

Modelování dosahu zraňujících koncentrací nebezpečných chemických látek v ovzduší

Lukáš Valuch

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav krizového řízení

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš VALUCH**
Osobní číslo: **L11430**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ovládání rizik**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Modelování dosahu zraňujících koncentrací
nebezpečných chemických látek v ovzduší**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor současného stavu a platné legislativy
2. Zhodnocení nehodových událostí spojených s únikem nebezpečné chemické látky za období 10 let
3. Faktory ovlivňující rozptyl látek v atmosféře
4. Modelování dosahu nebezpečné chemické látky do ovzduší při havárii technologického zařízení
5. Návrh opatření k zvýšení účinnosti ochrany obyvatelstva

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] BÁRTLOVÁ I., BALOG K., Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií I., 2. vydání, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2007, 191 stran, ISBN: 80-86634-31-0.

[2] BERNATÍK, A. 2006. Prevence závažných havárií I. : učební skripta VŠB-TU. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-86634-90-6.

[3] MAŠEK I., MÍKA O., ZEMAN M., Prevence závažných průmyslových havárií, 1. vydání, VUT, Brno 2006, 98 stran, ISBN: 80-214-3336-1.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ivan Mašek, CSc.

Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce:

21. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2014

V Uherském Hradišti dne 21. února 2014


prof. PhDr. Ivo Barteček, CSc.
děkan




doc. PhDr. Ferdinand Mazal, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v archivu Fakulty logistiky a krizového řízení Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

V Uherském Hradišti dne 7.5.2014.....


.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na modelování úniku nebezpečné chemické látky z vybraného technologického zařízení – chladicího zařízení zimního stadionu. První část, teoretická, se zabývá rozbohem současného stavu a platné legislativy v oblasti prevence závažných havárií v EU a v České republice, zhodnocením nehodových událostí spojených s únikem nebezpečné chemické látky za období posledních 10 let, faktory ovlivňujícími jejich šíření v atmosféře a fyzikálními modely úniku a rozptylu chemických látek. Poslední kapitola v teoretické části je věnována softwarovým nástrojům. Druhá část, praktická, je zaměřena na samotné modelování úniku amoniaku z chladicího zařízení zimního stadionu pomocí předpisu CO-51-5, programů ALOHA a TerEx, jejich výsledku a analýze. Na závěr je zde uveden návrh opatření k zvýšení účinnosti ochrany obyvatelstva.

Klíčová slova: SEVESO, rozptyl, únik, modelování, softwarové nástroje, TerEx, ALOHA.

ABSTRACT

The Bachelor's thesis is focused on modeling the release of hazardous chemicals from the selected process equipment - cooling equipment ice hockey arena. The first part is theoretical and deals with the analysis of the current status and legislation in force in preventing serious accidents in the EU and in the Czech Republic, the evaluation of accidents associated with leakage of hazardous chemicals over the last 10 years, the factors influencing their propagation in the atmosphere and physical models of leakage and scattering of chemicals. The last chapter of the theoretical part is devoted to software tools. The second part is practical, is focused on modeling ammonia leak from the cooling device using ice hockey arena prescription CO-51-5, programs ALOHA and TerEx, their results and analysis. In conclusion, there is set out proposal to increase the effectiveness of the protection of the population.

Keywords: SEVESO, dissipation, leakage, modeling, software tools, TerEx, ALOHA.

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Ivanu Maškovi, CSc. za odborné vedení práce, ochotu a poskytnutí celé řady podnětných připomínek, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval všem rodinným blízkým za projevenou podporu.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU A PLATNÉ LEGISLATIVY	11
1.1 EVROPSKÁ LEGISLATIVA	11
1.1.1 Směrnice SEVESO.....	12
1.1.2 Nařízení REACH	12
1.1.3 Nařízení CLP.....	12
1.2 PRÁVNÍ ÚPRAVA V ČESKÉ REPUBLICE	13
1.2.1 Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií	13
1.2.2 Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích	14
1.3 ZHODNOCENÍ NEHODOVÝCH UDÁLOSTÍ ZA OBDOBÍ 10 LET	15
1.3.1 Havárie v chemickém průmyslu	16
2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZPTYL LÁTEK V ATMOSFÉŘE	18
2.1 TEPLOTA VZDUCHU A POVRCHU PŮDY	18
2.2 VERTIKÁLNÍ STÁLOST ATMOSFÉRY V JEJÍ PŘÍZEMNÍ VRSTVĚ.....	18
2.3 SMĚR A RYCHLOST PROUDĚNÍ A VĚTRU	19
2.4 MNOŽSTVÍ ATMOSFÉRICKÝCH SRÁŽEK	20
2.5 VLIV NEROVNOSTÍ A POKRYTOSTI TERÉNU	20
2.6 DIFÚZE	21
2.7 HUSTOTA TOXICKÝCH LÁTEK	21
3 FYZIKÁLNÍ MODELY ÚNIKU A ROZPTYLU NEBEZPEČNÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK	22
3.1 FYZIKÁLNÍ MODELY PRO ÚNIK PLYNU ZE ZAŘÍZENÍ.....	22
3.1.1 Laminární únik plynu	23
3.1.2 Turbulentní únik plynu.....	23
3.1.3 Jednorázový únik plynu.....	23
3.1.4 Únik kapaliny následovaný mžikovým oparem	23
3.1.5 Dvoufázový výtok	23
3.2 FYZIKÁLNÍ MODELY VYPAŘOVÁNÍ KAPALIN	24
3.3 FYZIKÁLNÍ MODELY PRO ROZPTYL PLYNU V ATMOSFÉŘE.....	24
3.3.1 Gaussův model rozptylu.....	25
3.3.2 Model rozptylu těžkého plynu.....	25
3.3.3 Lagrangeovské a Eulerovské modely rozptylu.....	26
3.3.4 Model pro turbulentní rozptyl	27
3.3.5 Difúzní model pro rozptyl při kontinuální dotaci látky (PLUME).....	27
3.3.6 Difúzní model pro rozptyl při jednorázové dotaci látky (PUFF)	27
3.3.7 Box model pro rozptyl těžkého plynu	27
3.3.8 Modely „Computational Fluid Dynamics“	28

4	SOFTWAREVÉ NÁSTROJE URČENÉ PRO MODELOVÁNÍ ROZPTYLU NEBEZPEČNÝCH LÁTEK.....	29
4.1	POŽADAVKY NA SOFTWAREVÉ NÁSTROJE.....	29
4.2	VALIDITA SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ	30
4.3	VÝBĚR SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ.....	31
II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
5	CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY	33
6	METODIKA ZPRACOVÁNÍ	34
6.1	PŘEDPIS CO-51-5.....	34
6.2	PROGRAM TEREX.....	35
6.3	ALOHA	35
6.4	AMONIAK (NH ₃).....	36
6.5	CHARAKTERISTIKA ZIMNÍHO STADIONU HC SLAVIA PRAHA	36
6.5.1	Strojovna chlazení	37
6.5.2	Ledová plocha	38
6.5.3	Spojovací potrubní kanál.....	38
6.5.4	Druh a množství skladovaných látek.....	38
6.5.5	Zabezpečení chladicího systému před únikem chladiva R 717.....	39
7	SIMULOVANÁ HAVÁRIE STACIONÁRNÍHO ZDROJE	40
7.1	ODHAD NÁSLEDKŮ POMOCÍ PŘEDPISU CO-51-5	41
7.2	ODHAD NÁSLEDKŮ POMOCÍ PROGRAMU ALOHA.....	42
7.2.1	Textový výstup	42
7.2.2	Grafický výstup	43
7.3	ODHAD NÁSLEDKŮ POMOCÍ PROGRAMU TEREX	45
7.3.1	Vyhodnocení jednorázového úniku amoniaku	45
7.3.2	Vyhodnocení déletrvajícího úniku amoniaku.....	49
7.4	SOUHRN VÝSLEDKŮ.....	52
8	NÁVRH OPATŘENÍ K ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI OCHRANY OBYVATELSTVA.....	54
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM GRAFŮ	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Již od období průmyslové revoluce a zvláště pak ve 20. století je možno pozorovat stále větší rozvoj chemického průmyslu, vyšší roční produkci rozmanitých chemických látek a směsí. Rozmach chemické výroby pokračuje i v současné době a jen těžko si lze představit fungující vyspělý svět bez chemického odvětví.

Ruku v ruce se stoupajícím množstvím chemikálií roste, i přes permanentní vylepšování stávajících technologií a zavádění nových bezpečnostních postupů, riziko nežádoucího úniku nebezpečných látek do okolí.

Moderní společnost si je vědoma podílu své spoluzodpovědnosti za ochranu života, zdraví a majetku lidí i životního prostředí před následky chemických havárií. Díky tomu se neustále zvyšuje důraz kladený nejen na bezpečnost nakládání s chemickými látkami, ale i na následná opatření v případě havárie.

K přípravě a přijetí adekvátních opatření je nutná znalost chování nebezpečných látek v okolí místa úniku a v prostoru rozptylu. Pomůckou k odhadu jejich chování představuje několik fyzikálních modelů, které popisují šíření látek v prostředí.

V současné době existuje celá řada moderních softwarových nástrojů určených k modelování rozptylu nebezpečných látek v ovzduší. Jejich validita je však různá a při rozhodování, který nástroj použít, obvykle nemá uživatel k dispozici žádné podpůrné informace. Žádný oficiální rating ani těch nejpoužívanějších programů neexistuje a to i přes to, že odkazy na možnost použití řady programů pro účely modelování následků průmyslových havárií lze nalézt i v metodice Ministerstva životního prostředí.

Problematika modelování dosahu nebezpečných látek v ovzduší představuje náročnou oblast, pro jejíž zvládnutí je nutná dokonalá znalost širokého spektra aspektů. Výsledky dobře provedené rozptylové studie však mohou vynaložené úsilí vynahradit – umožňují totiž prokazatelným způsobem odhalovat podmínky, při kterých se vzniklý oblak bude rozptylovat nejpomaleji, a především stanovovat bezpečné zóny, kde již lidé nebudou nebezpečnou látkou ohroženi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU A PLATNÉ LEGISLATIVY

Průmysl zpracovávající nebezpečné chemické látky musí plnit řadu zákonných opatření. Jednou z oblastí je prevence závažných havárií, pro kterou je určující právní úprava vycházející z řady tzv. směrnic SEVESO. Nejprve to byla směrnice 82/501/EEC (SEVESO I), následně směrnice 96/82/EC (SEVESO II), kterou Česká republika implementovala zákonem o prevenci závažných havárií č. 353/1999 Sb., jenž byl později zrušen a nahrazen zákonem č. 59/2006 Sb. se změnami. Česká republika již dříve měla zkušenosti s bezpečností chemických provozů, ale zákon o prevenci závažných havárií přinesl provozovatelům nové povinnosti, které do té doby nemuseli plnit. V oblasti chemických látek došlo v poslední době k řadě změn, které postupně vcházejí v platnost. Hlavní je změna v systému klasifikace nebezpečných látek, na které reaguje nařízení ES č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, tzv. nařízení CLP a nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 1907/2006 tzv. REACH (upravuje registraci, hodnocení, povolování a omezování chemikálií). Z tohoto důvodu bylo nutné řadu právních předpisů změnit anebo upravit. To vedlo k revizi směrnice SEVESO II, spolu s uvážením některých oblastí, ve kterých se ukázala potřeba provést určité úpravy s cílem vyjasnit a aktualizovat některá ustanovení směrnice, a zlepšit provádění a prosazování směrnice při současném zachování nebo mírném zlepšení úrovně ochrany zdraví a životního prostředí. Výsledkem úprav je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU (SEVESO III) ze dne 4. 7. 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/EC (SEVESO II). Tato směrnice bude zrušena ode dne 1. 6. 2015. Členské státy musí v oblasti prevence závažných havárií do 31. 5. 2015 uvést do souladu s novou směrnicí své právní předpisy [1].

1.1 Evropská legislativa

V roce 1976 v italském chemickém závodě ICMESA v Sevesu uniklo do ovzduší přibližně 20 kilogramů silně toxických dioxinů. Následkem havárie státy tehdejšího Evropského společenství (ES) přijaly jednotnou filozofii pro prosazování aktivní prevence průmyslových havárií, jež vyústily v přijetí směrnice, která je označována jako směrnice SEVESO [2]. Dalšími nařízeními zabývajícími se chemickými látkami v rámci Evropského společenství je nařízení REACH a nařízení CLP.

1.1.1 Směrnice SEVESO

Směrnice SEVESO I věnovala zvýšenou pozornost ochraně veřejnosti a její informovanosti. Stanovovala povinnost činit opatření k předcházení nehod ve všech fázích výrobního procesu. V neposlední řadě udávala povinnost předávat informace o nehodách vzniklých na území daného státu. Směrnice SEVESO II vycházela ze zkušeností po přijetí směrnice SEVESO I s tím rozdílem, že ve směrnici SEVESO I byl kladen důraz především na ochranu člověka, směrnice SEVESO II se zaměřuje i na ochranu flóry a fauny. Zvýšený důraz byl kladen také na havarijní a územní plánování, identifikaci možných domino efektů a informování veřejnosti a sousedních států [3], [4]. Od 1. 6. 2015 vstupuje v platnost směrnice 2012/18/EU (SEVESO III). Mezi hlavní cíle směrnice patří mimo jiné posílení ustanovení týkajících se přístupu veřejnosti k informacím o bezpečnosti, účast na rozhodování a přístup k právní ochraně, zlepšení způsobu shromažďování, nakládání, zpřístupňování a sdílení informací. Dále zavedení přísnějších standardů pro kontroly zařízení k zajištění účinného provádění a prosazování bezpečnostních pravidel [1].

1.1.2 Nařízení REACH

Hlavním cílem REACH je zvýšení ochrany veřejného zdraví za současného zachování konkurenceschopnosti evropského chemického průmyslu a zvyšování jeho inovační kapacity. Nařízení stanovuje požadavky pro výrobu, uvádění na trh a používání látek samotných, v přípravcích nebo předmětech. Nařízení REACH je závazné v celém svém rozsahu a přímo aplikovatelné ve všech členských státech Evropské unie [5].

1.1.3 Nařízení CLP

Nařízení CLP zavádí nový systém klasifikace a označování chemických látek v rámci Evropského společenství. Účelem nařízení je zajistit vysokou úroveň ochrany lidského zdraví a životního prostředí a volný pohyb chemických látek, směsí a některých specifických předmětů [6].

1.2 Právní úprava v České republice

Před vstupem České republiky do EU u nás existoval v podstatě jediný předpis a to instrukce ministerstva obrany CO-51-5 z roku 1981 [7], která jako jediná stanovovala povinnosti na úseku havarijní připravenosti. Ačkoli se jednalo o instrukci určenou pro složky civilní ochrany, aplikovala se i na průmyslové podniky. Obsahovala celkem dvanáct hlavních průmyslových toxických látek. Pomůcka obsahovala mimo jiné požadavky na havarijní plán objektu, kde byla specifikována obecná a grafická část plánu, poplachové směrnice, plán vyrozumění a spojení a plán havarijních prací. V současné době je základním právním předpisem, upravujícím oblast prevence závažných havárií v České republice zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií.

1.2.1 Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií

Vydání zákona o prevenci závažných havárií souvisí s výskytem velkých průmyslových havárií, které měly za následek vydání směrnice SEVESO I a následně její aktualizaci směrnici SEVESO II. Právě jako implementace evropské direktivy SEVESO II byl na konci roku 1999 přijat zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky. Následkem aktualizace bylo upřesněno několik zásadních oblastí a 1. června 2006 vstoupil v platnost nový zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, který platí dodnes. Zákon upravuje širokou oblast závažných havárií způsobených vybranými chemickými látkami a přípravky. Kodifikuje hodnocení rizik, scénáře havárií, bezpečnostní program prevence závažných havárií, havarijní plány, účast veřejnosti a výkon státní správy. Konkrétně stanoví systém prevence, jakož i povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob, které vlastní, užívají nebo budou uvádět na trh nebezpečné chemické látky a přípravky.

Zákon č. 59/2006 Sb. určuje limity pro zařazení objektů do skupin A nebo B. Tento zákon zahrnuje 158 průmyslových podniků v ČR – skupina A – 45 objektů, skupina B – 113 objektů [8], [15].

Prováděcími předpisy k zákonu o prevenci závažných havárií jsou:

- nařízení vlády č. 254/2006 Sb., o kontrole nebezpečných látek,
- vyhláška č. 256/2006 Sb., o podrobnostech systému prevence závažné havárie,

- vyhláška č. 255/2006 Sb., o rozsahu a způsobu zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie,
- vyhláška č. 250/2006 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu nebo zařízení zařazených do skupiny A nebo do skupiny B,
- vyhláška č. 103/2006 Sb., o stanovení zásad pro stanovení zóny havarijního plánování a rozsahu a způsobu vypracování vnějšího havarijního plánu.

Hlavní legislativní rámec, který řeší v souladu s předpisy Evropského společenství práva a povinnosti právnických a fyzických osob v oblasti chemických látek a chemických směsí je zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích.

1.2.2 Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích

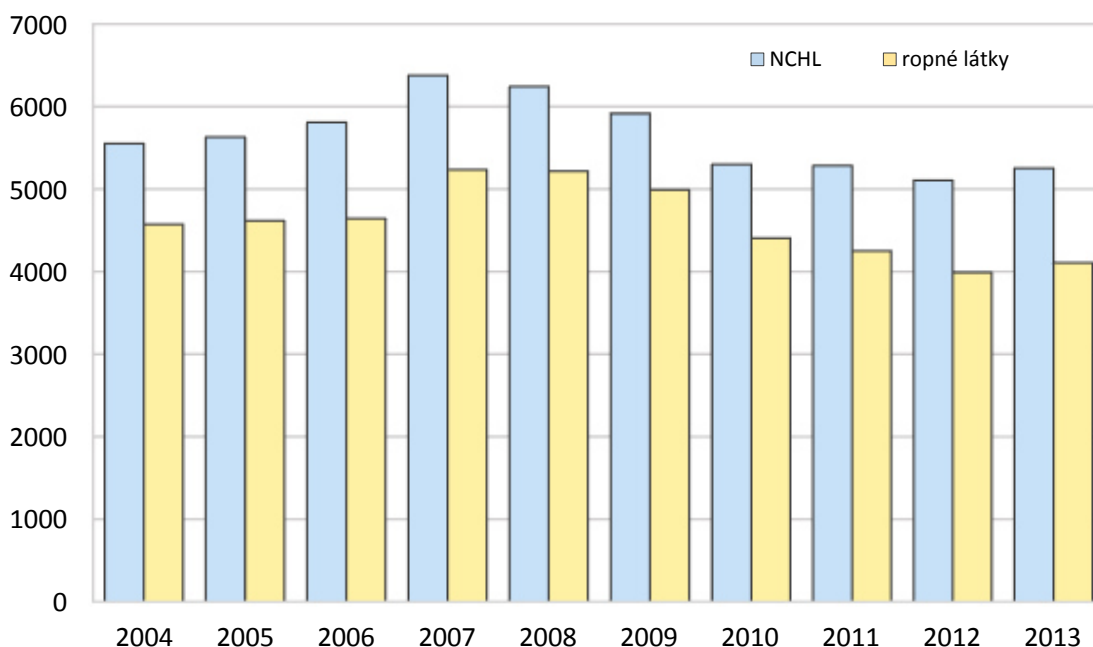
Tento zákon upravuje práva a povinnosti právnických a fyzických osob při klasifikaci, balení a označování nebezpečných látek. Řeší také problematiku uvádění látek na trh či do oběhu, dovoz a vývoz chemických látek a chemických směsí a vymezuje působnost správních orgánů při oznamování, registraci a zkoušení nebezpečných vlastností těchto látek s cílem zajistit co nejvyšší úroveň ochrany zdraví a životního prostředí před jejich škodlivými účinky. Tento zákon se nevztahuje na humánní a veterinární léčivé prostředky, kosmetické prostředky, krmiva, odpady a další produkty definované tímto zákonem [9].

K upřesnění obsahu zákona slouží následující prováděcí předpisy:

- vyhláška č. 402/2011 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí,
- vyhláška č. 162/2012 Sb., o tvorbě názvu nebezpečné látky v označení nebezpečné směsi,
- vyhláška č. 163/2012 Sb., o zásadách správné laboratorní praxe,
- vyhláška č. 61/2013 Sb., o rozsahu informací poskytovaných o chemických směsích, které mají některé nebezpečné vlastnosti, a o detergentech.

1.3 Zhodnocení nehodových událostí za období 10 let

Statistický přehled o haváriích a nehodách s výronem nebezpečných látek, udávají Statistické ročenky GŘ HZS ČR každoročně od roku 1998 s údaji za rok 1997 a jsou občanům ČR a jiným uživatelům volně přístupné. Tento přehled udává počty havárií, u kterých zasahovaly nejen jednotky HZS ČR, ale i HZS podniků. Protože mezi úkoly hasičských záchranných sborů a jejich odborníků patří právě i zásahy u chemických havárií a jiných havárií s výronem nebezpečných látek, můžeme tyto statistiky vybrat jako hlavní přehled o haváriích z minulých let v ČR. V každé vydané ročence jsou uvedeny pro přehled i počty havárií a nehod za posledních 5 let [10].



Graf 1 – Porovnání četností úniků NCHL a ropných produktů (2004 – 2013)

Podle údajů, které jsou zobrazeny v grafu výše lze vyčíst, že počet úniků NCHL se během let 2004 – 2007 zvyšoval. V roce 2007 dochází k největšímu nárůstu úniků NCHL. Po roce 2007 dochází ke každoročnímu mírnému poklesu. Tendence poklesu a růstu úniků ropných produktů má stejný charakter jako únik NCHL. V grafu je tak zobrazena poměrná část úniků těchto ropných produktů z úniků NCHL. Lze tedy vyvodit, že nejčetnější skupinu při haváriích s únikem NCHL tvoří právě úniky ropných produktů.

1.3.1 Havárie v chemickém průmyslu

Pod pojmem havárie je třeba rozumět mimořádnou, částečně nebo zcela neovladatelnou, časově a prostorově ohraničenou událost. Například závažný únik, požár nebo výbuch, který vznikl nebo jehož 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 [8]. Jedná se tedy o událost vyplývající z nekontrolovaného vývoje v průběhu provozu jakéhokoli zdroje, v němž se vyskytují tyto nebezpečné látky a jenž vede k vážnému ohrožení uvnitř anebo vně tohoto objektu nebo zařízení resp. zdroje.

Havárie a nehody, ke kterým docházelo v posledních letech, mají nejčastěji tyto hlavní příčiny [11]:

- Technické a provozní příčiny (**54 %**)
 - mechanické poruchy zařízení (koroze),
 - nestandardní situace ve výrobě (odstávky, najíždění),
 - nedostačující materiální a technické vybavení,
 - nesystémová inovace technologie či procesu,
 - špatný systém údržby a oprav zařízení,
 - nepořádek,
 - selhání v automaticce.
- Selhání lidského činitele (**46 %**)
 - při projektování zařízení procesu,
 - při konstrukci a instalaci zařízení a procesu,
 - ve fázi provozu,
 - při provádění údržby,
 - řízení lidských zdrojů a procesů.

Existují místa, kde dochází nejčastěji ke vzniku chemických havárií, proto bývají tyto lokality nejvíce zabezpečeny a střeženy [12]:

- podniky chemického průmyslu,
- sklady nebezpečných látek a směsí,
- úložiště chemických látek, která jsou určena k likvidaci nebo trvalému uskladnění,
- dopravní úseky, kde dochází ke zvýšenému počtu dopravních nehod.

Celkové rozdělení chemických havárií má mnoho podob a v literatuře tak můžeme nalézt odlišné rozdělení. Podle množství uniklé NCHL nebo směsi, přímo podle druhu uniklé NCHL apod. Podle literatury Chemické havárie, vydané GŘ HZS ČR v roce 2009, rozděluje chemické havárie z metodických důvodů následovně [12]:

- chemické havárie (havárie s únikem NCHL),
- havárie s únikem ropných látek,
- havárie s únikem radioaktivních látek.

Všeobecně jakákoliv havarijní událost může bez ohledu na původ, typ zařízení či vykonávanou činnost, směřovat k jednomu z pěti hlavních následků podle prostředí, do kterého látka uniká a jakých procesů se zde účastní [13].

Jedná se o:

- toxický rozptyl (21 % případů),
- požár (21 % případů),
- výbuch (12 % případů),
- znečištění vody (45 % případů).

V případě, že jde o podrobný pohled na havárie s následkem úniku látky do atmosféry, pak zhruba v 97 % případů vzniká oblak těžkého plynu, ve 2 % případů oblak lehkého plynu a v 1 % případů vzniká oblak plynu rovnající se molekulové hmotnosti vzduchu [13].

2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZPTYL LÁTEK V ATMOSFÉŘE

Únik nebezpečných chemických látek je ovlivněn celou řadou faktorů. Kromě fyzikálních a chemických vlastností samotné chemické látky je to především celkové množství uniklé látky, způsob úniku či použití noxy a vnější příčiny, které limitují stálost chemických látek a opatření nutná k ochraně osob a majetku. Na účinnost chemických látek, uniklých například při průmyslových chemických haváriích, mají z hlavních prvků vliv zejména teplota vzduchu, vertikální stálost atmosféry, směr a rychlost proudění větru, množství srážek, vliv nerovností, pokrytosti terénu, difúze, hustota chemických látek [14], [15].

2.1 Teplota vzduchu a povrchu půdy

Teplota vzduchu má vliv na skupenství chemických látek, zejména bod varu a tuhnutí. Teplota zároveň ovlivňuje vstřebatelnost látek na aktivním uhlí a propustnost látek izolačními ochrannými fóliemi oděvů. S teplotou vzduchu dále souvisí těkavost chemických látek, protože teplota vzduchu ovlivňuje jejich výpar, který ovlivňuje dobu účinku chemických látek a stálost v terénu. Teplota vzduchu ovlivňuje viskozitu látek, schopnost jejího vsakování do půdy, tím i přirozenou dekontaminaci. Teplota vzduchu a půdy ovlivňuje účinnost chemických látek. Z teploty vzduchu se rovněž odvozuje agregátní stav či skupenství chemických látek. Na základě takovýchto znalostí lze i určit pravděpodobnost jejich reálného účinku a chování.

Teplota povrchu půdy ovlivňuje intenzitu odpařování kapalných chemických látek a v podstatě určuje jejich stálost v terénu. Při hodnocení stálosti chemických látek je rovněž nutné brát v úvahu průběh teploty vzduchu a půdy během 24 hodin [14].

2.2 Vertikální stálost atmosféry v její přízemní vrstvě

Vertikální stálost atmosféry předurčuje stupeň promíchání uvolněné chemické látky se vzduchem ve spodních vrstvách atmosféry. Nejjednodušší klasifikace atmosféry je [16]:

- stálá, stabilní (**inverze**)
 - atmosféra je velmi stabilní a k promíchávání jednotlivých vrstev atmosféry v podstatě nedochází. Proto bude koncentrace látky vyšší a dosah ohrožujícího oblaku největší.

- neutrální (**izotermie**)
 - dosah ohrožujícího oblaku uniklé látky i stupeň promíchávání jednotlivých vrstev atmosféry je ve většině případů střední.
- nestálá, nestabilní (**konvekce**)
 - atmosféra je velmi nestabilní, čímž dochází k silnému promíchávání vrstev atmosféry a dosah ohrožujícího oblaku bude nejmenší.

K největší disperzi dochází za nestálých podmínek, k nejmenší potom za podmínek stálých. Klasifikace tříd stability, navržená F. Pasquillem a F. A. Giffordem [17] vychází z parametrů jako je rychlost větru, intenzita slunečního záření a denní a noční oblačnost. Členění sestává ze šesti tříd v rozsahu od A (extrémně nestabilní) až po F (extrémně stabilní). Obecně platí, že když je počasí stabilní (třídy F, E) nebo neutrální (třída D), pak je očekáváno, že uniklé látky budou putovat na delší vzdálenosti, než u tříd zbývajících (nestabilní A, B, C).

2.3 Směr a rychlost proudění a větru

Směr a rychlost přízemního proudění je nezbytnou meteorologickou charakteristikou pro hodnocení vlivu počasí pro efektivnost šíření chemických látek. V důsledku vzestupných nebo sestupných pohybů vzduchu mění oblak kontaminantu svou polohu ve vertikálním směru. U předpovědi chemické kontaminace je nutné takovéto skutečnosti zvažovat. Směr větru je nazýván dle světové strany, odkud vane. Popis větru je udáván v úhlových stupních. Úhel je orientován ve směru pohybových hodinových ručiček (např. severní vítr se udává v 0 nebo 360 stupních).

Rychlost pohybu oblaku chemické látky lze rozdělit na složku horizontální a vertikální (výstupný nebo sestupný pohyb). Trajektorie přemístování oblaku je dána směrem větru a rychlostí jeho pohybu. Na rychlosti větru závisí doba, za kterou oblak dosáhne určitého místa, ale rovněž i doba, po kterou oblak bude přes určité místo přecházet (tzv. zdánlivé setrvávání oblaku na místě). Pohyb oblaku tedy ovlivňuje účinek chemických látek a opatření, která je potřeba učinit k ochraně osob. Rychlost větru má dvojí protichůdný vliv na intenzitu změn koncentrace chemických látek v oblaku kontaminovaného vzduchu. Větší rychlost způsobuje zpomalení vnosu škodliviny nad zdroj úniku a zároveň urychluje zředění a rychlost šíření chemické látky v horizontálním směru [14].

2.4 Množství atmosférických srážek

Atmosférické srážky zvyšují v ovzduší mechanické promíchávání, což vede ke snižování koncentrace chemických látek v oblaku zamořeného vzduchu. Kromě toho dochází k vymývání par chemických látek z atmosféry deštivými kapkami a následnému zmenšování hloubky šíření oblaku. U průmyslových chemických látek mohou srážky způsobovat rozpouštění látky v atmosférické vlhkosti a může dojít k intenzivnímu snižování koncentrace těchto látek v ovzduší a do jisté míry k dekontaminaci přirozenou cestou. Silné dlouhotrvající deště a lijáky snižují stálost kapalných chemických látek v terénu. Částečně u nich probíhá hydrolyza a částečně jsou smývány deštěm z povrchů a terénu.

Vysoká relativní vlhkost může mít velký vliv na chování průmyslových chemických látek v ovzduší. Vznikají kapičky, které obsahují část vázané škodliviny. Tyto kapičky pak dále podléhají seskupení, zvětšuje se jejich velikost a dochází k sedimentaci vytvořeného aerosolu. Tím dochází ke snižování koncentrace chemické látky [14].

2.5 Vliv nerovností a pokrytosti terénu

Při hodnocení charakteru terénu z meteorologických hledisek musí být zvažován vliv terénních tvarů (vyvýšeniny, doliny, údolí a rokliny), vodních ploch a toků, rostlinné pokrývky (lesní masivy, plochy porostlé křovím, obilí) a terénních předmětů (sídlíště, jednotlivé stavby apod.). Šíření vzdušného oblaku látky je výrazně ovlivněno charakterem terénu ve směru větru. Oblak může zatékat do údolí a snížených prostor a zůstat v děrách, prohlubních nebo sklepích. Toxický oblak má tendenci přecházet nebo obtékat překážky, ale současně může být nerovnostmi terénu zpomalován naopak od rovinnatého terénu, který umožňuje stejnoměrný pohyb oblaku. Vliv terénu na vítr nelze popisovat komplexně. Je-li vertikální překážka pro vzduch nepropustná, vzduch se před ní nashromáždí, stlačuje a jeho rychlost klesá až k nulovým hodnotám. Vytváří se jakýsi polštář, po kterém se další vzduchová hmota přelévá. Nad překážkou se proudnice zhušťují, takže svisle nad ní a v nejbližším okolí se budou vyskytovat vyšší rychlosti proudění. Parametry vzdušného proudění se mění již ve značné vzdálenosti před překážkou. Je-li překážka značně širší než její výška, začíná zrychlování a vyzvedávání proudnic ve vzdálenosti, která odpovídá desetinásobku její relativní výšky. Za překážkou vzniká tzv. aerodynamický stín. Délka aerodynamického stínu je 15 až 20krát delší, než je výška vertikální překážky [14].

2.6 Difúze

Hlavním mechanismem rozptylu chemické látky v ovzduší je difúze. Působení turbulentních pohybů v ovzduší dochází k promíchávání vzduchu s chemickou látkou, k rozšiřování oblaku a zákonitě ke snižování objemové koncentrace látky v ovzduší. Intenzita turbulentní difúze je proměnlivá a bude záviset na vzniku a vývoji turbulentních pohybů. Ty jsou podmínovány mechanickými nebo teplotními příčinami [14].

2.7 Hustota toxických látek

Na usazování či chování chemických látek ve vzduchu má vedle meteorologických a dalších podmínek vliv především relativní hustota chemických látek. Hustotu lze odvodit z relativní molekulové hmotnosti. Nízké hustoty způsobují rychlý rozptyl látek a nízkou kontaminaci povrchu terénu. Naopak se vzrůstající hustotou roste pravděpodobnost kontaminace terénu a dalších povrchů. Hustota plynů roste obecně se snížením teploty a naopak. Proto je při nižších teplotách stabilita oblaků chemických látek vyšší než při teplotách vyšších. Při nižších teplotách dochází ke kontaminaci rozsáhlé plochy terénu, objektů, ale i k zatékání těchto látek do sklepních prostor [14].

3 FYZIKÁLNÍ MODELY ÚNIKU A ROZPTYLU NEBEZPEČNÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK

Charakter úniku látek ze zařízení je podmíněn celou řadou faktorů, které zohledňují různé fyzikální modely. Výběr vhodného modelu pro daný typ uvažovaného úniku závisí na fázi látky (kapalná, plynná nebo dvoufázová) a podmínkách úniku [18].

3.1 Fyzikální modely pro únik plynu ze zařízení

Modely úniku obvykle berou jako vstupy podmínky vně a uvnitř zařízení s látkou (tlak, teplota) společně s charakteristikami látky. Požadovány jsou také velikost, tvar a umístění unikového otvoru. Tato data se odvozují přímo z provozních podmínek zařízení a z úvah spojených se scénářem dané nehody. Výstupem výtokových modelů jsou charakteristiky, které zahrnují:

- vyteklé množství nebo hmotnostní rychlost úniku,
- dobu trvání úniku,
- formu unikající látky - kapalná, plynná nebo, mžikově se odpařující látka (dvoufázový výtok).

Nejčastěji se setkáváme s níže uvedenými druhy modelu, které popisují únik plynu ze zařízení, anebo jeho přestup z kapalné fáze do plynné.

Jedná se o [18]:

- laminární únik plynu,
- turbulentní únik plynu,
- jednorázový únik plynu,
- únik kapaliny (zkapalněného plynu) následovaný okamžitým varem,
- dvoufázový výtok,
- odpařování kaluže.

3.1.1 Laminární únik plynu

Laminární únik plynu ze zařízení je určen hodnotou Reynoldsova kritéria. Pro laminární únik platí podmínka $Re < 2320$. Uskutečnění této podmínky je charakterizováno velikostí přetlaku plynu v zařízení, který může být maximálně 100 kPa.

3.1.2 Turbulentní únik plynu

Turbulentní únik plynu ze zařízení je určen hodnotou Reynoldsova kritéria. Pro turbulentní únik platí podmínka, že $Re > 10000$. Tato podmínka je charakterizována velikostí přetlaku v zařízení, který musí být minimálně 100 kPa.

3.1.3 Jednorázový únik plynu

Jednorázový únik plynu je přesně určen hodnotou „rychle“ uniklého plynu ze zařízení nebo unikajícího množství v čase do 1 minuty. Do následujícího vyhodnocení je použita přímo hodnota množství uniklého plynu. Ve vyhodnocení jednorázového úniku není rozlišováno, zda došlo k úniku plynu laminárním nebo turbulentním tokem.

3.1.4 Únik kapaliny následovaný mžikovým oparem

Mnoho látek, které se za standardního tlaku a teploty nacházejí v plynném skupenství, jsou mnohdy z různých důvodů skladovány pod vysokým tlakem v kapalném stavu. V takovém případě protržení pláště zásobníku nebo poškození ventilu vyvolá náhlý pokles tlaku uvnitř zásobníku, přičemž kapalina začne okamžitě vřít, pěnit a stoupat směrem vzhůru. Únik látky nastává bezprostředně po vzniku trhliny. V jeho průběhu dochází k úniku kapalně fáze pod tlakem a vznikající louže podléhá mžikovému odparu. Během tohoto procesu se ustavuje rychlost vzniku plynné fáze až do konstantní hodnoty. Určení hmotnosti látky odpařené mžikovým odparem vychází ze zákona zachování energie při výměně tepla mezi částí látky podléhající odparu a částí vytvářející kapalnou fázi.

3.1.5 Dvofázový výtok

Dvofázový výtok znamená, že současně uniká z poškozeného zásobníku kapalina a plyn. Dvofázová směs, která uniká do atmosféry, se často chová jako těžký plyn. Oblak plynů a par je těžší než vzduch, protože zpočátku je teplota oblaku velmi nízká a proto i hustota je

vyšší než hustota okolního vzduchu. Malé kapičky aerosolu, které kromě par tvoří tento oblak, se postupně odpařují, což vede k dalšímu ochlazení oblaku.

3.2 Fyzikální modely vypařování kapalin

Fyzikálních modelů vypařování kapalin byla vyprojektována celá řada. Podstatným hlediskem je mechanismus přenosu tepla do kaluže, a to zda je dominantní přenos z půdy nebo ze vzduchu, z vanoucího větru nebo zda se uplatní latentní teplo fázové přeměny v případě úniku přehřáté kapaliny (tzv. mžikový odpar). Všechny modely vypařování jsou postaveny na základních principech termodynamiky. Pokud je určujícím mechanismem přenos tepla z půdy nebo vzduchu, je hmotnostní rychlost vypařování dána energetickou rovnováhou, tj. reflexí, kdy je celkový tepelný tok ze vzduchu a podkladu využit pro zahřívání a vypařování uniklé látky. Jestliže se poloměr kaluže zvětšuje (tj. tehdy, když neexistuje např. záchytná jámka) berou se v úvahu pokročilejší modely. Modely vypařování zpravidla vyžadují proměnné počítané výtokovými modely a proměnné meteorologických podmínek.

3.3 Fyzikální modely pro rozptýl plynu v atmosféře

V momentu, kdy plyn unikne ze zařízení do ovzduší, vznikne oblak, na který začnou působit síly snažící se mrak rozptýlit do okolního prostředí. Tuto etapu nazýváme rozptylem látky v atmosféře.

V principu rozeznáváme tyto mechanismy rozptylu [18]:

- *vznášivý rozptýl* – plyny, které jsou lehčí než vzduch (molární hmotnost nižší než 28,96 g/mol), tyto oblaka jsou pasivně transportovány větrem,
- *pasivní rozptýl plynu* – plyny s podobnými vlastnostmi jako vzduch nebo velmi zředěné látky ve vzduchu,
- *rozptýl plynu (směsi) těžších než vzduch* – v tomto případě existuje nejdřív klesavá fáze, během níž je převládající silou gravitace. Během této fáze proniká do mraku vzduch, který ho zahřívá a zředuje a tím ho dělá lehčím. Po té nastává přechodná fáze následovaná pasivní rozptylovou fází, kdy je již hustota mraku významně nižší a mrak se stává lehčím než vzduch.

Pro fyzikální popis průběhu rozptylu plynu v atmosféře existují modely, které můžeme dělit podle:

- složitosti modelování:
 - jednoduché „box modely,“
 - složité 3D modely (CFD).
- trvání úniku:
 - modely pro okamžitý únik plynu (PUFF),
 - modely pro kontinuální únik plynu (PLUME).
- chování vytvořeného mraku:
 - modely pro vznášivý rozptyl (Gaussův rozptyl),
 - modely pro rozptyl těžkého plynu,
 - modely turbulentního rozptylu.

3.3.1 Gaussův model rozptylu

Používán pro modelování šíření plynu, který se ve vzduchu dobře rozptyluje. Na pohyb molekul uvolněného plynu mají podle tohoto modelu vliv, rychlost větru a turbulence, takže plyn se šíří ve směru větru a postupně se promíchává se vzduchem, anebo za bezvětří stoupá vzhůru. Podle Gaussova modelu, koncentrační profil každé látky má podobu zvonu, který se časem mění. V momentě úniku je koncentrace látky ve vzduchu velmi vysoká a pík je úzký, ale jak se uplatňuje rozptyl, postupně se rozšiřuje a zplošťuje. Plocha pod píkem je úměrná množství uniklé látky. V případě, že by se neuplatňovala depozice, vymývání, chemické reakce látky v atmosféře, byla by tato plocha konstantní [18].

3.3.2 Model rozptylu těžkého plynu

Plyny s molekulovou hmotností větší než vzduch, vytvoří po úniku ze zdroje plynný oblak, který má podle Archimédova zákona tendenci usazovat se k zemi. Stejně se chovají plyny, které jsou lehčí než vzduch (při teplotě okolního vzduchu) a jsou uskladněny v podchlazeném stavu. Po úniku ze zařízení tento stav u nich přetrvává jen do chvíle, kdy

jejich teplota natolik stoupne, že se hustota sníží pod $1,1 \text{ kg/m}^3$ (hustota vzduchu za standardních fyzikálních podmínek).

Během krátké doby od uvolnění do atmosféry mrak „těžkého plynu“ poklesne k zemskému povrchu a začne se pohybovat a rozptylovat podle působení proudění vzduchu (rychlost a směr větru jsou určujícími prvky). Oblak se postupně zředí a hustota plynu klesá. To má pozitivní vliv na rychlost rozptylu. V momentě, kdy hustota oblaku dosáhne hustoty vzduchu, začne se plyn rozptylovat podle Gaussova modelu. Při malých únicích dochází k vyrovnání hustot ve vzdálenosti pár metrů od zdroje, u velkých úniků to však může být až ve vzdálenostech několika stovek metrů od zdroje úniku ve směru větru. V těchto případech se již výrazně uplatňuje charakter okolního terénu, který by měl být proto v modelu také zohledněn. Údolí, uliční zástavba měst a jiné uzavřené lokality zředění a rozptyl oblaku značně zpomalují [18].

3.3.3 Lagrangeovské a Eulerovské modely rozptylu

Lagrangeovské modely simulují rozptyl plynu lehčího než vzduch. Model předpokládá únik řady částic a zkoumá jejich vzdušný přenos v předem stanoveném větrném poli. Často využívanou praktickou aplikací lagrangeovských modelů jsou konstrukce tzv. zpětných trajektorií v poli fiktivního proudění, jehož rychlost má stejnou velikost jako rychlost skutečného proudění, ale opačný směr. Takovým postupem lze při rozboru přenosu znečištění na velké vzdálenosti provádět přibližnou identifikaci oblastí zdrojů znečištění ovzduší. Lagrangeovské modely nedisponují numerickými rozptyly hodnot. Jsou více konzervativní. Eulerovské modely mají základ na tzv. rovnicích konečného rozdílu hmotností látek. Tato metoda je reprezentována velkými číselnými rozptyly hodnot, které často bývají větší než odpovídající reálné koncentrace. Rozptyl hodnot je úměrný vzdálenosti jednotlivých bodů sítě, pro které jsou koncentrace látek počítány. Často se používá síť s body vzájemně vzdálenými 1 až 10 km. Taková síť je pro výpočet koncentrací z bodového zdroje nevyhovující, protože je velmi řídká, což má negativní vliv na výpočty.

Lagrangeovské i eulerovské modely se využívají pro modelování přenášení znečišťujících příměsí na velké vzdálenosti (řádově stovek až tisíců kilometrů). To bohužel neodpovídá potřebám modelování havarijních dosahů látek uniklých při průmyslových haváriích. V případě emisí z bodových zdrojů poskytují lagrangeovské modely věrohodnější výsledky než modely eulerovské [18].

3.3.4 Model pro turbulentní rozptyl

Model je postaven na skutečnosti, že látka dotující vznik oblaku vnáší do tvorby oblaku kinetickou energii a tato energie způsobuje intenzivní promíchávání unikající plynné látky s okolním vzduchem. V důsledku je zředování unikajícího plynu výrazně rychlejší, což se projevuje zkrácením dosahu oblaku, oproti difuznímu modelu rozptylu [18].

3.3.5 Difúzní model pro rozptyl při kontinuální dotaci látky (PLUME)

Model popisující tvorbu oblaku, který vzniká nepřetržitým dodáváním látky do oblaku, za vytvoření rovnováhy mezi látkou dotující tvorbu oblaku a látkou unikající ze vzniklého oblaku (ředění látky nad danou hodnotu koncentrace). Model je řešen jako časově stálý. Vychází z předpokladu, že látka dotující vznik oblaku nevnáší do tvorby oblaku žádnou kinetickou energii. Tvorba oblaku a jeho časová stálost je funkcí difúze, množství látky dotující tvorbu oblaku, terénních a atmosférických podmínek [18].

3.3.6 Difúzní model pro rozptyl při jednorázové dotaci látky (PUFF)

Model popisující tvorbu oblaku, který je vytvářen časově omezeným dodáváním látky do oblaku. Model je založen na skutečnosti, že látka dotující vznik oblaku nevnáší do tvorby oblaku žádnou kinetickou energii. Tvorba oblaku a jeho časová stálost je funkcí difúze, množství látky dotující tvorbu oblaku, terénních a atmosférických podmínek [18].

3.3.7 Box model pro rozptyl těžkého plynu

Nejjednodušší model aplikovaný pro úniky těžkého plynu. Uvolněný oblak je modelován jako válec se stejným počátečním poloměrem a výškou, který je složen ze směsi látky v plynné a kapalně fázi (kapičky) a vzduchu. Rychlost unášení oblaku je podmíněna uplatněním turbulence, rozdílem hustoty oblaku a hustoty vzduchu a rychlosti větru. Protože je válec přemísťován ve směru větru, dominantní silou je gravitace, a tudíž se výška válce snižuje a jeho poloměr zvětšuje. Jelikož vzduch vniká do oblaku z okrajů a shora, celá směs se ohřívá a zředuje. Existuje určitý bod během této etapy, ve kterém je oblak natolik zředěn, že se stává lehčí než vzduch a je neutrálně rozptylován vzduchem. Od této chvíle může být pro popis rozptylu uplatněn Gaussovský model [18].

3.3.8 Modely „Computational Fluid Dynamics“

Modely CFD v dnešní době představují nejpropracovanější, nejvýkonnější, ale také nejsložitější skupinu rozptylových modelů. CFD se používá pro simulaci proudění kapalin a plynů, přenosu teploty či hmoty, interakci mezi plynnou a atmosférickou částí, dále pak pro simulaci příkladů pomocí strukturální analýzy a mechanického vlnění.

Jedná se o modely postavené na studiu dynamiky proudění tekutin pomocí numerického řešení bilančních rovnic zaměřených na velké detaily při současném zachování komplexní geometrie a časové kontinuity. Algoritmus CFD modelů obsahuje mimo jiné rovnice popisující látkovou bilanci, rovnice popisující bilanci hybnosti, rovnice popisující energetickou bilanci, a také rovnice popisující Reynoldsova napětí. Smyslem těchto výpočtů je umožnit modelovat šíření/rozptyl látek nad složitým terénem zahrnující překážky různého tvaru a ohraničení při současném vzniku turbulence v proudění. Pro havarijní plánování je možné využití CFD modelů, ale pro jednoduché geometrie bez překážek je efektivnější používat klasické modely [18].

Softwarovým představitelem dynamických modelů je skupina programů Fluidyn-PANACHE, jejímž kladem je možnost numerického modelování v trojrozměrné oblasti se zahrnutím vlivu terénu, zástavby a meteorologických podmínek [19].

4 SOFTWAREVÉ NÁSTROJE URČENÉ PRO MODELOVÁNÍ ROZPTYLU NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

V době rozvoje informačních technologií je k dispozici řada softwarových programů, jejichž výsledkem je sestavení scénáře pohromy a hodnocení rizik. Všechny softwarové programy jsou postaveny na základních typech modelů úniků a rozptylových modelů, respektive jejich fyzikálních rovnicích. Použití výpočetní techniky může uplatnění daného modelu v praxi významně rozšířit a to na základě zkušeností přenesených do příslušných algoritmů. Přesto nemusí být způsob zpracování algoritmů a jejich provázanost správná nebo uživatelské rozhraní přehledné. V takových případech může dojít k rozporu, kdy jednotlivé softwarové programy za stejných vstupních podmínek generují rozdílné výstupy [20].

Podle zkušeností s využíváním jednotlivých modelů, lze modely rozdělit na preferované a doporučené. Preferované modely jsou snadno dostupné a v praxi často využívané. Mají však mnohá omezení či nepřesnosti, o kterých uživatel mnohdy ani neví. Oproti tomu vylepšené modely, které umožňují do výpočtu zahrnout řadu dalších vlivů a jejichž výstupy jsou přesnější, představují skupiny programů doporučených. Jejich nevýhodou je, že jsou uživatelsky složitější a vyžadují zakoupení uživatelské licence [13].

4.1 Požadavky na softwarové nástroje

Při výběru vhodného modelu je třeba přihlížet k několika požadavkům. Vybraný model musí být postaven na základních fyzikálních vztazích platných pro rozptyl disperze a poskytovat validní odhady koncentrací sledované látky ve směru větru, které musejí být reprodukovatelné. Softwarový nástroj má být prostředkem pro rychlou prognózu dopadů a následků působení nebezpečných látek. Musí mít návaznost na GIS pro přímé zobrazení výsledků v mapách. Předpověď dopadů a následků musí být postavena na konzervativní prognóze (výsledky korespondují takovým podmínkám, při kterých dojde k maximálním možným dopadům a následkům na okolí zdrojů rizika). Softwarový nástroj musí poskytovat spolehlivé výsledky i při nedostatku exaktních vstupních informací. Výsledky softwarového nástroje by měly být přehledné, srozumitelné a jednoznačné. Dále databáze nebezpečných látek by měla být dostatečně obsáhlá, jak z hlediska počtu nebezpečných látek, tak i z hlediska kvality informace o nich.

Všeobecně je žádané, aby rozsah vstupů byl minimální a model byl co možná nejjednodušší. Všechny modely by měly mít zdokumentovanou charakteristiku výpočetních algoritmů, v případě softwarových aplikací pak podrobnou uživatelskou příručku a vhodné uživatelské rozhraní. Testování každého modelu v reálných podmínkách by mělo být samozřejmostí nebo alespoň srovnání výstupů s jiným již ověřeným modelovacím softwarovým programem [13].

4.2 Validita softwarových nástrojů

Při používání softwarových nástrojů se setkáváme s rozdílnými výsledky. Tyto výsledné rozdíly nesou veliké, často přesahují mez přijatelné statistické odchylky. Zpravidla je to dáno tím, že jednotlivé modely jsou postaveny na odlišných algoritmech. Stává se, že i když dva modely jsou postavené na stejném matematickém algoritmu, jejich výsledky jsou přesto různé. V takovém případě můžeme hledat příčinu v odlišné kalibraci použitého nástroje. Softwarové nástroje jsou nejčastěji založeny na dvou matematických formulacích, a to jsou:

- gaussovský rozptylový model,
- model rozptylu těžkého plynu.

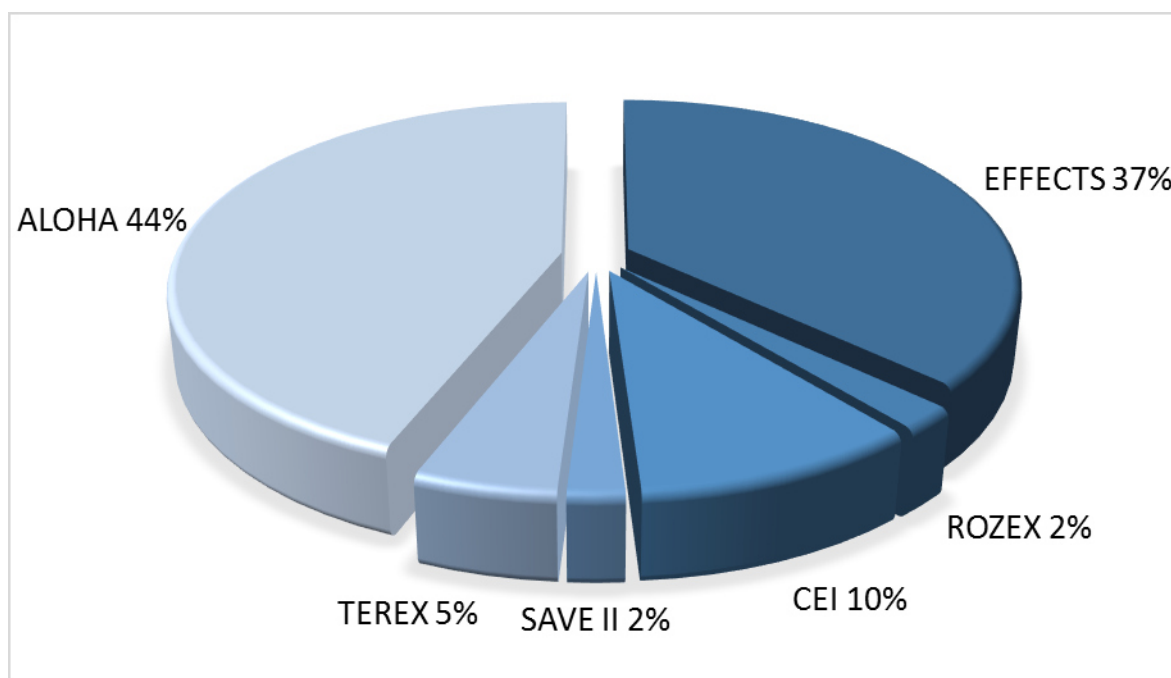
Přestože kvalita a rozsah vstupních údajů zvyšují spolehlivost a přesnost výstupů, tak platí, že komplikované modely jsou citlivější na chybu, která může lehce vzniknout zadáním nepřesné hodnoty některé z požadovaných veličin. Požadavky na znalosti uživatele jsou u komplikovanějších modelů také vyšší a může se stát, že nezkušený uživatel udělá chybu již při zadávání vstupních dat anebo výpočtu samotném.

Problémem je i skutečnost, že je zcela nemožné provádět experimenty se všemi kombinacemi různých chemikálií, s jejich různými poměry, při různých rychlostech větru, při různé drsnosti povrchu, při různých atmosférických stabilitách a při různé integrační době. Proto je snaha vyvinout takové algoritmy, které budou schopny poskytovat maximálně pravdivé výsledky i pro situace, při kterých model nebyl dosud reálně testován [13].

4.3 Výběr softwarových nástrojů

Ministerstvo životního prostředí vydalo metodický pokyn, kterým doporučuje způsob zpracování dokumentu Analýza a hodnocení rizik závažné havárie, vyplývající z ustanovení zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií [21], [28].

V pokynu je uvedeno devět softwarových nástrojů (ALOHA, WHAZAN, PHAST, SAFETI, RISKAT, EFFECTS, DAMAGE, ROZEX, TEREEX), jejichž výstupy jsou dostatečně validní pro účely zpracování analýzy a hodnocení rizik závažné havárie. Všechny uvedené softwarové aplikace jsou licencované, kromě programu ALOHA, který je volně stažitelný z webových stránek U. S. EPA. Jejich používání pro analýzu a hodnocení rizik není však legislativně podloženo [13].



Graf 2 – Softwarové nástroje používané při řešení analýzy rizik v ČR [22]

Kromě výše uvedených existují další softwarové programy určené pro modelování úniků a rozptylů látek do ovzduší.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem bakalářské práce je na základě zvoleného modelového případu vyhodnotit pomocí prováděcího předpisu CO-51-5 a dostupných softwarových programů ALOHA a TerEx, negativní dopady amoniaku na obyvatelstvo, majetek, životní prostředí a navrhnout opatření k zvýšení účinnosti ochrany obyvatelstva.

6 METODIKA ZPRACOVÁNÍ

S ohledem na existenci většího počtu programů zabývajících se modelováním dosahů ohrožujících účinků nebezpečných chemických látek v ovzduší, byly pro zhodnocení rizika plynoucího z havárie chladicího zařízení zimního stadionu HC SLAVIA Praha zvoleny pro tuto práci programy TerEx ve verzi 3.1.0, ALOHA ve verzi 5.4.4 a prováděcí předpis CO-51-5. Jako látka určená k modelování byl zvolen amoniak (NH_3). Modelování programem TerEx bude prováděno v prostorách počítačové učebny Fakulty logistiky a krizového řízení, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Výsledky modelování budou následně vyhodnoceny, zpracovány do grafů a mapových podkladů.

6.1 Předpis CO-51-5

Předpis CO-51-5 – Provozní havárie s výronem nebezpečných škodlivin je efektivní pomůcka pro havarijní plánování, sloužící k určení hloubky zamořených oblastí v případě úniku nebezpečných látek. Využívá se k tomu výpočet hloubky smrtelného a zraňujícího zamoření, přičemž zohledňuje řadu faktorů jako vertikální stálost atmosféry, rychlost přízemního větru či hmotnost uvolněné škodliviny výronem. Hloubka zamořené oblasti se udává v kilometrech a pro účely předběžného vyhodnocování nebezpečné škodliviny platí vztah [7]:

$$H = 5,4 \times \sqrt[3]{\left(\frac{M}{D \times v \times K}\right)^2}$$

kde: H – hloubka oblasti smrtelného (zraňujícího) zamoření v kilometrech (km),

M – hmotnost uvolněné škodliviny výronem v tunách (t),

D – smrtelný (zraňující) expoziční součin ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{min}$),

v – rychlost přízemního větru ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

K – koeficient vertikální stálosti atmosféry: Inverze = 2,

Izotermie = 3,

Konvekce = 4.

6.2 Program TerEx

Licencovaný program TerEx je softwarový nástroj určený pro odhad následků havárií s únikem nebezpečných chemických látek, teroristických útoků za použití nástražného výbušného systému popř. vojenských útoků za využití chemických zbraní. Má rozsáhlé využití pro operativní jednotky IZS. Je vhodný rovněž pro analýzy rizik při územním plánování, navrhování zástavby v okolí komunikací a výrobních závodů, pojišťovnictví atd. Program poskytuje výsledky i při nedostatku přesných vstupních informací.

Předpověď následků je založena na konzervativní prognóze – výsledky odpovídají takovým podmínkám, při kterých dojde k maximálním možným následkům. Základem nástroje TerEx je osm základních modelů mimořádných událostí, které pokrývají různé typy havárií a teroristických útoků, a dále komplexní databáze nebezpečných látek, ze kterých lze při modelování událostí vybírat.

Výsledky výpočtu programu TerEx jsou uspořádány velmi jednoduše, srozumitelně a především jednoznačně, takže umožňují rychlé rozhodování. Návaznost programu na GIS (geografický informační systém) zajišťuje přehlednost a srozumitelnost výsledků promítnutím do mapy. Výsledný havarijní model je možno uložit do databáze.

TerEx splňuje normy NATO pro systém předávání zpráv ve formátu ADatP-3. Dále generuje výstupní zprávy ve formátu CAP založeném na XML [23].

6.3 ALOHA

ALOHA je volně dostupný nástroj pro zjišťování následků úniku nebezpečné látky. Uživatelské prostředí je v jazyce anglickém. Obsahuje databázi nejčastěji používaných chemických látek a jejich fyzikálně chemických vlastností. Výsledkem modelování je jednoduchý průmět předpokládané hranice zraňující či smrtelné koncentrace v terénu. Umožňuje modelovat rozptyl látek v ovzduší po jejich úniku, a to jak plynů, tak kapalin. Program pracuje se dvěma matematickými modely rozptylu látek v atmosféře (Gaussův model rozptylu látek a model rozptylu těžkého plynu) [24].

Stejně jako ostatní programy má i ALOHA určitá omezení, při níž může poskytnout uživateli nepřesné údaje. Nezahrnuje totiž do svých výpočtů chemické reakce, topografii či rozptýlené částice. Použití modelu rozptylu je určeno pro odhad velikosti a tvaru oblasti o příslušné koncentraci uniklé chemické látky v okruhu do 10 km od zdroje úniku [25].

6.4 Amoniak (NH₃)

Amoniak je bezbarvá, hořlavá, toxická látka zásadité povahy, která při dýchání poškozuje sliznici. Plynná fáze je lehčí než vzduch, v místě odpařování z kapalně fáze se vytváří mlha, která se chová jako plyn, který je těžší než vzduch, takže může pronikat do sklepů, prohlubních terénu a níže položených prostor, z tohoto důvodu je lepší se ukrývat ve vyšších patrech budovy. Za normálních podmínek se může z jednoho litru zkapalněného amoniaku vytvořit cca 1320 litrů plynného amoniaku. Je výbušný, snadná iniciace směsi. Pro amoniak je charakteristický štiplavý zápach, který varuje před potenciálním ohrožením. Průměrný práh vnímání je dostatečně nižší, než jsou nebezpečné koncentrace. Pokud je lidský organismus vystaven vysokým koncentracím, může to vést od reflexní zástavy dechu až k smrti. Amoniak je rozpustný ve vodě. Se vzrůstající teplotou rozpustnost amoniaku klesá. Používá se například k výrobě hnojiv, jako chladicí medium na zimních stadionech, v pivovarech, masokombinátech a chladárnách [26].

Další informace viz příloha P I: bezpečnostní list - Amoniak, bezvodý.

6.5 Charakteristika zimního stadionu HC SLAVIA Praha

Zimní stadion byl vybudován v roce 1975 s kapacitou 5138 míst (1116 k sezení). Je umístěn v středovýchodní části města, městská část Praha 10 - Vršovice, mezi stanicí metra Strašnická a fotbalovým stadionem Eden. Naproti zimnímu stadionu v ulici Na Hroudě se nachází řadová výstavba bytových domů. Dále se v blízkém okolí zimního stadionu nachází mateřská škola a ZŠ Vladivostocká, atletický stadion SLAVIA s přilehlým hotelem SLAVIA a plavecký stadion.



Obrázek 1 – Pohled na čelní stranu zimního stadionu (foto autor)

6.5.1 Strojovna chlazení

Strojovna chlazení je situována v jednopodlažním objektu s jedním únikovým východem na severní straně objektu (ocelová vrata) směrem do volného prostoru mezi strojovnou a halou zimního stadionu. Strojovna má rozměry 1500 x 900 cm, je spojena s velínem strojovny o rozměrech 425 x 270 cm. Strojní zařízení včetně rozvodného potrubí pracuje pod rosným bodem chladicího média a je tepelně izolováno pěněným kaučukem a pěněným polystyrénem. Chladicí zařízení pracuje na principu přímého vypařování chladiva R 717 v trubkovém systému ledové plochy. Dva instalované kompresory, jeden dvoj kompresor typu LD-5B GEA Grasso nasává čpavkové páry o přetlaku 202 kPa a teplotě -15 °C z nízkotlaké ocelově ležaté nádrže o objemu 10 m³ (sběrač čpavku), druhý kompresor GEA 610 je záložní.



Obrázek 2 – Dvojkompresor typu LD-5B GEA Grasso

Obsah nádrže dostačuje nejen k soustředění veškeré čpavkové náplně, ale i pro odloučené páry od kapalného čpavku. Čpavkové páry jsou vytlačovány do chlazeného odpařovacího kondenzátoru, kde při přetlaku 1200 kPa a teplotě +35 °C kondenzují. Zkapalněný čpavek je veden přes automatický redukční ventil zpět do zásobní nádrže válcovitého tvaru o objemu 10 m³ (rozměr d = 165 cm, v = 470 cm).

Kapalný čpavek je dále čerpán do trubkového systému ledové plochy, kde se vlivem rozdílu teplot ledu a čpavku částečně odpaří a směs kapalina – páry čpavku se vrací zpět do sběrné nádrže a cyklus se opakuje. Cyklus je kontinuální. Ve strojovně jsou instalovány ručně uzavíratelné ventily čpavkového potrubí [27].



Obrázek 3 – Zásobní nádrž NH_3 o objemu 10 m^3

6.5.2 Ledová plocha

Chlazená ledová plocha o rozměrech 28 x 58 m v kryté hale obsahuje rozvodný trubkový chladič systém z ocelových trubek, který je uložen v železobetonovém loži v mrazuvzdorném provedení chránící systém jak před možným mechanickým poškozením, tak i před případným únikem amoniaku [27].

6.5.3 Spojovací potrubní kanál

Spojovací potrubní kanál mezi strojovnou a ledovou plochou je situovaný vedle ledové plochy a je opatřen betonovým plynotěsným krytím. Délka kanálu je celkem 63 m, je průlezný s průleznou výškou 1,1 m a šířkou 1,0 m. V potrubním kanále jsou umístěny pouze potrubní rozvody čpavku do ledové plochy. Kanál je havarijně odvětrán s odvodem emisí nad střechu haly zimního stadionu. Vstup do potrubního kanálu je ze strojovny ocelovým poklopem. Kanál je opatřen dvěma vstupy (ocelové poklopy) a je zde umístěn ručně ovládaný ventil pro uzavírání čpavkového potrubí pod ledovou plochou (výparník) [27].

6.5.4 Druh a množství skladovaných látek

V prostorách zimního stadionu jsou skladovány tyto látky [27]:

- chladiivo R 717 – bezvodý čpavek o maximálním množství 4150 kg (kompresor, zásobní nádrž, ledová plocha – výparník),
- kompresorový olej o maximálním množství 160 kg (200 l barel).

6.5.5 Zabezpečení chladicího systému před únikem chladiva R 717

Celý chladicí systém (viz příloha P II: Schéma chladicího systému) je zabezpečen proti havarijnímu úniku chladicího média R 717 - amoniaku. Strojovna chlazení je vybavena detekcí úniku amoniaku do prostoru dvoustupňovou signalizací (optická a akustická) s automatickým odstavením chladicího zařízení z provozu odpojením silového elektrického obvodu a uzavřením kapalné části chladicího média automatickým uzávěrem v zásobníku chladiva.

Celý chladicí systém je rozdělen do čtyř samostatně uzavíratelných a v případě mimořádné provozní situace nebo havárie oddělitelných okruhů:

1. **vysokotlaký okruh** – kondenzátor, kompresory, spojovací potrubí. Maximální obsah NH_3 500 kg plyn,
2. **nízkotlaký okruh** – zásobník NH_3 o objemu 10 m^3 , 2 čerpadla na čpavek, spojovací potrubí, provozní náplň 2050 kg kapalina,
3. **ledová plocha** – trubkový chladicí systém o celkové provozní náplni max. 1400 kg kapalina,
4. **potrubní rozvody vč. spojovacího kanálu** – dva samostatně uzavíratelné okruhy chladicího média (přívodní a zpětné potrubí), provozní náplň 200 kg kapalina.

V případě nutnosti lze veškerý obsah čpavku chladicího okruhu soustředit do dvou okruhů a to č. 2 a 3 [27].

7 SIMULOVANÁ HAVÁRIE STACIONÁRNÍHO ZDROJE

Dne 8. března 2014 v 8:54 hod. dochází v městské části Vršovice, Praha 10 k havárii ve strojovně chlazení na zimním stadionu HC SLAVIA Praha. Při úmyslně vzniklé havárii byl poškozen plášť horizontálně položené zásobní nádrže válcovitého tvaru o objemu 10 m³ (průměr vzniklé díry 10 cm ve výšce 0 cm nade dnem nádrže) a následnému úniku amoniaku do okolní atmosféry. Zásobník v době havárie obsahoval veškeré množství amoniaku z důvodu výměny trubkového chladicího systému ledové plochy. Celkové uniklé množství amoniaku do ovzduší je 4150 kg. Vítr v okamžiku havárie dosahuje rychlosti 1,2 m.s⁻¹ v západojihozápadním směru¹. Místo mimořádné události a kontaminované prostředí se nachází v obytné krajině. Hlavní parametry jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 1 – *Shrnutí důležitých parametrů*

Místo havárie	Praha 10	Nebezpečná látka	Amoniak
Datum	8. březen 2014	Čas	8:54 hod.
Nadmořská výška	216 m. n. m.	GPS	50° 06' N, 14° 48' E
Denní období	ráno	Třída atmosférické stability	F (inverze)
Teplota prostředí	3,6 °C	Rychlost větru	1,2 m.s ⁻¹
Uniklé množství	4150 kg	Oblačnost - pokrytí	20%
Směr větru	ZJZ - 250 °	Vlhkost vzduchu	78%
Inverzní podmínky	ano/výška 250 m	Charakter zasaženého prostředí	obytná krajina
Zásobní nádrž			
Objem	10 m ³	Rozměr (průměr/délka)	1,65/4,7 m
Velikost vzniklé díry	10 cm	Vzdálenost díry ode dna nádrže	0 cm

Grafická lokace zimního stadionu a jeho blízkého okolí viz příloha P III: Letecká mapa okolí zimního stadionu.

¹ Meteorologické údaje ze dne 8. března 2014 pro Prahu 10. Data získána z ČHMÚ.

7.1 Odhad následků pomocí předpisu CO-51-5

Pomocí předpisu CO-51-5 určíme hloubku zamořené zóny, ve které dojde ve většině případů k vyléčitelným otravám nechráněných osob.

Pro vyhodnocování hloubky zamořené oblasti je potřeba znát a zadat vertikální stálost atmosféry – inverze ($K = 2$), množství uniklé látky ($M = 4,15$ t), expoziční součin zraňující ($D = 15$ mg.dm⁻³.min) a rychlost větru ($v = 1,2$ m.s⁻¹). Hodnoty vyčteny z příloh předpisu CO-51-5.

Po dosazení hodnot do vzorce získáme hloubku možného dosahu zraňujících účinků amoniaku u neukrytých a nechráněných osob.

Hloubka oblasti zraňujícího zamoření:

$$H = 5,4 \times \sqrt[3]{\left(\frac{4,15}{15 \times 1,2 \times 2}\right)^2} = 1,28 \text{ km}$$

Pro určení oblasti smrtelného zamoření, což je oblast, v níž dojde ve většině případů ke smrtelnému zasažení osob, vycházíme ze stejného vztahu, pouze využijeme hodnotu smrtelného expozičního součinu ($D = 120$ mg.dm⁻³.min).

Hloubka oblasti smrtelného zamoření:

$$H = 5,4 \times \sqrt[3]{\left(\frac{4,15}{120 \times 1,2 \times 2}\right)^2} = 0,319 \text{ km}$$

Z výše uvedených vztahů vyplývá, že hloubka oblasti smrtelného zamoření je 319 m a hloubka oblasti zraňujícího zamoření je 1280 m.

7.2 Odhad následků pomocí programu ALOHA

Modelování pomocí programu je složitější, neboť vyžaduje větší množství odborných vstupních údajů. Pro zjištění rozsahu havárie byly použity parametry modelového příkladu uvedené v tabulce č. 1.

7.2.1 Textový výstup

Po zadání nezbytných vstupních údajů se vytvoří výstupní textový protokol (viz obrázek 4).

Text Summary

ALOHA® 5.4.4



```
SITE DATA:
  Location: HC SLAVIA PRAHA, CESKA REPUBLIKA
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
  Time: March 8, 2014 0854 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA                      Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm  AEGL-2 (60 min): 160 ppm  AEGL-3 (60 min):
1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm      UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.9° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 1.2 meters/second from 250° true at 10 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 2 tenths
  Air Temperature: 3.6° C                Stability Class: F
  Inversion Height: 250 meters           Relative Humidity: 78%

SOURCE STRENGTH:
  Leak from hole in horizontal cylindrical tank
  Flammable chemical escaping from tank (not burning)
  Tank Diameter: 1.65 meters              Tank Length: 4.7 meters
  Tank Volume: 10.0 cubic meters
  Tank contains liquid                    Internal Temperature: -15° C
  Chemical Mass in Tank: 4.15 tons        Tank is 57% full
  Circular Opening Diameter: 10 centimeters
  Opening is 0 centimeters from tank bottom
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 62.7 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 3,765 kilograms
  Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase
flow).
```

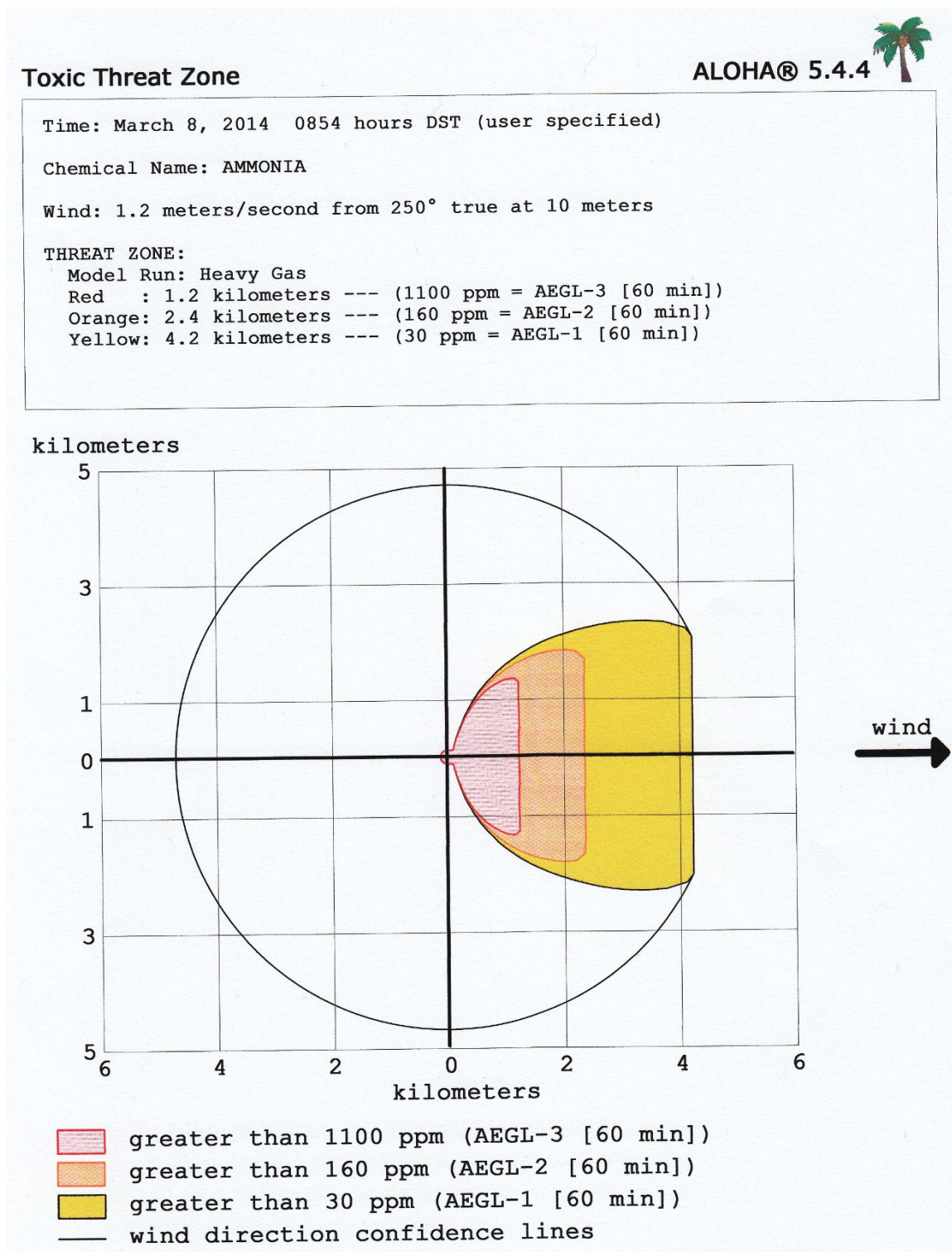
THREAT ZONE:

```
Model Run: Heavy Gas
Red   : 1.2 kilometers --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 2.4 kilometers --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 4.2 kilometers --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 4 – Textový výstup programu ALOHA

7.2.2 Grafický výstup

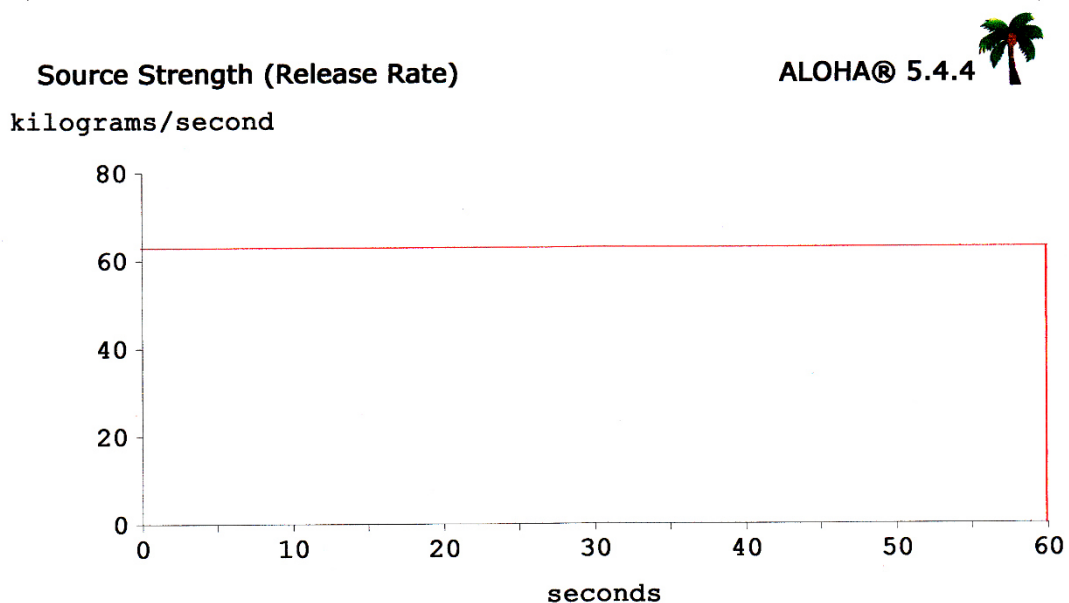
Výsledkem grafického výstupu modelování je odhad koncentrace uniklé nebezpečné chemické látky šířící se ve směru větru v závislosti na fyzikálních vlastnostech chemické látky.



Obrázek 5 – Závislost ohrožení danou koncentrací na čase

Výsledkem je model stopy mraku „footprint“, který znázorňuje plochu, ve které očekáváme koncentrace plynu nebezpečné úrovně. Nebezpečí ohrožení amoniakem v této koncentraci se uvádí s přesností na hodinu. Jak z grafu vyplývá, rozsah červené zóny značí nejsilnější koncentraci 1100 ppm. Do této zóny mohou vstoupit jednotky HZS s dýchacími přístroji a v protichemickém obleku a je potřeba v dosahu 1,2 km provést evakuaci osob. Oranžová zóna je v dosahu 2,4 km při koncentraci 160 ppm. V této oblasti se mohou pohybovat jednotky HZS v dýchacích přístrojích a běžných zásahových oblecích. Žlutá zóna v dosahu 4,2 km neskrývá nebezpečí, objeví se pouze malé koncentrace 30 ppm, které již nejsou životu nebezpečné.

Na grafu 3 je znázorněna průměrná rychlost úniku ze zásobníku amoniaku v závislosti na čase. Průměrná rychlost činí 62,7 kg/sek. Z grafu je zřejmé, že k vyprázdnění a rozptýlu do atmosféry celého množství amoniaku dojde za přibližně jednu minutu. V tak rychlém časovém intervalu není možný ani rychlý zásah jednotek HZS.



Graf 3 – Rychlost úniku amoniaku v závislosti na čase

Jednotky používající program ALOHA:

AEGL 1 – koncentrace nebezpečné látky ve vzduchu, nad kterou se předpokládá, že běžná populace, včetně vnímavých jedinců, může podstoupit patrné nepohodlí, podráždění, nebo určité, smysly nepostřehnutelné, symptomatické příznaky. Účinky nejsou oslabující, jsou přechodné a vratné po přerušení expozice.

AEGL 2 - koncentrace nebezpečné látky ve vzduchu, nad kterou se předpokládá, že běžná populace, včetně vnímavých jedinců, může mít nevratné nebo jiné vážné, dlouhotrvající nepříznivé zdravotní účinky nebo může dojít k zhoršené schopnosti úniku.

AEGL 3 – koncentrace nebezpečné látky ve vzduchu, nad kterou se předpokládá, že běžná populace, včetně vnímavých jedinců, může mít zdravotní účinky ohrožující život nebo může dojít k smrti [25].

7.3 Odhad následků pomocí programu TerEx

Pro výpočet byl použit model PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku a model PLUME – déletrvajícím únikem vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku. Pro zjištění rozsahu havárie byly použity parametry modelového příkladu uvedené v tabulce č. 1.

7.3.1 Vyhodnocení jednorázového úniku amoniaku

Na obrázku 6 jsou základní výstupy s daty modelového případu havárie s kompletním souhrnem jak zadaných údajů, tak i vypočítaných výsledků havárie.

Model:
PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:
Amoniak

Teplota kapaliny v zařízení: -15 °C
Celkové uniklé množství kapaliny: 4150 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1,2 m/s
Pokrytí oblohy oblaky: 25 %
Doba vzniku a průběhu havárie: Noc, ráno nebo večer
Typ atmosférické stálosti: F - inverze
Typ povrchu ve směru šíření látky: Obytná krajina

Ohrožení osob toxickou látkou
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 1030 m (3370 ft.)
[Koncentrace: 633,5 mg/m³]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 1540 m (5040 ft.)
[Koncentrace IDLH: 210 mg/m³ (Aktuální: 209,9 mg/m³)]

Ohrožení osob přímým prolehnutím oblaku
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 156 m (512 ft.)

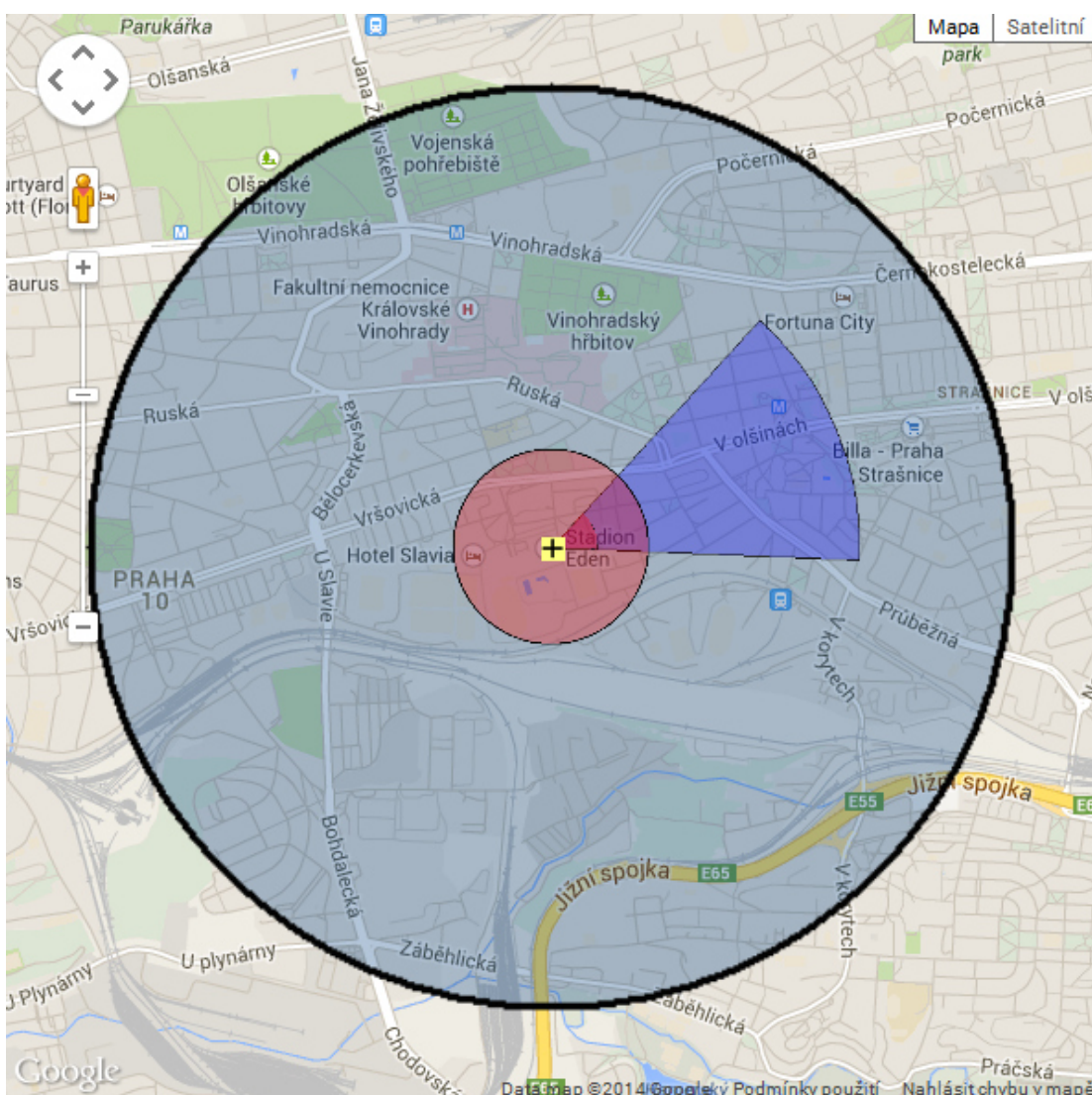
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním
NUTNÝ ODSUN OSOB 234 m (768 ft.)

Závažné poškození budov
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 199 m (653 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 326 m (1070 ft.)

Obrázek 6 – Textový výstup pro jednorázový únik amoniaku

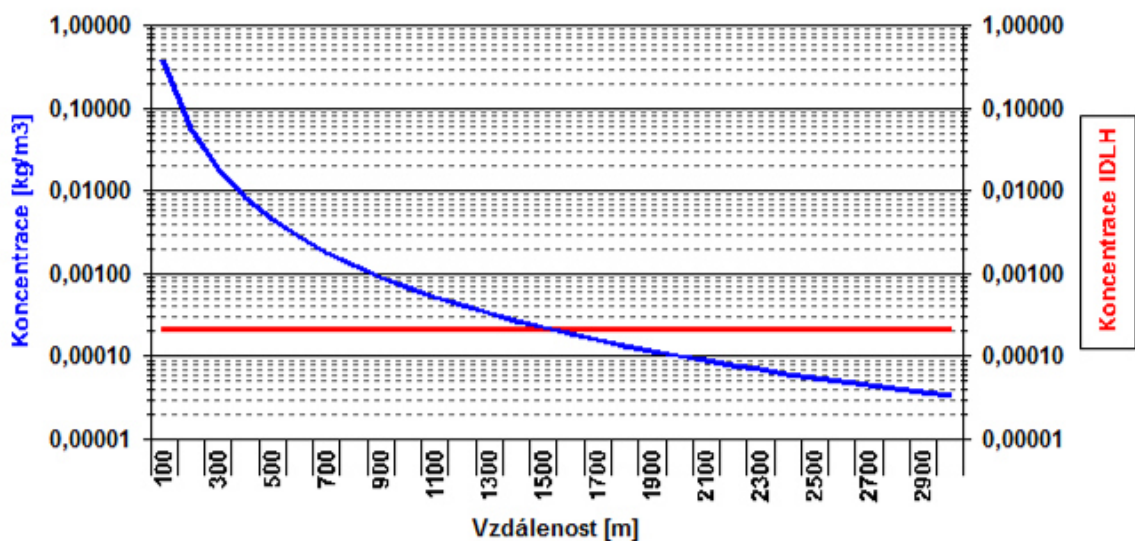
Velikost zasaženého území je vyjádřeno poloměrem kružnice na obrázku 7. Zóna ohrožení je rozdělena do několika oblastí. Červená kruhová výseč ohraničená vzdáleností 156 m, značí oblast, ve které jsou osoby ohroženy přímým prošlehnutím oblaku. Modrá kruhová výseč do vzdálenosti 1030 m ohraničuje oblast, ve které jsou osoby ohroženy působením toxické látky. Tato oblast se mění v závislosti na směru větru. Červená kružnice znázorňuje ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem. Tato kružnice značí vzdálenost 326 m od místa havárie. Modrá kružnice značí doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti 1540 m od místa úniku.



Obrázek 7 – Zóna ohrožení při jednorázovém úniku 4150 kg amoniaku

Doporučený průzkum toxické oblasti amoniaku od místa havárie (viz graf 4) se stanovuje na základě hodnoty IDLH, kterou je dána koncentrace amoniaku 210 mg/m^3 (300 ppm), což je hodnota, která nesmí být překročena, jinak dojde k nezvratným účinkům na zdraví osob, které budou vystaveny působení látky po dobu delší než 30 minut.

Modrá křivka znázorňuje závislost koncentrace látky na vzdálenosti od místa úniku. Červená přímka ukazuje hranici maximální koncentrace toxické látky, která bezprostředně ohrožuje život a zdraví osob (IDLH).

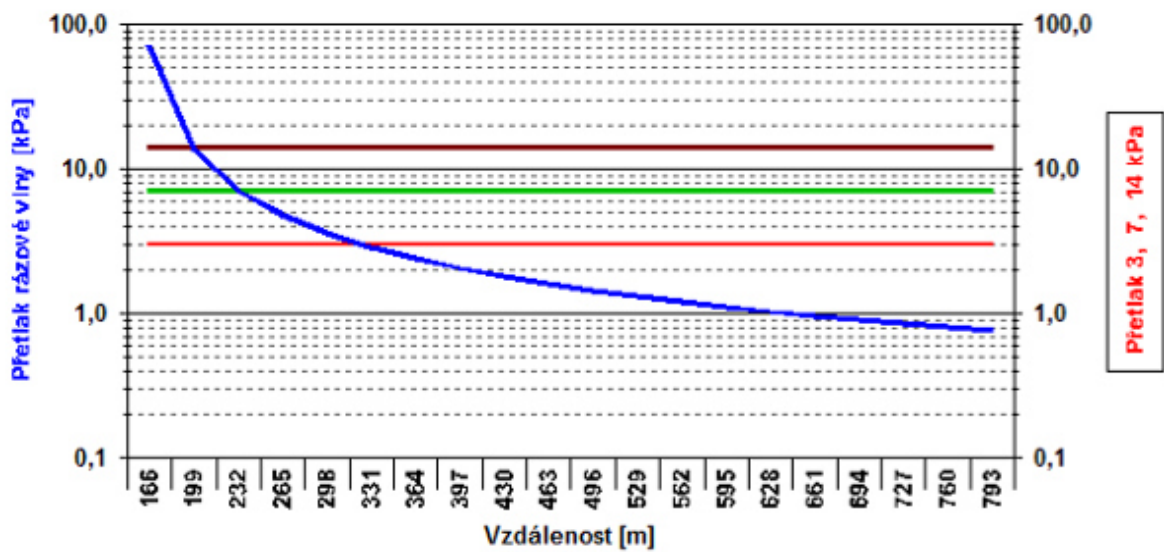


Graf 4 – Doporučený průzkum toxické oblasti amoniaku v závislosti na IDLH

Grafické znázornění vzdálenosti ohrožení obyvatel přetlakem rázové vlny od místa výbuchu, poškození budov, ohrožení osob a možné ohrožení střepy ze zimního stadionu HC SLAVIA Praha vmodelované programem TerEx můžeme vidět na grafu 5.

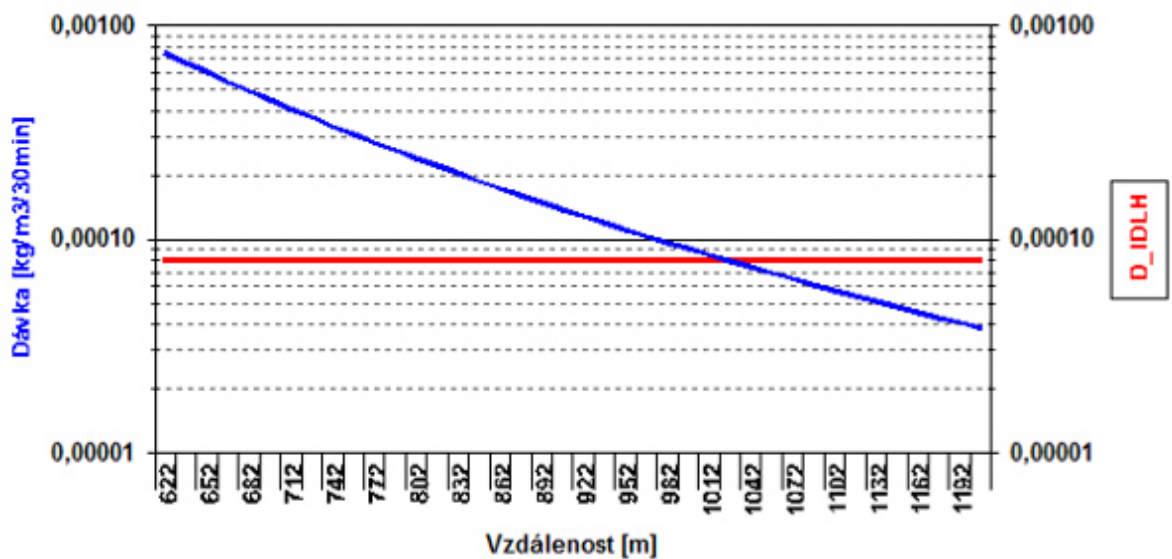
Modrá křivka znázorňuje přetlak rázové vlny. V různých bodech protíná jednotlivé barevně znázorněné přímky. Protnutí zelené přímky s modrou křivkou zobrazuje bod, do jaké vzdálenosti by byly ohroženy osoby mimo budovy. Protnutí červené přímky s modrou křivkou zobrazuje bod, do jaké vzdálenosti by vzniklo ohrožení střepy. Protnutí hnědé přímky a modré křivky charakterizuje bod, do jaké vzdálenosti by došlo k poškození budov.

Poškozené budovy by byly do vzdálenosti 199 metrů. Střepy z výbuchu znamenají ohrožení okolí do vzdálenosti 326 metrů. Bezprostřední ohrožení osob by bylo do vzdálenosti 234 metrů od místa výbuchu.



Graf 5 – Ohrožení výbuchem pro jednorázový únik 4150 kg amoniaku

Vzdálenost nezbytné evakuace osob v závislosti na dávce, která je znázorněna modrou křivkou a koncentraci bezprostředně ohrožující život a zdraví (D_IDLH), která je znázorněna červenou přímkou, lze vyčíst z grafu 6. Průsečík, kde se protne modrá křivka s červenou přímkou je zobrazení vzdálenosti od místa úniku nebezpečné látky, do které by měla být provedena nezbytná evakuace osob. Nezbytná evakuace osob je tedy do vzdálenosti 1030 metrů od místa havárie.



Graf 6 – Nezbytná evakuace osob v závislosti na dávce a D_IDLH

7.3.2 Vyhodnocení déletrvajícího úniku amoniaku

Na obrázku 8 jsou opět základní výstupy s daty modelového případu havárie s kompletním souhrnem jak zadaných údajů, tak i vypočítaných výsledků havárie.

Model: PLUME - Déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku
Látka: Amoniak

Teplota kapaliny v zařízení: -15 °C
Přetlak v havarovaném zařízení: 200 kPa
Průměr únikového otvoru: 0,1 m
Výška hladiny kapaliny v zařízení: 0,8 m
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1,2 m/s
Pokrytí oblohy oblaky: 25 %
Doba vzniku a průběhu havárie: Noc, ráno nebo večer
Typ atmosférické stálosti: F - inverze
Typ povrchu ve směru šíření látky: Obytná krajina

Ohrožení osob toxickou látkou
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 5050 m (16600 ft.)
[Koncentrace IDLH: 210 mg/m³ (Aktuální: 210 mg/m³)]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 7570 m (24800 ft.)
[Koncentrace: 102,8 mg/m³]

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 138 m (453 ft.)

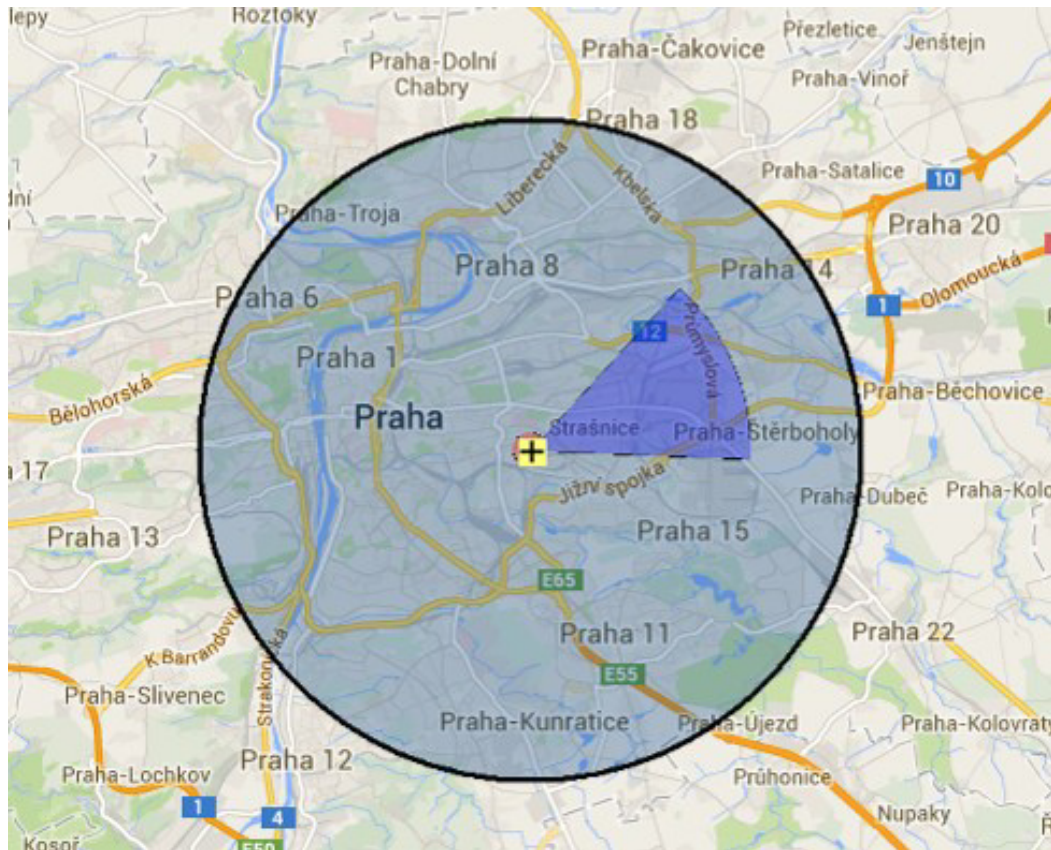
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním
NUTNÝ ODSUN OSOB 259 m (848 ft.)

Závažné poškození budov
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 205 m (671 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 400 m (1310 ft.)

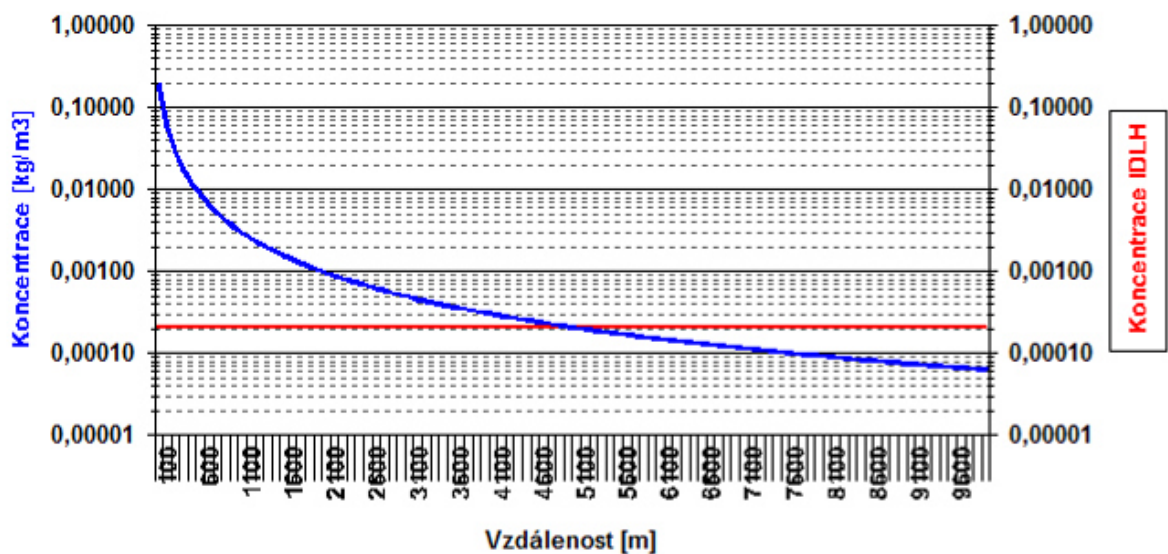
Obrázek 8 – Textový výstup pro déletrvající únik amoniaku

Velikost zasaženého území je vyjádřeno poloměrem kružnice na obrázku 9. Zóna ohrožení je rozdělena do několika oblastí. Červená kruhová výseč ohraničená vzdáleností 138 m, značí oblast, ve které jsou osoby ohroženy přímým prošlehnutím oblaku. Modrá kruhová výseč do vzdálenosti 5050 m ohraničuje oblast, ve které jsou osoby ohroženy působením toxické látky. Tato oblast se mění v závislosti na směru větru. Červená kružnice znázorňuje ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem. Tato kružnice značí vzdálenost 400 m od místa havárie. Modrá kružnice značí doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti 7570 m od místa úniku.



Obrázek 9 – Zóna ohrožení při deletrvajícím úniku 4150 kg amoniaku

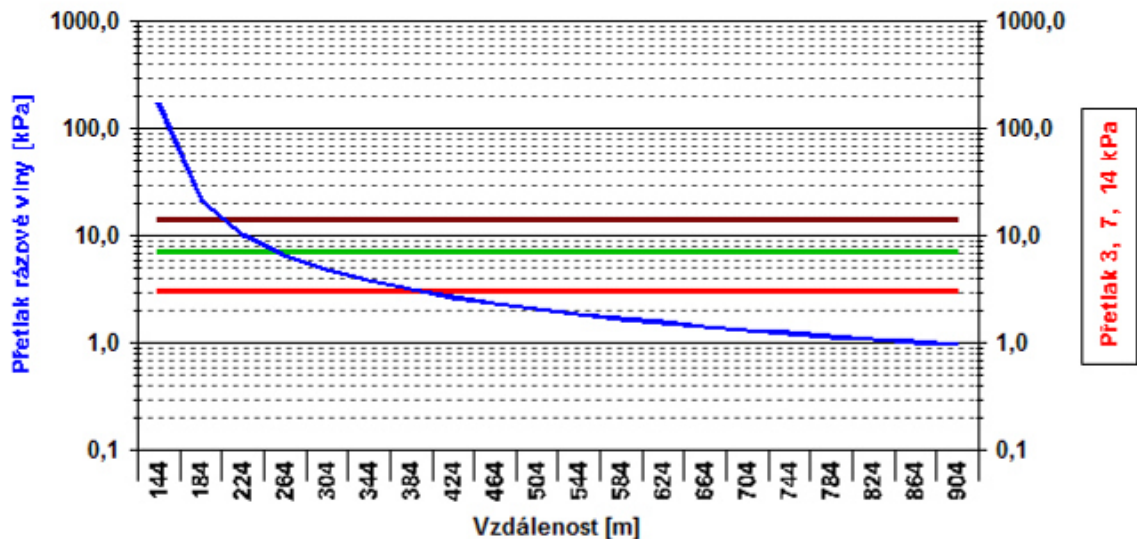
Doporučený průřez toxické oblasti amoniaku od místa havárie, jak lze vyčíst z grafu 7, provedeme do vzdálenosti 5050 metrů.



Graf 7 – Doporučený průřez toxické oblasti amoniaku v závislosti na IDLH

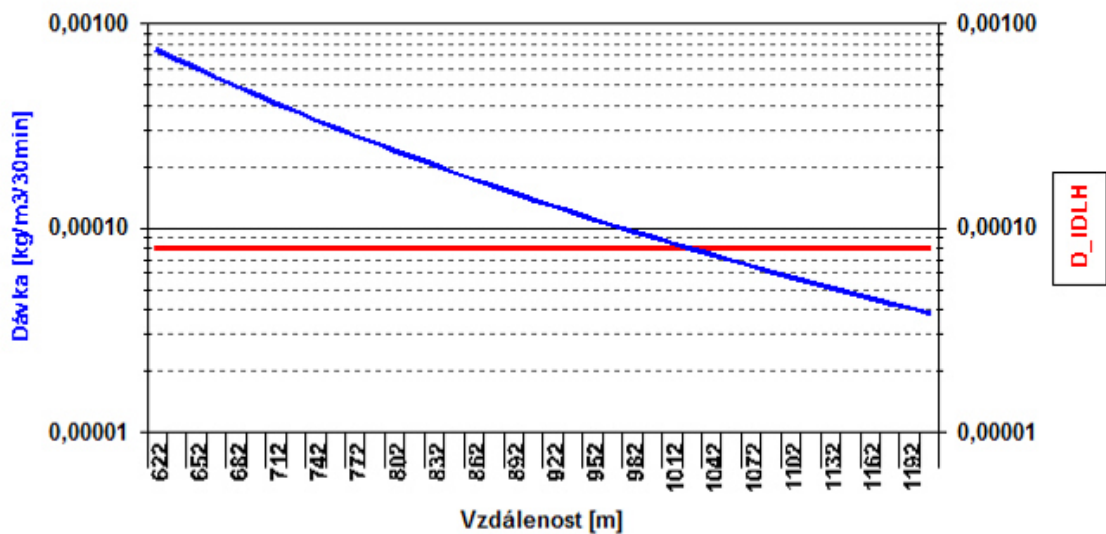
Grafické znázornění vzdálenosti ohrožení obyvatel přetlakem rázové vlny od místa výbuchu, poškození budov, ohrožení osob a možné ohrožení střepy lze vyčíst z grafu 8.

Poškození budov by bylo do vzdálenosti 205 m, střepy z výbuchu znamenají ohrožení okolí do vzdálenosti 399 m. Bezprostřední ohrožení osob by bylo do vzdálenosti 259 m od místa výbuchu.



Graf 8 – Ohrožení výbuchem pro děletrvajicí únik 4150 kg amoniaku

Vzdálenost nezbytné evakuace osob v závislosti na dávce, lze vyčíst z grafu 9. Nezbytná evakuace osob je tedy 1027 m od místa havárie.



Graf 9 – Nezbytná evakuace osob v závislosti na dávce a D_{IDLH}

7.4 Souhrn výsledků

Při hodnocení havárie chladicího zařízení zimního stadionu HC SLAVIA Praha, bylo vycházeno z maximálního možného množství úniku amoniaku ze zásobníku, tj. 4150 kg. K simulované havárii byly využity programy ALOHA, TerEx a předpis CO-51-5. Pro přehlednost jsou výstupní data havarijního modelování amoniaku uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 2 – Výstupní data havarijního modelování

AMONIAK							
	CO 51-5		ALOHA			TerEx	
celkové uniklé množství	smrtelné zamoření	zraňující zamoření	AEGL - 3 (1100 ppm)	AEGL - 2 (160 ppm)	AEGL - 1 (30 ppm)	Model PUFF	
						evakuace do vzdálenosti	doporučený průzkum toxické koncentrace
4150 kg	319 m	1280 m	1200 m	2400 m	4200 m	1030 m	1540 m
						Model PLUME	
						1027 m	5050 m

Prováděcí předpis CO-51-5 stanovil oblast zraňujícího zamoření do vzdálenosti 1280 m od místa vzniku havárie. Oblast smrtelného zamoření byla vypočítána do vzdálenosti 319 m od místa vzniku havárie.

Pomocí programu ALOHA byl vytvořen model ohraničující zónu zamoření sahající až do vzdálenosti 4200 m od místa vzniku havárie. Nejsilnější koncentrace amoniaku je do vzdálenosti 1200 m. Do této vzdálenosti je nutno provést evakuaci obyvatelstva. Tato získaná hodnota koresponduje s hodnotou zraňujícího zamoření prováděcího předpisu CO-51-5.

V programu TerEx byly použity dva modely úniku amoniaku. Prvním modelem byl model PUFF – Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku. Pomocí tohoto modelu byla stanovena zóna zamoření toxickou látkou do vzdálenosti 1540 m od místa havárie, přičemž koncentrace látky v této zóně dosahuje hodnoty 210 mg/m^3 . Ohrožení osob toxickou látkou bylo stanoveno do vzdálenosti 1030 m od místa havárie. Do této vzdálenosti je nezbytné provést evakuaci osob. Tato získaná hodnota koresponduje s hodnotami získanými programem ALOHA a prováděcím předpisem CO-51-5.

Druhým modelem použitým pro modelování úniku amoniaku byl model PLUME – Déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku. Pomocí tohoto modelu byla stanovena zóna zamoření toxickou látkou do vzdálenosti 5050 m od místa havárie, přičemž koncentrace látky v této nejvzdálenější zóně dosahuje hodnoty 210 mg/m^3 . Ohrožení osob toxickou látkou bylo stanoveno do vzdálenosti 1027 m od místa havárie. Do této vzdálenosti je nezbytné provést evakuaci osob. Tato získaná hodnota koresponduje s hodnotami získanými programem ALOHA a prováděcím předpisem CO-51-5.

Z výstupních dat lze vyčíst, že výsledné hodnoty jednotlivých softwarových programů a prováděcího předpisu jsou podobné.

Na základě provedených výpočtů lze konstatovat, že případná havárie s únikem amoniaku do ovzduší představuje pro obyvatele městské části Vršovice v Praze 10 přijatelné společenské riziko, alespoň za podmínek, jež byly modelovány v této bakalářské práci.

8 NÁVRH OPATŘENÍ K ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI OCHRANY OBYVATELSTVA

Cílem prevence závažných havárií je co nejvíce snížit závažnost a četnost průmyslových nehod a havárií a jejich dopadů na obyvatelstvo. V rámci této problematiky se stále objevují oblasti, ve kterých jsou možné určité změny, které mohou ke zlepšení současné situace výrazně přispět. Jedná se o činnosti a prevence, díky kterým by bylo dosaženo maximální možné bezpečnosti. V následující části bakalářské práce jsou navrženy opatření, díky nimž by mělo dojít k zvýšení účinnosti ochrany obyvatelstva.

- častější preventivní servis a údržba zásobníku, ventilů a kompresorů, z hlediska eliminace možného přetlaku v primárním okruhu chlazení s amoniakem,
- vyšší zabezpečení objektu strojovny (např. elektronický zabezpečovací systém) proti vandalismu případně násilnému vniknutí do strojovny,
- nevyužívat strojovnu chlazení jako skladiště,
- provádět pravidelná školení a pravidelná cvičení na vznik potencionální havárie,
- využívání dostupných informačních zdrojů, včetně informací od dodavatelů,
- prostřednictvím kabelové televize odvysílat minimálně jednou za půl roku natočenou případovou situaci, ze které bude zřejmé, jak reagovat, jak se chránit a jak postupovat v případě ohrožení,
- prostřednictvím útvaru prevence městské policie Praha zvýšit informovanost žáků mateřských škol a základních škol formou přednášek a praktických cvičení,
- prostřednictvím příloh novin vydávaných městskou částí Praha 10 informovat obyvatele, jak se mají chovat v případě vzniku mimořádné situace.

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byly postupně shromážděny dostupné podklady k předloženému tématu. Po jejich prostudování, zhodnocení a utřídění byly vybrány relevantní informace, které se použily při zpracování teoretické části bakalářské práce, ve které je popsán současný stav a základní platná legislativa v rámci Evropské unie a České republiky a její další prováděcí právní předpisy, které se této problematice týkají. Tím bylo dosaženo prvního stanoveného cíle, což tvořilo nezbytný základ pro naplnění cíle druhého a to zhodnotit nehodové události spojené s únikem nebezpečné chemické látky za období posledních 10 let.

Únik nebezpečných chemických látek je ovlivněn celou řadou faktorů. Kromě fyzikálních a chemických vlastností samotné chemické látky, mají na účinnost vliv i další faktory, které souvisejí s problematikou šíření plyných látek v přízemní vrstvě atmosféry. Tím byl splněn další cíl a to popsat faktory ovlivňující rozptyl látek v atmosféře.

Smyslem použití moderních softwarových nástrojů v analýze rizik a havarijním plánování je provedení celého spektra výpočtů potřebných pro stanovení dosahu zraňujících koncentrací nebezpečné látky, tedy koncentrací, které mohou při úniku poškodit zdraví člověka anebo přivodit smrt. Pro účely bakalářské práce byly vybrány softwarové programy ALOHA a TerEx. Ty byly spolu s prováděcím předpisem CO-51-5 následně použity pro modelování dosahu nebezpečné chemické látky do ovzduší při havárii technologického zařízení, čímž byl splněn další cíl.

Cílem prevence závažných havárií je co nejvíce snížit závažnost a četnost průmyslových nehod a havárií a jejich dopadů na obyvatelstvo. V rámci této problematiky se stále objevují oblasti, ve kterých jsou možné určité změny, které mohou ke zlepšení současné situace výrazně přispět, proto jsou na závěr bakalářské práce uvedeny návrhy opatření k zvýšení účinnosti ochrany obyvatelstva, čímž byl splněn poslední cíl.

Hlavním cílem bakalářské práce je zdůraznit riziko možného úniku amoniaku z technologického zařízení – chladicího zařízení a upozornit na rozsah jeho působení jak na území, tak na obyvatelstvo. Tento cíl byl dle mého názoru splněn.

V zájmu naší dobré vůle bychom měli dělat vše proto, aby nedocházelo k čtenějším vznikům mimořádných událostí. V případě vzniku mimořádné události se snažit, aby následné dopady byly co nejmenší, protože tyto události zanechávají následky nejenom na našem zdraví a životech, ale i na okolí, ve kterém žijeme.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SLUKA, Vilém. Implementace směrnice 2012/18/EU (Seveso III) a analýza a hodnocení rizik v České republice. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2013, roč. 6, č. 3-4. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-04-2013/implementace-sevesoIII-v-cr.html>>. ISSN 1803-3687.
- [2] *Směrnice Rady 82/501/EHS ze dne 24. června 1982 o nebezpečí závažných havárií při určitých průmyslových činnostech* [OJ L 230, 05. 08. 1982, p. 1]. 1982, 24 s. [cit. 24. 2. 2014]. 10. 10. 2006. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/FAC1A8367E9C3D5DC1256DDA003D8910/\\$file/31982L0501.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/FAC1A8367E9C3D5DC1256DDA003D8910/$file/31982L0501.pdf)
- [3] *Směrnice Rady 96/82/ES ze dne 9. prosince 1996 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek* [OJ L 10, 14. 01. 1997, p. 13]. 1996, 38 s., 17. 01. 2007 [cit. 12. 02. 2014]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/31FCA745129EFA6EC1256DDA003D8A16/\\$file/31996L0082fin.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/31FCA745129EFA6EC1256DDA003D8A16/$file/31996L0082fin.pdf)
- [4] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/105/ES ze dne 16. prosince 2003, kterou se mění směrnice Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek* [OJ L 345, 31. 12. 2003, p. 97]. 2003, 14 s., 20. 06. 2007 [cit. 14. 02. 2014]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/37F4B4100888FE1DC1256E4400439EC2/\\$file/32003L0105Fin.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/37F4B4100888FE1DC1256E4400439EC2/$file/32003L0105Fin.pdf)
- [5] *Improvement Innovation Ircon* [online]. [cit. 15. 02. 2014]. Dostupný z WWW: http://www.ircon.cz/manual-reach-abc/853455/REACH_ABC.pdf.
- [6] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 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. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2008. 1355 s.
- [7] *CO-51-5 Provozní havárie s výronem nebezpečných škodlivin: resortní předpis*. Praha: Ministerstvo národní obrany ČSSR, 1981, 51 s.
- [8] Česká republika. Zákon číslo 59/2006: o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky. In: *sbírka zákonů*. 2006, 25/2006.

- [9] Česká republika. Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: *sbírka zákonů*. 2011, 122/2011.
- [10] *Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR*. MV – generální ředitelství HZS ČR jako příloha časopisu 112, ročník 2003 - 2014.
- [11] *Lidský činitel a jeho význam v průběhu životního cyklu technologického zařízení* [online], 2010 [cit. 21. 03. 2014]. Dostupné z: http://www.omnimedia.cz/www.pri.vate/dokumenty/prezentace_petr%20skrehot.pdf.
- [12] ČAPOUN, Tomáš. *Chemické havárie*. Vyd. 1. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009, 149 s. ISBN 978-80-86640-648.
- [13] SKŘEHOT, Petr et al. *Prevence nehod a havárií: 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. 1. vydání. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009, 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.
- [14] FLORUS, S. *Toxikologické aspekty chemických havárií* [CD-ROM]. Vyd.1. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zdravotně sociální fakulta, 2008. 68 s. ISBN 978-80-7394-106-2.
- [15] MAŠEK, I., MIKA, O., ZEMAN, M. *Prevence závažných průmyslových Havárií*. Vyd.1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 98 s. ISBN 80-214-3336-1.
- [16] OTŘÍŠAL, Pavel a Daniel SAS. *Vyhodnocování radiační a chemické situace: (skriptum)*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2007, 232 s. ISBN 978-80-7231-225-2.
- [17] LEES, Frank P. *Lossprevention in the process industries: hazard identification, assessment, and control*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1996, 3 v. ISBN 07506154781.
- [18] SKŘEHOT, Petr a R ŘÍMAN. *Modelování úniku a rozptylu nebezpečných plynných látek v atmosféře* [online]. Úpice, 2007 [cit. 02-03-2014]. ISBN 978-80-86-303-116 s. 119-125. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/upice2007/119.pdf>.
- [19] BLÁHOVÁ, Eva. *Možnosti využití softwaru Fluidyn-Panache při úniku nebezpečných látek na železnici*. Brno, 2012. Studentská tvůrčí činnost. UNIVERZITA OBRANY V BRNĚ. Fakulta ekonomiky a managementu. Vedoucí práce Josef Navrátil.

- [20] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 369 s. ISBN 978-80-01-04842-9. s. 244-259.
- [21] *Věstník ministerstva životního prostředí* [online]. Praha: ALQ Plus, s.r.o, 2007[cit. 2014-03-11]. ISBN 0862-9013. Dostupné z:[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/\\$FILE/or-MP_AR_%20LC2007pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/$FILE/or-MP_AR_%20LC2007pdf)
- [22] BERNATÍK, Aleš a Miluše VACHOVÁ. Aktuální otázky prevence závažných havárií v ČR. [online]. 2009 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/aktualni-otazky-prevence-zavaznych-havarii-v-cr/>.
- [23] T-SOFT a.s. *Uživatelský manuál TerEx: Software pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků*. Verze 3.1. Praha, Červenec 2012, 74 s, ID 22066 [cit. 2014-03-10].
- [24] BARTLOVÁ, Ivana a Karol BALOG. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií*. 2. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 191 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-005-0.
- [25] *ALOHA: User's Manual* [online]. Washington: U. S. Environmental Protection Agency and National Oceanic and Atmospheric Administration, February 2007, [cit. 2014-03-29]. Dostupné z:<http://www.epa.gov/oem/docs/cameo/ALOHAManual.pdf>
- [26] LINDE GAS, a. s. *Bezpečnostní list Amoniak, (čpavek) bezvodý*. Praha, 2014. Dostupné z: [http://prodkatalog.lindegas.cz/international/web/lg/cz/prodcatlgcz.nsf/RepositoryByAlias/BL0002/\\$file/BL0002.pdf](http://prodkatalog.lindegas.cz/international/web/lg/cz/prodcatlgcz.nsf/RepositoryByAlias/BL0002/$file/BL0002.pdf).
- [27] JELÍNEK, Roman. *Provozní ředitel – všeobecné informace o zimním stadionu HC SLAVIA Praha*. Praha, 2014.
- [28] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2006. 89 s. ISBN 80-86634-89-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
CAP	Common Alert Protocol
CLP	Classification, Labelling, Packaging
EPA	Environmental Protection Agency
GIS	Geografický informační systém
HZS	Hasičský záchranný sbor
ICMESA	Industrie Chimiche Meda Societa Azionaria
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
IZS	Integrovaný záchranný systém
NCHL	Nebezpečná chemická látka
NL	Nebezpečná látka
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation, Chemicals
TerEx	Teroristický expert
TIC _s	Toxic Industrial Compounds
TIM _s	Toxic Industrial Mixtures

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – <i>Pohled na čelní stranu zimního stadionu (foto autor)</i>	36
Obrázek 2 – <i>Dvojkompresor typu LD-5B GEA Grasso</i>	37
Obrázek 3 – <i>Zásobní nádrž NH₃ o objemu 10 m³</i>	38
Obrázek 4 – <i>Textový výstup programu ALOHA</i>	42
Obrázek 5 – <i>Závislost ohrožení danou koncentrací na čase</i>	43
Obrázek 6 – <i>Textový výstup pro jednorázový únik amoniaku</i>	45
Obrázek 7 – <i>Zóna ohrožení při jednorázovém úniku 4150 kg amoniaku</i>	46
Obrázek 8 – <i>Textový výstup pro déletrvajícím únik amoniaku</i>	49
Obrázek 9 – <i>Zóna ohrožení při déletrvajícím úniku 4150 kg amoniaku</i>	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – <i>Shrnutí důležitých parametrů</i>	40
Tabulka 2 – <i>Výstupní data havarijního modelování</i>	52

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Porovnání četností úniků NCHL a ropných produktů (2004 – 2013)	15
Graf 2 – Softwarové nástroje používané při řešení analýzy rizik v ČR [22]	31
Graf 3 – Rychlost úniku amoniaku v závislosti na čase	44
Graf 4 – Doporučený průzkum toxické oblasti amoniaku v závislosti na IDLH.....	47
Graf 5 – Ohrožení výbuchem pro jednorázový únik 4150 kg amoniaku	48
Graf 6 – Nezbytná evakuace osob v závislosti na dávce a D_{IDLH}	48
Graf 7 – Doporučený průzkum toxické oblasti amoniaku v závislosti na IDLH.....	50
Graf 8 – Ohrožení výbuchem pro déletrvající únik 4150 kg amoniaku	51
Graf 9 – Nezbytná evakuace osob v závislosti na dávce a D_{IDLH}	51

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Bezpečnostní list – Amoniak, bezvodý
- P II Schéma chladicího systému
- P III Letecká mapa okolí zimního stadionu

PŘÍLOHA P I: BEZPEČNOSTNÍ LIST - AMONIAK, BEZVODÝ

Bezpečnostní list Amoniak, (čpavek) bezvodý

Datum vytvoření : 28.01.2005
Datum revize : 20.01.2014

Verze : 0.8

CZ / C

Číslo MSDS : 002
Stránka 1 / 3

1 IDENTIFIKACE LÁTKY A SPOLEČNOSTI

1.1 Identifikátor výrobku

Amoniak, (čpavek) bezvodý
Číslo EEC (z EINECS): 231-635-3
Číslo CAS: 7664-41-7
Index-č.: 007-001-00-5
Chemický vzorec: NH₃
Registrační číslo REACH: 01-2119488876-14-0060

1.2 Příslušná určená použití látky

Průmyslové použití, použití pro výrobu hnojiv, ve farmaceutickém, textilním a chemickém průmyslu, chladicí medium, technologický plyn, tepelná úprava kovů – nitrídace, zpracování plastů, ochrana dřeva.

1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Linde Gas a.s., U Technoplynu 1324, 198 00 Praha 9,
Tel.: 272 100 111

Telefonní číslo pro naléhavé situace:

Toxikologické informační středisko tel: +420 224 919 293,
Linde Gas a.s. tel.: +420 731 608 608

2 IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI

2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Klasifikace podle nařízení (ES) 1272/2008/EG (CLP)

Press. Gas - Obsahuje plyn pod tlakem; při zahřívání může vybuchnout.

Flam. Gas 2 - Hořlavý plyn.

Acute tox. 3 - Toxický při vdechování.

Skin Corr. 1B - Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

Aquatic Acute 1 - Vysoce toxický pro vodní organismy.

Aquatic Chronic 2 - Toxický pro vodní organismy s dlouhodobými účinky

EUH071 - Způsobuje poleptání dýchacích cest.

Klasifikace podle směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES

R10 | T; R23 | C; R34 | N; R50

R10 Hořlavý

R23 Toxický při vdechování

R34 Způsobuje poleptání

R50 Vysoce toxický pro vodní organismy.

2.2 Prvky označení

- Výstražné symboly nebezpečnosti



- Signální slova

nebezpečí

- Věty o nebezpečnosti

H280 Obsahuje plyn pod tlakem; při zahřívání může vybuchnout.
H221 Hořlavý plyn.
H331 Toxický při vdechování.
H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.
H400 Vysoce toxický pro vodní organismy.
H411 Toxický pro vodní organismy s dlouhodobými účinky

EUH071

Způsobuje poleptání dýchacích cest

- Věty o bezpečném zacházení

Pokyny pro bezpečné zacházení pro prevenci

P210 Chraňte před teplem/jiskrami/otevřeným plamenem/horkými povrchy. - Zákaz kouření.

P280 Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít.

P260 Nevdechujte prach, dým, plyn, mlhu, páry, aerosoly.

P273 Zabraňte uvolnění do životního prostředí.

Pokyny pro bezpečné zacházení pro reakci

P377 Požár unikajícího plynu: Nehaste, nelze-li únik bezpečně zastavit.

P381 Odstraňte všechny zdroje zapálení, můžete-li tak učinit bez rizika.

P303+P361+P353+P315 PŘI STYKU S KŮŽÍ: Omyjte velkým množstvím vody a mýdla. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc/ošetření.

P304+P340+P315 PŘI VDECHNUTÍ: Přeneste postiženého na čerstvý vzduch a ponechte jej v klidu v poloze usnadňující dýchání. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc/ošetření.

P305+P351+P338+P315 PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc/ošetření.

Pokyny pro bezpečné zacházení pro skladování

P403 Skladujte na dobře větraném místě.

P405 Skladujte uzamčené.

Pokyny pro bezpečné zacházení pro odstraňování

2.3 Další nebezpečnost

Zkapalněný plyn

3 SLOŽENÍ

Látka

Složky / nečistoty

Amoniak, (čpavek) bezvodý

Číslo CAS: 7664-41-7

Index-č.: 007-001-00-5

Číslo EEC (z EINECS): 231-635-3

Registrační číslo REACH:

01-2119488876-14-0060

Neobsahuje žádné jiné složky nebo nečistoty, které ovlivňují klasifikaci produktu.

4 POKYNY PRO PRVNÍ POMOC

4.1 Popis první pomoci

Všeobecné pokyny

Postiženého vždy dopravit na čerstvý vzduch s pomocí nezávislého dýchacího přístroje. Udržovat v klidu a teple. Pokud je postižený v bezvědomí, zajistit základní životní funkce (dýchání a srdeční

Bezpečnostní list Amoniak, (čpavek) bezvodý

Datum vytvoření : 28.01.2005
Datum revize : 20.01.2014

Verze : 0.8

CZ / C

Číslo MSDS : 002
Stránka 2 / 3

činnost). Při zástavě dechu zahájit umělé dýchání, při zástavě srdce masáž srdce. Vždy přivolat lékaře.

Inhalace

Pokud postižený není v bezvědomí, vypláchnout ústní a nosní dutinu vodou. Zajistit lékaře.

Zasažení kůže

Může způsobit chemické popálení (poleptání) pokožky. Znečištěný oděv ihned odstranit a zasažené místo oplachovat proudem vody, nejlépe vlažné, po dobu 15 minut. Zajistit lékaře.

Zasažení očí

Může způsobit chemické popálení rohovky s dočasnou poruchou vidění. Okamžitě vyplachovat zasažené oko proudem nejlépe vlažné vody směrem od vnitřního koutku oka ven tak, aby nebylo zasaženo druhé oko. Vyplachovat nejméně 15 minut, předtím vyndat kontaktní čočky. Zajistit lékařskou pomoc

Požítí

Požítí není považováno za potenciální způsob expozice.

4.2 Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

Dráždí dýchací cesty. Může působit chemické popálení pokožky a rohovky (s dočasnou poruchou vidění)

4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření -

5 OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU

5.1 Hasiva

Mohou být použity jakékoli hasící přístroje. Typ hasiva přizpůsobit látkám hořícím v okolí.

5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

Kontejnery vystavené ohni mohou prasknout a vybuchnout.

Rizikové výbušné výrobky

Pokud se vyskytuje v ohni, tepelným rozkladem mohou vznikat toxické nebo žíravé výpary.

5.3 Pokyny pro hasiče

Je-li to možné, zastavte únik výrobku. Odstraňte kontejner z dosahu ohně nebo ho ochlaďte vodou z bezpečné vzdálenosti.

Použijte nezávislý dýchací přístroj a protichemicky ochranný oděv

6 OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU

6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy

Evakuujte osoby z oblasti. Použijte nezávislý dýchací přístroj a protichemicky ochranný oděv. Zajistěte přiměřené větrání

6.2 Opatření na ochranu životního prostředí

Pokuste se zastavit uvolňování. Omezte odpařování rozprašování mlhy nebo vody.

6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

Oblast dobře větrejte. Oblast vystříkejte proudem vody. Zamořené zařízení nebo místa průsaku omyjte velkým množstvím vody. Pokud jakákoli roztíhla kapalina dokonale nevyschne, zamezte přístupu osob a zdrojů zažehnutí. Zamezte zmrakům na podkladu.

7 ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ

7.1 Opatření pro bezpečné zacházení

Použijte jen řádně specifikované zařízení, které je vhodné pro tento výrobek, jeho admisní tlak a teplotu. Při pochybnostech kontaktujte svého dodavatele plynu. Zamezte zpětnému proudění plynu do kontejneru. Zamezte zpětnému vsakování vody do

kontejneru. Skladujte mimo zdroje jiskření (včetně statických nábojů) Před plněním plynem zvažte systém vzduchu. Viz pokyny dodavatele pro manipulaci s láhvemi

Při práci nejíst a nekouřit. Po práci si umýt ruce vodou a mýdlem

7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

Zajistěte láhve proti pádu. Uchovávejte kontejner při teplotě pod 50°C na dobře větraném místě. Uchovávejte odděleně od oksydujících plynů a ostatních látek podporujících hoření ve skladu.

8 OMEZOVÁNÍ EXPOZICE/OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY

8.1 Kontrolní parametry

Hodnotový typ	hodnota	Poznámky
TLV (ACGIH)	25 ppm	ACGIH 1995 - 1996
PEL	14 ppm	
NPK-P	36 ppm	

8.2 Omezování expozice

Chraňte oči, obličej a pokožku před zásahem plynu.

Individuální ochranná opatření

Ochrana dýchacích orgánů: Při zacházení s produktem nekouřit. Při práci mít v pohotovosti nezávislý dýchací přístroj pro případ nehody
Ochrana očí: při připojování a odpojování tlakové nádoby používat ochranné brýle nebo obličejový štít.

Ochrana rukou: při připojování a odpojování tlakové nádoby používat ochranné rukavice.

Ochrana kůže: používat vhodný pracovní oděv a obuv s pevnou špičkou. Při práci nejezte a nekuřte. Po práci si umyjte ruce vodou a mýdlem.

9 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI

9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech

Vzhled / Barva: Bezbarvý plyn

Pach: Amoniakální

Molekulární hmotnost: 17 g/mol

Bod tavení: -77,7 °C

Bod varu: -33 °C

Kritická teplota: 132,4 °C

Teplota samovznícení: 630 °C

Mezní teplota vznícení: 15 %(obj) - 30 %(obj)

Relativní hustota, plyn: 0,6

Relativní hustota, kapalina: 0,7

Tlak páry 20 °C: 8,6 bar

Rozpustnost v mg/l vody: Hydrolyza

9.2 Další data

Ačkoli k této látce existují údaje o hořlavosti, je obtížné ji ve vzduchu zapálit a je klasifikována jako nehořlavá.

10 STÁLOST A REAKTIVITA

10.1 Reaktivita

Může prudce reagovat s oksydujícími. Může prudce reagovat s kyselinami. Reaguje s vodou vytvářením korozivních zásad. Se vzduchem může tvořit výbušnou směs.

10.2 Chemická stabilita

Za normálních podmínek je látka stabilní

10.3 Možnost nebezpečných reakcí

HCl, Cl₂, CO₂, SO₂, H₂

Bezpečnostní list

Amoniak, (čpavek) bezvodý

Datum vytvoření : 28.01.2005
Datum revize : 20.01.2014

Verze : 0.8

CZ / C

Číslo MSDS : 002
Stránka 3 / 3

10.4 Podmínky kterým je třeba zabránit

Zdroje vznícení, vysoká teplota, koncentrace v mezích výbušnosti.

10.5 Neslučitelné materiály

Okysličovadla, kyseliny, voda. Se vzduchem tvoří výbušnou směs

10.6 Nebezpečné produkty rozkladu

Pokud se vyskytuje v ohni, tepelným rozkladem mohou vznikat toxické nebo žiravé výpary – oxidy dusíku. Při teplotách nad 450C vzniká vysoce hořlavý vodík.

11 TOXIKOLOGICKÉ INFORMACE

11.1 Informace o toxikologických účincích

Inhalace velkého množství vede ke křečím průdušek, otoku hrtanu a tvorbě pseudomembrány. Může působit zánět až poleptání dýchacích cest a pokožky.

LC50/1h (ppm) 4000 ppm

12 EKOLOGICKÉ INFORMACE

12.1 Toxicita

Vysoce toxický pro vodní organismy

12.2 Perzistence a rozložitelnost

Odbourává se

12.3 Bioakumulační potenciál -

12.4 Mobilita v půdě -

12.5 Výsledky posouzení PBT a vPvB -

12.6 Jiné nepříznivé účinky

Ve vodných ekologických systémech může působit změny pH.

13 POKYNY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ

13.1 Metody nakládání s odpady

Nevypouštějte do míst, kde jeho akumulace může být nebezpečná. Nevypouštět do atmosféry. Potřebujete-li radu, obraťte se na dodavatele. Plyn lze odstraňovat adsorpcí do vody nebo kyseliny sírove.

Katalogové číslo odpadu 16 05 04*

Platný právní předpis: zákon č. 185/2001 Sb., v platném znění

14 INFORMACE PRO PŘEPRAVU

ADR/RID

Třída	2	Kód	2TC
-------	---	-----	-----

Číslo UN a název příslušné dopravy

UN 1005 Amoniak, (čpavek), bezvodý

UN 1005 Ammonia, anhydrous

Nálepka	2,3, 8	Číslo rizika	268
---------	--------	--------------	-----

Pokyny pro balení	P200
-------------------	------

IMDG

Třída	2.3
-------	-----

Číslo UN a název příslušné dopravy

UN 1005 Ammonia, anhydrous

Nálepka	2,3, 8
---------	--------

Pokyny pro balení	P200
-------------------	------

EMS	FC, SU
-----	--------

IATA

Třída	2.3
-------	-----

Číslo UN a název příslušné dopravy

UN 1005 Ammonia, anhydrous

Nálepka	2,3, 8
---------	--------

Pokyny pro balení	P200
-------------------	------

Nebezpečnost pro životní prostředí

Vysoce toxický pro vodní organismy

Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele

Zajistěte, aby si řidič dopravního prostředku byl vědom možného nebezpečí nákladu a věděl co má dělat v případě nehody nebo nouze.

Před přepravou kontejnerů s výrobkem dbejte na to, aby byly dobře zajištěny a: ventil láhve byl uzavřen a dobře těsnil aby výstupní víčková matice nebo zátky (kde existuje) byla správně nasazena aby ochranné zařízení ventilu (pokud existuje) bylo správně nasazeno existuje přiměřené větrání. Soulad s příslušnými pokyny.

15 INFORMACE O PŘEDPÍSECH

Na látku se vztahují následující české právní předpisy:

Zákon č. 356/2003 Sb. o chem. látkách a přípravcích v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení, zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení, zákon č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě v platném znění, včetně platných vyhlášek a nařízení zákon č. 185/2001 o odpadech v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení

Na látku se vztahují následující české právní předpisy EU:

Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008/ ES v platném znění
Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006/ ES v platném znění

16 DALŠÍ INFORMACE

Zajistěte, aby byly dodržovány všechny národní / místní předpisy. Zajistěte, aby operátoři pochopili riziko toxicity. Uživatelé individuálních dýchacích přístrojů musejí být instruováni. Před použitím tohoto výrobku v jakémkoli novém procesu či pokusu proveďte důkladnou studii kompatibility a bezpečnosti materiálu

Doporučení

Přestože přípravě tohoto dokumentu byla věnována příslušná péče, nemůže být přijata žádná odpovědnost za zranění nebo škodu způsobenou při jeho užití. Podrobnosti udávané v tomto dokumentu jsou v době předání do tisku pokládány za správné.

Další informace

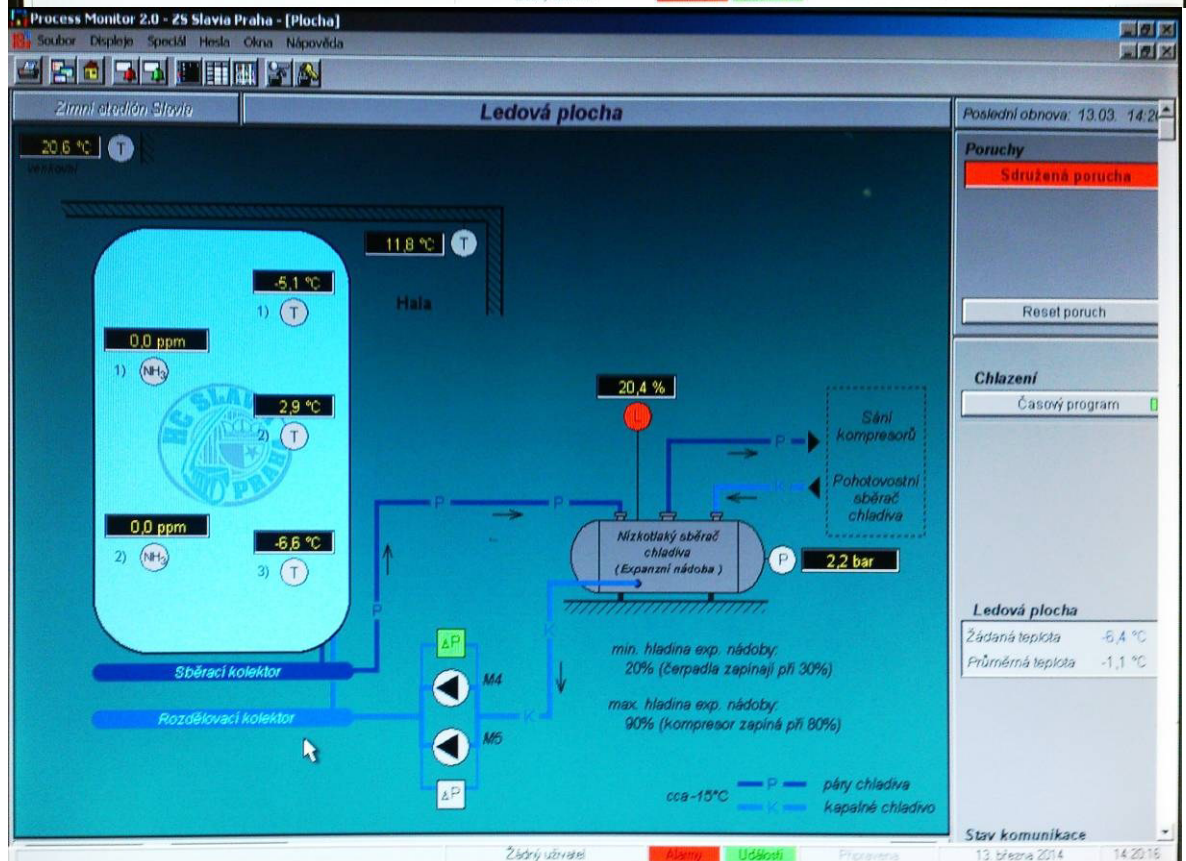
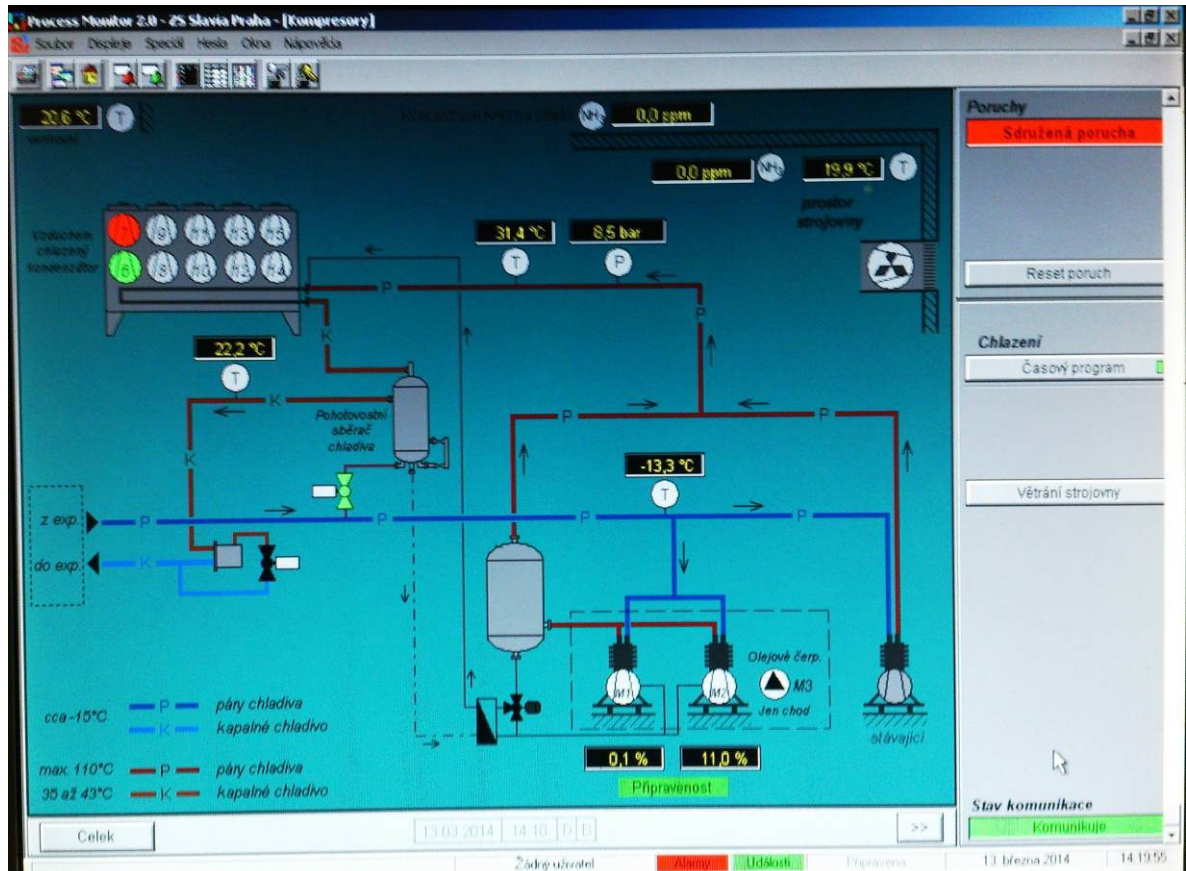
Hommel: Handbook of dangerous goods (Příručka nebezpečných druhů zboží)

Kühn-Birett: Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe (Bulletin nebezpečných látek)

Bezpečnostní pokyny firmy LINDE

Konec dokumentu

PŘÍLOHA P II: SCHÉMA CHLADICÍHO SYSTÉMU (FOTO AUTOR)



PŘÍLOHA P III: LETECKÁ MAPA OKOLÍ ZIMNÍHO STADIONU

