselných havárií.



Obr. 1 Kritérium prijateľnosti rizika podľa Vyhlášky 489/2002 Z.z. (rok 2005 v SR)
Obr. 1 Risk acceptance criteria according to the Decree 489/2002 Z.z. (2005, in SR)

8. Posúdenie prijateľnosti spoločenského rizika

Posúdenie prijateľnosti sa v oblasti ZPH aj napriek požiadavke na bezpečnosť ľudí, životného prostredia a majetku doposiaľ vykonáva len porovnaním etalónov spoločenskej prijateľnosti a to len v rovine sociálneho rizika v zmysle rovnice (5) a tab. 8. Smernica SEVESO II [2] dáva legislatívny rámec pre zastrešenie problematiky závažných priemyselných havárií v EÚ. V rámci týchto prístupov sa vytvoril rad postupov pre výpočet jednotlivých prejavov. Probitové funkcie ako jeden zo štatistických prístupov umožňuje tiež len definovanie akceptovateľnosti smerom k úmrtnosti, ale nie len k bezpečnosti vo všeobecnosti a stratám. Definuje % úmrtí ľudí k charakteristickému dôsledku. V tab. 9 sú probitové funkcie pre charakteristické typové scenáre.

Dôsledok	Tvar probit. funkcie	Hodnoty konštánt probitovej funkcie	Podľa
BLEVE	$P_r = a + b \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$	a, b konštanty	CPR 16E
Pool Fire		t a q konštanty pre príslušnú látku	
Jet Fire	$P_r = a + b \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$	a, b konštanty t a q konštanty pre príslušnú látku	CPR 16E
Flash Fire	-	priamy zásah plameňom na úrovni smrteľnej hodnoty	CPR 16E
VCE	$P_r = a + b \cdot \ln v_0$	a, b konštanty pre príslušnú látku v₀ počiatková rýchlosť letiacich fragmentov S je funkciou impulzu a počiatkovej tlaku	CPR 16E
UVCE	$P_r = a + b \cdot \ln S$		
Toxický rozptyl	$P_r = a + b \cdot \ln(C^n \cdot t)$	a, b, n konštanty pre príslušnú látku t a C premenné	CPR 16E

Tab. 9 Charakteristické probitové funkcie typových scenárov
Tab. 9 Characteristic features of type scenarios probit

Novými trendami naplňajúcimi požiadavku integračných prístupov je vytvorenie jednotných kritérií. Norma MIL-STD 882 D [19] bola v roku 2000 doplnená aj o kritéria v oblasti environmentu

a finančných strát. V SR sa doposiaľ používa Holandský prístup (tab. 8) pre určenie spoločenskej prijateľnosti.

Posúdenie prijateľnosti spoločenského rizika pre celkový počet $N=1$ osoba je podľa tabuľky 8, pre nový podnik prijateľná frekvencia F_{pr} :

$$F_{pr} = 1 \cdot 10^{-6} \quad [\text{udalosť} \cdot \text{rok}^{-1}]$$

Táto frekvencia sa porovnáva s vypočítanou frekvenciou ZPH pre príslušný scenár (napr. Pool fire, f_{poolfire}):

$$f_{\text{poolfire}} = 5 \cdot 10^{-9} < F_{pr} = 1 \cdot 10^{-6}$$

F/N krivka nie je s ohľadom na integrálny prístup k rizikám jednotiacim prvkom. Je kritériom pre parciálne riziko aj to len za predpokladu rovnakej hodnoty ľudského života v celom analyzovanom priestore.

9. Hodnotenie rizík v oblasti priemyselných havárií

Manažovanie rizika je rozhodovanie o minimalizovaní strát. Predpokladom k tomuto rozhodovaniu je poznať skutkový stav, mať zvládnuté nástroje na posúdenie a zvoliť správne opatrenie s ohľadom na financie. V nasledujúcej tabuľke je uvedený takýto postup.

Krok	Činnosť	Metóda	Poznámky
Primárna selekcia			
1	Rozdelenie systému na menšie celky (princíp rozdeľ a panuj, poznaj väzby)	Funkčné štruktúry	Rozdeliť v zmysle procesného prístupu
2	Identifikovanie nebezpečenstiev, identifikovanie ohrození, vnútorných aj vonkajších	Kontrolný zoznam Metóda výberu- výpočet selektívnych a indikačných čísel, Indexové metódy	Minimálne požiadavky kladené na celok Podľa veľkosti zvoleného systému Pri výbere metód zachovať princíp verifikácie
Selekcia prvkov systému do kategórií prostredníctvom definovaných hraníc- kritérií			
3	Zotriedenie podľa rizika, resp. ohrozenia	Prioritizácia	Väčšina metód má stanovený kľúč prioritizácie
4	Primárne zotriedenie s cieľom vytriedenia zdrojov, v ktorých je nutné vykonať podrobnú analýzu	Primárna akceptovateľnosť	Stanovenie zákonom, resp. vnútorným predpisom firmy
5	Podrobné identifikovanie ohrození, vnútorných aj vonkajších	FMEA, HRA, HAZOP	
Modelovanie (už len vyselektované)			
6	Výpočet charakteristických dôsledkov (nižšie sú uvedené jednotlivé dôsledky s typickými prejavmi)	<input type="checkbox"/> matematické modely pre príslušný scenár, <input type="checkbox"/> výpočet charakter. parametrov s ohľadom na človeka, <input type="checkbox"/> Definovanie zón cez probitovú funkciu pre 100%, 50% a 1% úmrtnosť.	Výber vhodných metód a kombinácia postupov Princíp jednoduchosti
7	Určenie pravdepodobnosti	Stanovenie pravdepodobnosti P_u	Databázy externé Databázy interné
8	Určenie frekvencie udalosti	Výpočet frekvencie	Databázy externé Databázy interné
9	Výpočet výslednej frekvencie	Frekvencia	
10	Porovnanie s akceptovateľnou hodnotou (forma F/N krivky nie je záväzná)	$F_{pr} = A \cdot N^{-K}$ <input type="checkbox"/> (F/N krivka) <input type="checkbox"/> Výpočet ostrého rizika (kvantifikácia)	Spoločensky akceptovateľné riziko <input type="checkbox"/> spoloč. riziko

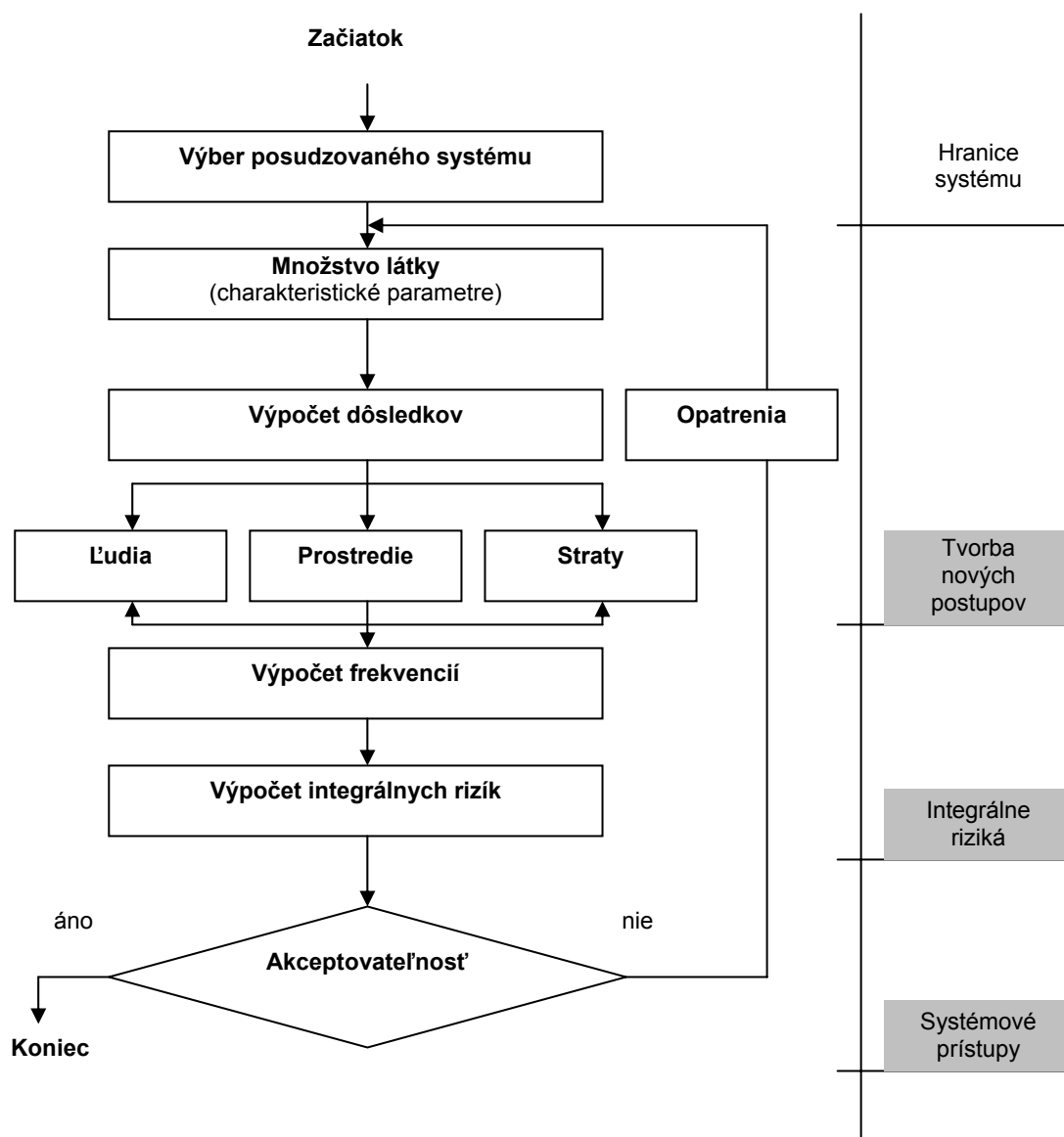
			<input type="checkbox"/> individuálne riziko <input type="checkbox"/> veľkosť strát
11	Návrh opatrení/ realizácia opatrení	Metódy nákladových analýz	

Tab. 10 Postup posudzovania rizika [15]

Tab. 10 Risk assessment procedures

Postup uvedený v tab. 10 bude v budúcnosti nahradený postupom zobrazeným na nasledujúcom obrázku, ktorý je založený na princípoch integrácie. Potrebne je v tejto súvislosti je vytvoriť etalón (hranice akceptovateľnosti pre integrálne riziko). Druhým nutným krokom je vytvoriť jednoduchý postup pre výpočet požadovaných parametrov. Tieto postupy budú založené na princípoch:

- primárna logistika: tento princíp postihuje väzby systému, ktoré v oblasti chemickej bezpečnosti sú tvorené chemickými reakciami jednotlivých látok. Tieto väzby systému vytvárajú ohrozenia,
- zdroje: jednotlivé chemické látky majú v sebe potenciál ohrozenia. V tab. 6 je takto stanovený skrytý potenciál na základe reaktivity a horľavosti. Tieto vlastnosti príslušnej látky sú reprezentované materiálovým faktorom.
- Sekundárna logistika: tento systém je tvorený vonkajšími systémovými väzbami.



Obr. 2 Systémový koncept – integrálne riziká

Fig. 2 System concept - integral risks

Zákon o ZPH nám prináša systém a poriadok v danej oblasti. Podniky s prítomnosťou vybraných nebezpečných látok sú na základe zákona o ZPH podchytené, existuje o nich evidencia a sú v nich vykonávané pravidelné kontroly. Postupne by sme si všetci mali uvedomiť, že povinnosti vyplývajúce zo zákona o ZPH nie sú nato, aby vytvárali problémy v podnikateľskom prostredí, ale sú rozumné, účinné a pre spoločnosť nápomocné. Charakteristické prejavy typových scenárov nám slúžia na vytvorenie postupov, ktoré sa aplikujú v rámci zákona o ZPH.

Integrálne riziká a systémový prístup aj v oblasti chemickej bezpečnosti vytvoria požiadavky na tvorbu nových hraníc akceptovateľnosti, ktoré doposiaľ neboli zohľadňované. F/N krivka resp. HCA budú vnímané ako jeden celistvý komplex, napr. prostredníctvom kritérií straty. Pribudne parameter efektivity, ktorá bude mať rozmer technicko-ekonomický a nie len ekonomický, tak ako je to dnes. Dobrým prístupom v tejto oblasti sa ukazuje parameter riziko, rozhodovanie na základe rizík.

Literatúra

- 1 Smernica Rady 82/501/EHS, z 24. júna 1982 o veľkých havarijných nebezpečenstvách určitých priemyselných činností v znení neskorších predpisov (SEVESO I),
- 2 Smernica Rady 96/82/ES, z 9. decembra 1996 o kontrole nebezpečenstiev veľkých havárií s prítomnosťou nebezpečných látok (SEVESO II),
- 3 Rozhodnutie Komisie 1999/314/ES, z 9. apríla 1999 týkajúce sa dotazníka, ktorý sa vzťahuje na smernicu Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečenstiev veľkých havárií s prítomnosťou nebezpečných látok (oznámené pod spisovým číslom C(1999) 856),
- 4 Smernica 2003/105/ES Európskeho parlamentu, zo dňa 16. decembra 2003, ktorou sa mení smernice Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečenstiev závažných havárií s prítomnosťou nebezpečných látok,
- 5 Zákon č. 59/2006 Sb., z 2. februára 2006, o prevencii závažných havárií spôsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami alebo chemickými prípravkami v znení neskorších predpisov,
- 6 Vyhláška č. 103/2006 Sb., z 31. marca 2006, o stanovení zásad pre vymedzenie zón havarijného plánovania a o rozsahu a spôsobe vypracovania vnútorného havarijného plánu,
- 7 Vyhláška č. 250/2006 Sb., z 31. marca 2006, ktorou sa stanoví rozsah a obsah bezpečnostných opatrení fyzickej ochrany objektov alebo zariadenia zaradené do skupiny A alebo do skupiny B,
- 8 Nariadenie vlády č. 254/2006 Sb., z 24. mája 2006, o kontrole nebezpečných látok,
- 9 Vyhláška č. 255/2006 Sb., z 22. mája 2006, o rozsahu a spôsobe spracovania hlásenia o závažnej havárii a konečnej správy o vzniku a dopadoch závažnej havárie,
- 10 Vyhláška č. 256/2006 Sb., z 22. mája 2006, o podrobnostiach systému prevencie závažných havárií.
- 11 ORAVEC, Milan; KULHAVÝ, Marián; MARKULÍK, Štefan: Aplikácia zákona o závažných priemyselných haváriách v praxi, ARPOS. - ISSN 1335-5910. - Č. 16-17 (2004), s. 7-9.
- 12 ŠOLC, Marek: Závažné priemyselné havárie v podmienkach Slovenskej a Českej republiky a z nich vyplývajúce možné dôsledky pre spoločnosť, Bezpečnosť a hygiena práce č. 6/2010, ISSN 0006-0453, Index 48 104, s. 23-26.
- 13 ORAVEC, Milan: Posudzovanie rizík, Ostrava 2009, ISBN 978-80-7385-043-2, 104 s.
- 14 Guidelines for Quantitative Risk Assessment – CPR 18E („Purple Book“). First edition. Den Haag: Sdu Uitgevers, 1999. ISBN 9012087961.
- 15 ORAVEC, Milan; PAČAIOVÁ, Hana; BALOG, Karol: Postup pri posudzovaní rizík- veľké priemyselné havárie. In: ARPOS. Č. 23, príloha č. 13 (2006), s. 1-12. ISSN 1335-5910.
- 16 BABINEC, F.: Management rizika, Skriptá SU Opava, 2005.
- 17 ORAVEC, Milan: Výpočet akceptovateľnosti pre potreby zákona o prevencii závažných priemyselných havárií. In: Bezpečnosť práce. Roč. 5, č. 11-12 (2005), s. 22-28. ISSN 1335-4078.
- 18 ORAVEC, Milan; PAČAIOVÁ, Hana: Posúdenie rizík v rámci zákona 261/2002Z.z., Správa, Probugas a.s., Bratislava 2005.
- 19 MIL-STD 882D Standard practice for systém safety, 2000.

Súhrn:

- Safety of chemical plants - major industrial accidents
- Šolc, Marek, Ing., PhD., Technical University of Kosice, Faculty of Metallurgy, Department of Integrated Management

- Keywords: safety, accidents, scenario, consequences, risk
- The article deals with the safety of chemical plants, to describe the general trends in the evaluation of major industrial accidents, briefly described the characteristic symptoms of type scenarios, consequences of major industrial accidents and what are the causes of major industrial accidents, briefly describes the selection of resources for quantitative risk assessment is then described as estimate the size of social risk, to assess the social acceptability of risk and finally, what is the general trend of risk assessment in the field of industrial accidents.

