



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Studies

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta
Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

Diplomová práce

Simulovaná chemická havárie spojená s únikem fosgenu

Vypracoval: Bc. Jan Novák
Vedoucí práce: prof. RNDr. Jiří Patočka

České Budějovice 2014

Abstrakt

Diplomová práce na téma „Simulovaná chemická havárie spojená s únikem fosgenu“ je zaměřena na problematiku havárií, a to jak z obecného hlediska, tak v konkrétním pojetí, kterým jsou chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek.

Diplomová práce je koncipována do dvou částí – rozdělení na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část diplomové práce je rozdělena do čtyř podkapitol. První podkapitola se v obecné míře zabývá haváriemi a jejich klasifikací na přírodní a antropogenní mimořádné události. Předmětem druhé podkapitoly je specifikace havárií, ke kterým dochází v chemickém průmyslu. Pozornost je věnována příčinám chemických havárií, ke kterým patří příčiny antropogenní (lidský činitel) a technické, pracovní podmínky a organizace práce. Z hlediska klasifikace jsou chemické havárie rozděleny chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek, dále pak havárie s únikem radioaktivních látek a havárie s únikem ropných látek. Třetí podkapitola je s ohledem na téma diplomové práce zaměřena právě na charakteristiku chemických havárií, které jsou spojeny s únikem nebezpečných chemických látek. Jedná se o stěžejní část teoretických východisek diplomové práce. V rámci této podkapitoly jsou uvedeny příčiny těchto havárií, jejich klasifikace, průběh, typické projevy a následky. Zmíněny jsou rovněž faktory, které ovlivňují šíření nebezpečných chemických látek uniklých v důsledku chemické havárie prostředím v závislosti na celé řadě podmínek. Čtvrtá podkapitola navazuje na předchozí kapitolu, neboť se zabývá stručnou charakteristikou nebezpečných chemických látek. Pozornost je však vzhledem k tématu diplomové práce zaměřena na komplexní specifikaci fosgenu.

Podstatou praktické části diplomové práce je realizace výzkumu, který spočívá v simulaci neboli modelování chemické havárie spojené s únikem vybrané nebezpečné chemické látky z konkrétního chemického závodu. Pro účely modelování byl za nebezpečnou chemickou látku vybrán fosgen. Vybraným chemickým závodem byla společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Pardubicích. Cílem praktické části diplomové

práce bylo namodelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. K simulaci bylo využito softwarového nástroje TerEx, verze 2.9.1. Prostřednictvím tohoto počítačového programu bylo namodelováno celkem deset havarijních scénářů, při nichž v různých množstvích unikl v důsledku chemické havárie ze společnosti Synthesia, a. s. fosgen. Dalším cílem praktické části diplomové práce bylo posouzení rizika plynoucího z této chemické havárie. Toto posouzení bylo provedeno na základě výsledků z programu TerEx v podobě toxického ohrožení, doporučeného průzkumu toxické koncentrace fosgenu do vzdálenosti od místa úniku této látky, vzdálenosti nezbytné evakuace osob a v neposlední řadě také časové závislosti koncentrace fosgenu a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob. Třetím a zároveň posledním cílem praktické části diplomové práce bylo zhodnocení dopadů této případné chemické havárie na zdraví a životy obyvatel. Z výsledků namodelovaných chemických havárií, při kterých ze společnosti Synthesia, a. s. unikl fosgen, vyplynulo, že dopady této mimořádné události by měly vliv zvláště na zdraví, nikoliv životy obyvatel. Koncentrace fosgenu by byly pouze prahové (od 10 do 20 mg/m³), což by způsobilo podráždění očí a horních cest dýchacích / nosohltanu. I když by dle výsledků výzkumu nemělo dojít k závažnějším dopadům na zdraví obyvatel, je v případě vzniku takové chemické havárie v každém případě uvažovat nejhorší možný havarijní scénář.

Klíčová slova: fosgen, chemická havárie, Mimořádná událost, TerEx

Abstract

The thesis entitled “Simulated Chemical Accident Associated with Phosgene Leak” focuses on the issue of disasters in general and specifically on chemical disasters associated with leakage of dangerous chemicals.

The thesis consists of a theoretical and a practical part.

The theoretical part of the thesis is divided into four subchapters. The first subchapter deals with accidents in general, and the classification thereof into natural and anthropogenic contingencies. The subject of the second chapter deals with specification of accidents that occur in the chemical industry. A special focus is given to causes of chemical accidents, among which there are anthropogenic (human factor) and technical causes as well as working conditions and organization of work. As regards classification, chemical accidents are divided into chemical accidents associated with leakage of dangerous chemicals, further accidents with leakage of radioactive substances and those involving oil leaks. With regard to the topic of the thesis, the third subchapter specifically focuses on characteristics of chemical accidents associated with leakage of dangerous chemicals. This is the key part of the theoretical basis of the thesis. The subchapter deals with causes, classification, development, characteristic effects and consequences of such accidents. Factors are also mentioned that affect the spread in the environment of dangerous chemicals leaked as the result of chemical accidents depending on a number of conditions. The fourth subchapter is linked to the preceding chapter in that it provides a brief characteristic of dangerous chemicals. A special focus is given to a comprehensive specification of phosgene.

The core of the practical part of the thesis lies in the implementation of research consisting in simulation or modelling of a chemical accident associated with leakage of a selected chemical from a particular chemical plant. For the purpose of modelling phosgene was selected as the dangerous chemical. The company Synthesia, a. s. located in Pardubice, was chosen as the chemical plant in question. The practical part of the thesis aimed at modelling a chemical disaster associated with phosgene leak at Synthesia, a. s. The software tool TerEx, version 2.9.1. was used for simulation. Using

this computer program a total of ten contingency scenarios were prepared involving phosgene leaks of different quantities as consequence of a chemical accident at Synthesia, a. s. Another aim of the practical part of the thesis was to assess risks following from the chemical accident. This assessment was made on the basis of the results of the TerEx program in the form of toxic exposure, recommended examination of toxic phosgene concentration within certain distance from the place of leakage, areas of necessary evacuation of the population, and last but not least time dependence of phosgene concentration and accumulated dose within distances of necessary evacuation of the population. The third and also the last aim of the practical part of the thesis was to assess impacts of this potential chemical accident on the health or lives of the population. The results of the modelled chemical accidents involving phosgene leak from Synthesia, a. s. showed that this contingency would especially impact health but not lives of the population. The phosgene concentrations showed only threshold levels (from 10 to 20 mg/m³) that would cause irritation of the eyes and the upper respiratory tract / nasopharynx. Even though the results of the research showed that no serious impacts on the health of the population should occur, the worst possible contingency scenario should always be considered in the event of such chemical accident.

Keywords: phosgene, chemical accident, Extraordinary event, TerEx

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 19. května 2014

.....

Bc. Jan Novák

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. RNDr. Jiřímu Patočkovi za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce.

Obsah

Úvod	10
1 Teoretická část	12
1.1 Havárie	14
1.1.1 Vymezení pojmu a definice havárie	14
1.1.2 Klasifikace havárií	18
1.2 Chemické havárie	26
1.2.1 Příčiny chemických havárií	29
1.2.2 Klasifikace chemických havárií.....	29
1.3 Chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek	30
1.3.1 Základní charakteristika havárií s únikem nebezpečných chemických látek	31
1.3.2 Příčiny vzniku havárií s únikem nebezpečných chemických látek.....	32
1.3.3 Klasifikace havárií s únikem nebezpečných chemických látek.....	33
1.3.4 Průběh havárií s únikem nebezpečných chemických látek.....	33
1.3.5 Faktory ovlivňující šíření nebezpečných chemických látek při haváriích....	34
1.3.6 Typické projevy havárií s únikem nebezpečných chemických látek.....	35
1.3.7 Následky havárií s únikem nebezpečných chemických látek.....	36
1.4 Nebezpečné chemické látky	37
1.4.1 Fosgen.....	37
1.4.1.1 Historie fosgenu	38
1.4.1.2 Výroba fosgenu	39
1.4.1.3 Chemické reakce fosgenu.....	39
1.4.1.4 Fyzikálně-chemické a termodynamické vlastnosti fosgenu	40
1.4.1.5 Využití fosgenu	42
1.4.1.6 Toxicita fosgenu a mechanismus jeho účinku.....	42
1.4.1.7 Symptomy intoxikace fosgenem	44
1.4.1.8 Diagnóza intoxikace fosgenem	45
1.4.1.9 První pomoc a léčba při intoxikaci fosgenem	45
2 Formulace výzkumného problému a cílů práce.....	47

3	Metodika výzkumu	48
3.1	Počítačový program TerEx.....	48
3.2	Charakteristika společnosti Synthesia, a. s.	54
3.3	Modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu.....	56
3.4	Interpretace výsledků modelování chemické havárie	59
4	Výsledky.....	60
4.1	Vybrané havarijní situace.....	60
4.1.1	Havarijní situace č. 2	60
4.1.2	Havarijní situace č. 4	64
4.1.3	Havarijní situace č. 6	69
4.1.4	Havarijní situace č. 8	74
4.2	Shrnutí výsledků modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ..	79
5	Diskuze	83
6	Závěr	86
7	Seznam použité literatury	88
8	Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	94

Úvod

Chemický průmysl je v současné době jedním z nejvýznamnějších a nejdynamičtěji se rozvíjejících hospodářských odvětví, a to v celosvětovém měřítku. Podstatou celé řady průmyslových odvětví, včetně chemického průmyslu, jsou dlouhodobé a složité výrobní procesy zahrnující těžbu surovin, jejich přepravu, skladování, zpracování, úpravu na meziprodukty a mnoho dalších činností. V každé této výrobní etapě může dojít a ve skutečnosti také velmi často dochází ke vzniku různých mimořádných událostí, které jsou spojeny se selháním strojů, zařízení, budov (např. v důsledku stárnutí, amortizace, působení vnějších či vnitřních vlivů atd.) či lidského faktoru (kupříkladu v důsledku únavy, nepozornosti, úmyslu apod.). Tyto mimořádné události mohou vzniknout rovněž v důsledku působení dalších vlivů – např. přírodních živlů. Zmiňované mimořádné události, při kterých dojde k havárii při výrobě, manipulaci, skladování, zpracovávání a používání nebezpečných chemických látek za jejich současného úniku bývají označovány jako havárie s únikem nebezpečných látek (Ochrana člověka za mimořádných událostí: Příručka pro učitele základních a středních škol, 2005, s. 52). Tyto úniky nebezpečných chemických látek mohou být kontrolované a nekontrolované, které bývají nebezpečnější, neboť bývají spojeny s celou řadou dalších nebezpečných jevů – např. požáry či výbuchy. Historie chemického průmyslu je od samotného počátku spojena se vznikem nejrůznějších mimořádných událostí, havárií a nehod různých druhů a rozsahů. Při chemických haváriích velmi často dochází k úniku nebezpečných látek do vnitřního (např. průmyslových budov) a vnějšího prostředí (tj. do okolí průmyslového podniku). V takových případech uniklé nebezpečné látky ohrožují nejen zdraví a životy lidí, ale také jednotlivé složky životního prostředí (nejčastěji ovzduší, vodu, půdu, rostlinstvo a živočišstvo).

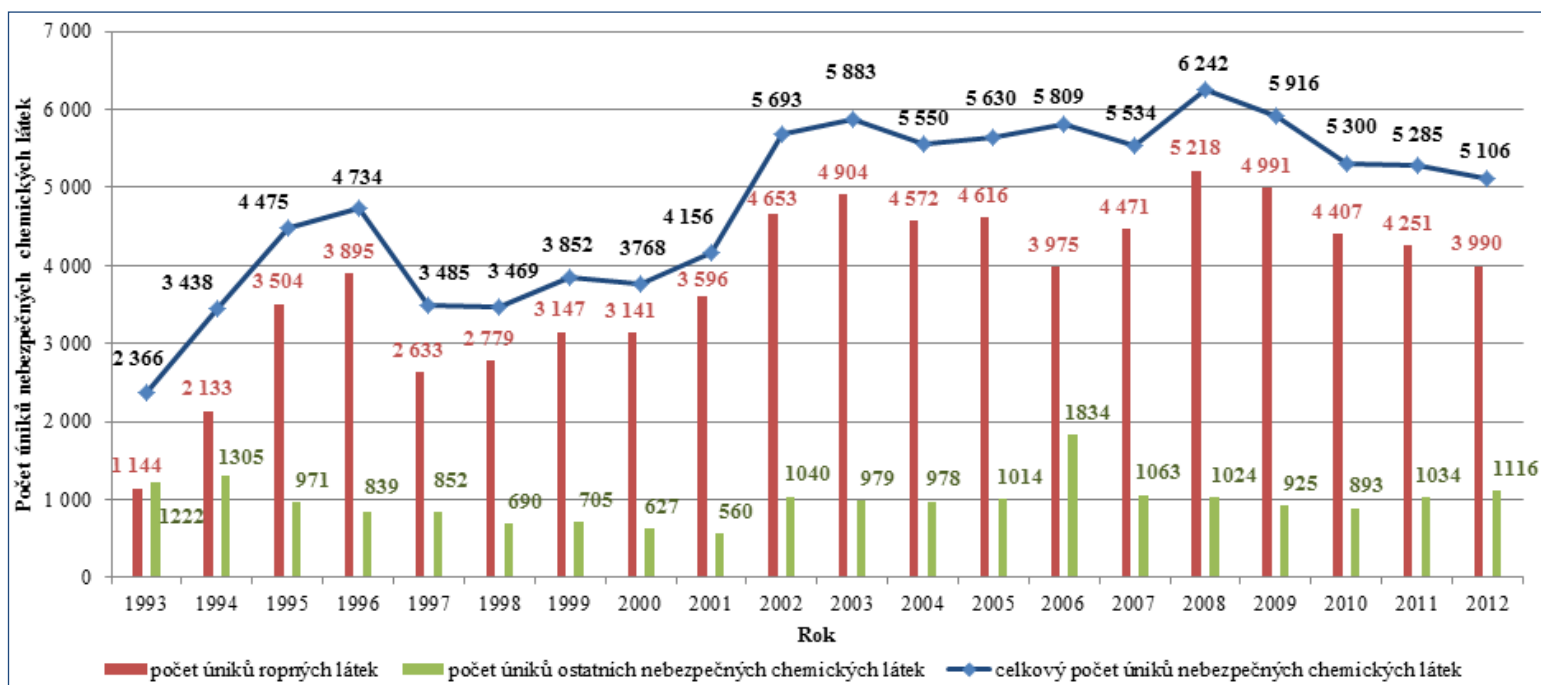
Diplomová práce na téma „Simulovaná chemická havárie spojená s únikem fosgenu“ se zabývá problematikou havárií v chemickém průmyslu se zaměřením na havárie, v jejichž důsledku dojde k úniku fosgenu. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část diplomové práce je zpracována formou literární rešerše. Zabývá se charakteristikami současných poznatků o chemických

haváriích s únikem nebezpečných látek jednak z obecného hlediska, a jednak v aplikované podobě – tedy v souvislosti s únikem fosgenu. Zabývá se rovněž příslušnými charakteristikami fosgenu – od jeho historie, přes průmyslovou výrobu, chemické reakce, fyzikálně-chemické a termodynamické vlastnosti, využití, až po jeho toxické účinky pro lidský organismus. Praktická část diplomové práce je zaměřena na simulaci chemické havárie s únikem fosgenu za pomoci softwarového nástroje TerEx, který slouží k okamžitému vyhodnocení dopadů úniku nebezpečné chemické látky, otravné látky či použití výbušného systému. Pro simulaci chemické havárie s únikem fosgenu byla vybrána chemická společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Pardubicích.

1 Teoretická část

Problematika vzniku mimořádných událostí v podobě nejrůznějších havárií je stále velice aktuálním tématem, neboť jejich důsledky (např. na zdraví a životy lidí, životní prostředí, majetek) nejsou ve většině případů zanedbatelné. Zvláštní pozornost je potřeba věnovat chemickým haváriím, které jsou velmi často spojeny s úniky nebezpečných chemických látek. Chemický průmysl je v současné době jedním z nejvýznamnějších a nejdynamičtěji se rozvíjejících hospodářských odvětví. Tato skutečnost má celosvětový význam. Nejen ve světě, ale také v České republice se vyrábí, zpracovává, dopravuje, skladuje, manipuluje a účelově využívá obrovské množství chemických látek a směsí, jejichž počet se neustále zvyšuje. K únikům nebezpečných chemických látek může dojít prakticky kdekoli a mnohdy také kdykoli. Skutečnost, že k chemickým haváriím s únikem nebezpečných chemických látek v minulosti docházelo a stále dochází, je založena na množství dostupných statistických údajů.

Statistika úniků nebezpečných chemických látek v letech 1993 až 2012 je uvedena v grafu 1 níže. Pro účely zpracování tohoto přehledu byla využita data ze statistických ročenek Ministerstva vnitra – Generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. Sledovaným obdobím byla léta od roku 1993 do roku 2012. Z grafu 1 je patrné, že největší podíl z celkového počtu úniků nebezpečných chemických látek mají ropné látky. Obě tyto znázorněné křivky vykazují téměř stejný trend. Od roku 1993 do roku 1997 se počet úniků nebezpečných chemických látek zvyšoval. V roce 1997 a 1998 došlo ke stagnaci narůstajícího počtu úniků nebezpečných chemických látek. K prudkému zvyšování počtu úniků těchto látek docházelo v období od roku 2000 do roku 2003. Poté došlo k nepatrnému poklesu počtu úniků nebezpečných chemických látek. V posledních letech (konkrétně od roku 2008) dochází ke snižování celkového počtu úniků nebezpečných chemických látek. Nejvyšší počet úniků ostatních nebezpečných chemických látek, kromě ropných, byl zaznamenán v roce 2006.



Graf 1: Statistika úniků nebezpečných chemických látek v letech 1993 – 2012 (Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR: 1998 – 2012, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [online], 2010)

Zdroj: upraveno dle Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR: 1998 – 2012. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [online] 2010 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>.

1.1 Havárie

V každodenním životě se setkáváme s velkým počtem mimořádných událostí, které nejen nás, ale také okolní prostředí více či méně, pozitivně či negativně ovlivňují. K nejčastějším mimořádným událostem patří živelné pohromy a průmyslové havárie, kterým je z důvodu jejich rozsahu a závažnosti (tedy dopadům na zdraví a životy lidí, zvířat, životního prostředí a majetek) věnovat dostatečnou pozornost.

1.1.1 Vymezení pojmu a definice havárie

V souvislosti s definicí havárie je nejprve nutné vymezení pojmu a definování mimořádné události. Definice mimořádné události je zakotvena v zákoně č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. **Mimořádnou událostí** se ve znění tohoto zákona rozumí „*škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací*“ (Zákon o integrovaném záchranném systému, 2000, Hlava I, § 2, písm. b)). **Havárii** lze definovat jako mimořádnou událost (nehodu či katastrofu, která je ve většině případů zapříčiněná člověkem), jejímž následkem je poškození nebo zničení nějakého zařízení, stroje, přístroje, budovy, technologického komplexu, lidského zdraví či života, životního prostředí anebo majetku. Další definici havárie uvádí zákon č. 273/2010 Sb., vodní zákon, ve znění pozdějších předpisů. „*Havárií je mimořádné závažné zhoršení nebo mimořádné závažné ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod. Za havárii se vždy považují případy závažného zhoršení nebo mimořádného ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod ropnými látkami, zvláště nebezpečnými látkami, popřípadě radioaktivními zářiči a radioaktivními odpady, nebo dojde-li ke zhoršení nebo ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod v chráněných oblastech přirozené akumulace vod nebo v ochranných pásmech vodních zdrojů. Dále se za havárii považují případy technických poruch a závad zařízení k zachycování, skladování, dopravě a odkládání*

látek, pokud takovému vniknutí předcházejí“ (Zákon o vodách, 2010, Část první, Hlava V, Díl 5, § 40, odst. 1 - 3).

V současné době bývá pojem havárie doplněn o nejrůznější přívlastky – např. průmyslová havárie, závažná havárie, radiační havárie apod. Definice některých z těchto havárií jsou uvedeny níže:

• definice průmyslové havárie:

Průmyslovou havárii definuje tzv. Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států následovně: *„Průmyslovou havárií se rozumí událost vzniklá následkem nekontrolovaného vývoje během jakékoli činnosti spojené s nebezpečnými chemickými látkami v zařízení (například při jejich výrobě, používání, skladování, manipulaci nebo zneškodňování) nebo při dopravě (zde se týká pouze v omezeném rozsahu)“ (Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států, Ministerstvo životního prostředí [online], 2011).*

• definice závažné havárie:

Definice závažné havárie vychází ze Směrnice Rady 96/82/ES SEVESO II, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek. Jedná se o *„událost jako je velká emise, požár nebo výbuch vyplývající z neregulovaného vývoje v průběhu provozu jakéhokoli zařízení, na které se vztahuje tato směrnice, jež vede k vážnému nebezpečí pro lidské zdraví nebo životní prostředí, zprostředkovanému nebo zpožděnému, uvnitř nebo mimo závod a zahrnuje jednu nebo více nebezpečných látek“ (Směrnice Rady 96/82/ES SEVESO II, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek, EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie [online], 1996, Článek 3, odst. 5).* Pojem závažné havárie byl v souladu s evropskou legislativou implementován také do českého právního řádu. Pojem a definice závažné havárie jsou předmětem zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů. Závažnou havárií se ve smyslu tohoto zákona rozumí *„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“ (Zákon o prevenci závažných havárií, 2006, Část první, Hlava I, § 2, písm. e)). Ke kritériím, která vymezují závažnou havárii dle jejich následků, patří:

- *„z hlediska životů a zdraví lidí:*
 - *úmrť,*
 - *zranění minimálně 6 zaměstnanců nebo ostatních fyzických osob zdržujících se v objektu nebo u zařízení, pokud jejich hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,*
 - *zranění minimálně jednoho občana mimo objekt nebo zařízení, pokud jeho hospitalizace přesáhla dobu 24 hodin,*
 - *poškození jednoho nebo více obydlí mimo objekt nebo zařízení, které se v důsledku havárie stalo neobyvatelné,*
 - *nutnosti provedení evakuace nebo ukrytí občanů v budovách po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba evakuace nebo ukrytí občanů (počet občanů x doba) přesáhla 500 hodin,*
 - *přerušeni dodávky pitné vody, elektrické a tepelné energie, plynu nebo telefonního spojení po dobu delší než 2 hodiny, pokud celková přepočtená doba přerušeni dodávky (počet občanů x doba) přesáhla 1 000 hodin,*
- *z hlediska poškození životního prostředí:*
 - *území chráněné dle zvláštních předpisů, tj. chráněná území, vyhlášená pásma ochrany vodních zdrojů a pásma ochrany zdrojů minerálních vod o rozloze stejné nebo větší než 0,5 ha,*
 - *ostatní území o rozloze stejné nebo větší než 10 ha,*
 - *tok řeky nebo vodního kanálu o délce stejné nebo větší než 10 km,*

- *vodní hladina jezera nebo nádrž, které nemají statut vodárenské nádrže, o rozloze dosahující nebo přesahující 1 ha,*
- *kolektory, tj. saturované a nesaturované zóny v místě jímání nebo akumulace podzemních vod, nebo znečištění podzemních vod o rozloze stejné nebo větší než 1 ha,*
- *z hlediska škod na majetku:*
 - *poškození objektu nebo zařízení původce závažné havárie ve výši stejné nebo převyšující 70 mil. Kč,*
 - *poškození majetku mimo objekt nebo zařízení původce havárie ve výši stejné nebo převyšující 7 mil. Kč,*
 - *závažná havárie vedoucí k následkům mimo území České republiky“ (Bernatík, 2006, s. 5 – 6).*

• **definice radiační havárie:**

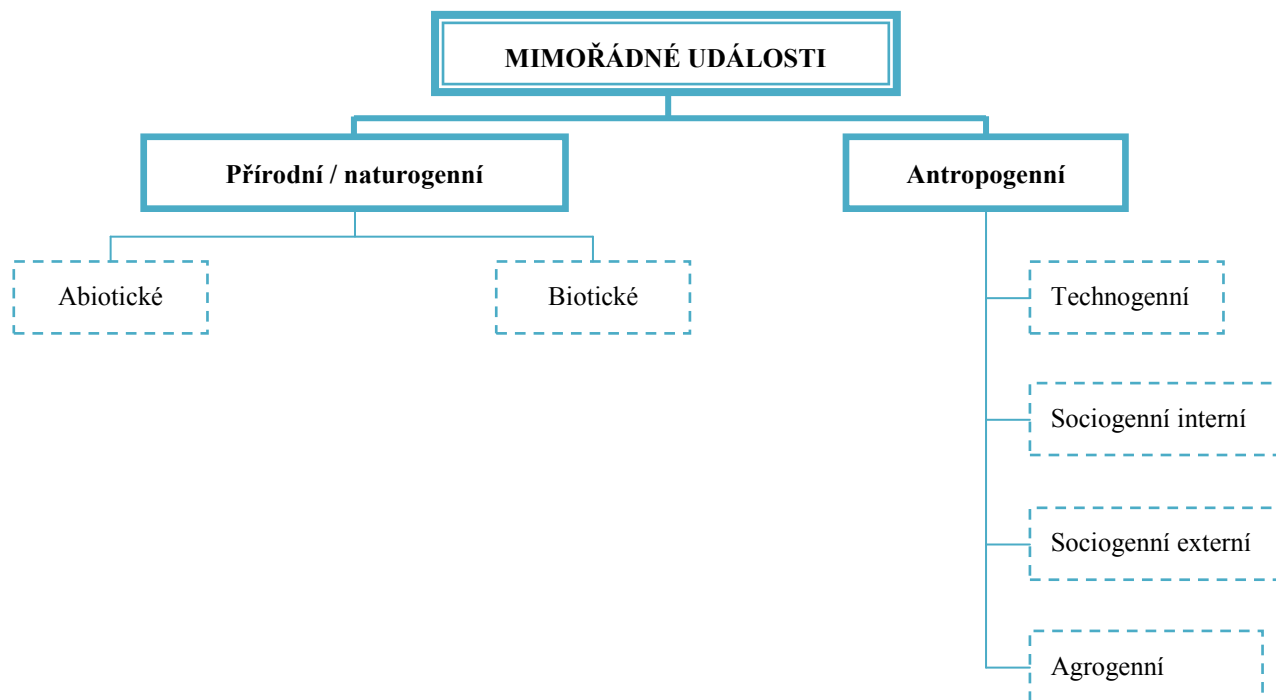
Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů rozlišuje a definuje 3 významné pojmy, a to:

- *„**radiační nehodu** – událost, která má za následek nepřípustné uvolnění radioaktivních látek nebo ionizujícího záření nebo nepřípustné ozáření fyzických osob,*
- ***radiační havárii** – radiační nehoda, jejíž následky vyžadují naléhavá opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí,*
- ***radiační mimořádnou situaci** – situace, která následuje po radiační havárii nebo po takové radiační nehodě nebo po takovém zjištění zvýšené úrovně radioaktivity nebo ozáření, které vyžadují naléhavá opatření na ochranu fyzických osob“ (Atomový zákon, 1997, Část I., Hlava první, § 2, písm. k) – m)).*

Na základě výše uvedeného přehledu některých definic mimořádné události a havárie lze zjednodušeně konstatovat, že za tyto situace je možné považovat jakýkoliv nepředvídatelný stav, ke kterému může dojít z nejrůznějších příčin, a který může mít a ve skutečnosti má nepříznivý vliv na zdraví či životy lidí, životní prostředí a majetek.

1.1.2 Klasifikace havárií

Protože havárie jsou klasifikovány do mimořádných událostí, je logické provést zprvu obecné rozdělení těchto situací mimořádného charakteru. Základní rozdělení mimořádných událostí z obecného hlediska je přehledně uvedeno na obrázku 1 níže.



Obrázek 1: Schématické základní rozdělení mimořádných událostí (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175)

Zdroj: vlastní zpracování dle MARTINEK, Jiří, KŘÍŽ, Miloš. Základní rozdělení mimořádných událostí. Hradec Králové: Oficiální stránky statutárního města [online] 2011 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z: <http://www.hradeckralove.org/urad/zakladni-rozdeleni-mimoradnych-udalosti>. a VEVERKA, Ivan. Vybrané kapitoly krizového řízení pro záchranářství. Praha: Policejní akademie České republiky, Katedra krizového řízení, 2003. 175 s. ISBN 80-7251-126-2.

Mimořádné události lze primárně rozdělit na přírodní a antropogenní. **Přírodní neboli naturogenní mimořádné události** lze dále klasifikovat na abiotické a biotické. **Abiotické mimořádné události** jsou způsobeny neživou přírodou a lze k nim zařadit např.:

- „požáry způsobené přírodními vlivy,
- kosmické záření, radioaktivitu přírodního prostředí, únik radonu, zvýšené radioaktivní pozadí,
- povodně a záplavy,
- dlouhodobá sucha,
- dlouhodobé inverzní situace,
- propady zemských dutin,
- zemětřesení,
- sopečnou činnost,
- posun říčního koryta,
- půdní erozi,
- silné mrazy a vznik námraz,
- sněhové kalamity,
- zemské sesuvy,
- krupobití,
- vichřice, větrné poryvy, větrné víry – tornáda,
- mlhy – dlouhodobá ztráta viditelnosti,
- atmosférické výboje,
- geomagnetické anomálie,

- *narušování ozónové vrstvy z důvodů velké produkce metanu (velkochovy hospodářských zvířat),*
- *narušování krajinných celků a celkové ekologické rovnováhy,*
- *přepólování zemských pólů,*
- *globální změna klimatu,*
- *pád kosmických těles, meteorických dešťů,*
- *výbuch supernovy“ (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).*

Biotické mimořádné události jsou naopak způsobeny živou přírodou (tj. živými organismy – např. bakteriemi či jinými mikroorganismy, houbami, rostlinami či živočichy). K těmto dějům patří zvláště:

- *„epifylie – rozsáhlá nákaza rostlin,*
- *epizootie – rozsáhlá nákaza zvířat,*
- *epidemie – velká nákaza lidí,*
- *přemnožení přírodních škůdců,*
- *parazité,*
- *živočišní a rostlinní vetřelci,*
- *přemnožení plevelů,*
- *rychlé vymírání druhů,*
- *genové a biologické manipulace“ (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).*

Antropogenní mimořádné události jsou stavy, které jsou zapříčiněny lidskou činností a lze je klasifikovat na technogenní, sociogenní interní, sociogenní externí a agrogenní. K **technogenním mimořádným událostem** patří především provozní havárie a havárie, které jsou spojeny s infrastrukturou:

- *„radiační havárie velkého rozsahu,*
- *technologické havárie spojené s výronem nebo únikem nebezpečných látek,*
- *havárie v dopravě s výronem toxických látek,*
- *rozsáhlé ropné havárie,*
- *požáry,*
- *rozsáhlé dopravní havárie v silniční, železniční, letecké, městské a vnitrozemské lodní dopravě a na lanovkách,*
- *důlní neštěstí,*
- *mechanické a statické poruchy staveb a zařízení,*
- *mimořádné události v tunelech a jiných podzemních stavbách,*
- *technické a technologické havárie – požáry, exploze, destrukce,*
- *narušení hrází vodohospodářských děl,*
- *znečištění životního prostředí rozsáhlými haváriemi,*
- *havárie v dopravě – požáry, exploze, destrukce,*
- *nepříznivé působení člověka na životní prostředí (ekologické havárie) – smog, skleníkový efekt, ztenčování ozónové vrstvy, toxické a infekční odpady, likvidace ekologické rovnováhy, neodborné používání agrochemikálií, odpady ve vodních tocích apod.“* (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).

K **sociogenním mimořádným událostem interním** patří společenské, sociální a ekonomické krize, které probíhají na vnitrostátní úrovni. Z těchto situací lze jmenovat kupříkladu:

- *„narušení finančního a devizového hospodářství státu,*
- *narušení dodávek ropy a ropných produktů,*
- *narušení dodávek elektrické energie, plynu a tepla,*
- *narušení dodávek potravin,*
- *narušení dodávek pitné vody,*
- *narušení dodávek léčiv a zdravotnického materiálu,*
- *narušení funkčnosti dopravních systémů,*
- *narušení funkčnosti informačních systémů a komunikačních vazeb,*
- *narušení funkčnosti systémů pro varování a vyrozumění obyvatelstva,*
- *totální zhroucení ekonomiky státu,*
- *migrační vlny a rozsáhlá emigrace ze státu,*
- *rozvoj rasové, národnostní a náboženské nesnášenlivosti,*
- *hromadné postižení osob mimo epidemií,*
- *hrozba teroristických akcí, aktivity vnitřního a mezinárodního zločinu a terorismu,*
- *závažné narušení veřejného pořádku, nárůst závažné majtkové a násilné kriminality, soupeření militantních nebo extrémních politických skupin mezi sebou,*
- *ohrožení života a zdraví občanů jiných zemí takového rozsahu, kdy je vyžadována humanitární pomoc nebo nasazení záchranných sil v rámci zahraniční pomoci,*
- *ohrožení demokratických základů státu extrémistickými politickými skupinami,*

- *psychosociální negativní jevy,*
- *záměrné šíření poplašných a nepravdivých zpráv, vyvolávání stavu paniky,*
- *záměrné šíření drogových závislostí,*
- *působení toxických odpadů na okolí,*
- *použití zbraní hromadného ničení jaderných, chemických a biologických,*
- *decimování a vyhlazování obyvatelstva,*
- *vliv přelidnění“ (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).*

Externí sociogenní mimořádné události jsou charakterizovány krizovými situacemi vojenského charakteru. Jedná se např. o tyto stavy:

- *„násilné akce subjektů cizí moci spojené s použitím vojenských sil a prostředků na území, ke kterému jsou plněny spojenecké závazky, nebo je poskytována mezinárodní humanitární pomoc,*
- *diverzní činnost spojená s přípravou vojenské agrese nebo v průběhu vojenské agrese,*
- *vnější vojenské napadení státu nebo jeho spojenců,*
- *ohrožení základních demokratických hodnot v takovém rozsahu, že je požadováno nasazení ozbrojených sil pro provedení mezinárodní mírové nebo humanitární operace,*
- *hospodářské sankce a hospodářský nátlak,*
- *rozsáhlé ekologické havárie, přesahující hranice států,*
- *politický nátlak,*
- *přenos hospodářských krizí z důvodů propojení ekonomik“ (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).*

Agrogenní mimořádné události představují situace, které jsou spojeny se zemědělstvím a půdou:

- „eroze půdy,
- degradace kvality půdy,
- splavování půd do vodních toků,
- zhutňování půd z důvodů používání těžké mechanizace,
- nevhodné používání hnojiv a agrochemikálií,
- vysychání a znehodnocování vodních zdrojů,
- monokulturní zemědělská výroba,
- zhoršení kvality zemědělské produkce vlivem velkoprodukce (rostlinné i živočišné)“ (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).

V mnoha odborných publikacích se lze setkat také s další klasifikací mimořádných událostí – např. jejich dělení na lokální a globální, úmyslné a neúmyslné či vojenské a nevojenské. V této souvislosti je nutné uvést také skutečnost současného působení více jevů – jedná se o tzv. dominoefekt (příkladem může být zemětřesení, v jehož důsledku dojde k požáru, výbuchu či úniku nebezpečných chemických látek z provozu).

Pro účely této diplomové práce jsou z výše uvedené klasifikace nejvýznamnější antropogenní mimořádné události technogenního charakteru. Havárie v pravém slova smyslu lze z obecného hlediska rozdělit takto:

- dopravní nehody,
- průmyslové havárie (tj. chemické, ropné, jaderné a další havárie),
- ekologické havárie,
- popř. ostatní havárie.

V souladu s tématem předkládané diplomové práce bude pozornost dále soustředěna na chemické havárie ve spojitosti s únikem nebezpečných chemických látek (viz kapitola 2 této diplomové práce).

1.2 Chemické havárie

Chemické havárie různého typu a rozsahu jsou od samého počátku spojeny s historií chemického průmyslu. Prudký rozvoj chemického průmyslu nastal v 18. století, kdy se v Anglii začal rozmáhat textilní průmysl. Pozornost v té době byla soustředěna na hledání nové efektivnější a rychlejší technologie v bělení textilu. O její vynález se v polovině 18. století zasloužil John Roebuck, který objevil průmyslovou metodu výroby kyseliny sírové ve speciálních komorách z olova. Tato komora byla schopná nejen bělení, ale také výroby bělidel. Na konci 18. století pak byla zahájena průmyslová výroba uhličitanu sodného (sody), který byl důležitou surovinou pro výrobu mýdla či skla. Pro 19. století je charakteristický především rozvoj organické chemie. K nejvýznamnějším objevům patří zvláště výroba anilinu (prvního umělého barviva), dále výroba výbušnin (např. nitrocelulózy, nitroglycerinu či dynamitu), výroba celulozoidu a prvních umělých vláken. K největšímu rozvoji chemického průmyslu docházelo ve Spojených státech amerických a v některých evropských zemích – kupříkladu Německu, Anglii či Rakousku-Uhersku. Roku 1856 byl na okraji města Ústí nad Labem založen tzv. Rakouský spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost. V současné době zde působí „Spolek pro chemickou a hutní výrobu“. O devět let později byla v Německu založena chemická společnost známá pod zkratkou BASF (Badische Anilin- & Soda-Fabrik). Tato firma rovněž působí dodnes. O další z významných vynálezů se postaral Leo Baekeland, který v roce 1909 prostřednictvím reakce formaldehydu s fenoly za vysokých teplot vyrobil plastickou hmotu známou jako bakelit. Postupem času docházelo k dalším objevům – např. výrobě zcela nových barviv a detergentů nebo výrobě umělých vláken ve formě rayonu či nylonu. Ve 30. letech 20. století se začaly vyrábět první průmyslové pesticidy. V 50. letech tato výroba prudce vrostla a pozornost byla věnována především výrobě DDT, který byl používán jako

insekticid. V průběhu 60. a 70. let se již spekovalo o nepříznivých účincích pesticidů, a to především v souvislosti s jejich toxicitou, perzistencí a schopností akumulace. Tato zjištění vedla k postupnému zavádění regulace nakládání s chemickými látkami. Od 70. let 20. století byly výroba a používání chlorovaných pesticidů, včetně DDT, postupně eliminovány a zakazovány, a to tzv. Stockholmskou úmluvou o perzistentních organických látkách (Banýr, Novotný, 1986, s. 146), (Mollin, 1992, s. 121), (Budiš a kolektiv, 1995, s. 100), (Budiš a kolektiv, 1996, s. 53), (Pichler, 1997, s. 62), (Cídllová, Valová, 2011, s. 379 - 388).

Rozvoj chemického průmyslu v českých zemích nastal rovněž v 18. století. Roku 1778 byla ve Velké Lukavici zprovozněna chemická továrna, která termickým rozkladem kyzových břidlic vyráběla kyselinu sírovou. V průběhu 19. století byly postaveny další 3 chemické továrny, jejichž činnost byla soustředěna na výrobu sody. Jednalo se o továrnu V Hrušově nad Odrou (rok 1851), v Petrovicích u Karviné (rok 1852) a v Ústí nad Labem (rok 1856). Další rozvoj chemického průmyslu na našem území probíhal v průběhu celého 20. století (Holub [online], 2013). Vývoj chemického průmyslu v České republice významnou úlohou přispěl ke vzniku tzv. starých ekologických zátěží, které přetrvávají dodnes.

V současné době se chemickou výrobou zabývá velké množství průmyslových společností. Z nejvýznamnějších světových chemických společností (kromě již uvedených) lze jmenovat např. Dow Chemical ze Spojených států amerických, INEOS z Anglie, Mitsubishi Chemical z Japonska či Air Liquide z Francie. V podmínkách České republiky patří chemický průmysl v pořadí ke třetímu největšímu odvětví. K významným českým chemickým společnostem patří kupříkladu Česká rafinérská v Litvínově a Kralupech nad Vltavou, Paramo v Pardubicích a Kolíně, Spolana Neratovice, Synthesia v Pardubicích, Spolchemie v Ústí nad Labem, DEZA ve Valašském Meziříčí, BorsodChem MCHZ v Ostravě, Lovochemie v Lovosicích, Lučební závody Draslovka v Kolíně či Fosfa v Břeclavi – viz obrázek 2 níže.



Obrázek 2: Lokalizace chemického průmyslu na území České republiky (Svobodová, Věžník, Hofmann [online], 2013)

Zdroj: SVOBODOVÁ, Hana, VĚŽNÍK, Antonín, HOFMANN, Eduard. Průmysl a podnikání: Historie průmyslové výroby na území ČR do roku 1989. Vybrané kapitoly ze socioekonomické geografie České republiky. Brno: Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online] 2013 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/geograf/web/pages/05-prumysl-podnikani.html>.

Chemický průmysl se již v dnešní době zaměřuje na celou řadu výrobních technologií, surovin, dle kterých jej lze rozdělit na průmysl petrochemický, agrochemický, gumárenský a farmaceutický.

1.2.1 Příčiny chemických havárií

Příčiny chemických mimořádných událostí, havárií a nehod lze z obecného hlediska dle P. Skřehota a kolektivu klasifikovat následujícím způsobem:

- „*lidský činitel (antropogenní),*
- *technická chyba – špatné technické zařízení, technická závada apod.,*
- *pracovní podmínky – špatné pracovní podmínky, hlučné prostředí, vibrace, viditelnost, osvětlení atd.,*
- *organizace práce – nedodržování pracovní doby, málo odpočinku, přílišné nároky na zaměstnance a další“* (Skřehot a kolektiv, 2009, s. 595).

T. Čapoun a kolektiv ve své publikaci rozdělují příčiny chemických havárií na „*technické (poruchy strojů, zařízení a prostředků), technologické (odchylky od stanovených provozních podmínek) a personální (chyba a selhání člověka)*“ (Čapoun a kolektiv, 2009, s. 149). Tito autoři dále uvádějí také nejčastější místa, kde k chemickým haváriím dochází:

- „*podniky chemického průmyslu,*
- *sklady nebezpečných látek a směsí,*
- *úložiště chemických látek, která jsou určena k likvidaci nebo k trvalému uskladnění,*
- *dopravní úseky, kde dochází ke zvýšenému počtu dopravních nehod“* (Čapoun a kolektiv, 2009, s. 149).

1.2.2 Klasifikace chemických havárií

Chemické havárie jsou nejčastěji klasifikovány dle množství uniklé nebezpečné chemické látky či směsi nebo dle jejího druhu (např. havárie s únikem chlóru, havárie s

únikem amoniaku, havárie s únikem fosgenu apod.). Z metodických důvodů lze chemické havárie rozdělit takto:

- „*chemické havárie (havárie s únikem nebezpečných chemických látek)*,
- *havárie s únikem radioaktivních látek*,
- *havárie s únikem ropných látek*“ (Čapoun a kolektiv, 2009, s. 25).

Haváriím s únikem nebezpečných chemických látek bude pozornost věnována v následující kapitole této diplomové práce (viz kapitola 3). Havárie s únikem radioaktivních látek mají specifické rysy a účinky. Tato problematika je upravena celou řadou zvláštních předpisů, kterými je nutno se řídit a v případě vzniku takové havárie s únikem radioaktivních látek je nutné dle těchto předpisů postupovat. Haváriemi s únikem ropných látek neboli tzv. ropnými haváriemi se rozumí mimořádné události, v důsledku nichž dojde k úniku produktů zpracování ropy (např. benzínu, olejů, nafty a dalších). Začlenění ropných havárií do chemických mimořádných událostí v pravém slova smyslu je značně diskutabilní, a to z několika primárních důvodů – nedochází k bezprostřednímu ohrožení osob (kromě případů, kdy dojde k požáru nebo k výbuchu), značný vliv na životní prostředí (ropné látky pronikají do spodních vod, rozsáhle se rozšiřují po hladinách vodních ploch, zamezují přístupu kyslíku do vody, znemožňují samočisticí procesy ve vodách) a jejich počet je každoročně obrovský (70 % až 90 %), (Čapoun a kolektiv, 2009, s. 26).

1.3 Chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek

Chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek lze dle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů považovat za závažné havárie, které jsou definovány jako „*mimořádné, částečně nebo zcela neovladatelné, časově a prostorově ohraničené události, například závažný únik, požár nebo výbuch, které vznikly nebo jejichž 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“ (Zákon o prevenci závažných havárií, 2006, Část první, Hlava I, § 2, písm. e)).

1.3.1 Základní charakteristika havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek mají několik základních charakteristických rysů, o kterých se ve své publikaci zmiňují autoři J. Patočka a P. Kuna. Závažnost následků těchto havárií na zdraví a životy lidí, včetně účinků na životní prostředí, popř. majetek závisí na mnoha faktorech (např. místě vzniku havárie, charakteru, množství a vlastnostech uniklé nebezpečné chemické látky, meteorologických podmínkách, charakteru terénu a dalších). Pro místa, kde došlo ke vzniku havárií s únikem nebezpečných chemických látek, je charakteristická přítomnost vysokých koncentrací těchto látek. Účinky uniklých nebezpečných chemických látek se při takových haváriích mohou, ale také nemusí objevit bezprostředně po vzniku mimořádné události. Celá řada nebezpečných chemických látek je vyznačována dlouhodobou latencí (tzn. dlouhou dobou projevení prvních symptomů zasažení nebezpečnou chemickou látkou od expozice – tj. jejímu vystavení). Pro havárie s únikem nebezpečných chemických látek je rovněž typický rozsah zasažené oblasti, a to nejen prostorově, ale také celkovými počty intoxikovaných osob, kterým je nutno poskytnout zdravotnickou pomoc. Při haváriích spojených s únikem nebezpečných chemických látek dochází nejen k primárním otravám, ale také k sekundárním intoxikacím (např. v důsledku poskytování první pomoci či následné zdravotnické péče zasaženým lidem), (Patočka, Kuna, 2005).

1.3.2 Příčiny vzniku havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Havárie s únikem nebezpečných chemických látek mohou, jak již bylo uvedeno, vzniknout na základě 3 základních příčin, a to v důsledku poruch různých zařízení, strojů, přístrojů, dále v důsledku změny standardních provozních podmínek anebo následkem selhání lidského činitele. J. Vilches a kolektiv na základě analýzy celkového počtu 5 325 průmyslových havárií, ke kterým došlo v průběhu let 1900 až 1992, dospěli ke zjištění, že k převážnému počtu havárií s únikem nebezpečných chemických látek dochází při 7 níže uvedených činnostech:

- „*přeprava nebezpečných chemických látek (39,1 %)*,
- *zpracování těchto látek v průmyslových technologiích (24,5 %)*,
- *skladování těchto látek ve velkokapacitních zásobnících (17,4 %)*,
- *vykládání / nakládání těchto látek (8,2 %)*,
- *používání nebezpečných chemických látek a výrobků v domácnostech nebo pro komerční účely (5,8 %)*,
- *manipulace s těmito látkami ve velkokapacitních skladištích (3,8 %)*,
- *ukládání odpadu (1,2 %)*“ (Vilches et al, 1995, s. 87 – 96).

Z tohoto výzkumu tedy vyplynulo, že největší počet havárií s únikem nebezpečných chemických látek vzniká při jejich přepravě. Při tomto výzkumu bylo dále zjištěno, že nejčastěji k únikům nebezpečných chemických látek při přepravě dochází:

- „*z železničních cisteren (27 %)*,
- *z automobilových cisteren (22 %)*,
- *z přenosných přepravních kontejnerů (16 %)*,
- *z potrubí (15 %)*,
- *z lodi / vlečného člunu (17 %)*,

- z *ostatních přepravních zařízení*“ (Vílches et al, 1995, s. 87 – 96).

Dále bylo zjištěno, že příčinou vzniku havárií, které jsou spojeny s únikem nebezpečných chemických látek při přepravě, je z 85 % selhání člověka, z 10 % se jedná o dopravní cesty a prostředí a 5 % představuje špatný technický stav dopravního prostředku (Vílches et al, 1995, s. 87 – 96). Lze však předpokládat, že na vzniku dopravních nehod, v jejichž důsledku dochází k úniku nebezpečných chemických látek, se podílí více rizikových faktorů současně.

1.3.3 Klasifikace havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Jak již bylo uvedeno, havárie s únikem nebezpečných chemických látek lze klasifikovat různými způsoby – např. dle množství uniklé nebezpečné chemické látky, dle jejích vlastností (např. na úniky hořlavých, toxických, žíravých, dráždivých, karcinogenních, mutagenních látek, látek nebezpečných pro životní prostředí, výbušných látek a dalších), dle skupenství nebezpečných chemických látek (tj. úniky kapalin, plynů, popř. pevných látek), dle rozsahu zasažené oblasti atd.

1.3.4 Průběh havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Průběh havárií, při nichž dochází k uniku nebezpečné chemické látky, lze popsat následovně:

- výron nebezpečné chemické látky (ve většině případů v kapalném nebo plynném stavu) ze zařízení do vnitřního / vnějšího prostředí, současně může dojít k tzv. dvoufázovému výronu nebezpečné chemické látky (tzn., že dochází k výronu nebezpečné chemické látky v kapalném i plynném stavu najednou – vypařování kapaliny),
- typické projevy havárií s únikem nebezpečných chemických látek – této problematice je pozornost věnována v podkapitole 3.6 této diplomové práce,

- šíření uniklé nebezpečné chemické látky – probíhá různými způsoby (nejčastěji však vzduchem v podobě šíření toxických plynů),
- expozice uniklé nebezpečné chemické látky – vystavení lidí negativním účinkům nebezpečné chemické látky,
- důsledky úniku nebezpečné chemické látky (např. poškození lidského zdraví, ztráty na lidských životech, znečištění životního prostředí apod.).

Výše uvedený průběh havárií s únikem nebezpečných chemických látek je základním zobecněním vývoje mimořádné události. Ve skutečnosti existuje řada scénářů, dle kterých k haváriím s únikem nebezpečných chemických látek dochází.

1.3.5 Faktory ovlivňující šíření nebezpečných chemických látek při haváriích

Šíření nebezpečných chemických látek v případě vzniku havárií je ovlivňováno celou řadou významných faktorů. Jedním z těchto faktorů je **molekulová hmotnost plynných látek**, která je vztahována k molekulové hmotnosti vzduchu, jejíž hodnota je 29. Plynné látky s molekulovou hmotností nižší než 29 jsou lehčí než vzduch. Z tohoto důvodu se v uzavřených místnostech hromadí v jejich horních částech (tedy u stropu), na volných prostranstvích stoupají vzhůru. Naproti tomu plynné látky s vyšší molekulovou hmotností než vzduch se drží a šíří při zemi. Tato dvě pravidla jsou ovlivňovaná tlakem a teplotou. Může však dojít k situacím, kdy se i plynné látky s nižší molekulovou hmotností než vzduch drží a šíří u země. Významným faktorem ovlivňujícím šíření nebezpečných chemických látek při haváriích jsou **fyzikálně-chemické a toxikologické vlastnosti těchto látek**. Obecně platí, že zkapalněné či stlačené plyny se vypařují rychleji než nebezpečné chemické látky v kapalném stavu – souvislost s **bodem varu** (čím nižší je bod varu nebezpečné chemické látky, tím rychleji dochází k jejímu vypařování). Důležitým ukazatelem je také **reaktivita** dané nebezpečné chemické látky. Nebezpečné chemické látky, které jsou reaktivnějšího

charakteru, snadněji reagují s dalšími látkami přítomnými ve vzduchu za vzniku netoxických produktů. Reakce nebezpečných chemických látek však mohou způsobit také vznik velmi toxických sloučenin. Další šíření uniklých nebezpečných chemických látek v plynném skupenství je ovlivněno nejrůznějšími **meteorologickými podmínkami**. V této souvislosti hrají důležitou roli **povětrnostní podmínky** (především **směr a rychlost větru**). Na základě těchto zákonitostí lze s určitostí konstatovat, že s rostoucí vzdáleností od místa úniku nebezpečného plynu klesá jeho koncentrace ve vzduchu. Šíření uniklých nebezpečných chemických látek může být ovlivněno také některými **dalšími meteorologickými jevy** – např. **inverzí, izotermií či konvekcí**. Svou roli na šíření nebezpečných chemických látek má také **teplota a vlhkost vzduchu**. Faktorem, který ovlivňuje šíření nebezpečných chemických látek, je **charakter terénu** (např. lesní porosty, zástavba, volná prostranství, výšková členitost terénu, apod.). Na základě výše uvedených faktorů ovlivňujících šíření uniklých nebezpečných chemických látek lze konstatovat, že při vzniku havárií, při nichž dojde k výronu nebezpečných kapalin či plynů, je nutno uvažovat všechny zmiňované aspekty.

1.3.6 Typické projevy havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Havárie s únikem nebezpečných chemických látek se v praxi projevují různými způsoby. Chemické havárie se ve skutečnosti projevují jedním nebo kombinací několika jevů. K typickým projevům havárií, při nichž dojde k úniku nebezpečných chemických látek, patří zvláště:

- požáry kapalně fáze nebezpečné chemické látky (Pool Fire), mžikové požáry oblaku par (Flash Fire), exploze oblaku par (Vapour Cloud Explosion – VCE), výbuchy (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - BLEVE) – k tomuto při únicích hořlavých, výbušných a jinak vysoce reaktivních nebezpečných chemických látek po jejich iniciaci,

- výbuchy spojené se vznikem ohnivých koulí, tepelného záření, tlakové vlny, létajících střepin.

K dalším typickým projevům havárií spojených s únikem nebezpečných chemických látek patří kupříkladu:

- „změny v okolí – změny životního prostředí (tj. odumírání vegetace, úhyn živočišných druhů, viditelné skvrny na vodních hladinách),
- viditelné projevy – např. mlha, vlnění ovzduší, neobvyklá barva plamene, spontánní hoření, zápach, atd.
- akustické projevy – tj. sykot unikajícího plynu, praskání materiálu, výbuchy a další“ (Kopecký, Tilcerová, Šiman, Koucká, Vopička [online], 2013).

1.3.7 Následky havárií s únikem nebezpečných chemických látek

Příčinou a následnými projevy havárií s únikem nebezpečných chemických látek jsou vyvolány následky těchto mimořádných událostí. Tyto následky havárií, které jsou spojeny s únikem nebezpečných chemických látek, lze rozdělit na primární a sekundární. K **primárním následkům** lze zařadit:

- požáry a výbuchy plynů a par, hořlavých kapalin, popř. pevných látek,
- úniky vysoce toxických látek,
- nekontrolovatelné chemické reakce (zvláště oxidačního charakteru),
- dopravní nehody,
- poškození či zničení budov.

Mezi **sekundární následky** havárií s únikem nebezpečných chemických látek patří počty zasažených osob (počty usmrcených, zraněných, nemocných, intoxikovaných), velikost zasažení životního prostředí (kontaminace půdy, vodních zdrojů či ovzduší,

intoxikace fauny a flóry) a velikost materiálních ztrát (poškození či úplné zničení infrastruktury, objektů a budov nejrůznějšího charakteru, náklady na síly a prostředky nutných k likvidaci následků chemické havárie) atd.

1.4 Nebezpečné chemické látky

Problematika nebezpečných chemických látek je upravena zákonem č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon), ve znění pozdějších předpisů (Chemický zákon, 2011). „*Látkou*“ se ve smyslu tohoto zákona (Část první, Hlava II, § 3, odst. 2) a dále ve smyslu nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008, o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006 rozumí „*chemický prvek a jeho sloučeniny v přírodním stavu nebo získané výrobním procesem, včetně všech přídatných látek nutných k uchování jeho stability a všech nečistot vznikajících v použitém procesu, avšak s vyloučením všech rozpouštědel, která lze oddělit bez ovlivnění stability látky nebo změny jejího složení*“ (Nařízení o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, 2008, Článek 2, odst. 7). Chemický zákon upravuje klasifikaci látek a směsí, jejich vlastnosti a skupiny nebezpečnosti, zabývá se hodnocením nebezpečných vlastností látek a směsí, dále balením a označováním směsí, stanovuje správnou laboratorní praxi a zkoušení látek a směsí, upravuje oblast poskytování informací v podobě oznamovací povinnosti a výkon státní správy, včetně nápravných opatření a správních deliktů.

V souvislosti s tématem předkládané diplomové práce bude v následující podkapitole (tj. podkapitole 4.1) věnována pozornost fosgenu.

1.4.1 Fosgen

Název „fosgen“ je odvozen ze dvou řeckých slov – slova „fós“ (řecky φως) znamenající „světlo“ a slova „gennaó“ (řecky γεννάω) vyjadřující „tvořím“ (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 126). Toto odvození bylo dedukováno dle způsobu přípravy fosgenu (viz dále v podkapitole 4.1.2 této diplomové práce). Fosgen je

triviálním názvem pro karbonylchlorid neboli dichlorid karbonylu. Fosgen bývá označován také dalším názvoslovím – např. oxychlorid uhličitý, chlorid kyseliny chlormethanové či dichlorid kyseliny uhličitě. Fosgen je chemickou sloučeninou na rozhraní anorganického a organického původu. Funkční vzorec fosgenu je COCl_2 a jeho sumární vzorec je CCl_2O (Vohlídal, Štulík, Julák, 1999, s. 228). Molekula fosgenu a její vzájemné vazby jsou znázorněny na obrázku 3 níže.



Obrázek 3: Molekula fosgenu a její vzájemné vazby (Chemie 3. ročník: Fosgen [online], 2012)

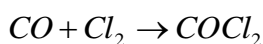
Zdroj: Chemie 3. ročník: Fosgen [online] 2012 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://chemie3a.blogspot.cz/>.

1.4.1.1 Historie fosgenu

Fosgen byl poprvé připraven a popsán chemikem z Velké Británie Johnem Davym a jeho starším bratrem Sirem Humpreym v roce 1812. V průběhu 1. světové války byl fosgen pro své dusivé účinky využíván jako bojová chemická látka. Pro bojové účely jej poprvé, v roce 1915 v bitvě u Verdunu, použila německá armáda – jednalo se o granáty naplněné kapalným fosgenem (Měrka, Patočka, 2005, s. 9 - 13). Při tomto útoku bylo zasaženo celkem 1 069 vojáků, z nichž 120 vojáků na jeho následky zahynulo (Měrka, Patočka, 2006, s. 16 – 18). V období před vznikem 2. světové války bylo vyráběno množství dělostřeleckých nábojů a leteckých bomb plněných fosgenem. V samotném průběhu 2. světové války již však fosgen pro bojové účely nebyl použit (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 126).

1.4.1.2 Výroba fosgenu

Výroba fosgenu je v podstatě jednoduchá. Přirozeně vzniká ozářením směsi oxidu uhelnatého a chlóru slunečním světlem (zvláště ultrafialovým světlem) – tato reakce však probíhá výrazně pomaleji. Fosgen lze získat také prostřednictvím fotochemického a tepelného rozkladu dichlormethanu či tetrachlormethanu, které patří do skupiny tzv. chlorovaných uhlovodíků. Průmyslově se fosgen (COCl_2) vyrábí slučováním oxidu uhelnatého (CO) a plynného chlóru (Cl_2) při teplotě od $130\text{ }^\circ\text{C}$ do $150\text{ }^\circ\text{C}$ za přítomnosti katalyzátoru (nejčastěji aktivní uhlí či houbovitá platina). Tato výroba fosgenu tak probíhá podle reakce:

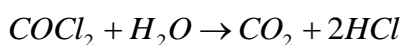
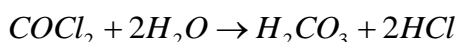


1.4.1.3 Chemické reakce fosgenu

Fosgen je vysoce reaktivní, což znamená, že prudce reaguje s některými anorganickými či organickými látkami. Znalost chemických reakcí fosgenu s jinými sloučeninami je velmi důležitá, neboť mohou vznikat a ve skutečnosti vznikají další nebezpečné chemické látky, které mohou mít negativní účinky na lidské zdraví či životní prostředí. Tato problematika se stává významnou zvláště při vzniku chemických havárií, které jsou spojeny s mnohdy nekontrolovatelnými úniky nebezpečných látek (v tomto případě fosgenu), jež mohou následně přijít do styku s jinými chemickými látkami. Příklady některých chemických reakcí fosgenu jsou uvedeny níže:

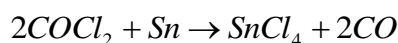
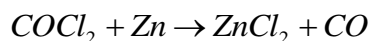
• chemická reakce fosgenu s vodou:

Při chemické reakci fosgenu (COCl_2) s vodou (H_2O) dochází k hydrolyze, při níž vzniká kyselina chlorovodíková (HCl) a kyselina uhličitá (H_2CO_3), popř. kyselina chlorovodíková a oxid uhličitý (CO_2).



• **chemická reakce fosgenu s některými kovy v práškové formě:**

Fosgen (COCl_2) vzájemně reaguje s některými kovy v práškové podobě (např. se zinkem nebo cínem). Při této chemické reakci vzniká chlorid daného kovu (kupříkladu chlorid zinečnatý – ZnCl_2 nebo chlorid cíničitý – SnCl_4) a oxid uhelnatý (CO).



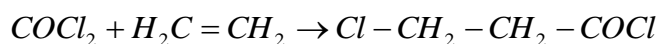
• **chemická reakce fosgenu s alkoholy organického původu:**

Při chemické reakci fosgenu s organickými alkoholy vznikají estery kyseliny uhličitě - např. reakcí fosgenu (COCl_2) s etanolem ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) vzniká dietyléster kyseliny uhličitě.



• **chemická reakce fosgenu s alkeny:**

Při chemických reakcích fosgenu s alkeny dochází ke vzniku chloridů chlorovaných karboxylových kyselin. Kupříkladu při adici fosgenu (COCl_2) na eten (etylen) vznikne chlorid kyseliny 3-chlorpropanové (Bray [online], 1997) dle reakce:



1.4.1.4 Fyzikálně-chemické a termodynamické vlastnosti fosgenu

Při nízkých teplotách je fosgen bezbarvá kapalina, která se již při teplotách nad 8°C rychle vypařuje. Za normálních podmínek je fosgen prudce jedovatý a jak již bylo uvedeno vysoce reaktivní bezbarvý plyn s dusivými účinky. Přítomnost fosgenu v ovzduší lze rozpoznat již při nízkých koncentracích – zápach připomíná zatuchlé seno

či tlející listí. V plynném skupenství je fosgen těžší než vzduch, čímž dochází k jeho kumulaci v nejnižších částech místností či v terénu. Se vzduchem může fosgen vytvářet mlhu bělavé až nažloutlé barvy. J. Matoušek a P. Linhart ve své publikaci uvádí, že „hranice vnímání vůně fosgenu je udávána různými autory v koncentračním rozmezí od 2 do 23 mg/m³“, přičemž dodává, že „příslušná nervová zakončení v nosní sliznici jsou působením fosgenu brzy inhibována, což znamená, že se mez vnímání posunuje směrem k vyšším koncentracím“ (Matoušek, Linhart, 2005, s. 66). Fosgen v nízkých koncentracích ovlivňuje také chuťové orgány. V porovnání s jinými toxickými plyny (např. chlórem či amoniakem / čpavkem) je fosgen mnohem nebezpečnější. Některé zdroje uvádí, že je fosgen „dobře rozpustný ve vodě i v organických rozpouštědlech“ (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 126), některé naopak, že je fosgen „málo rozpustný ve vodě (0,9 %) a dobře rozpustný v organických rozpouštědlech“ (Matoušek, Linhart, 2005, s. 65). Fyzikálně-chemické vlastnosti fosgenu jsou uvedeny v tabulce 1 níže.

Tabulka 1: Fyzikálně-chemické vlastnosti fosgenu (Vohlídal, Štulík, Julák, 1999, s. 228)

Vlastnost fosgenu	Hodnota a jednotka
Molární hmotnost	98,916 g/mol
Teplota tání	- 127,76 °C (155 K)
Teplota varu	8,3 °C (281 K)
Hustota v kapalném stavu	1,4 g/cm ³ při 8,3 °C
Hustota v plynném stavu	0,004 g/cm ³ při 25 °C
Kritická teplota T _k	182 °C
Kritický tlak p _k	5,67 MPa
Tlak páry	161,6 kPa při 20 °C
Měrná magnetická susceptibilita	- 6,08 10 ⁻⁶ cm ³ ·g ⁻¹

Zdroj: upraveno dle VOHLÍDAL, Jiří, ŠTULÍK, Karel, JULÁK, Alois. *Chemické a analytické tabulky*. Praha: Grada Publishing, 1999. 647 s. ISBN 80-7169-855-5.

V souvislosti s termodynamickými vlastnostmi fosgenu lze uvést hodnoty standardní slučovací entalpie (ΔH_f°) – - 219,26 kJ/mol a standardní slučovací Gibbsova energie (ΔG_f°) – - 206,08 kJ/mol.

1.4.1.5 Využití fosgenu

V minulosti byl fosgen pro své dusivé účinky využíván především jako bojová chemická látka. V současné době je význam fosgenu pro bojové účely zcela nepatrný, neboť jej nahradily mnohem účinnější chemické látky. Své uplatnění nachází fosgen zejména v chemickém průmyslu, pro který je jako surovina průmyslově vyráběn. Plní funkci chloračního činidla. Využívá se především při syntéze barviv, při výrobě farmaceutických přípravků, pesticidů či některých plastických hmot. Nejčastěji je fosgen využíváno při výrobě průmyslového rozpouštědla zvaného trichlóretylén. Vzhledem ke snadné dostupnosti fosgenu a nesnadné léčbě v případě hromadných otrav představuje tento plyn potenciální hrozbu možného zneužití – např. v podobě teroristických útoků. Významné nebezpečí představuje fosgen v případech, kdy by byl použit v uzavřených prostorech, neboť právě tímto způsobem lze dosáhnout vysokých koncentrací fosgenu se smrtícími účinky (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 126 - 127).

1.4.1.6 Toxicita fosgenů a mechanismus jeho účinku

Fosgen patří mezi jedovaté látky s dusivým účinkem. Toxický účinek fosgenu na organismus člověka je zapříčiněn jeho mechanismem, konkrétně procesem hydrolýzy, kdy při styku fosgenu s vlhkostí sliznic dochází k jeho rozkladu na oxid uhličitý (CO_2) a kyselinu chlorovodíkovou (HCl), která leptá sliznice. Vdechnutí fosgenu do plic způsobuje jejich poškození, vznik plicního edému a kardiovaskulárního selhání s potenciálním následkem smrti (Wyatt, Allister, 1995, s. 212 - 213). Mechanismus biologického účinku fosgenu spočívá v jeho reakci s volnými aminoskupinami ($-\text{NH}_2$), hydroxylovými skupinami ($-\text{OH}$) či sulfhydrylovými skupinami ($-\text{SH}$), které se

nacházejí v molekulách bílkovin v buněčných membránách. Tyto reakce vedou k porušování epitelálních buněk v plicích. Na základě těchto skutečností lze konstatovat, že fosgen je vysoce chemicky reaktivní. Rovněž se jedná o látku, která je vysoce lipofilní. Tato vlastnost fosgenu způsobuje stimulaci metabolických procesů v buněčných membránách, které vedou k postupnému vyčerpání zásob buněčné energie (Currie, Pratt, Frosolono, 1985, s. 17 - 27). Fosgen způsobuje apoptózu alveolárních buněk typu II (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127). M. Horáková, M. Jandová a H. Kociánová uvádí, že koncentrace fosgenu vyšší než $10 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ způsobuje podráždění očí a horních cest dýchacích. Dále uvádí smrtelnou koncentraci fosgenu při pětiminutové expozici, která dosahuje hodnoty $3\ 200 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127). J. Matoušek a P. Linhart ve své publikaci uvádějí následující toxikologické informace fosgenu:

- „*prahové koncentrace:*

- *pro podráždění nosohltanu – $12,5 \text{ mg}/\text{m}^3$,*
- *pro oči – $16 \text{ mg}/\text{m}^3$,*
- *pro vyvolání kašle – $20 \text{ mg}/\text{m}^3$,*

- *střední prahový účinek:*

- *dusivý – $150 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$,*
- *zneschopňující – $1,6 \text{ g}\cdot\text{min}/\text{m}^3$,*
- *smrtící – $3,2 \text{ g}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ “ (Matoušek, Linhart, 2005, s. 66).*

Expozice vysokým koncentracím fosgenu má téměř okamžitý účinek, vystavení nízkým koncentracím tohoto plynu se však může projevit až po několika hodinách bez zjevných příznaků (Matoušek, Linhart, 2005, s. 66).

1.4.1.7 Symptomy intoxikace fosgenem

Symptomy otravy fosgenem závisí na vdechnuté dávce tohoto plynu. Příznaky intoxikace fosgenem lze rozdělit následovně:

- **superakutní intoxikace:**

Superakutní otrava nastává při inhalaci vysokých koncentrací fosgenu. Dochází k rychlému podráždění dýchacích cest, které se projevuje těžkou dušností, dezorientací, šokem a následnou smrtí, ke které dochází během několika minut po expozici fosgenu, a to v důsledku reflektorické blokády dechového centra (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127).

- **akutní intoxikace:**

K akutní intoxikaci dochází při nižších koncentracích fosgenu než v případě superakutní otravy. Tento typ intoxikace probíhá v několika fázích. Ihned po expozici fosgenu lze pozorovat nejasné symptomy subjektivního charakteru (např. škrábání a pálení nosohltanu, pocit tlaku na hrudníku, zvracení bolesti hlavy či pocity slabosti. Tyto příznaky do jedné hodiny od expozice fosgenu ustupují. Nastává období latence, kdy zasažený subjektivně nepocítuje žádné zjevné obtíže. Obvykle se jedná o 3 až 6 hodin dlouhé období. Z objektivního hlediska však dochází k mírné cyanóze rtů a ušních lalůček. Při zvýšeném fyzickém úsilí lze pocítovat dušnost, kašel, zrychlené dýchání a zvýšenou tepovou frekvenci (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127).

- **modrý typ hypoxie:**

Rozvoj klinických příznaků akutní intoxikace fosgenem v plném rozsahu nastává v průběhu 6 až 12 hodin od expozice tomuto plynu. Tato fáze probíhá obvykle po dobu 2 až 3 dnů. K příznakům otravy fosgenem v této fázi patří silná dušnost, přeplnění povrchových žil na obličeji, krku a hrudníku krví, povrchní a vyčerpávací dýchání, zrychlená tepová frekvence, normální krevní tlak a vykašlávání velkého množství tekutiny s příměsí krve. Zjevné je namodralé zbarvení sliznic. Z tohoto důvodu je takový průběh otravy fosgenu nazýván jako modrý typ hypoxie. Prognóza této intoxikace je poměrně dobrá, v případě, že zasažený přežije 2 až 3 dny. Komplikace

mohou nastat v případech, kdy dojde k infekci (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127).

- **šedý typ hypoxie:**

Šedý typ hypoxie je charakterizován velmi rychlým nitkovým a často velmi nepravidelným tepem u zasaženého jedince, kterého polévá studený lepavý pot. Sliznice a kůže jsou našedivělé barvy. K příznakům této intoxikace fosgenem patří prudký pokles krevního tlaku, povrchní a zrychlené dýchání, rychlý rozvoj plicního edému, což má za následek selhávání periferního krevního oběhu. Ve většině případů postižený člověk do 24 až 48 hodin umírá (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127).

1.4.1.8 Diagnóza intoxikace fosgenem

Na intoxikaci fosgenem může upozornit zápach, podráždění očí a sliznic, tachykardie nebo dušnost při zvýšené námaze. Z významných diagnostických metod lze jmenovat především rentgen plic. V posledních letech je výzkum soustředěn na hledání nových možností léčby v podobě vhodných protilátek (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 128).

1.4.1.9 První pomoc a léčba při intoxikaci fosgenem

Základem první pomoci při otravě fosgenem je co možná nejrychlejší přerušení kontaktu postiženého s touto látkou, dále pak zajištění naprostého klidu a aplikaci anti šokových opatření. Velmi důležité je co možná nejrychlejšího zajištění nepřetržitého přívodu kyslíku, a to až do úplného odeznění cyanózy. Při těžkých intoxikacích fosgenem je účinnější podávání kyslíku postiženému pod tlakem. Kromě přívodu kyslíku je vhodné zajistit podávání látek, které snižují povrchové napětí a zabraňují zpěnění edémové tekutiny v alveolech. Takovou vlastnost má např. alkohol. K dalším lékům, které je intoxikovanému možné podávat, patří látky podporující dýchání (aminofylin, kardiotonika). Součástí první pomoci při otravě fosgenem může být rovněž

tzv. nekrvavá venepunkce či desetiminutový podvaz dolních končetin. Terapie plicního edému probíhá nasazením steroidů. Pro prevenci infekce je vhodné podávání antibiotik. V průběhu celé léčby je při intoxikaci fosgenem nutné dodržování klidového režimu (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 128).

2 Formulace výzkumného problému a cílů práce

Výzkumným problémem jsou v souvislosti s případným vznikem chemické havárie s únikem fosgenu dopady na zdraví a životy obyvatel, a to nejen v bezprostřední blízkosti (tedy v místě chemické havárie / úniku), ale také ve vzdálenějších oblastech v závislosti na vnějších podmínkách. Na základě tohoto lze formulovat následující **výzkumnou otázku**: Jaký dopad by měl případný vznik chemické havárie spojený s únikem fosgenu ze společnosti Synthesia, a. s. na zdraví a životy obyvatel? V souladu s takto formulovanou výzkumnou otázkou lze definovat **cíle praktické části**:

- simulace chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s.,
- posouzení rizika plynoucích z této chemické havárie,
- zhodnocení dopadů této případné chemické havárie na zdraví a životy obyvatel.

3 Metodika výzkumu

Teoretická část se zabývá haváriemi, a to jak z obecného hlediska, tak v užším pojetí se zaměřením na chemické havárie. Popisuje příčiny a klasifikuje chemické havárie, přičemž hlavní pozornost je věnována chemickým haváriím s únikem nebezpečných chemických látek. Kromě základní charakteristiky těchto havárií jsou uvedeny jejich příčiny, klasifikace, průběh, typické projevy a následky, včetně faktorů, které ovlivňují šíření nebezpečných látek při chemických haváriích. Dále se zaměřuje na charakteristiku nebezpečných chemických látek, přičemž v souladu s tématem je předmětem deskripce fosgen. Teoretická část je zpracována formou literární rešerše s využitím množství odborných literárních, internetových i statistických zdrojů vztahujících se k problematice zvláště chemických havárií s únikem nebezpečných látek. O poznatky teoretické části se opírá **část praktická**. Její podstatou je simulace / modelování chemické havárie s únikem zmiňovaného fosgenu. Pro simulaci této havárie byla vybrána společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Pardubicích. Modelování chemické havárie s únikem fosgenu je provedena za pomoci počítačového programu / softwarového nástroje TerEx, verze 2.9.1. Praktická část je interpretací výsledků simulovaných chemických havárií, při kterých z vybrané společnosti v různých množstvích a za stanovených podmínek unikal fosgen. Její součástí je vyhodnocení výsledků z takto namodelovaných chemických havárií s únikem fosgenu v souvislosti s ohrožením osob touto toxickou látkou pro nutnost evakuace osob z případně zasažené zóny v závislosti na množství uniklé chemické látky.

3.1 Počítačový program TerEx

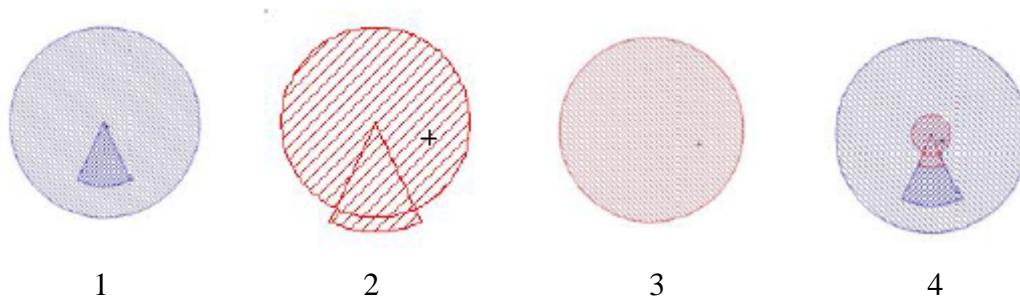
Počítačový program TerEx (z anglického výrazu „Teror Expert“, což v českém překladu znamená „teroristický expert“) je moderním a rychlým modelovacím softwarovým nástrojem, který slouží k rychlé prognóze dopadů a následků působení nebezpečných chemických látek či nástražných výbušných systémů. Model je vytvořen v podobě počítačového programu, který navazuje na grafický informační systém pro

přímé zobrazení výsledků v mapách. Tento počítačový program je určen zvláště pro operativní využití jednotkami Integrovaného záchranného systému (jeho základními a ostatními složkami), podniky, společnostmi, institucemi, orgány samosprávy a státní správy. Jeho využití je pro rychlé určení rozsahu ohrožení a provedení následných opatření za účelem ochrany obyvatel možné jak v místě zásahu, tak v nejrůznějších řídicích střediscích. Počítačový program TerEx bývá využíván také v rámci výuky studentů oborů, které jsou zaměřeny na ochranu obyvatelstva, krizový management, toxikologii a další. Využití tohoto softwarového nástroje nachází uplatnění v souvislosti s prováděním analýzy rizik v rámci územního plánování, při navrhování zástavby v blízkosti komunikací a výrobních závodů, v pojišťovnictví atd. Rovněž je používán pro analýzy rizik při havarijním plánování. Počítačový program TerEx je schopen poskytnout potřebné výsledky i v případě chybějících přesných vstupních informací. Zadaná vstupní data jsou programem velmi rychle zpracována a vyhodnocena. Výstupní data programu jsou velmi jednoduše uspořádána, jsou přehledná, srozumitelná a jednoznačná. Jejich podoba podporuje zvláště rychlé rozhodování v případě vzniku mimořádných situací v podobě havárií, v nichž mají významnou úlohu nebezpečné chemické látky nebo nástražné výbušné systémy. Základem prognózy havarijních dopadů a následků je tzv. konzervativní predikce / odhad / předpověď, což znamená, že výsledky korespondují s podmínkami, při nichž dojde k maximálním možným dopadům a následkům ve vztahu k okolí – jedná se o tzv. nejhorší variantu (Bartlová, Pešák, 2003, s. 72), (Mika [online], 2004). Výstupní data z programu TerEx jsou zaznamenávána ve výstupní zprávě vypovídající o dosahu účinků, důležitých upozorněních a doporučeních v podobě provedení evakuace a průzkumu. Jak již bylo uvedeno, výstupem tohoto programu je také mapové zobrazení, ve kterém se promítají účinky nebezpečných chemických látek nebo nástražných výbušných systémů v podobě kruhů a výsečí. Tyto kruhy a výseče zobrazované v mapách jsou zobrazeny na obrázku 4 níže, přičemž:

- **toxické ohrožení** je značeno modrou výsečí, označuje pásmo ohrožení toxickou dávkou v závislosti na směru větru, v němž by měla být provedena evakuace osob, modrý kruh je znázorněním pásma dosahu toxické koncentrace

IDLH¹ (tj. oblast, ve které by měl být proveden průzkumu zamoření toxickou látkou),

- **ohrožení výbuchem** je značeno červenou výsečí, znázorňuje ohrožení prošlehnutím ve směru větru, červený kruh značí oblast, která je ohrožena střepy okenního skla,
- **ohrožení požárem** je označeno červeným kruhem, zobrazuje oblast ohrožení popáleninami prvního stupně,
- **kombinované ohrožení** znázorňuje ohrožení působení toxické látky (modře označené oblasti) a ohrožení výbuchem a požárem (červeně označené oblasti), (Horák, Kudlák [online], 2007).



Obrázek 4: Vyznačení ohrožení z výsledků počítačového programu TerEx v mapách (1 – toxické ohrožení, 2 – ohrožení výbuchem, 3 – ohrožení požárem, 4 – kombinované ohrožení), (Horák, Kudlák [online], 2007)

Zdroj: upraveno dle HORÁK, Jan, KUDLÁK, Aleš. Pomůcka: Pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků: Program TerEx: Verze 2.9. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta [online] 2007 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://old.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/projekty/vyukove-pomucky-pro-software-emoff-a-terex/terex.pdf/>.

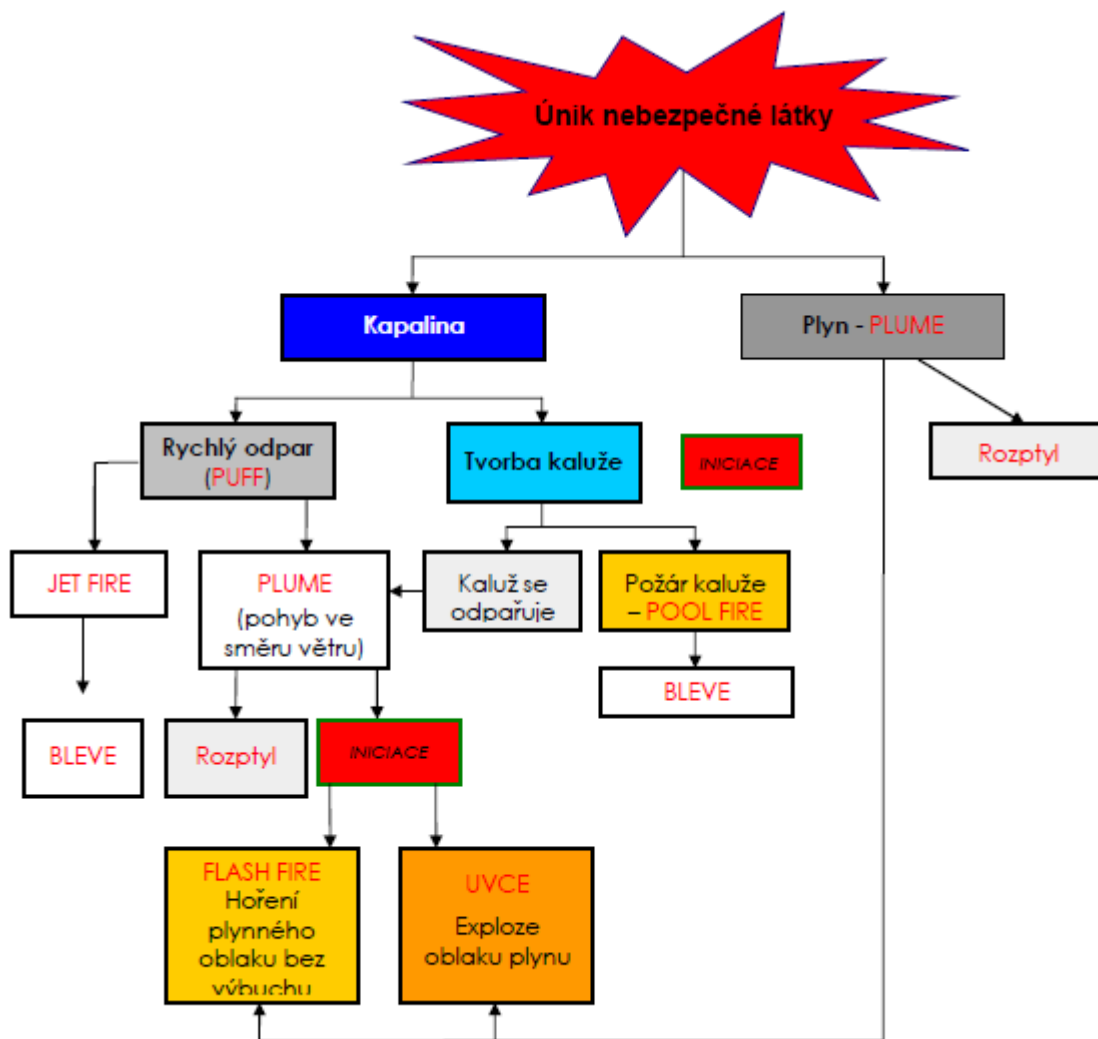
¹ „IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) je mezní koncentrace toxické látky ve vzduchu, pod kterou nedochází při třicetiminutové expozici k trvalým následkům na lidském zdraví. Je-li tento údaj uveden, objeví se ve vedlejším okně databáze, z které je tento údaj čerpán“ (Horák, Kudlák [online], 2007).

Výsledky jsou dále znázorněny rovněž v grafech znázorňujících závislosti klíčových veličin modelu na vzdálenosti od místa vzniku havárie. Výstupy z počítačového programu TerEx jsou doplněny o údaje z databáze nebezpečných chemických látek (kupříkladu charakteristika a popis látky, její vlastnosti, zraňující projevy, poskytování první pomoci v případě zasažení danou látkou, vhodné hasební prostředky, projevy požáru a mnoho dalších), které jsou součástí tohoto softwarového nástroje. Tato databáze obsahuje přibližně 354 takových látek (Horák, Kudlák [online], 2007). K výše uvedeným výsledkům počítačového programu TerEx lze ještě dodat, že jednotlivé havarijní modely je možné uložit do databáze tzv. havarijních událostí. I. Bartlová a M. Pešák, stejně jako O. Mika uvádí: „*TerEx splňuje normy NATO pro systém předávání zpráv ve formátu ADatP-3. Poskytuje také výstup v textovém formátu či v XML. Modelovací systém je rovněž vybaven možností synchronního krokování, např. pro potřeby vizuální animace či pro propojení na simulační systém ESIM 2000.*“ (Bartlová, Pešák, 2003, s. 73), (Mika [online], 2004). Počítačový program TerEx nabízí možnost **vyhodnocení následujících čtyř základních havarijních situací:**

- „**modely typu TOXI** – vyhodnocují dosah a tvar oblaku, které jsou dány zvolenou koncentrací toxické látky,
- **modely typu UVCE** – vyhodnocují dosah působení rázové vlny, vyvolané výbuchy směsi látky se vzduchem,
- **u modelu PLUME:**
 - *déletrvající únik plynu,*
 - *déletrvající únik vroucí kapaliny,*
 - *pomalé vypařování kapaliny z louže,*
- **u modelu PUFF:**
 - *jednorázový únik plynu,*
 - *jednorázový únik vroucí kapaliny,*
- **modely typu FLASH FIRE** – vyhodnocují velikost prostoru ohrožení osob plamennou zónou – efekt Flash Fire, dále efekty:
 - **BLEVE** – výbuch par expandující vroucí kapaliny,

- ***JET FIRE*** – *déletrvající únik plynu nebo kapaliny pod vysokým tlakem,*
- ***POOL FIRE*** – *požár rozlité kapaliny,*
- *model typu **TEROR*** – *vyhodnocuje možné dopady detonace výbušných systémů“ (Bartlová, Pešák, 2003, s. 72 – 73).*

Na základě výše uvedeného přehledu základních havarijních situací lze konstatovat, že vyhodnocení nebezpečných chemických látek je provádění za pomoci modelů jako je TOXI, UVCE, PLUME, PUFF, FLASH FIRE a dále také BLEVE, JET FIRE a POOL FIRE. Naproti tomu vyhodnocení nástražných výbušných systémů je prováděno prostřednictvím modelu TEROR. Výše uvedené modely základních havarijních situací jsou schematicky znázorněny na obrázku 5.



Obrázek 5: Schematické znázornění základních havarijních situací (modelů) počítačového programu TerEx (Horák, Kudlák [online], 2007)

Zdroj: HORÁK, Jan, KUDLÁK, Aleš. Pomůcka: Pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků: Program TerEx: Verze 2.9. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta [online] 2007 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://old.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/projekty/vyukove-pomucky-pro-software-emoff-a-terex/terex.pdf/>.

Vyhodnocení otravných látek se provádí za pomoci **modelu POISON** – šíření oblaku, který vzniká rozptýlením otravné látky na určité území, a to dle rozlohy daného území, typu látky, způsobu rozptýlení látky, sekundárního odparu. Dalším modelem je pak **model ATP-45C**. Tento model vyjadřuje závislost výsledku na způsobu použití látky a na síle větru. Pro účely teroristického využití je však tento model příliš hrubý a v zásadě se používá jen pro vojenské účely (Horák, Kudlák [online], 2007).

3.2 Charakteristika společnosti Synthesia, a. s.

Společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Semtíně 103 v Pardubicích (PSČ 530 02) je zapsána v obchodním rejstříku Krajského soudu v Hradci Králové – oddíl B, vložka 1031. Areál společnosti Synthesia, a. s. se rozkládá na ploše 4,4 km². Historie společnosti Synthesia, a. s. sahá až do roku 1920, kdy vznikla Československá akciová továrna na látky výbušné. Z pohledu historie (tedy za 94 let své existence) prošla tato společnost a její výrobní areál celou řadou zásadních změn. Jediným vlastníkem (akcionářem) společnosti Synthesia, a. s. je společnost AGROFERT, a. s. Z hlediska managementu sestává společnost Synthesia, a. s. z vedení (generální ředitel, finanční ředitelka, ředitelé strategických výrobně obchodních jednotek – viz dále, ředitel technického úseku, ředitel provozního úseku a personální ředitel), dále pak z představenstva a dozorčí rady. V současné době zaměstnává společnost Synthesia, a. s. přibližně 1 650 zaměstnanců. Veškeré podnikatelské aktivity této společnosti jsou zacíleny do tří tržních částí pokročilých organických intermediátů, derivátů celulózy a pigmentů barviv (Synthesia, a. s. [online], 2011). Na tomto základě je postavena také organizační struktura společnosti Synthesia, a. s., která je rozdělena do již výše zmiňovaných strategických výrobně obchodních jednotek označovaných jako SBU (Strategic Business Unit):

- SBU Pigmenty a barviva:

- pigmenty – pro barvení plastů i vláken, výrobu nátěrových hmot a tiskových barev,

- barviva – použití pro barvení a potisk textilních materiálů přírodního i umělého původu, použití kvalitních barviv pro barvení kůží, kožešin, papíru, dřeva a dalších materiálů,
- SBU Nitrocelulóza:
 - průmyslová nitrocelulóza – uplatnění především v oblasti nátěrových hmot a laků,
 - vojenská a dynamitová nitrocelulóza – uplatnění v těžebním a zbrojním průmyslu,
 - anorganické kyseliny a soli – pro vlastní využití v dalším provozu i pro externí zákazníky,
 - oxycelulóza – pro biomedicínu,
- SBU Organická chemie:
 - farmacie,
 - pesticidy – přípravky pro likvidaci nežádoucí plevelné vegetace, příprava z vlastních vyvinutých účinných látek,
 - zákaznické syntézy – dle potřeb zákazníků,
 - polotovary – objemově významná produkce společnosti, využívání moderních technologií,
- SBU Energetika:
 - energetika - výroba a distribuce energie formou horké páry a tepla pro všechny výrobní divize a subjekty v areálu společnosti (Synthesia, a. s. [online], 2011).

Výše uvedené strategické výrobně obchodní jednotky jsou zcela nezávislé. Jejich koordinace je zajišťována centrálně. Produkce společnosti Synthesia, a. s. je soustředěna jak na tuzemský trh, tak na trh zahraniční – export do vyspělých evropských zemí nebo do zámoří, který činí až $\frac{3}{4}$ produkce (Synthesia, a. s. [online], 2011).

3.3 Modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu

Jak již bylo uvedeno výše, modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. bylo provedeno počítačovým programem TerEx, verze 2.9.1. Celý **postup modelování** za pomoci tohoto softwarového nástroje lze shrnout do následujících čtyř kroků:

- **výběr havarovaného zařízení:**

Pro účely modelování byla vybrána společnost Synthesia, a. s. Do parametru o havarovaném zařízení bylo zadáno „technologické zařízení“ – netěsnost na potrubí a výbuch v důsledku teroristického útoku.

- **volba havarijního modelu:**

V rámci modelování byl vybrán havarijní model PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.

- **výběr nebezpečné látky:**

V souladu s tématem byla pro modelování vybrána nebezpečná chemická látka – fosgen.

- **zadání požadovaných hodnot / vstupních údajů:**

Přehled zadávaných vstupních údajů pro modelování havarijních situací v programu TerEx je uveden v tabulce 2 níže. Pro všechny simulované havarijní situace byla zadána teplota kapaliny v technologickém zařízení (fosgenu) 9 °C. Celkem bylo namodelováno 10 havarijních situací, které se lišily celkovým uniklým množstvím kapaliny (fosgenu) z technologického zařízení. V případě prvních pěti havarijních situací (viz čísla 1 až 5) se jednalo o netěsnost technologického zařízení (potrubí), pro kterou byla postupně zadávána tyto celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu): 100 kg, 1 000 kg, 2 000 kg, 3 000 kg a 4 000 kg. Pro tyto havarijní situace byla zadávána také doba trvání úniku. Pro celkové uniklé množství 100 kg kapaliny se doba úniku fosgenu rovnala hodnotě 10 minut. V ostatních čtyřech případech (tedy pro celkové uniklé množství 1 000 kg až 4 000 kg kapaliny) byla doba trvání úniku fosgenu rovna 20 minutám. V dalších pěti havarijních situacích (viz čísla 6 až 10) se jednalo o výbuch technologického zařízení v důsledku teroristického útoku. V těchto případech byly zadávány tyto celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu): 5 000 kg, 10 000 kg, 15 000

kg, 20 000 kg a 30 000 kg. Směr větru byl uvažován jako nejhorší možná varianta – směrem k městu Pardubice (tj. severozápadní vítr). Další zadávané vstupní údaje byly ponechány v automatickém nastavení počítačového programu TerEx. Rychlost větru v přízemní vrstvě byla ponechána na hodnotě 1 m/s. Pokrytí oblohy mraky bylo uchováno na 0 %. Doba vzniku a průběhu havárie byla rovněž zachována – noc, ráno nebo večer. Přednastaveným typem atmosférické stálosti byla inverze (F).

Tabulka 2: Přehled zadávaných vstupních údajů pro modelování havarijních situací v programu TerEx

Číslo	Nebezpečná chemická látka	Teplota kapaliny v zařízení [°C]	Celkové uniklé množství kapaliny [kg]	Délka trvání úniku [min.]	Rychlost větru v přízemní vrstvě [m/s]	Pokrytí oblohy mraky [%]	Doba vzniku a průběhu havárie	Typ atmosférické stálosti
1	fosgen	9	100	10	1	0	noc, ráno nebo večer	F - inverze
2			1 000	20				
3			2 000					
4			3 000					
5			4 000					
6			5 000	-				
7			10 000					
8			15 000					
9			20 000					
10			30 000					

Zdroj: vlastní zpracování

3.4 Interpretace výsledků modelování chemické havárie

V rámci praktické části bylo v počítačovém programu TerEx namodelováno celkem 10 havarijních situací, jež byly spojeny s únikem fosgenu z technologického zařízení společnosti Synthesia, a. s. Tyto havarijní situace byly rozděleny na dvě základní skupiny. První skupinu čítající 5 modelových scénářů tvořily situace (číslo 1 až 5 v tabulce 2 výše), které se staly v důsledku netěsnosti technologického zařízení (potrubí). Druhou skupinou (dalších 5 havarijních situací – číslo 6 až 10 v tabulce 2 výše) byly modelové scénáře způsobené výbuchem jako následek teroristického útoku. Z každé skupiny byly pro interpretaci výsledků modelování chemické havárie s únikem fosgenu vybrány 2 havarijní situace (celkem tedy 4 modelové scénáře). Jednalo se o havarijní situace č. 2, 4, 6 a 8 uvedené v tabulce 2. Výsledky modelování těchto havarijních situací z počítačového programu TerEx jsou interpretovány v podkapitolách 4.1.1 až 4.1.4 dále.

4 Výsledky

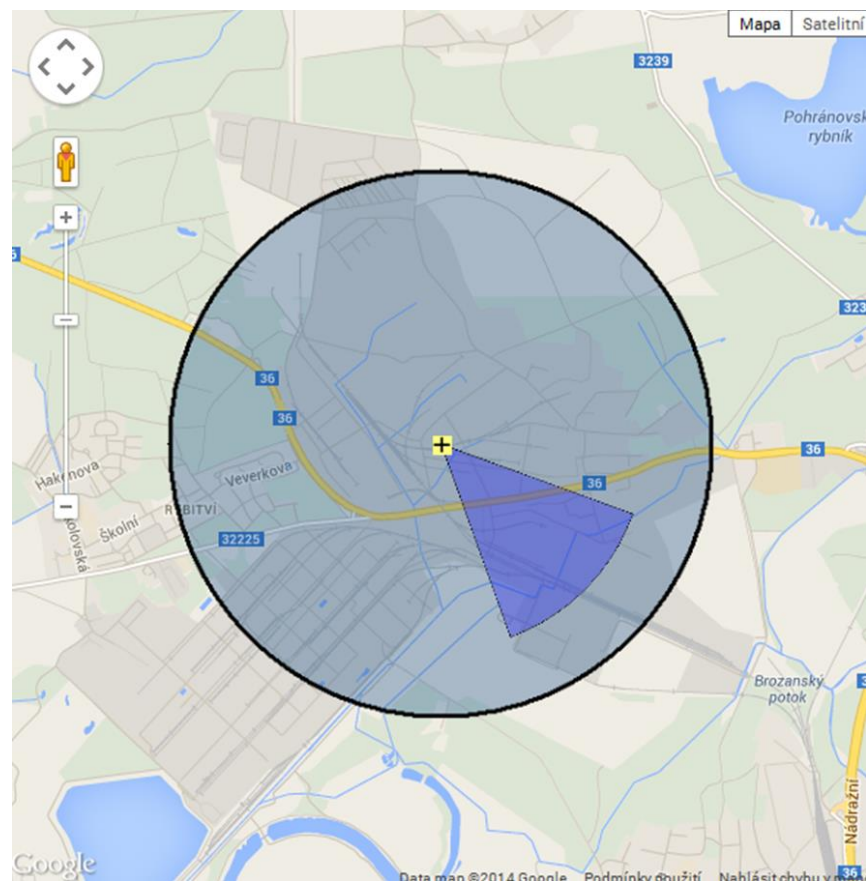
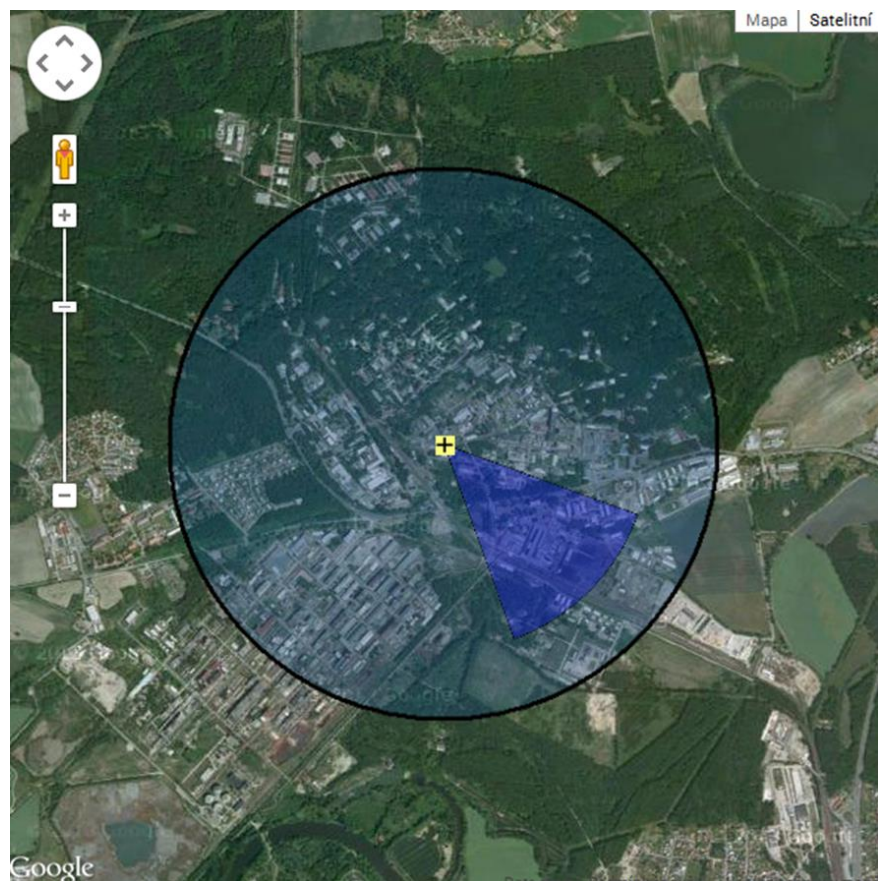
4.1 Vybrané havarijní situace

4.1.1 Havarijní situace č. 2

Havarijní situace č. 2 vznikla v důsledku netěsnosti technologického zařízení (potrubí) ve společnosti Synthesia, a. s. Celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu) bylo 1 000 kg. **Výstupy z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1** pro tento modelový scénář:

- **vzdálenost nezbytné evakuace osob:** 854 m
- **doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku:**
1 130 m

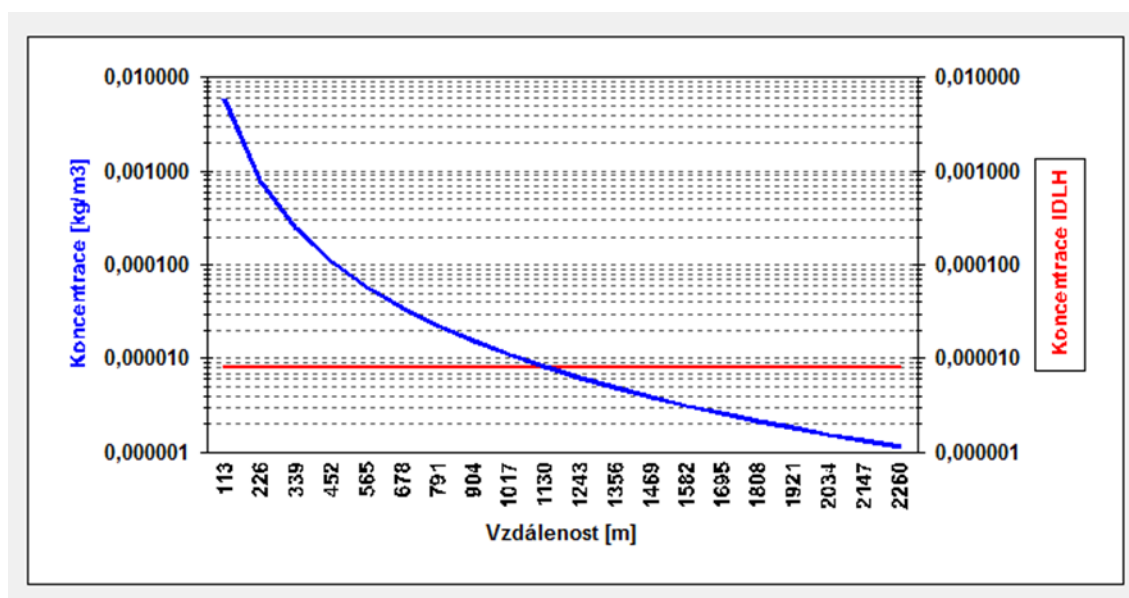
Na obrázku 6 je znázorněno toxické ohrožení při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg. Tmavě modrá výseč na tomto obrázku značí oblast, ve které je nejvyšší koncentrace uniklého fosgenu. Tato oblast rovněž znázorňuje oblast nezbytné evakuace osob. V tomto prostoru, při úniku fosgenu v množství 1 tuny tedy, hrozí obyvatelstvu bezprostřední nebezpečí ohrožení života nebo vážné poškození zdraví. Kružnice se světle modrou výplní znázorňuje rozsah koncentrace fosgenu v prostoru okolo místa jeho úniku. V této oblasti by měl být proveden průzkum / měření toxické koncentrace fosgenu. Při 20 minutovém úniku 1 000 kg fosgenu z potrubí ve společnosti Synthesia, a. s. s rychlostí větru v přízemní vrstvě 1 m/s (severozápadní vítr) činí vzdálenost nezbytné evakuace osob 854 m. Doporučený průzkum toxické koncentrace je stanoven na vzdálenost 1 130 m od místa úniku této nebezpečné látky.



Obrázek 6: Toxické ohrožení při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě)

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

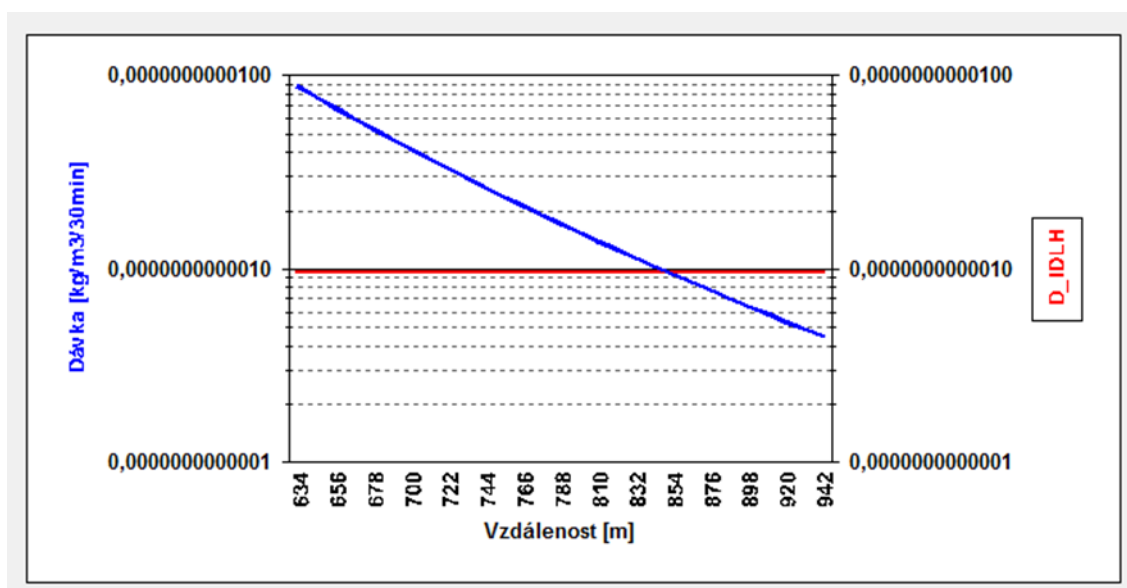
V grafu 2 je znázorněn doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg. Jedná se o závislost koncentrace uniklého fosgenu na vzdálenosti od místa úniku (modrá křivka). Tato křivka je vyjádřením toho, jak se s rostoucí vzdáleností mění účinek uniklého fosgenu. Červená křivka je vyjádřením nejvyšší hladiny koncentrace fosgenu, která je pro zdraví a život člověka bezprostředně nebezpečná (IDLH). Z tohoto grafu vyplývá, že s rostoucí vzdáleností klesá koncentrace uniklého fosgenu. V případě, že koncentrace fosgenu klesne pod červeně vyznačenou linii, jedná se o oblast, v níž je taková koncentrace fosgenu, která není pro zdraví a život člověka nebezpečná. Taková koncentrace je v tomto případě nachází až ve vzdálenosti 1 130 m od místa úniku fosgenu.



Graf 2: Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

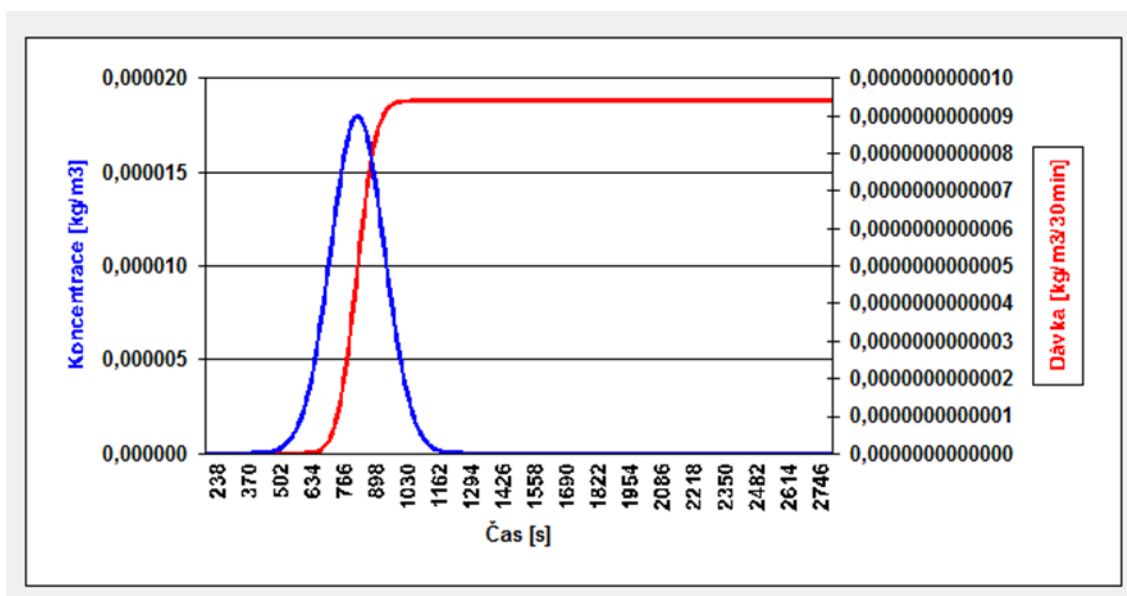
Graf 3 je vyjádřením vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg. Jedná se o závislost dávky uniklého fosgenu na vzdálenosti (modrá křivka). Červená křivka je vyjádřením mezní hladiny koncentrace fosgenu (D_IDLH), která bezprostředně ohrožuje lidské zdraví. Průtnutí těchto dvou linií vyjadřuje vzdálenost, do které je nutné provedení evakuace osob – konkrétně do vzdálenosti 854 m.



Graf 3: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg je znázorněna v grafu 4. Nejvyšší koncentrace fosgenu činí přibližně 0,018 g/m³. Této koncentrace bude dosaženo zhruba za 776 s, což je za 12 minut a 56 sekund.



Graf 4: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

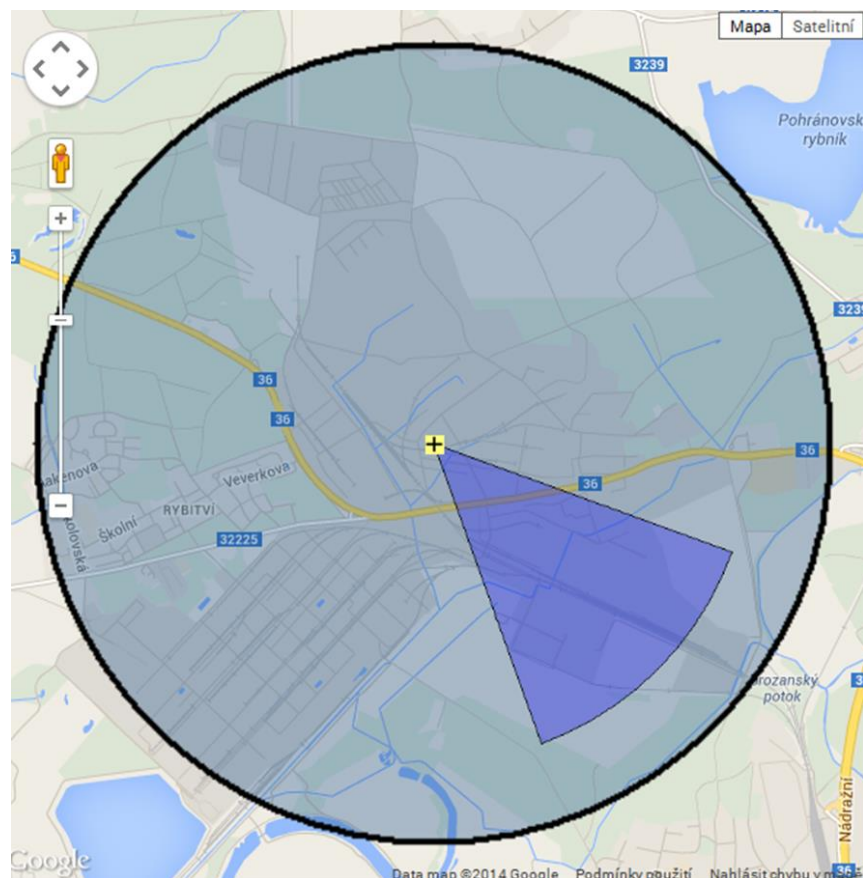
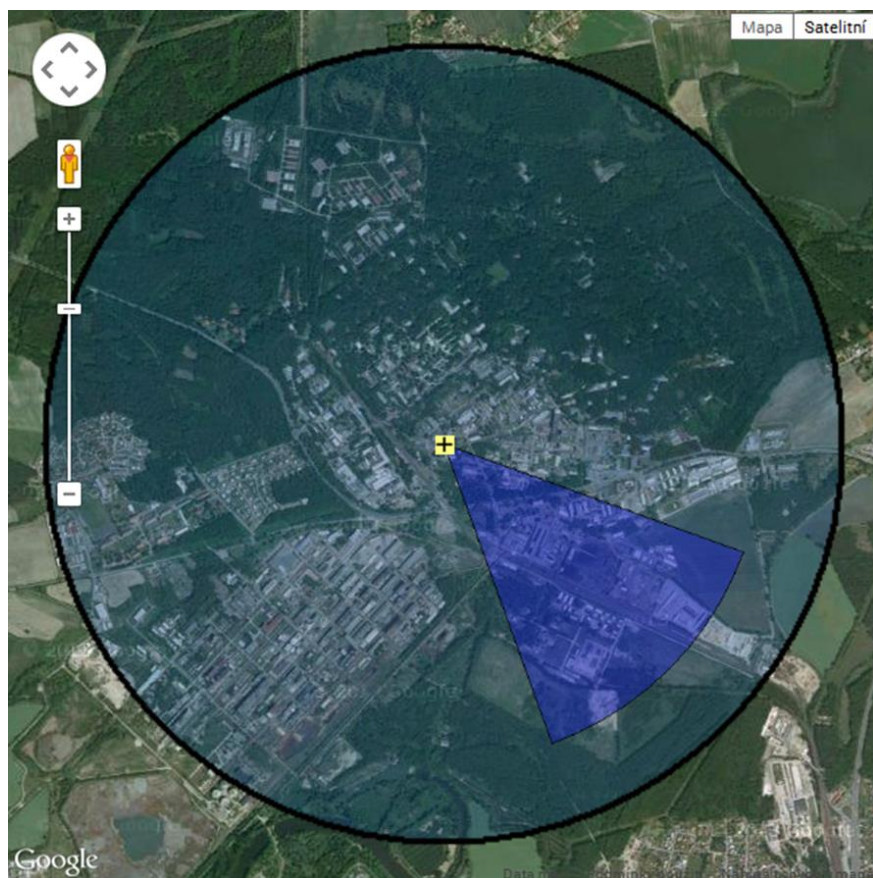
4.1.2 Havarijní situace č. 4

Havarijní situace č. 4 se stala rovněž v důsledku netěsnosti technologického zařízení (potrubí) ve společnosti Synthesia, a. s. Celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu) bylo 3 000 kg. Výstupy z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1 pro tento modelový scénář:

- vzdálenost nezbytné evakuace osob: 1 340 m
- doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku: 1 670 m

Obrázek 7 níže je vyjádřením toxického ohrožení při úniku fosgenu z potrubí ve společnosti Synthesia, a. s. v množství 3 tuny. Tmavě modrou výsečí je vyznačena oblast, v níž je koncentrace uniklého fosgenu nejvyšší. V této oblasti je nutné provedení evakuace osob. V porovnání s předchozím havarijním scénářem je na první pohled

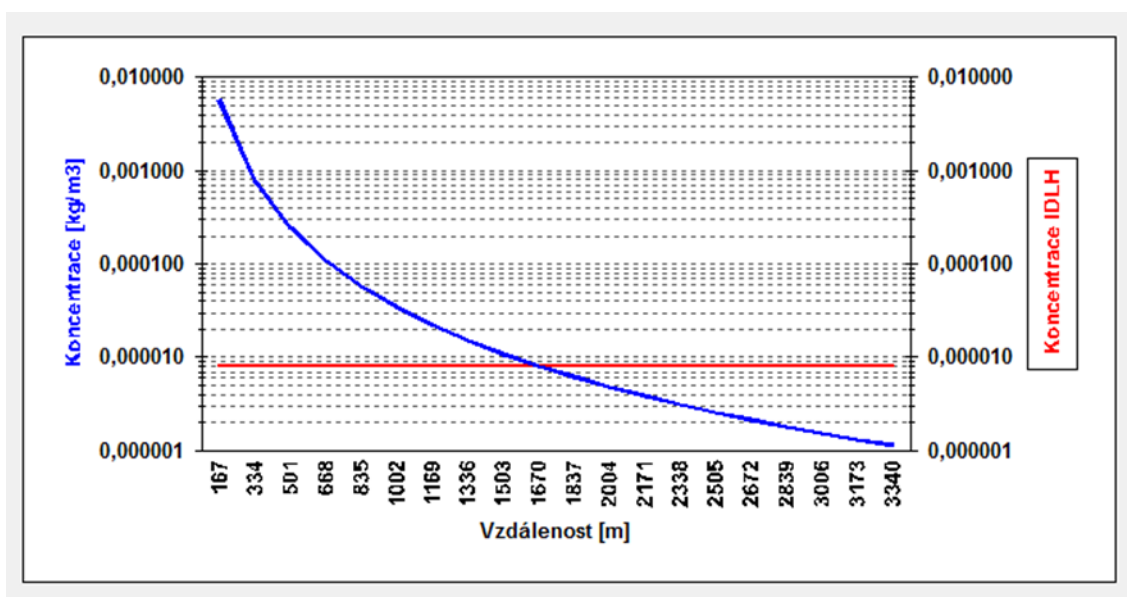
patrné, že zvýšením množství uniklého fosgenu o 2 tuny se oblast nutné evakuace osob od míst úniku této látky rozšířila a zvětšila (o 486 m). Při stanovených podmínkách (tj. množství uniklého fosgenu – 3 000 kg, délka trvání úniku – 20 min., rychlosti větru v přízemní vrstvě – 1 m/s a směr větru – severozápad) je zamořenou oblast nutno evakuovat do vzdálenosti 1 340 m od místa úniku látky. V této oblasti jsou totiž lidé bezprostředně ohroženi na zdraví a životě v důsledku působení fosgenu. Světlem modrou kružnicí je vyznačen rozsah koncentrace fosgenu v oblasti kolem místa úniku této nebezpečné látky. Jedná se o oblast, ve které je nutné provést průzkum toxické koncentrace fosgenu v podobě měření. Tato oblast doporučeného průzkumu toxické koncentrace uniklého fosgenu byla v rámci této havarijní situace stanovena na hodnotu 1 670 m. Tato oblast se v porovnání s přechozím havarijním scénářem, kdy uniklo 1 000 kg fosgenu, rovněž zvětšila a rozšířila, a to o více než 0,5 km (konkrétně o 540 m).



Obrázek 7: Toxické ohrožení při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě)

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

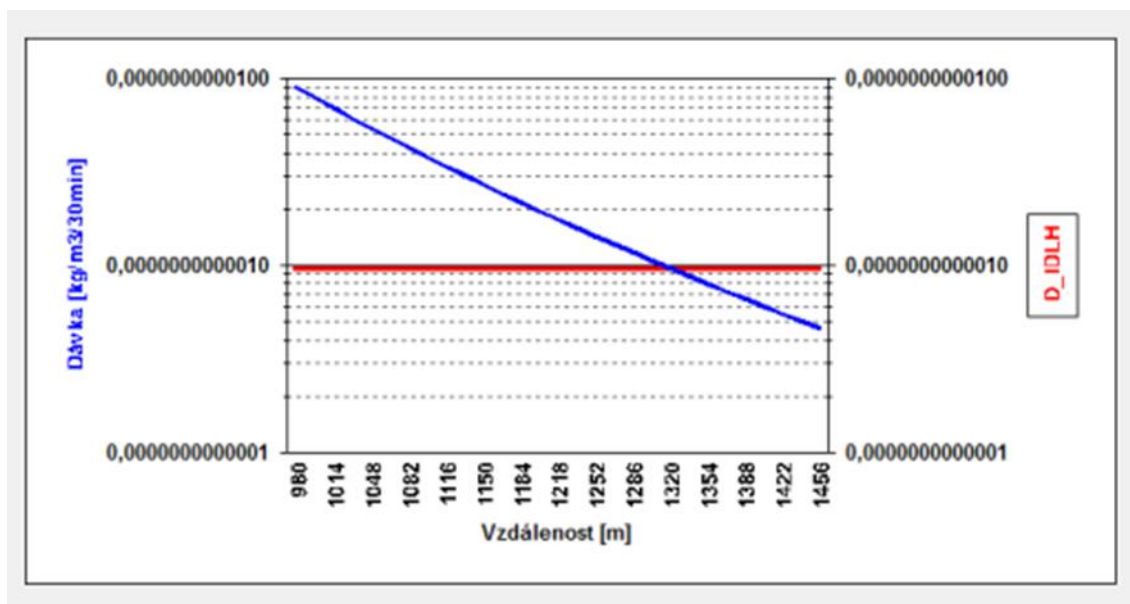
Grafické vyjádření doporučeného průzkumu toxické koncentrace do příslušné vzdálenosti od místa úniku je uvedeno v následujícím grafu 5. Toto znázornění se vztahuje k údajům: množství uniklého fosgenu 3 tuny, délka trvání úniku 20 minut, rychlost větru v přízemní vrstvě 1 m/s, vítr severozápadní. Modrá křivka v grafu znázorňuje závislost koncentrace uniklého fosgenu na vzdálenosti od místa úniku látky ze společnosti Synthesia, a. s. Z grafu vyplývá, že s rostoucí vzdáleností se snižuje koncentrace uniklého fosgenu. Do vzdálenosti 1 670 m je koncentrace uniklého fosgenu zdraví a životů obyvatel bezprostředně nebezpečná. Od této vzdálenosti je již koncentrace fosgenu v prostředí bezpečná. Jedná se o část modré křivky, která se v grafu nachází pod červeně vyznačenou linií (tj. nejvyšší hladina koncentrace fosgenu bezprostředně ohrožující zdraví a životy lidí – IDLH). Koncentrace fosgenu v ovzduší má téměř nulovou hodnotu ve vzdálenosti až 3 340 m od místa úniku této látky.



Graf 5: Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

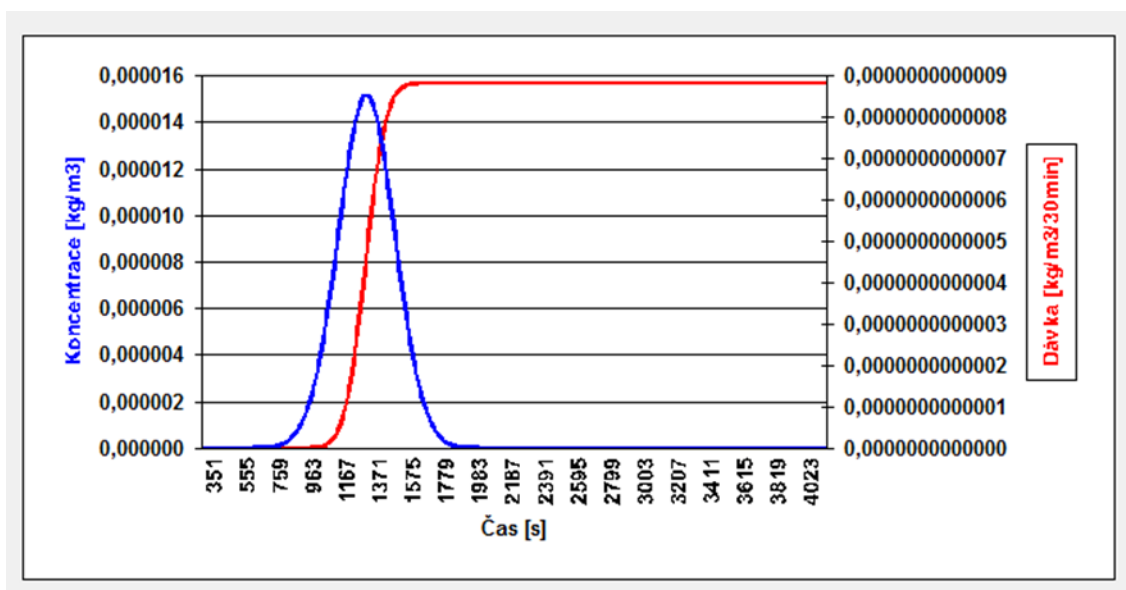
Vzdálenost nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí ve společnosti Synthesia, a. s. v množství 3 000 kg činí, jak již bylo uvedeno výše, 1 340 m od místa úniku této nebezpečné látky. Grafické vyjádření závislosti dávky fosgenu na vzdálenosti (modrá křivka), včetně znázornění mezní hladiny koncentrace této látky (červená linie), je uvedeno v grafu 6.



Graf 6: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

V grafu 7 je uvedena časová závislost koncentrace fosgenu a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob v souvislosti s havarijní událostí č. 4. Nejvyšší koncentrace fosgenu o $0,016 \text{ g/m}^3$ bude při úniku 3 tun této látky dosaženo přibližně za 1 170 s (tj. 19 minut a 30 vteřin).



Graf 7: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

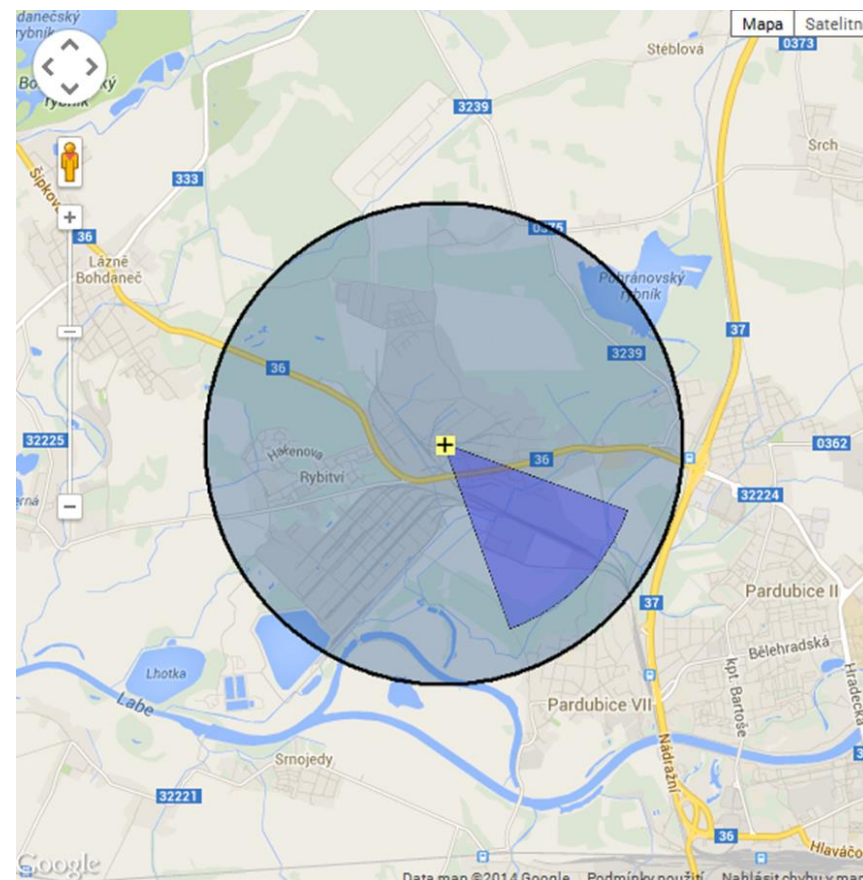
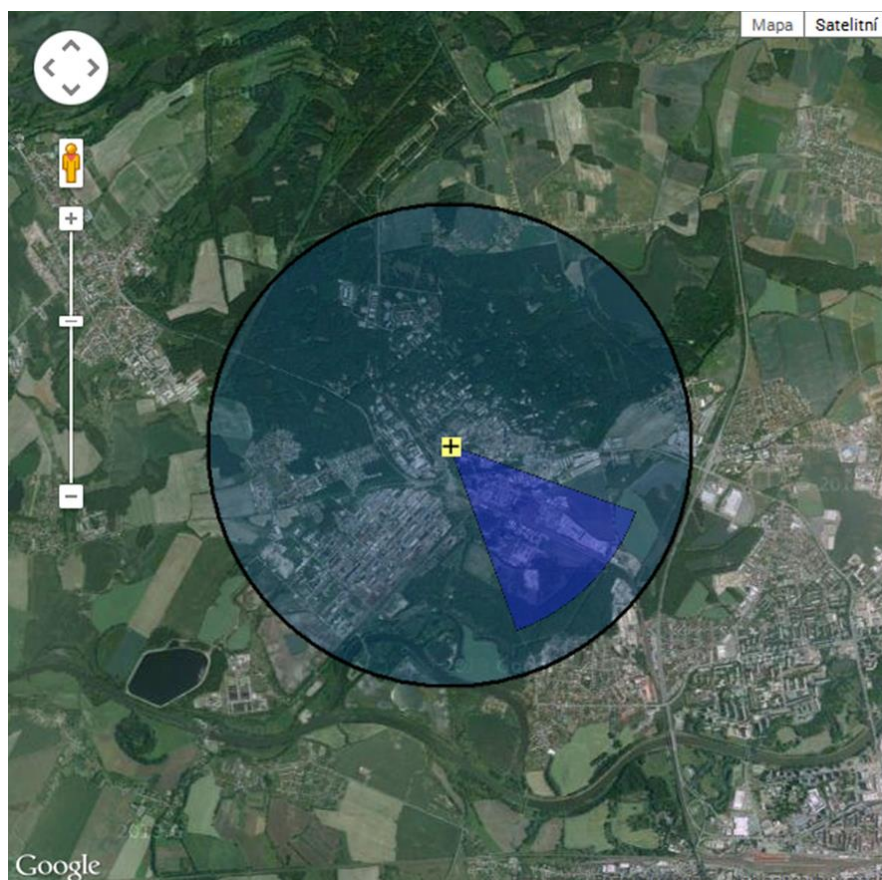
4.1.3 Havarijní situace č. 6

Havarijní situace č. 6 byla zapříčiněna výbuchem ve společnosti Synthesia, a. s., v důsledku teroristického útoku. Celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu) bylo 5 000 kg. Výstupy z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1 pro tento modelový scénář:

- vzdálenost nezbytné evakuace osob: 1 640 m
- doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku: 2 000 m

Toxické ohrožení při výbuchu fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. pro havarijní scénář č. 6, kdy uniklo 5 tun této nebezpečné chemické látky, je uvedeno na obrázku 8 dále. Oblast s nejvyšší koncentrací uniklého fosgenu je znázorněna tmavě modrou výsečí. Jedná se o lokalitu, v níž je nezbytná evakuace osob, neboť v této oblasti jsou

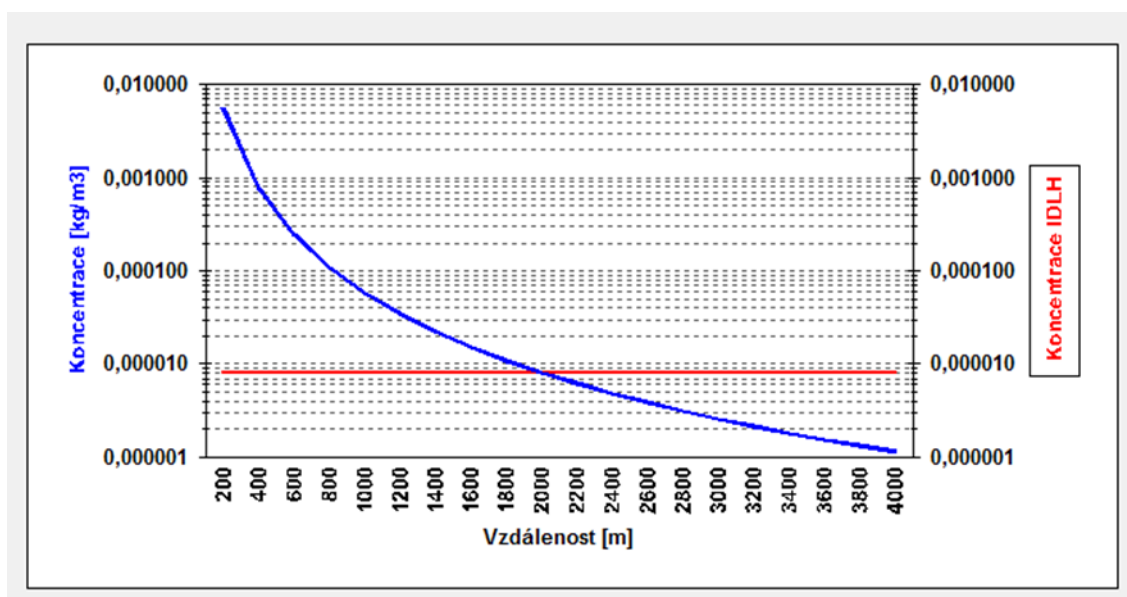
obyvatelé bezprostředně ohroženi na zdraví a životě. Vzdálenost nutné evakuace osob byla programem TerEx stanovena na 1 640 m. Rovněž došlo zvýšením množství uniklého fosgenu k rozšíření a zvětšení oblasti, ve které je nezbytné provedení evakuace obyvatel. V porovnání s havarijní situací č. 2, kdy unikla 1 tuna fosgenu, se tato oblast zvětšila o 786 m. Ve srovnání s havarijní událostí č. 4 (únik fosgenu v množství 3 000 kg) došlo je zvětšení evakuované oblasti o 300 m. Na obrázku 8 je dále znázorněn rozsah koncentrace fosgenu v oblasti okolo místa úniku této látky (kružnice se světle modrým podbarvením). Toto značení znázorňuje lokalitu, v níž je nezbytné provedení průzkumu / měření toxické koncentrace uniklého fosgenu. Na základě stanovených podmínek byla vzdálenost doporučeného průzkumu toxické koncentrace fosgenu od místa jeho úniku určena na 2 km – opět rozšíření a zvětšení této vzdálenosti (o 870 m v porovnání s havarijní situací č. 2 (při úniku 1 tuny fosgenu) a o 330 m ve srovnání s havarijním scénářem č. 4 – únik 3 tun fosgenu).



Obrázek 8: Toxické ohrožení při výbuchu fosfenu v množství 5 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě)

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

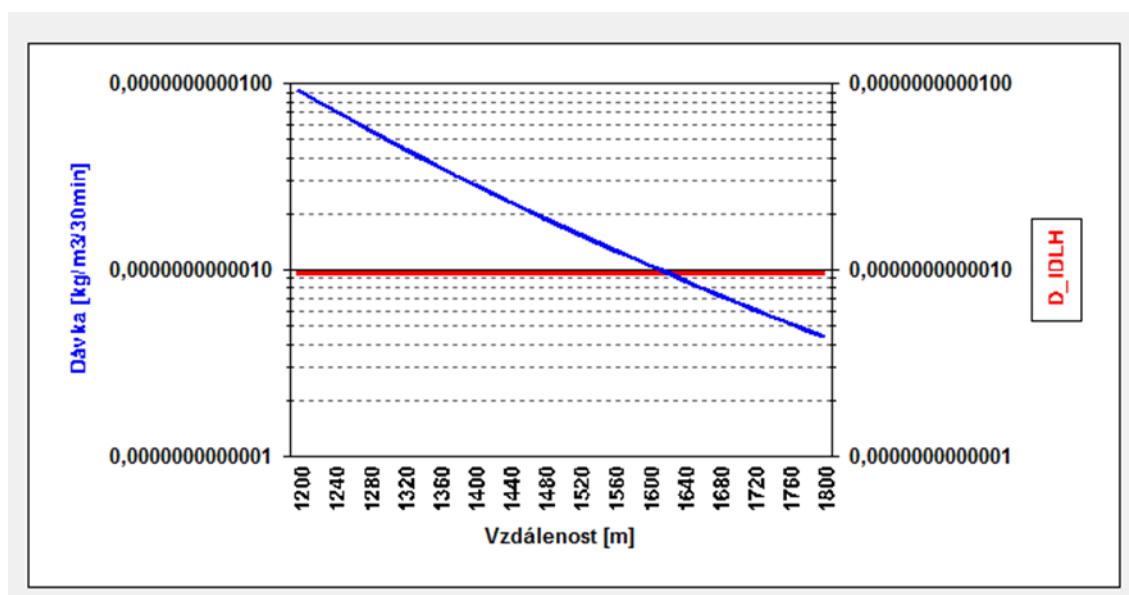
Doporučený průzkum toxické koncentrace nebezpečné chemické látky do vzdálenosti 2 000 m od místa úniku 5 000 kg fosgenu je znázorněn v grafu 8. Závislost koncentrace uniklého fosgenu na vzdálenosti od místa jeho úniku vyznačuje modrá křivka. Zde rovněž platí, jako u předchozích havarijních situací, že s rostoucí vzdáleností, klesá koncentrace uniklého fosgenu. Do 2 km od místa úniku fosgenu je koncentrace této látky pro obyvatelstvo (jejich zdraví a životy) velmi nebezpečná. Naopak od této vzdálenosti se již koncentrace uniklého fosgenu stává bezpečnou (oblast pod červeně vyznačenou linií – IDLH, vyjadřující nejvyšší hladinu koncentrace fosgenu, která bezprostředně ohrožuje lidské zdraví a život). Téměř nulová koncentrace uniklého fosgenu v množství 5 000 kg se nachází až ve vzdálenosti 4 km od místa úniku této nebezpečné látky.



Graf 8: Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

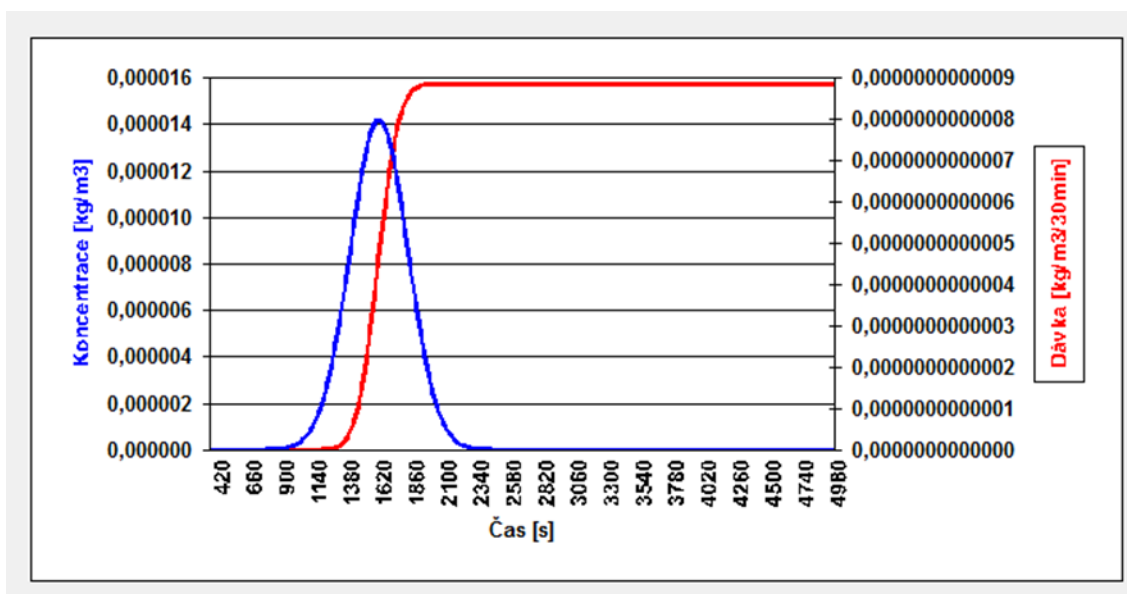
Vzdálenost nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu a jeho úniku v množství 5 000 kg je graficky znázorněna v grafu 9. Evakuaci je v tomto případě nutno provést do vzdálenosti 2 000 m od místa, kde došlo k výbuchu fosgenu a jeho následnému úniku. Závislost dávky fosgenu na vzdálenosti je vyjádřena modrou linií. Červená linie pak vyjadřuje mezní hladinu koncentrace fosgenu (D_IDLH).



Graf 9: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 5 tun je vyjádřena v grafu 10. Nejvyšší koncentrace fosgenu ($0,014 \text{ g/m}^3$) bude při úniku 5 000 kg této nebezpečné látky dosaženo zhruba za 1 500 s (tj. 25 minut).



Graf 10: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

4.1.4 Havarijní situace č. 8

Havarijní situace č. 8 byla taktéž zapříčiněna výbuchem ve společnosti Synthesia, a. s., v důsledku teroristického útoku. Celkové uniklé množství kapaliny (fosgenu) bylo 15 000 kg. Výstupy z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1 pro tento modelový scénář:

- vzdálenost nezbytné evakuace osob: 2 540 m
- doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku: 2 950 m

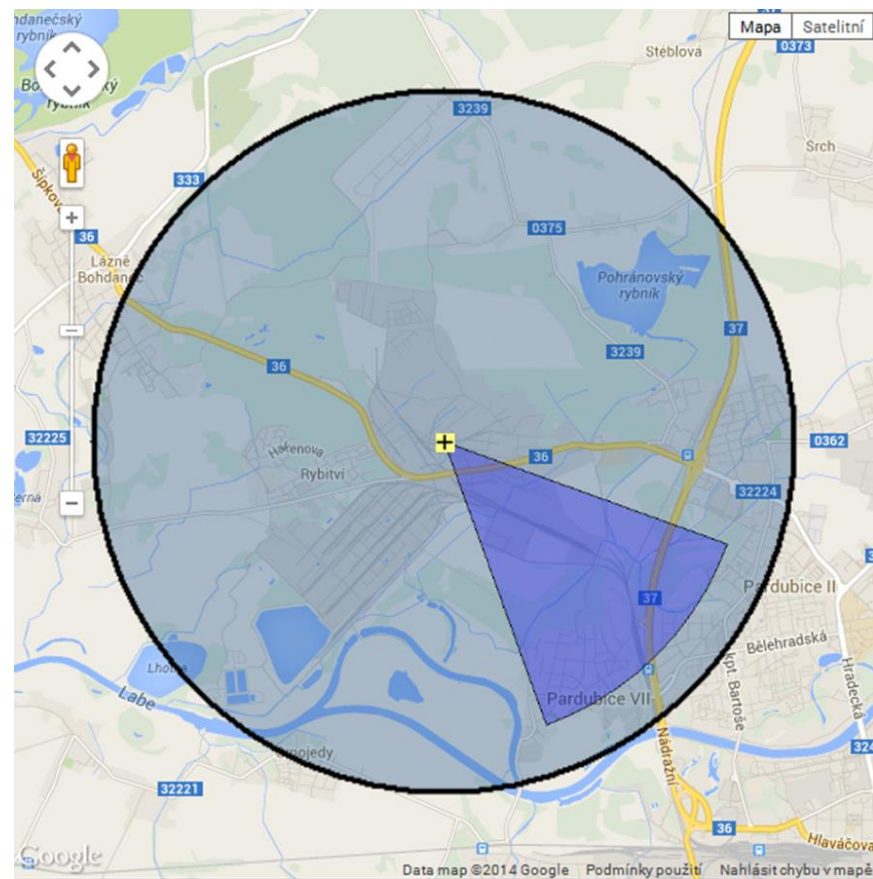
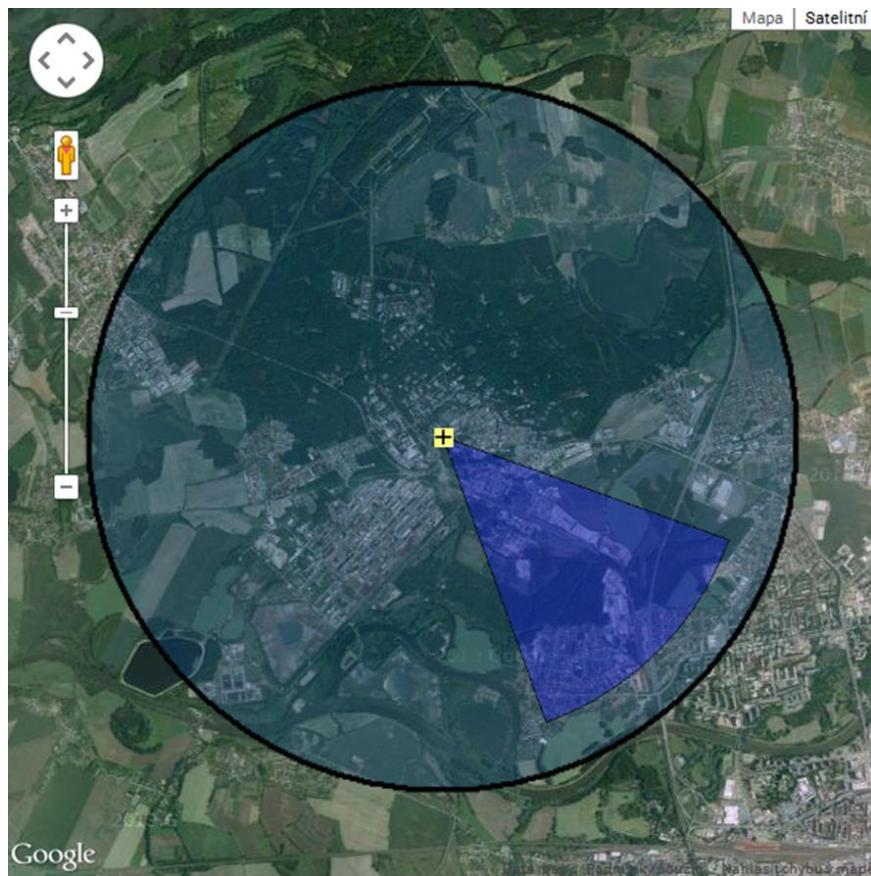
Na obrázku 9 je znázorněno toxické ohrožení při výbuchu fosgenu s následným unikem 15 000 kg této látky. Nejvyšší koncentrace uniklého fosgenu se nachází v oblasti, která je vyznačena tmavě modrou výsečí. Zde jsou obyvatelé bezprostředně ohroženi na svém zdraví a životě. Z tohoto důvodu je nutné tyto obyvatelé evakuovat do

bezpečné vzdálenosti, která se nachází až ve vzdálenosti 2 540 m od místa výbuchu (resp. úniku fosgenu). Jedná se tedy o vzdálenost nezbytné evakuace osob. Porovnání rozsahu a velikosti nutné evakuační vzdálenosti s předchozími havarijními scénáři:

- havarijní situace č. 2 – množství uniklého fosgenu 1 000 kg – rozšíření a zvětšení evakuační vzdálenosti o 1 686 m,
- havarijní situace č. 4 – množství uniklého fosgenu 3 000 kg – rozšíření a zvětšení evakuační vzdálenosti o 870 m,
- havarijní situace č. 6 – množství uniklého fosgenu 5 000 kg – rozšíření a zvětšení evakuační vzdálenosti o 540 m.

Jak je vidět z obrázku 9, toxické ohrožení při výbuchu fosgenu s následným únikem 15 000 kg této látky již zasahuje II. a VII. část Pardubic. Rozsah koncentrace fosgenu v oblasti kolem místa výbuchu / úniku této látky je znázorněn světle modrou kružnicí. V této oblasti je doporučeno provést průzkum / měření koncentrace uniklého fosgenu. Doporučená vzdálenost pro tento průzkum byla programem TerEx stanovena na 2 950 m. Porovnání rozsahu a velikosti doporučené průzkumné vzdálenosti ke zjištění toxické koncentrace uniklého fosgenu s předchozími havarijními scénáři:

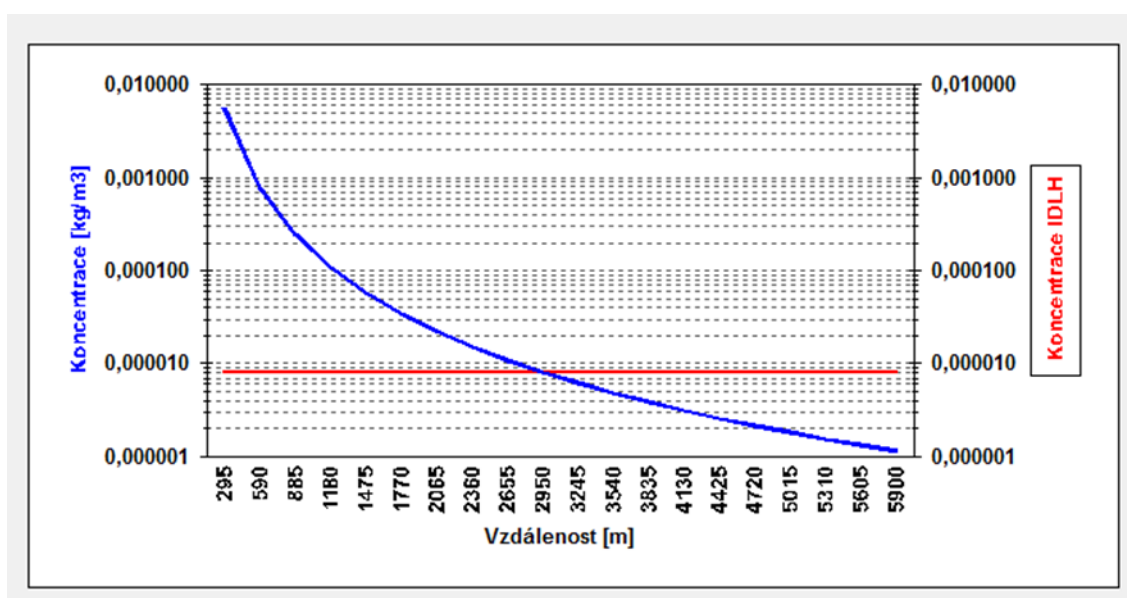
- havarijní situace č. 2 – množství uniklého fosgenu 1 000 kg – rozšíření a zvětšení průzkumné vzdálenosti o 1 820 m,
- havarijní situace č. 4 – množství uniklého fosgenu 3 000 kg – rozšíření a zvětšení průzkumné vzdálenosti o 1 280 m,
- havarijní situace č. 6 – množství uniklého fosgenu 5 000 kg – rozšíření a zvětšení průzkumné vzdálenosti o 950 m.



Obrázek 9: Toxické ohrožení při výbuchu fosfenu v množství 15 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě)

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

Graf 11 znázorňuje doporučený průzkum toxické koncentrace uniklého fosgenu v množství 15 tun. Doporučený průzkum toxické koncentrace uniklého fosgenu od místa jeho úniku byl v tomto případě určen na vzdálenost 2 950 m (tj. průsečík modré křivky vyjadřující závislost koncentrace uniklého fosgenu na vzdálenosti od místa úniku této látky a červené linie, která je vyjádřením nejvyšší hladiny koncentrace fosgenu bezprostředně ohrožující život a zdraví obyvatel v oblasti). Také v tomto případě platí, že s rostoucí vzdáleností se snižuje koncentrace uniklého fosgenu. Nebezpečná je zde koncentrace fosgenu nacházející se do vzdálenosti 2 950 m. Od této vzdálenosti již koncentrace uniklého fosgenu zdraví a životy obyvatel nikterak neohrožuje.

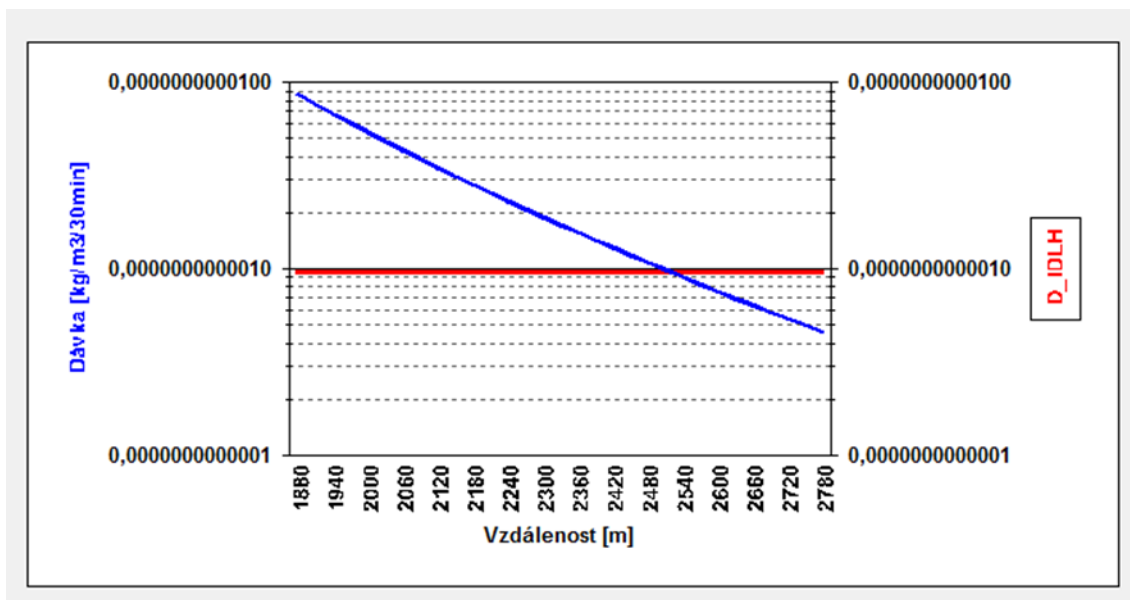


Graf 11: Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

V grafu 12 je znázorněna vzdálenost nutné evakuace osob při výbuchu a následném úniku fosgenu v množství 15 000 kg. Provedení evakuace obyvatel je nezbytné do vzdálenosti 2 540 m – toto znázorňuje průsečík modré linie vyjadřující závislost dávky

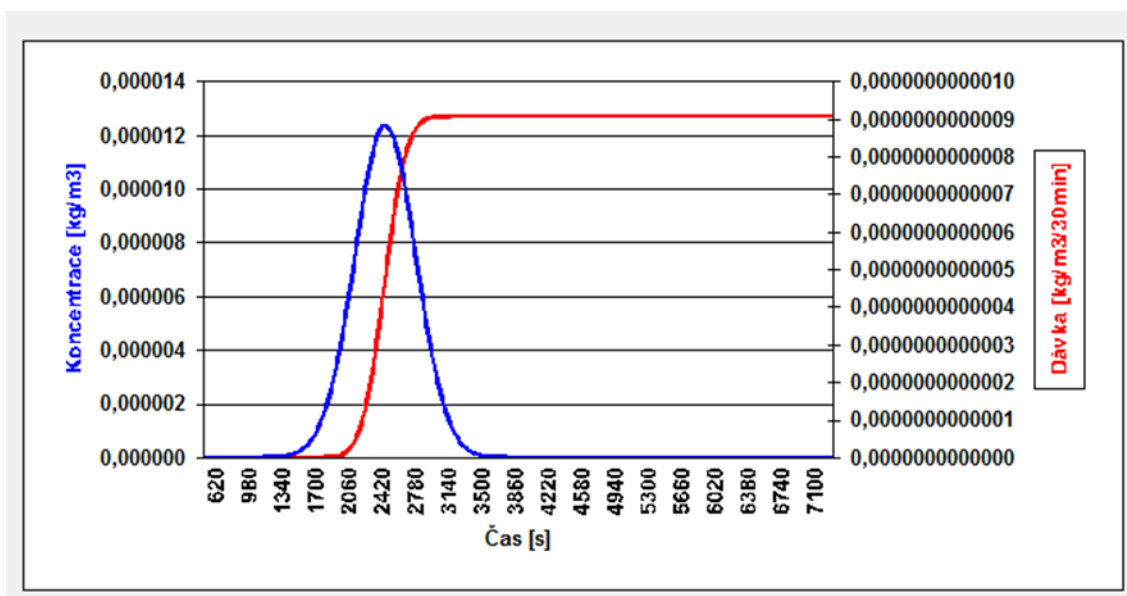
uniklého fosgenu na vzdálenosti a červené linie, jež vyjadřuje mezní hladinu koncentrace této látky.



Graf 12: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

Graf 13 je vyjádřením časové závislosti koncentrace uniklého fosgenu a jeho celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu a následném úniku této látky v množství 15 000 kg. Nejvyšší koncentrace fosgenu ($0,012 \text{ g/m}^3$) bude v tomto případě dosaženo přibližně za 2 420 s (tj. 40 minut a 20 sekund).



Graf 13: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg

Zdroj: výstup z počítačového programu TerEx, verze 2.9.1

4.2 Shrnutí výsledků modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu

Celkové shrnutí výsledků všech deseti namodelovaných havarijních situací, v rámci nichž došlo k chemickým haváriím s následným únikem fosgenu v různých množstvích a za předem stanovených (neměnných) podmínek (rychlost větru v přízemní vrstvě 1 m/s, severozápadní vítr, pokrytí oblohy mraky 0 %, doba vzniku havárie – noc, ráno nebo večer, typ atmosférické stálosti – inverze) ze společnosti Synthesia, a. s. je uvedeno v tabulce 3 dále.

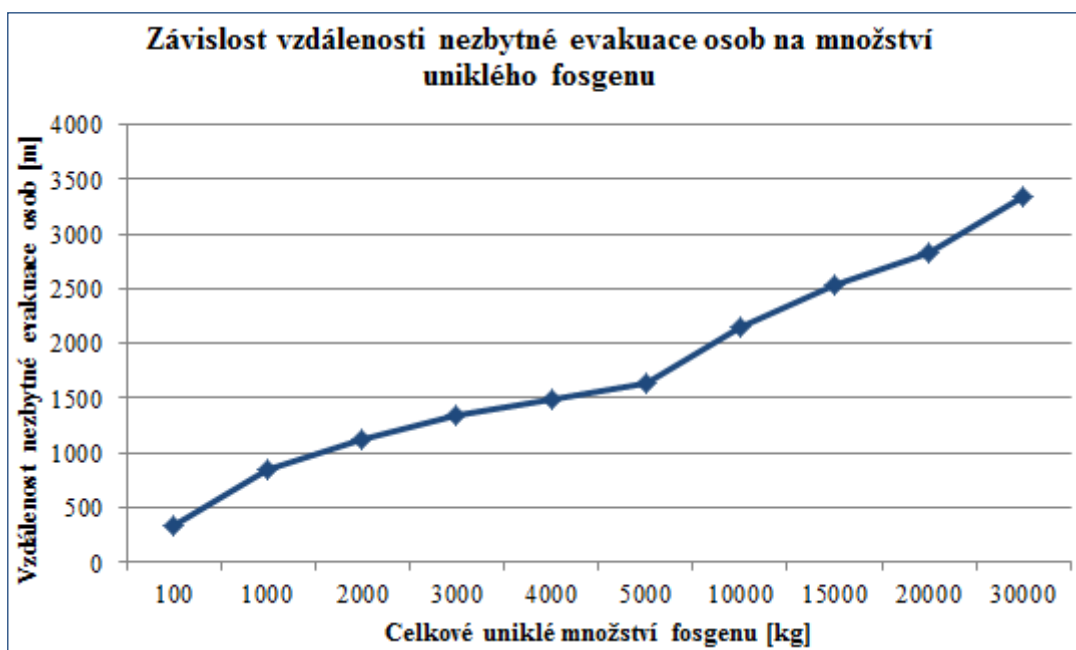
Tabulka 3: Souhrn výsledků modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu

Číslo	Celkové uniklé množství kapaliny [kg]	Vzdálenost nezbytné evakuace osob [m]	Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku [m]
1	100	341	503
2	1 000	854	1 130
3	2 000	1 130	1 450
4	3 000	1 340	1 670
5	4 000	1 490	1 850
6	5 000	1 640	2 000
7	10 000	2 150	2 560
8	15 000	2 540	2 950
9	20 000	2 830	3 270
10	30 000	3 340	3 770

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě těchto výše uvedených dat, které byly získány v rámci modelování jednotlivých havarijních scénářů, lze vytvořit příslušné závislosti, a to konkrétně závislost vzdálenosti nezbytné evakuace osob na množství uniklého fosgenu a závislost vzdálenosti pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu na množství této uniklé látky.

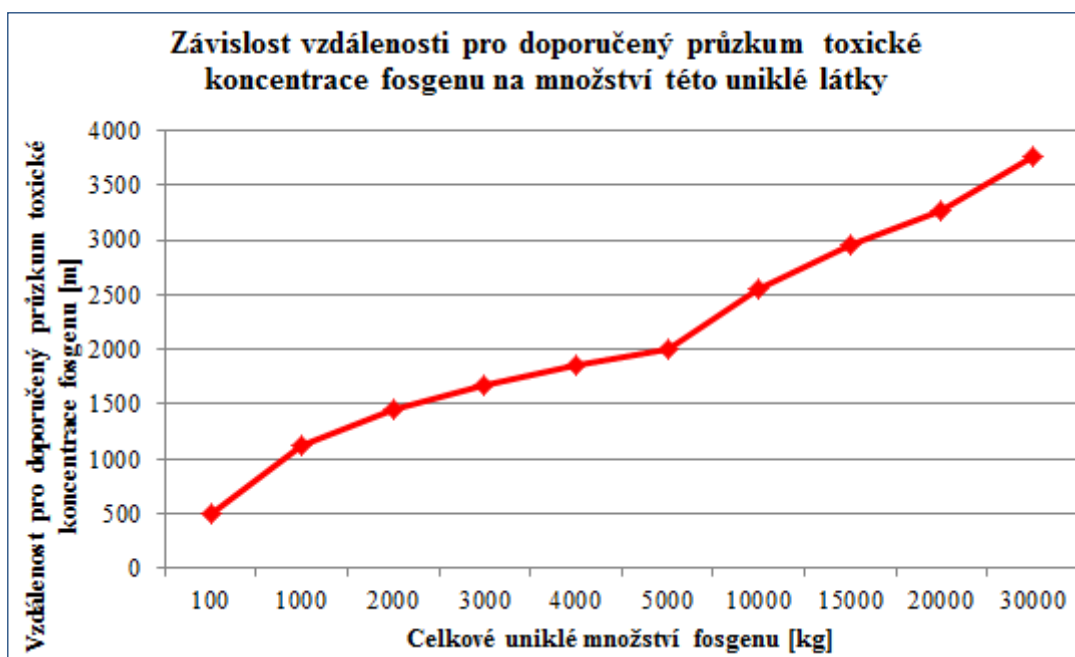
Závislost vzdálenosti nezbytné evakuace osob na množství uniklého fosgenu je znázorněna v grafu 14 níže. Nejmenší evakuační vzdálenost (341 m) je nutná pro únik fosgenu v množství 100 kg. Naopak největší vzdálenost pro evakuaci osob (3 340 m) je nezbytná pro únik fosgenu v množství 30 000 kg. Obecně lze konstatovat, že platí: s rostoucím množstvím uniklého fosgenu se zvětšuje vzdálenost od místa úniku této látky, která je nutná pro evakuaci osob.



Graf 14: Závislost vzdálenosti nezbytné evakuace osob na množství uniklého fosgenu

Zdroj: vlastní zpracování

Graf 15 vyjadřuje **závislost vzdálenosti pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu na množství této uniklé látky**. Stejně jako v případě evakuační vzdálenosti, tak i v případě vzdálenosti pro doporučený průzkum toxické koncentrace platí: s rostoucím množstvím uniklého fosgenu se zvětšuje vzdálenost od místa úniku této látky pro doporučený průzkum koncentrace.



Graf 15: Závislost vzdálenosti pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu na množství této uniklé látky

Zdroj: vlastní zpracování

5 Diskuze

V souladu s tématem diplomové práce byla v rámci její praktické části věnována pozornost simulaci neboli modelování chemické havárie spojené s únikem nebezpečné látky. Taková chemická havárie patří mezi technogenní mimořádné události (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175). Při výběru společnosti, na kterou bylo modelování úniku nebezpečné chemické látky aplikováno, se vycházelo ze skutečnosti, že chemické havárie patří mezi havárie průmyslové. Chemické podniky totiž patří k nejčastějším místům, kde k takovým haváriím, při nichž unikají nebezpečné chemické látky, dochází (Čapoun a kolektiv, 2009, s. 149). Právě z těchto důvodů byl vybrán průmyslový závod – společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Pardubicích. Obecně největší hrozbou jsou chemické havárie, které jsou spojeny s únikem vysoce toxických látek. Právě proto byla pro účely modelování vybrána nebezpečná chemická látka – fosgen, o jejíž jedovatosti není pochyb. Pro simulaci chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. byl vybrán počítačový program TerEx, verze 2.9.1. Protože k nejčastějším příčinám vzniku chemických havárií spojených s únikem nebezpečných chemických látek patří úniky těchto látek z potrubí (Vílches et al, 1995, s. 87 – 96), bylo za havarované zařízení vybráno technologické zařízení (potrubí) společnosti Synthesia, a. s. Fosgen tedy unikl v důsledku netěsnosti na potrubí. Druhým případem byly situace, kdy ve vybrané společnosti došlo k výbuchu v důsledku teroristického útoku. V tomto případě se jedná spíše o extrémní havarijní scénář, který lze považovat spíše za ojedinělý, ne však nemožný. V rámci modelování byl vybrán havarijní model PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku. Rozsah a dopady chemických havárií s únikem nebezpečných chemických látek jsou ovlivněny celou řadou faktorů, které mají mimo jiné také vliv na šíření uniklých nebezpečných chemických látek v prostředí. K takovým faktorům patří kromě druhu a množství uniklé látky, zejména meteorologické podmínky (tj. rychlost a směr větru, typ atmosférické stálosti (inverze, izotermie nebo konvekce) a další. Na základě této skutečnosti byly v programu TerEx zadávány tyto vstupní údaje: rychlost větru v přízemní vrstvě – 1 m/s, pokrytí oblohy mraky – 0 %, doba vzniku a průběhu havárie –

noc, ráno nebo večer, typ atmosférické stálosti – inverze. Celkem bylo namodelováno 10 havarijních situací. Pro všechny tyto havarijní scénáře byly uvedené údaje stejné. Jediným měnným parametrem bylo množství uniklé nebezpečné chemické látky – fosgenu. Jednalo se o tato celková množství uniklého fosgenu: 100 kg, 1 000 kg, 2 000 kg, 3 000 kg a 4 000 kg pro netěsnost technologického zařízení (potrubí), 5 000 kg, 10 000 kg, 15 000 kg, 20 000 kg a 30 000 kg pro výbuch v důsledku teroristického útoku. Pro interpretaci výsledků modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu byly vybrány celkem 4 z 10 havarijních situací, a to havarijní scénář č. 2, 4, 6 a 8 (viz tabulka 2) – tedy úniky fosgenu v množství 1 000 kg a 3 000 kg a výbuchy s následnými úniky fosgenu v množství 5 000 kg a 15 000 kg. Pro tyto havarijní situace bylo na terénní a satelitní mapě graficky znázorněno toxické ohrožení při úniku fosgenu, dále grafické vyjádření doporučeného průzkumu toxické koncentrace fosgenu do vzdálenosti od místa úniku této nebezpečné chemické látky, vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu a v neposlední řadě časové závislosti koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu. Na základě zjištěných výsledků z 10 namodelovaných havarijních scénářů, při nichž v různých množstvích unikl fosgen, vyplynulo, že s rostoucím množstvím této uniklé nebezpečné chemické látky se zvětšuje jak vzdálenost od místa úniku fosgenu, která je nutná pro evakuaci osob, tak vzdálenost pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu na množství této uniklé látky. Pokud bychom uvažovali celkové množství uniklého fosgenu 9 010 kg (tj. průměrná hodnota, která byla odvozena z celkového množství uniklého fosgenu ze všech namodelovaných havarijních scénářů), lze předpokládat, že vzdálenost nezbytné evakuace osob bude činit přibližně 1 765,5 m a vzdálenost pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu od místa jeho úniku se bude rovnat zhruba 2 115,3 m. Rovněž lze uvažovat, že nejvyšší koncentrace fosgenu bude činit $0,0152 \text{ g/m}^3$, přičemž této koncentrace by mělo být dosaženo přibližně za 1 555 s (tj. 25 minut a 55 vteřin). Modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. bylo realizováno především z důvodu zjištění jejího dopadu na zdraví a životy obyvatel. Při zvážení nejvyšší dosažené koncentrace $0,0152 \text{ g/m}^3$ (tj. $15,2 \text{ mg/m}^3$), která by se nacházela v uvedené evakuační vzdálenosti od

místa úniku fosgenu (tj. ve vzdálenosti 1 765,5 m), lze předpokládat zvláště dopady na zdraví obyvatel v zasažené oblasti, nikoliv na jejich životy. Tuto koncentraci fosgenu lze považovat za prahovou. Při koncentraci fosgenu vyšší než 10 mg/m^3 (zhruba do 20 mg/m^3) dochází k podráždění očí a horních cest dýchacích, resp. nosohltanu (Horáková, Jandová, Kociánová, 2006, s. 127), (Matoušek, Linhart, 2005, s. 66). K závažnějším dopadům fosgenu na zdraví obyvatelstva (kupříkladu vyvolání dráždivého kašle, dusivého či zneschopňujícího účinky) by však dojít nemělo.

6 Závěr

Diplomová práce na téma „Simulovaná chemická havárie spojená s únikem fosgenu“ se zabývá problematikou havárií v chemickém průmyslu se zaměřením na havárie, v jejichž důsledku dojde k úniku fosgenu. Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část diplomové práce je zpracována formou literární rešerše s využitím množství odborných literárních a internetových zdrojů. Teoretická východiska diplomové práce vycházejí z obecných poznatků o haváriích. Vymezuji zejména pojem „mimořádná událost“ a „havárie“, dále pak „průmyslová havárie“, „závažná havárie“ či „radiační havárie“. Dále klasifikují havárie na přírodní neboli naturogenní mimořádné události (tj. abiotické a biotické) a antropogenní mimořádné události (tj. technogenní, sociogenní interní, sociogenní externí a agrogenní). Uvádí také rozdělení havárií na dopravní nehody, průmyslové havárie (tj. chemické, ropné, jaderné a další), ekologické havárie a příp. ostatní havárie. Stěžejní část teoretických východisek diplomové práce je zaměřena na chemické havárie. Pozornost je věnována vzniku těchto havárií z pohledu historie a dále příčinám chemických havárií. V rámci jejich klasifikace je práce soustředěna na chemické havárie spojené s únikem nebezpečných chemických látek. V této souvislosti jsou zmíněny základní charakteristiky těchto havárií, jejich příčiny vzniku, klasifikace, průběh, faktory ovlivňující šíření nebezpečných chemických látek při haváriích, dále typické projevy chemických havárií spojených s únikem nebezpečných chemických látek a jejím následkům. Teoretická část diplomové práce se zabývá také problematikou nebezpečných chemických látek, přičemž pozornost orientuje zvláště fosgenu – jeho historii vzniku, výrobě, chemickým reakcím, fyzikálně-chemickým a termodynamickým vlastnostem, využitím, toxicitou a mechanismem účinku, symptomům a diagnóze intoxikace a v neposlední řadě také první pomoci a léčbě při otravě fosgenem.

Praktická část diplomové práce navazuje na část teoretickou, neboť vychází ze zjištěných teoretických poznatků. Podstatou praktické části diplomové práce je simulace neboli modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve vybrané společnosti.

Pro účely modelování byla vybrána společnost Synthesia, a. s. se sídlem v Pardubicích. Simulace nejrůznějších havarijních scénářů chemické havárie, při níž unikal fosgen, bylo provedeno v počítačovém programu TerEx, verze 2.9.1. Celkově bylo namodelováno 10 havarijních událostí, pro které byly zadávány vždy stejné vstupní údaje týkající se druhu nebezpečné látky, teploty kapaliny v zařízení, rychlosti větru v přízemní vrstvě, délky trvání úniku, pokrytí oblohy mraky, doby vzniku a průběhu havárie a typu atmosférické stálosti. Měnnou veličinou bylo celkové množství unikajícího fosgenu. Cílem praktické části této diplomové práce bylo na základě realizace modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu ve společnosti Synthesia, a. s. posoudit rizika z ní plynoucí a zhodnotit její dopady na zdraví a životy obyvatel.

7 Seznam použité literatury

Literární zdroje

BANÝR, J., NOVOTNÝ, V. *Stručné dějiny chemie a chemické výroby*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986. 146 s.

BARTLOVÁ, Ivana, PEŠÁK, Miloš. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií II: Analýza rizik a připravenost na průmyslové havárie*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. 138 s. ISBN 80-86634-30-2.

BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství se sídlem VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. 89 s. ISBN 80-86634-89-2.

BUDIŠ, J. a kolektiv. *Historie chemie slovem a obrazem*. Brno: PdF MU, 1995. 100 s. ISBN 80-210-1080-2.

BUDIŠ, J. a kolektiv. *Stručný přehled historie chemie*. Brno: PdF MU, 1996. 53 s. ISBN 80-210-1463-6.

CÍDLOVÁ, H., VALOVÁ, B. Stručný souhrn historického vývoje chemie. In *XXV. mezinárodní kolokvium o řízení osvojovacího procesu*. Brno: Univerzita obrany, 2011. s. 379 – 388. ISBN 978-80-7231-812-4.

ČAPOUN, Tomáš a kolektiv. *Chemické havárie*. Praha: MV - GŘ HZS ČR, 2009, 149 s. ISBN 978-80-86640-64-8.

MATOUŠEK, Jiří, LINHART, Petr. *CBRN - chemické zbraně*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. 151 s. ISBN 80-8663-471-X.

MOLLIN, Jiří. *Historie chemie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 1992. 121 s. ISBN 80-7067-080-0.

Ochrana člověka za mimořádných událostí: Příručka pro učitele základních a středních škol. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2003. 105 s.

PATOČKA, J., KUNA, P. *Krizové řízení při jaderné či chemické havárii*. České Budějovice: ZSF JCU, 2005.

PICHLER, Jiří. *Historie chemie*. Brno: PŘF MU, 1997. 62 s. ISBN 80-210-1501-2.

SKŘEHOT, Petr a kolektiv. *Prevence nehod a havárií 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., 2009, 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.

VEVERKA, Ivan. *Vybrané kapitoly krizového řízení pro záchrannářství*. Praha: Policejní akademie České republiky, Katedra krizového řízení, 2003. 175 s. ISBN 80-7251-126-2.

VOHLÍDAL, Jiří, ŠTULÍK, Karel, JULÁK, Alois. *Chemické a analytické tabulky*. Praha: Grada Publishing, 1999. 647 s. ISBN 80-7169-855-5.

Internetové zdroje

BRAY, Belinda. *Phosgene* [online] 1997 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim419.htm>.

HOLUB, Luděk. *Nástup průmyslové chemie v Českých zemích* [online] 2013 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: <http://chemicke-listy.cz/Bulletin/bulletin272/clanek04.html>.

HORÁK, Jan, KUDLÁK, Aleš. Pomůcka: Pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků: Program TerEx: Verze 2.9. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta* [online] 2007 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://old.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/projekty/vyukove-pomucky-pro-software-emoff-a-terex/terex.pdf/>.

Chemie 3. ročník: Fosgen [online] 2012 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://chemie3a.blogspot.cz/>.

KOPECKÝ, M., TILCEROVÁ, E., ŠIMAN, J., KOUCKÁ, M., VOPIČKA, K. Ochrana obyvatelstva za mimořádných událostí. *Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta* [online] 2013 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: http://www.pdf.upol.cz/fileadmin/user_upload/PdF-katedry/KAZ/FRVS/21_Priloha_8_Studijni_materialy_OOMU_Kopecky.pdf.

MARTINEK, Jiří, KŘÍŽ, Miloš. Základní rozdělení mimořádných událostí. *Hradec Králové: Oficiální stránky statutárního města* [online] 2011 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z: <http://www.hrdeckralove.org/urad/zakladni-rozdeleni-mimoradnych-udalosti>.

MIKA, Otakar. Možnosti modelování havarijních dopadů nebezpečných chemických látek. *EGO Zlín, spol. s r. o.* [online] 2004 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.egozlin.cz/upload.en/b/b5ea3244_1_mika_isatech_brno_2004_b.pdf.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008, o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie* [online] 2008 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:cs:PDF>.

Směrnice Rady 96/82/ES SEVESO II, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie* [online] 1996 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:05:02:31996L0082:CS:PDF>.

Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR: 1998 – 2012. *Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR* [online] 2010 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>.

SVOBODOVÁ, Hana, VĚŽNÍK, Antonín, HOFMANN, Eduard. Průmysl a podnikání: Historie průmyslové výroby na území ČR do roku 1989. Vybrané kapitoly ze socioekonomické geografie České republiky. *Brno: Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity* [online] 2013 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/geograf/web/pages/05-prumysl-podnikani.html>.

Synthesia, a. s. [online] 2011 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.synthesia.eu/cze>.

Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států. *Ministerstvo životního prostředí* [online] 2011 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_brozury_chemicke_latky/\\$FILE/OZV-umluva_o_prumyslovych_%20havariich-20120327.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_brozury_chemicke_latky/$FILE/OZV-umluva_o_prumyslovych_%20havariich-20120327.pdf).

Periodika

CURRIE, W. D., PRATT, P. C., FROSOLONO, M. F. Response of pulmonary energy metabolism to phosgene. In *The Journal of Toxicology and Health*, 1985, vol. 1, p. 17 – 27. ISSN 1528-7394.

HORÁKOVÁ, Magdaléna, JANDOVÁ, Miroslava, KOCIÁNOVÁ, Helena. Fosgen: Zdravotní rizika. In *Vojenské zdravotnické listy*. České Budějovice: Zdravotně sociální fakulta Jihočeské univerzity, 2006, roč. LXXV, č. 3 – 4, s. 126 – 129. ISSN 0372-7025.

MĚRKA, Vladimír, PATOČKA, Jiří. Chloor, fosgeen en yperiet een treurig overzicht. In *Nederland Military*, 2006, vol. 59, p. 16 – 18.

MĚRKA, Vladimír, PATOČKA, Jiří. K historii chemických válek s nasazením chlóru, fosgenu a yperitu. In *Zpravodaj vojenské farmacie*, 2005, roč. 15, č. 2 – 3, s. 9 – 13. ISSN 1213-8029.

VÍLCHES, J. et al. A historical analysis of accidents in chemical plants, accidents due to transport of hazardous materials. In *Journal of Loss Prevention Process Industry*, 1995, vol. 8, no. 2, p. 87 – 96. ISSN 0950-4230.

WYATT, J. P., ALLISTER, C. A. Occupational Phosgene poisoning: A case report and review. In *Journal of Accident & Emergency Medicine*, 1995, vol. 12, p. 212 – 213. ISSN 1351-0622.

Legislativní a ostatní předpisy

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In *Sbírka zákonů ČR*, 1997.

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 ČR*, 2006.

Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In *Sbírka zákonů ČR*, 2000.

Zákon č. 273/2010 Sb., úplné znění zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), jak vyplývá se změn provedených zákonem č. 76/2002 Sb., zákonem č. 320/2002 Sb., zákonem č. 274/2003 Sb., zákonem č. 20/2004 Sb., zákonem č. 413/2005 Sb., zákonem č. 444/2005 Sb., zákonem č. 186/2006 Sb., zákonem č. 222/2006 Sb., zákonem č. 342/2006 Sb., zákonem č. 25/2008 Sb., zákonem č. 167/2008 Sb., zákonem č. 181/2008 Sb., zákonem č. 157/2009 Sb., zákonem č. 227/2009 Sb., zákonem č. 281/2009 Sb. a zákonem č. 150/2010 Sb. In *Sbírka zákonů ČR*, 2010.

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon), ve znění pozdějších předpisů. In *Sbírka zákonů ČR*, 2008.

8 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schématické základní rozdělení mimořádných událostí (Martinek, Kříž [online], 2011), (Veverka, 2003, s. 175).....	19
Obrázek 2: Lokalizace chemického průmyslu na území České republiky (Svobodová, Věžník, Hofmann [online], 2013)	28
Obrázek 3: Molekula fosgenu a její vzájemné vazby (Chemie 3. ročník: Fosgen [online], 2012)	38
Obrázek 4: Vyznačení ohrožení z výsledků počítačového programu TerEx v mapách (1 – toxické ohrožení, 2 – ohrožení výbuchem, 3 – ohrožení požárem, 4 – kombinované ohrožení), (Horák, Kudlák [online], 2007)	50
Obrázek 5: Schematické znázornění základních havarijních situací (modelů) počítačového programu TerEx (Horák, Kudlák [online], 2007)	53
Obrázek 6: Toxické ohrožení při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě).....	61
Obrázek 7: Toxické ohrožení při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě).....	66
Obrázek 8: Toxické ohrožení při výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě).....	71
Obrázek 9: Toxické ohrožení při výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg (vlevo – zobrazení v terénní mapě, vpravo – zobrazení v satelitní mapě).....	76

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Fyzikálně-chemické vlastnosti fosgenu (Vohlídal, Štulík, Julák, 1999, s. 228)	41
Tabulka 2:	Přehled zadávaných vstupních údajů pro modelování havarijních situací v programu TerEx	58
Tabulka 3:	Souhrn výsledků modelování chemické havárie spojené s únikem fosgenu	80

Seznam grafů

Graf 1:	Statistika úniků nebezpečných chemických látek v letech 1993 – 2012 (Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR: 1998 – 2012, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [online], 2010).....	13
Graf 2:	Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg.....	62
Graf 3:	Vzdálenost nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg.....	63
Graf 4:	Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 1 000 kg	64
Graf 5:	Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg.....	67
Graf 6:	Vzdálenost nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg.....	68
Graf 7:	Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při úniku fosgenu z potrubí v množství 3 000 kg	69
Graf 8:	Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg	72

Graf 9: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg	73
Graf 10: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 5 000 kg.....	74
Graf 11: Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg	77
Graf 12: Vzdálenost nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg	78
Graf 13: Časová závislost koncentrace toxické látky a celkové dávky ve vzdálenosti nezbytné evakuace osob při výbuchu fosgenu v množství 15 000 kg.....	79
Graf 14: Závislost vzdálenosti nezbytné evakuace osob na množství uniklého fosgenu	81
Graf 15: Závislost vzdálenosti pro doporučený průzkum toxické koncentrace fosgenu na množství této uniklé látky	82