

Problémy selekcie zdrojov pre kvantitatívne posúdenie rizík podľa CPR štandardov

prof. Ing. Milan Oravec, PhD.¹

Ing. Ladislav Čáky²

¹Technická univerzita Košice, Sjf

Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

²EHP Slovensko

Bemoláková 1015/11, 093 01 Vranov nad Topľou, Slovenská republika
milan.oravec@tuke.sk, zph@caky-ehp.sk

Abstrakt

Najrozšírenejším postupom pre výber zdrojov pre kvantitatívne posúdenie rizík (QRA) v oblasti závažných priemyselných havárií (ZPH) podľa Directive 2012/18/EU (SEVESO III) v Európe je holandský prístup. Je založený na CPR štandardoch. CPR18E z roku 1999 bolo modifikované doposiaľ 2-krát. Posledná úprava je v podobe Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2, z roku 2009 (Bevi). Selektcia podľa CPR štandardov doposiaľ nepokrýva niektoré špecifiká nebezpečných látok (NL) podľa SEVESO III, ktoré majú toxické a horľavé vlastnosti. Posledné odporúčania pre túto oblasť sú z roku 2018. Sú zamerané na chladom skvapalnený horľavý zemný plyn (LNG). Pre chladom skvapalnené látky, zmesi s toxickými a horľavými vlastnosťami súčasne doposiaľ nie sú vypracované nové postupy pre selektciu pre QRA, ale ani pre výpočet dôsledkov. V príspevku sa porovnávajú vybrané metódy selekcie pred rokom 1999 so súčasnými CPR štandardami s cieľom výberu vhodných zdrojov pre QRA v oblasti ZPH. Dospelo sa k poznaniu, že metódy primárnej selekcie podľa CPR18E, Bevi manuálu je vhodné modifikovať, alebo použiť aj ďalšiu metódu pre selektciu pre QRA pri chladom skvapalnených NL s toxickými a súčasne horľavými vlastnosťami akým je čpavok.

Kľúčové slová

Závažné priemyselné havárie, selektcia zdrojov, CPR18E, Bevi príručka, FEI, CEI, IAEA-TECDOC-727.

Abstract

The Dutch approach is the most widely used procedure for selecting sources for quantitative risk assessment (QRA) in the field of major industrial accidents (QRA) under Directive 2012/18/EU (SEVESO III) in Europe. It is based on CPR standards. The 1999 CPR18E has been modified 2 times so far. The last modification is in the form of Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2, from 2009 (Bevi). Selection according to CPR standards does not yet cover some specificities of hazardous substances (NL) according to SEVESO III, which have toxic and flammable properties. The latest recommendations in this area are from 2018. They target cold-liquefied flammable natural gas (LNG). For cold-liquefied substances, mixtures with toxic and flammable properties, new selection procedures for QRA, but also for calculating the consequences, have not yet been developed. The paper compares selected selection methods before 1999 with current CPR standards in order to select suitable sources for QRA in the field of ZPH. It has been established that primary selection methods according to CPR18E, Bevi should be modified, or use another selection method for QRA in cold-liquefied NL with toxic and flammable properties such as ammonia.

Keywords

Major industrial accidents, source selection, CPR18E, Bevi manual, FEI, CEI, IAEA-TECDOC-727.

Úvod

Závažné priemyselné havárie sa vyčlenili ako samostatná kategória podnikov po havárii v Taliansku, v Sevese, v roku 1974. Vytvorili skupinu Seveso podnikov. Vytvorenie Smerníc pre túto skupinu podnikov dnes poukazuje na nutnosť riešenia týchto problémov. Smernica Seveso III [1] a Nariadenie 1272/2008/EU [2] je potvrdením tohoto prístupu. Selektcia zdrojov pre QRA je rozhodujúca pre nasledovné kroky súvisiace s posúdením scenárov s potenciálom ZPH. Najrozšírenejším postupom pre selektciu zdrojov pre QRA v oblasti ZPH v Európe je holandský prístup založený na CPR štandardoch [3]. Štandard CPR18E z roku 1999 [4] bol revidovaný v roku 2005 [5]. Posledné odporúčenie k programu SAFETI-NL je Bevi príručka [6]. Už pred rokom 1999 za účelom preukazovania bezpečnosti Seveso podnikov, existovali postupy pre selektovanie rizikových zdrojov a procesov [7-9].

Chemické podniky v minulosti boli postavené v primeranej vzdialenosti od obývanej oblasti. Prísun vstupných produktov, logistika dopravy bola, vždy volená po obvode podnikov. V prístavoch vznikali veľké skladové terminály, nielen ropných produktov. Surová ropa, skvapalnené plyny, čpavok, kyseliny, patria k základným surovinám pre organickú a anorganickú chémiu. V Haife (Haifa Chemicals), sa v roku 2017, po 30-tich rokoch, podarilo na nátlak obyvateľstva, premiestniť skladovú kapacitu 12 000 ton nízkotlakého zásobníka čpavku z prístavu [10]. Známa je havária nízkotlakého skladového zásobníka čpavku s kapacitou 10 000 ton z roku 1989 [11] Jonava, Litva (dnes Achema Litva). Dnes sa stavajú nízkotlaké čpavkové zásobníky s tonážou do 40 000 ton podľa API 620R, alebo EN 14620, ktoré sú prevažne ako samostatné skladové polia mimo zastavanú oblasť. Dusičnan amónny (DAM) spôsobil viacero priemyselných havárií, príkladom bolo francúzske Toulouse. Posledným príkladom je Libanon a výbuch DAM v prístave Bejrút v roku 2020. Viaceré prípadové štúdiá poukazujú na slabé miesta súčasného postupu pre selektovanie zdrojov pre QRA podľa Bevi manuálu.

Metódy selekcie pre QRA

Metóda selekcie podľa CPR štandardov

Indikačné číslo A vyjadruje pomer medzi skutočným a medzným množstvom NL, ktoré je považované za relatívne bezpečné [4-6]. Vyjadruje mieru ohrozenia na území podniku. Tento pomer je korigovaný faktormi vyjadrujúcimi typ činnosti (proces/sklad), umiestnením jednotky (vonkajšie/vnútorne/záchyt) a podmienkami procesu. Indikačné číslo slúži na porovnanie rizikovosti zdrojov na území podniku. Indikačné číslo A je bezrozmerné číslo vypočítané podľa vzťahu:

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

kde:

$A^{E,F,T}$ indikačné číslo jednotky pre explozívne, horľavé, toxické látky (-),

Q množstvo NL prítomnej v jednotke (kg),

O_1 faktor pre procesnú jednotku alebo skladovacia jednotku (-),

O_2 faktor zohľadňujúci umiestnenie jednotky (-),

O_3 faktor zohľadňujúci procesné podmienky (-),

G limitná hodnota (kg).

Selektívne číslo S vyjadruje mieru ohrozenia okolia zariadením podniku s NL vzhľadom k posudzovanému bodu, ktorým sú zvyčajne hranice podniku. Vypočíta sa pre horľavé a explozívne NL podľa vzťahu:

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

pre toxické NL:

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

kde:

$S^{E,F,T}$ selektívne číslo jednotky pre explozívne, horľavé, toxické NL (-),

L vzdialenosť posudzovaného bodu od zdroja, minimálna vzdialenosť ($L_{min} = 100$ m) (m),

$A^{E,F,T}$ príslušné indikačné číslo jednotky (-).

Fire & Explosion Index

V oblasti prevencie ZPH sa využíval v minulosti pre horľavé a reaktívne NL Fire & Explosion Index (FEI) [7]. Výsledná hodnota FEI sa vypočíta podľa vzťahu:

$$FEI = MF \cdot F_1 \cdot F_2 \quad (-) \quad (4)$$

kde:

MF materiálový faktor (-),

F_1 koeficient obecného ohrozenia (-),

F_2 koeficient špecifického ohrozenia (-).

Materiálový faktor (MF) vyjadruje horľavosť a reaktivitu látky, zmesi. Jeho hodnota je v rozmedzí 1-40. Koeficient obecného ohrozenia (F_1) vyjadruje všeobecné ohrozenia. Jeho hodnota je od 1-5 v závislosti od konkrétnych podmienok. Koeficient špecifického ohrozenia (F_2) zohľadňuje konkrétny stav v analyzovanej prevádzke. Jeho hodnota málokedy dosiahne hodnotu $F_2 = 6 \cdot F_1$ a F_2 sa určujú na základe viacerých parametrov. Pre odhad percenta poškodenia analyzovanej jednotky je rozhodujúci súčin F_1 a F_2 . Maximálna hodnota je 8. Táto skutočnosť dáva prehľad o možných dôsledkoch už vo fáze selekcie zdrojov pre QRA. Metodika umožňuje vypočítať aj ďalšie parametre. Tieto pre účel QRA sú sekundárne a neuvádzajú sa tu.

Chemical index

Chemická spoločnosť Dow's vytvorila pre chemické látky, zmesi s toxickým účinkom aj index chemickej expozície (CEI) [8]. CEI stanovuje mieru hrozby spôsobenej únikom toxického plynu v plynnom a kvapalnom skupenstve do okolia. Výsledná hodnota CEI sa vypočíta:

$$CEI = 655,1 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG2}} \quad (-) \quad (5)$$

kde:

AQ celkové uniknuté množstvo NL, zmesi (kg.sek⁻¹),

$ERPG2$ koncentrácia NL, zmesi (mg.m⁻³).

Metóda uvažuje ako s únikom plynnej tak aj kvapalnej fázy zo zariadenia. Pôvodná metóda rozlišovala škálu CEI do a nad 1 000. Na základe skúseností s touto metódou sa odporúča do QRA zaradiť zdroje s $CEI > 200$. Metodika umožňuje vypočítať aj ďalšie parametre. Tieto pre účel QRA sú sekundárne a neuvádzajú sa tu.

Limity metodík pre výber zdrojov pre QRA

CPR štandardy pre výber zdrojov pre QRA

V CPR18E [4, 5], Bevi [6] pre selekciu zdrojov pre QRA sú uvedené rovnice 1-3. Pre selekciu zdrojov do QRA je uvedená podmienka $S > 1$ v hraničnom bode podniku a 50 % z maximálneho vypočítaného selektívneho čísla (S_{max}) v tomto bode. V roku 2005 [5] boli upravené odporúčania pre selekciu zdrojov do QRA. Podmienky selekcie sa však nezmenili. Tieto limity pre výber zdroja pre QRA umožňovali posudzovať menej ako 5 zdrojov. Takáto skutočnosť bola možná ak už len jeden zdroj (veľký skladový zásobník spĺňal podmienku $S > 1$ a 50 % z S_{max}).

Filozofia v Bevi z roku 2009 [6] bola iná. Po zavedení výpočtového programu SAFETI-NL sa Bevi stala len príručkou k program SAFETI-NL. Bevi aj bez výpočtového programu umožňuje vhodne selektovať zdroje pre QRA pri zohľadnení skúseností z posudzovania rizík pre účel ZPH. Použitie SAFETI-NL nezabavuje posudzovateľa myslieť a poznať konkrétnu kauzalitu. Novým bol aj prístup k selektovaniu zdrojov pre QRA. Táto skutočnosť sa odráža aj na radení kapitol v Bevi. Moduly A, B Bevi sú venované iniciačným udalostiam a zjednodušeniu výpočtu ETA voči CPR18E. Modul C selektovaniu zdrojov pre QRA. Pribudla aj podmienka minimálneho počtu zdrojov 5. Táto podmienka zabránila špekulatívnym postupom pri selekcii počtu zdrojov pre QRA. Zmeny nastali aj pri limitnej hodnote G , rovnica 1, pre kvapálne toxické látky. Zvoľnenie požiadaviek bolo pre ohrozenie okolia, kde sa v CPR18E požadovalo vypočítať aj selektívne číslo pre príhľad obývané oblasti a porovnať ho voči hodnote $S = 1$. Takáto podmienka v Bevi už nie je explicitne definovaná. Bola nahradená možnosťou vyradenia zdrojov spĺňajúcich kritérium individuálneho rizika (IR) $IR < 10^{-5}$ na území podniku. Druhou podmienkou je prijateľná miera spoločenského rizika (SR). Do výberu pre QRA nemuseli byť zaradené zdroje s frekvenciou poruchy nižšou ako 1.10^{-8} rok⁻¹, kap. 2.3.4.4 Bevi, modul C. Pre neštandardné zdroje je uvedená naďalej poznámka, že za výber zdrojov do QRA je zodpovedný posudzovateľ. Štandardy CPR nie sú univerzálne a postupy majú slabiny. Existuje skupina zdrojov, ktoré je vhodné pre QRA posúdiť iným postupom. Dotýka sa to prevažne chladom skvapalnených NL. Problematika čpavku je komentovaná v kap. 9, modulu C Bevi [6]. Doposiaľ nie je uvedený postup pre toxické plyny skvapalnené chladom pre vyššie množstvá (nad 1 000 ton). Posledné odporúčanie z roku 2018 na stránkach RIVN (National Institute of Public Health and the Environment) pre horľavé NL sú výpočtové postupy programom SAFETI-NL [12]. Novšie verzie SAFETI-NL od 6.64, sa zameriavajú na presnejšie ohraničenie hraníc individuálneho rizika (IR). Jednou z podmienok nezaradenia zdroja do QRA podľa Bevi je aj podmienka $IR < 10^{-5}$ mimo územia podniku. Cesta spresňovania podmienok IR v SAFETI-NL je založená na spresnení parametrov výpočtu a nie poznání kauzality a podmienok procesu.

FEI a CEI nástroj pre výber zdrojov pre QRA

FEI [7] a CEI [8] pracujú s indexom založeným na dôsledkoch nezávislých od frekvencie udalostí. Metodiky vznikli pred rokom 1999. Ich primárnym účelom nebola selekcia zdrojov pre QRA v zmysle ZPH. FEI je kategorizovaný do piatich kategórií, 1-60, 61-96, 97-127, 128-157 a nad 157. Pre podrobnú analýzu zdrojov metodika odporúča kategóriu zdrojov s $FEI > 157$. Naše skúsenosti s touto metodikou svedčia o zväžení zdrojov s $FEI > 127$. Ani FEI ani CEI nemá spodné ohraničenie počtu posudzovaných zdrojov. FEI má ohraničenie minimálnej tonáže posudzovanej jednotky. V prípade CEI je to aj spôsob úniku NL zo zdroja. Tieto obmedzenia vznikli na základe dlhodobých skúseností a sú zohľadnené dnes aj v CPR štandardoch [4, 5] a Bevi [6] a to formou typu úniku. Pri skladových a procesných nádobách G1 - okamžitý únik, G2 - veľký kontinuálny únik celého obsahu v priebehu 10 minút konštantnou rýchlosťou, G3 - malý kontinuálny únik s otvorom s efektívnym

priemerom 10 mm; pri potrubiach G1 - úplná ruptúra potrubia, G2 - kontinuálny únik otvorom s efektívnym priemerom 10 % z priemeru potrubia).

Výsledky

Nebezpečné chemické látky vo vybraných výrobných procesoch

Existujú výrobné postupy od riedenia vodou až po postupy nitrácie, ktorých náročnosť na aparáty a prevádzkové postupy je rozdielna. Nariadenie 1272/2008/EU [2] definuje nebezpečné vlastnosti chemických látok. Pre výpočet QRA je potrebné zohľadniť toxicitu, horľavosť, výbušnosť chemických látok bez ohľadu na prijímateľa, ktorým je človek, okolie. Na základe získaných poznatkov a skúseností z posudzovania rizík sa pre účel poukázania na problémy selekcie zdrojov pre QRA vybrali prevádzky z čpavkovej chémie - výroba hnojív, metanolová chémia - výroba lepidiel, a benzénová chémia - výroba cyklohexánu. Mnoho takýchto prevádzok existuje samostatne, alebo v rámci väčšieho chemického podniku. Čpavok je základnou chemickou látkou nielen pre výrobu hnojív. Dnes a vyrába prevažne zo zemného plynu, vzduchu (dusíka) a vody. Medziproduktmi pri výrobe hnojív je kyselina dusičná a DAM. Pre kvapalné hnojivá je základom čpavková voda. Pre tuhé hnojivá je to DAM a anorganické látky (horčík, vápenec, dolomit ap.). Okrem zemného plynu, ktorý je vstupom pre výrobu čpavku je nutné ostatné chemické látky skladovať a manipulovať vo výrobnom procese.

Množstvo uniknutých oxidov dusíka je podmienené zastavením výroby oxidu dusnatého v procese výroby kyseliny dusičnej. Popri čpavku v týchto chemických prevádzkach sa vyrába aj DAM ako finálny produkt, ale aj ako medziprodukt pre nasledovnú výrobu hnojív. Pre výrobu močovinoformaldehydových lepidiel je vstupnou chemikáliou metanol a močovina. Formaldehyd vzniká oxidáciou metanolu.

Chemické podniky neboli vytvorené len pre výrobu jediného produktu. Čpavok, kyselina sírová, kyselina dusičná, metanol, boli už v minulosti sústredované do jedného celku za účelom špeciálnej výroby. Príkladom toho bol výbuch v nemeckom Opau, alebo v Strážskom.

Ako príklad na kombinovanú organickú a anorganickú výrobu je poukázané na technológiu, ktorá využíva hydrogenáciu a oxidáciu a bola v takejto kombinácii v posudzovanom podniku. Cyklohexán sa vyrába hydrogenáciou benzénu. Vodík pre hydrogenáciu sa najčastejšie vyrába kontinuálne parným reformingom zemného plynu. V starších chemických a hutníckych prevádzkach sa vyrábala z čpavku. V prípadoch, že je nutné použiť väčší objem vodíka je nutné mať skladový zásobník. Benzénová chémia je špecifická nielen toxicitou, ale aj náročnosťou na energie a chemické aparáty.

Porovnanie metodík za účelom vhodnej selekcie zdrojov pre QRA

V tab. 1 sú bez ohľadu na umiestnenie na teritóriu podniku, vypočítané hodnoty $A^{T,F}$ podľa rovnice 1 pre vybrané zdroje. Charakteristické zdroje v podnikoch s organickou a anorganickou chémiou sú sklady, stáčanie/plnenie železničných cisterien (ŽC), výrobné aparáty, potrubia. Zdroje v tab. 1 sú vybrané za účelom preukázania problematiky selekcie zdrojov pre QRA a nie za účelom posúdenia konkrétnej prevádzky. Pri konzervatívnom prístupe je možné prijať zjednodušenie a to podmienku ak $L > 100$ m a súčasne $L < 101$ m, potom je $A \cong S$, čo je stav, kedy zdroj je umiestnený 101 m od hranice podniku. Táto myšlienka nie je v rozpore s Bevi. Tento predpoklad umožní nepočítať S a tento stav modelovaný pre účel preukázania problému je postačujúci. Väčšina skladov a stácaní/plnení ŽC je umiestnená mimo hlavné výrobné a priamo susedí s hranicou podniku. Takéto umiestnenie vyplýva z koncepcie logistiky dopravy a bezpečnosti pri prevádzkovaní takýchto chemických podnikov.

Z vypočítaných hodnôt uvedených v tab. 1, podmienku 50 % S_{max} nespĺňa žiaden zdroj. Hodnota S pre zdroj Z6 je vysoká. Druhú podmienku, zaradenie minimálneho počtu piatich zdrojov, budú spĺňať zdroje Z5, Z8, Z4, Z11. Až na zdroj Z11, sklad metanolu, čo sú to zdroje s toxickým dôsledkom pre okolie. Pokiaľ by sa nezohľadnilo poznanie, skúsenosti s horľavými NL, tak by väčšina zdrojov s potenciálom výbuchu, požiaru nebola zaradená do QRA. Nezohľadnenie zariadení pre hydrogenáciu a im podobné reakcie v technologických celkoch považujeme za problémové. Flixborough je dostatočným poučením. Nižšie je poukázané z akých dôvodov.

Tab. 1 Výpočet $A^{T,F}$ pre vybrané zdroje za účelom selekcie pre QRA

Zdroj	NL	Q (t)	O ₁	O ₂	O ₃	G (t)	A ^T	A ^{F,E}	Poznámka
Z1	zemný plyn	2,5	1	1	10	10	-	2,5	potrubie DN 100, 3,0 MPa, 10-min. únik
Z2	zemný plyn	6,5	1	1	10	10	-	6,5	potrubie DN 250, 4,5 MPa, 10-min. únik
Z3	čpavok	500	0,1	1	10	10	-	50	vysokotlaký zásobník
Z4	čpavok	500	0,1	1	10	3	167	-	
Z5	čpavok	10 000	0,1	1	2,2	10	-	220	nízkotlaký zásobník
Z6	čpavok	10 000	0,1	1	2,2	3	733	-	plnenie/stáčanie ŽC
Z7	čpavok	55	1	1	10	10	-	55	
Z8	čpavok	55	1	1	10	3	183	-	potrubie plnenia ŽC, 10-min. únik (55 t.h ⁻¹)
Z9	čpavok	9,1	1	1	10	10	-	9,1	
Z10	čpavok	9,1	1	1	10	3	30,3	-	
Z11	metanol	4 000	0,1	1	1	10	-	40	skladový zásobník
Z12	metanol	60	1	1	1	10	-	6	stáčanie ŽC 60 ton
Z13	metanol	23,7	1	1	1	10	-	2,37	stáčanie kontajner 30 m ³
Z14	benzén	2 000	0,1	1	0,1	10	-	2	skladový zásobník
Z15	benzén	55	1	1	0,1	10	-	0,55	stáčanie ŽC 55 ton
Z16	vodík	1	0,1	1	10	10	-	0,1	sklad, 1 tona
Z17	cyklohexán	30	1	1	0,1	10	-	0,3	oxidačný reaktor 50 m ³ (zmes)
Z18	cyklohexán	500	0,1	1	0,1	10	-	0,5	sklad 500 ton
Z19	cyklohexán	55	1	1	0,1	10	-	0,55	plnenie ŽC 70 m ³

Hodnoty pre určenie LC pre príslušné NL boli z Dossier-ECHA a výpočet O₃ bol na základe Antoinovej rovnice.

V tab. 2 je poukázané na existenciu $S > 1\ 000$ aj v reálnych prevádzkach dnes. Jedná sa o sklady chladom skvapalnených plynov.

Tab. 2 Výpočet $A^{F,E}$ pre vybrané zdroje za účelom selekcie pre QRA [13]

Zdroj	NL	Q (t)	O_1	O_2	O_3	G (t)	$A^{F,E}$	$S^{F,E}$ (200 m)	$S^{F,E}$ (300 m)	Poznámka
Z1	LNG	50 000	0,1	1	5,5	10	2 750	344	101,9	Wuhaogou, Čína
Z2	LNG	150 000	0,1	1	5,5	10	8 250	1031	305,6	Čile, 2013 Austrália, 2015
Z3	LNG	165 000	0,1	1	5,5	10	9 075	1134	336,1	Austrália, 2016

Hodnoty O_3 boli rátané pre prevádzkové teploty $-158\ ^\circ\text{C}$ a pretlak 10 cm vodného stĺpca pre skvapalnený metán.

Aj pri odporúčaní uvedenom v [12] je zrejme, že pre $L > 200$ m bude pre $S_{max} > 1\ 000$. Problémom je, že skladové polia sa v rámci rozširovania podnikov stávajú príťažlivými k podnikom a nie sú samostatné jednotky bez potenciálu domino efektu k okoliu. Hodnoty selektívneho čísla zdrojov Z2, Z3 z tab. 2 aj vo vzdialenosti 200 m sú nad rámec bežných indikačných a selekčných čísel pri selekcii podľa CPR štandardov a Bevi. Pri umiestnení týchto zdrojov mimo obývanú oblasť je možné dosiahnuť hodnotu $IR < 10^{-5}$. V prípade postavenia týchto zásobníkov v existujúcej infraštruktúre prístavu, priemyselnej zóny, alebo v blízkosti chemického komplexu sa požadovaná hodnota IR nedosiahne ani tým, že sa bude spresňovať výpočet pomocou SAFETI-NL. Hodnota IR ani SR nezmení kauzalitu vzniku dôsledku. Potrebné je uvedomiť si, že sklad je potrebné naskladniť a vyprázdniť. K tomu je potrebná infraštruktúra. V prípade porovnania aj so zdrojom Z6 z tab. 1 sú to reálne technologické zdroje s hodnotami prevyšujúcimi hodnoty bežných selektívnych čísel. Pre skladové zásobníky horľavých látok, napr. ropa (sklady s tonážou do 100 000 ton) podľa rovnice 1, je $A^{F,E} \cong 100$. Pri vzdialenostiach do 200 m od zdroja potom bude $S \cong 13$. Takéto hodnoty sú rádovo porovnateľné s chemickými prevádzkami. Výrazný je problém pri skvapalnených stredne toxických plynov. Limitná hodnota G , rovnica 1, pre tieto látky je 1/3 z limitu pre horľavé látky. Príklad je v tab. 1, zdroje Z4, Z6, Z8. To pre zásobník s 10 000 ton čpavku znamená hodnotu $A^T = 733$. Zásobník v Jonava (10 000 ton čpavku) [11] bol postavený v roku 1978 Japonskom. Zásobník v Haife (12 000 ton) bol postavený v roku 1987. Pri pohľade na prístav v Haife je zrejme, že sa v prístave neskladuje len čpavok. Tieto technológie sú reálne a CPR štandard ich nepostihuje ani v Európe. Nízkotlaké sklady

LNG sú aj v Európe a v tonáži nad 150 000 ton. Podobné hodnoty indikačných a selektívnych čísel podľa rovnice 1-3 existujú. Z týchto skutočností sú zrejme slabiny CPR štandardu pri súčasných kritériách pre výber zdrojov pre QRA.

V tab. 3 sú vypočítané charakteristické hodnoty FEI , podľa rovnice 4 a postupu pre výpočet FEI . Zdroje v tab. 3 sú vybrané za účelom preukázania problematiky horľavých NL v kontexte horľavosť-toxicita a požiadaviek FEI ako aj porovnania s CPR štandardom.

Pre zdroj Z17 uvedený v tab. 3, boli vypočítané hodnoty FEI variantne ako pre nábeh, tak aj pre ustálený režim reaktora. Účelom je poukázať na rizikovosť hydrogenácie. Hodnota $FEI > 157$ je mnohokrát podmienená procesnými podmienkami (hydrogenácia) a technologickými prevádzkovými podmienkami. Viaceré zdroje uvedené v tab. 3, Z17a,b, by pri selekcii podľa CPR18E neboli zahrnuté do QRA. Nesplňajú ani kritérium 50 % S_{max} . FEI z pohľadu výbušnosti nie je citlivá na vlastnosť čpavku - výbušnosť, čo je spôsobené nízkou hodnotou MF . Čpavok má hodnotu $MF = 4$ (má nízku reaktivitu). Ak by F_1 a F_2 dosahovali maximálnych teoretických hodnôt potom by $F_1 = 1,85$ a $F_2 < 5,85$ pre sklady. Takéto hodnoty sú pre korodujúce tlakové zásobníky s netesnými prírubami. Toto je v praxi nereálne. Potom by $FEI < 60$. Podľa FEI sú to zdroje, ktorých stupeň rizikovosti je najnižší a zanedbateľný. Táto skutočnosť koreluje s myšlienkou z Bevi, že pre čpavok je nutné rátať len toxický rozptyl. Je to logické, nakoľko koncentrácia dolnej medze výbušnosti pre čpavok je o dva rády vyššia ako koncentrácia pre usmrtenie človeka. Zdroje uvedené v tab. 3, s hodnotou FEI medzi 97-157 sú zdroje

Tab. 3 Charakteristické výstupy z metodiky FEI pre prevádzky aj s horľavými NL

Zdroj	NL	MF	FEI	R [m]	Poznámka
Z1	zemný plyn	21	95	24	potrubie DN 100, 3,0 MPa, 2,5 ton
Z2	zemný plyn	21	126	32	potrubie DN 250, 4,5 MPa, 6,5 ton
Z3	čpavok	4	21	5	vysokotlaký zásobník, 500 ton
Z4	čpavok	4	26	6	nízkotlaký zásobník, 10 000 ton
Z6	čpavok	4	42	11	plnenie/stáčanie ŽC, 55 ton
Z10	metanol	16	76	19	skladový zásobník, 4 000 ton
Z11	metanol	16	119	30	stáčanie ŽC 60 ton
Z12	metanol	16	107	27	stáčanie, kontajner 30 m ³
Z14	benzén	16	129	33	skladový zásobník
Z15	benzén	16	122	31	stáčanie ŽC 55 ton
Z17a	cyklohexán	21	264	61	reaktor oxidácie 50 m ³
Z17b	benzén, vodík	21	189	48	reaktor oxidácie, nábeh 50 m ³
Z17c	vodík	21	148	38	reaktor - dehydrogenácia
Z17d	cyklohexán	21	130	33	destilačná kolóna
Z18	cyklohexán	16	121	31	sklad 500 ton
Z19	cyklohexán	16	92	23	plnenie ŽC 55 ton

Tab. 4 Porovnanie kategórií únikov a dôsledkov pre vybrané metodiky

Únik (kg.s ⁻¹)	CEI	Uniknuté množstvo (kg)			CPR	IAEA-TECDOC-727	
		1 min	2 min	10 min	kategória	kategória	dôsledok
10	176	600	1 200	6 000	G3	CII	výbuch
13	200	780	1 560	7 800	G2	CII	
20	248	1 200	2 400	12 000	G2	CII	
100	556	6 000	12 000	60 000	G1	EIII	toxický rozptyl
200	786	12 000	24 000	120 000	G1	EIII	
300	962	18 000	36 000	180 000	G1	EIII	
330	1 009	19 800	39 600	198 000	G1	EIII	

Čpavok (ERPG2 = 139 mg.m⁻³ staršia hodnota uvedená podľa pôvodného postupu pre výpočet CEI.

s horľavými a výbušnými NL, z ktorých však ani jeden podľa CPR18E a Bevi, tab. 2, by nebol zaradený do QRA. Pre zdroje s čpavkom podľa odporúčania v kap. 3.2.1 modul B, tab. 10, Bevi [6], je nutné vykonať výpočet len pre toxický rozptyl. Táto skutočnosť nie je ošetrená už pri selekcii zdrojov, rovnica 1 a 2, žiadnym odporúčaním, ani obmedzením. Táto skutočnosť je zrejme, ak sa vykoná analýza havárií a zohľadní sa množstvo uniknutého čpavku.

O správnosti predpokladu pre zaradenie zdrojov s toxickým rozptylom pre CEI > 200 do QRA je možné sa presvedčiť. V tab. 4 sú uvedené vypočítané hodnoty CEI podľa rovnice 5 pre unikajúce množstvá 10 až 330 kg.s⁻¹. Sú porovnané s postupmi podľa CPR a IAEA-TECDOC-727 [9].

Pri výpočte dôsledkov podľa CPR, Bevi, sú kvantifikované typy únikov okamžitý a kontinuálny. Kontinuálne úniky sú kategorizované pre úniky do 10 kg.s⁻¹, od 10 až 100 kg.s⁻¹ a nad 100 kg.s⁻¹, (kategórie G1, G2, G3). Hodnoty CEI < 176 je možné porovnať s kontinuálnym únikom do 10 kg.s⁻¹. Pri týchto hodnotách úniku podľa IAEA-TECDOC-727 dochádza k výbuchu. Obdobné porovnanie je možné aj pre ďalšie typy únikov do a nad 100 kg.s⁻¹. Dôležité je to z pohľadu selekcie a hlavne poznania typu dôsledku už v etape selekcie zdrojov pre QRA. Pre čpavok, pri tonáži nad 60 ton, nie je charakteristický výbuch, kategória EIII podľa IAEA-TECDOC-727 [9]. Uvedené je to v tab. 4. CPR18E v selekcii zdrojov pre QRA pre NL, ktoré majú toxické aj horľavé vlastnosti súčasne má rôzne limity pre toxické a horľavé NL. Bevi pri výpočte dôsledkov odporúča už len výpočet toxického rozptylu. To je v súlade s FEI a CEI podľa tab. 4 pri únikoch nad 100 kg.s⁻¹. Tvrdenie o zaradení zdrojov s CEI > 200 do QRA sa zakladá na našich skúsenosti, že únik trvá minimálne 10 min. Z tab. 4 je zrejme, že pokiaľ sa odtrhne príruha na ŽC tak 55 ton bude do 10 min. mimo ŽC a v plynnom skupenstve. To je problém nie len pre obsluhu, ale aj okolie. Obdobným spôsobom je možné vykonať porovnanie pre iné NL s charakteristickou vlastnosťou toxicita-horľavosť

Diskusia

Dnešné chemické technológie sa líšia oproti minulosti nielen produkciou (množstvo, druh) voči stavu z roku 1999. V podnikoch kde sa zachovala pôvodná koncepcia bezpečnosti chemického konceptu (spôsob výroby a miera rizika) nie je metóda selekcie podľa CPR štandardov problémom. Ani z pohľadu vlastností NL horľavosť-toxicita. V minulosti nebola ani v CPR18E dopracovaná myšlienka vlastností NL toxicita-horľavosť. Toto reziduum je aj v Bevi doposiaľ. Vyplýva to z existencie selektívnych čísel, ktoré sú rádovo neporovnateľné s ostatnými selektívnymi číslami, tab. 1 a tab. 2. Zmena konceptu bezpečnosti pri zmenenej produkcii v podnikoch vytvorila tento problém ešte výraznejším. Metódy selekcie pre QRA podľa Bevi [6] je vhodné modifikovať. CPR štandardy boli samostatné štandardy. Bevi manuál sa stal len podpornou príručkou pre SAFETI-NL. Bevi zaradil selekciu až

v module C. V module B je doporučené pre čpavok. Ale explicitne nie je povedané v selekcii, že čpavok nie je nutné rátať na výbuch. Podmienka pre nezaradenie zdrojov s IR < 10⁻⁵ nepreukazuje jasne, že tieto zdroje nebudú príspevkom do hodnoty SR. Je ju možné považovať len za úhybný manéver a neriešenie problému selekcie zdrojov so selektívnym číslom o jeden rád vyšším ako je prevažná väčšina zdrojov v procese selekcie. Ak v štatistickom súbore vznikne odľahlá veličina, tak ju vyradíme. V prípade ZPH je to nemožné. Selekcia zdrojov neslúži len pre účel QRA. Havarijný plánovanie bez kvantifikácie scenárov a opisu kauzality je bezpredmetné. Z tohto pohľadu si aj pri existencii SAFETI-NL a odporúčaní uvedených v Bevi nedovolíme na základe skúseností nezahrnúť niektoré zdroje do QRA.

Odporúčania pre počet zdrojov pre QRA

Bevi [6] okrem obmedzenia počtu zdrojov pre QRA zdola viac ako 5, nemá obmedzenie zhora. Nie je odporúčaný počet zdrojov pre QRA v závislosti na posudzovanom počte zdrojov v podniku. Táto skutočnosť nedáva odpoveď na otázku aké percento zdrojov je možné očakávať po vykonaní selekcie. Na základe skúseností do roku 2011 [14] bolo pri počte posudzovaných zdrojov do 50 zaradených 2 % zdrojov pre QRA. Pri počte posudzovaných jednotiek medzi 50-100 to bolo 2-5 % zdrojov. Pri počte nad 100 to bolo 5-10 %. Od roku 1999 sa nami vykonalo viac ako 100 posúdení. Posudzovaný rozsah zdrojov v podnikoch bol od 3 500 zdrojov vo veľkých chemických podnikoch, až do 600 zdrojov v hutníckych prevádzkach s chemickými prevádzkami. Pri počte zdrojov 3 500 v podniku so zmiešanou výrobou (organická, anorganická výroba) bolo do QRA zaradených 1,7 %. V podnikoch s cca 1 200 zdrojmi a prevládajúcou organickou chémiou to boli 2 %. V hutníctve s chemickými prevádzkami pri počte zdrojov 600 to boli 2 %.

Obdobne je možné poukázať aj na percento skupiny odporúčenej metódou FEI a CEI pre podrobnú analýzu. Pri percentuálnom zastúpení kategórií FEI, kde hodnota FEI = 159 bola určená ako vzťažná (100 %) je možné vidieť, že pri tvorbe metodiky sa rátaťo s 37,7 % zastúpením kategórií FEI < 60, s 22,6 % zastúpením kategórií FEI v intervale 61-96, s 19,4 % zastúpením kategórií FEI v intervale 97-127, s 18,8 % zastúpením kategórií FEI v intervale 128-158 a 2,5 % zastúpením kategórií FEI > 159. Percentom kategórie sa FEI rádovo nelíši od CPR štandardov z pohľadu zdrojov pre QRA. FEI sa určuje len pre horľavé a výbušné vlastnosti NL.

Existujú aj NL s toxickými vlastnosťami. Pôvodná metóda kategorizácie CEI rozlišovala škálu CEI od 1 až 1 000. Pri hodnotách CEI > 1 000 sa odporúčalo CEI = 1 000. Na základe skúseností s touto metódou a porovnaním s inými screeningovými metódami sa nami odporúča do QRA zaradiť zdroje s CEI > 200. Viacero NL má horľavé aj toxické vlastnosti. Pokiaľ sa zohľadní aj táto vlastnosť tak do 2 % sa zmesť väčšina posudzovaných NL vhodných pre selekciu QRA. V tomto je zhoda medzi metodikami selekcie,

či novými alebo staršími. Táto skutočnosť je prvotnou informáciou pre posudzovateľa.

Odporúčania pre zohľadnenie zaradenia zdrojov pre QRA

Problémy vznikali pri prevádzkach s výrazne prevládajúcimi vlastnosťami NL toxicita-horľavosť, nie horľavosť-toxicita. V hutníctve prevládal oxid uhoľnatý a decht v rôznych podobách. Takéto NL nevykazujú výrazné rozdiely a CPR štandardy sú vhodné aj za predpokladu, že sa skladujú energeticky využívané plyny v skladoch od 50 000-400 000m³.

V chemických podnikoch s organickou aj anorganickou chémiou je v CPR štandardoch vhodne ošetrené rozhranie horľavosť-toxicita. Nevhodne je ošetrené doposiaľ rozhranie toxicita-horľavosť. V malých podnikoch s prevládajúcim jedným druhom výrobku sa QRA po selekcii zúžilo na jednu, maximálne dve prevládajúce NL, ktoré mali aj horľavé, aj toxické vlastnosti.

Pre sklady chemických látok, akými sú sklady mimo rafinérií je CPR štandard vhodný bez rozdielu skladovanej NL. Ak sa pri selekcii podľa rovnice 1-3 vyskytnú zdroje so selektívnym číslom vyšším o jeden rád a súčasne minimálne jeden zdroj s indikačným číslom A o dva rády vyšším ako väčšina zdrojov je dôvod posúdiť celú selekciu zdrojov aj druhou metódou. V prípade, že sa nejedná len o jeden zdroj so selektívnym číslom o jeden rád vyšším je nutné vytvoriť samostatnú skupinu a posúdiť ju samostatne. Pre obidve skupiny je nutné prijať rovnaké pravidlá. Pre výber metód platí pravidlo diverzifikovania a redundancie metód súčasne. Výber a kombináciu metód pre selekciu zdrojov pre QRA určuje posudzovateľ na základe vedomostí, metód a možností. Poznanie CPR štandardov, Bevi, SAFETI-NL je len minimálnym predpokladom pre správne selektovanie zdrojov pre QRA.

SAFETI-NL má nastavených mnoho predvolených hodnôt, ktoré zjednodušujú výpočet. Nepoznaním jadra problému vznikajú výstupy, ktoré nezodpovedajú realite. Bolo na to poukázané aj v [15] pre jednoduchý príklad BLEVE.

Amoniak doposiaľ prináša pre metódy selekcie niekoľko nezodpovedaných otázok v oblasti selekcie zdrojov pre QRA. V kombinácii s inými NL budú aj výzvou pre nasledujúce obdobie, nakoľko technológie skvapalňovania sa posúvajú nielen v oblasti horľavých NL. Sú známe už aj z minulosti. Problémom je materiálové inžinierstvo, ktoré si doposiaľ s niektorými výzvami v tejto oblasti neporadilo.

Odporúčaná postup pre selekciu zdrojov pre QRA pre účel ZPH

Skúsenosti s indexovými metódami dávajú obraz o možnom zaradení zdrojov do QRA. sú dobrým predpokladom k prijatiu princípu diverzifikácie a redundancie metód selekcie. Ak sa v podniku vyskytujú prevádzky, stáčanie/plnenie, manipulovanie, výroba organických chemických látok, zmesi a tieto NL majú hodnotu materiálového faktora MF = 21 [7], vzniká dôvod pre preskúmanie okolností v prevádzke a potenciáli zaradenia zdroja do QRA. Zariadenia s vysokými prevádzkovými tlakmi a teplotami je nutné taktiež podrobiť iným postupom, aby do selekcie QRA boli vybrané rizikové zdroje. Použitie dvoch nezávislých metód, tab. 4, 6, 7, umožňujú potvrdiť, vyvrátiť, správnosť zaradenia zdroja do QRA.

Existuje veľa screeningových metód založených na morfológickom porovnaní vlastností NL, napr. požiarne zaťaženosť, Hatayamov index, ap., ktoré dávajú rýchly obraz o povahe potenciálnej havárie aj v rámci ZPH. Druhou skupinou screeningových metód sú metódy založené na procesných prístupoch, ktoré sú využívané pri analýzach kontinuity činností pre krízové režimy v podnikoch. Nejedná sa o postupy pre CBA, ale o analýzy slúžiace k zachovaniu prevádzkovania technologického zariadenia v oblasti kritickej infraštruktúry v oblasti chémie, petrochémie, hutníctva.

Nami používaný postup pre selekciu zdrojov pre QRA pre účel ZPH

Zásadou je poznať prevádzku. Vykoná sa podrobná obhliadka prevádzky s konzultáciou s technológmi. Identifikujú sa vonkajšie hrozby. Používa sa upravený švajčiarsky katalóg hrozieb [16] s kvantifikáciou hrozieb. Použije sa CPR18E. V prípade výrazného rozdielu selektívnych a indikačných čísel sa posudzujú odľahlé hodnoty druhou metódou, napr. FEI, CEI ap.. Ak je cieľom aj vytvorenie havarijného plánu a posúdenia vonkajšieho a vnútorného domino efektu, posúdia sa aj zdroje s potenciálom vonkajšieho a vnútorného domino efektu. Kvantifikované podmienky pre tieto dôsledky sú uvedené v [17]. V úvahu sa berú skoronehody, ktoré boli v konkrétnom podniku a ktoré sa vyskytli za posledných 30 rokov.

Záver

V príspevku je poukázané na problematiku selekcie zdrojov v Seveso podnikoch podľa CPR štandardov. CPR18E, Bevi, SAFETI-NL neriešia postačujúco problematiku chladom skvapalnených plynov s vlastnosťami toxicita-horľavosť, akým je čpavok. CPR štandardy od roku 2017 riešia len chladom skvapalnené plyny s vlastnosťami horľavosť, napr. LNG.

Možnosti sú v úprave indikačného čísla a to parametrov G alebo O₃ pri zachovaní postupu selekcie podľa CPR18E pre čpavok. Druhou možnosťou je úprava koeficientu O₃ ako funkcie množstva Q.

Bolo poukázané na obmedzenia počtu zdrojov pre QRA zhora. Možné je očakávať do 2 % z celkového počtu posudzovaných zdrojov bez rozdielu prevládajúcej vlastnosti NL (horľavosť-toxicita alebo toxicita-horľavosť).

Publikovaný bol postup, ktorý je nami používaný pre riešenie tohoto problému. Spočíva v použití druhej metódy v oblasti, kde sú slabiny CPR18E. Ak sa pri selekcii zdrojov pre QRA vyskytnú zdroje so selektívnym číslom vyšším o jeden rád a súčasne minimálne jeden zdroj s indikačným číslom A o dva rády vyšším ako väčšina zdrojov, je dôvod posúdiť celú selekciu zdrojov aj druhou metódou. Pri takýchto prípadoch najčastejšie sú zo selekcie podľa CPR 18E vylúčené horľavé a toxické NL. Z tohoto dôvodu sa používa aj výpočet FEI. Postup je doplnený aj o identifikáciu hrozieb zvonku, nakoľko CPR18E bola vytvorená za účelom preukázania vplyvu na okolie a nie okolia na podnik. Pre účel ZPH je nutné skúmať aj problematiku vplyvu okolia na podnik.

Použitá literatúra

- [1] Smernica európskeho parlamentu a rady 2012/18/EÚ o kontrole nebezpečenstiev závažných havárií s prítomnosťou nebezpečných látok, ktorou sa mení a dopĺňa a následne zrušuje smernica rady 96/82/ES, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018>.
- [2] Nariadenie európskeho parlamentu a rady 1272/2008 o klasifikácii, označovaní a balení látok a zmesí, o zmene, doplnení a zrušení smerníc 67/548/EHS a 1999/45/ES a o zmene a doplnení nariadenia (ES) č. 1907/2006 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018>.
- [3] Pasman, H. J. "History of Dutch process equipment failure fire and the Purple Book", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(3), pp. 208-213, 2011. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.08.012>.
- [4] Guidelines for Quantitative Risk Assessment - CPR 18E (Purple Book). First edition. Den Haag. Sdu Uitgevers, 1999, 237 s, ISBN 9012087961.

- [5] CPR 18E Guidelines for quantitative risk assessment (PSG3), 2005, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf>.
- [6] Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2. Netherlands: National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Centre for External Safety, 2009. 189 s, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.rivm.nl/documenten/reference-manual-bevi-risk-assessments-version-32>.
- [7] Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, 7th Edition, June, 1994, AIChE, ISBN 978-0-8169-0623-9.
- [8] American Institute of Chemical Engineers (AIChE). Dow's Chemical Exposure Index Guide. John Wiley and Sons (Wiley): Hoboken, New Jersey (U.S.), pp. 44, 1998.
- [9] IAEA TECDOC 727, Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries Viena, 1996, Rev.1, ISSN 1011-4289.
- [10] The Times of Israel, Haifa ammonia tank emptied after years-long saga, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.timesofisrael.com/haifa-ammonia-tank-emptied-after-years-long-saga/>.
- [11] Rupture of a cryogenic ammonia tank, March 20th 1989, Jonova Lithuania (USSR), [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/FD_717_jonova_1989_ang.pdf.
- [12] Kooi, E.S., a kol.: Consequentieonderzoek SAFETI-NL 8 Verschillen in uitkomsten ten opzichte van SAFETI-NL 6.54 en impact daarvan RIVM Rapport 2018-0040. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/622172/2018-0040.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [13] Notre domaine d'expertise est la construction de réservoirs de GNL. Nous avons participé aux études, à la construction ou à la mise en service de 23 réservoirs cryogéniques dont 21 réservoirs de GNL, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <http://jmtankconsulting.com/projets-de-nos-consultants/>.
- [14] Tabas, M., Kotek, E.: Využití nového přístupu k selekci zdrojů rizika závažné havárie, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/vyuziti-noveho-pristupu-k-selekci-zdroju-rizika-zavazne-havarie>.
- [15] Nico H.W. a kol.: Risk evaluation in Dutch land-use planning, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.06.002>.
- [16] BABS Rakúsko, Leitfaden KATAPLAN Kantonale Gefährdungsanalyse und Vorsorge, 2013, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.babs.admin.ch/de/aufgabenbabs/gefaehrdrisiken/ktgefanalyse.html>.
- [17] Kardell, L., Lööf, M.: QRA with respect to domino effects and property damage. Report 5461. Division of Risk Management and Societal Safety, Lund University 2014.