

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF METROLOGY AND QUALITY ASSURANCE TESTING

POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI CHLADICÍ STANICE ESTIMATION OF COOLING STATION SAFETY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LENKA NEDOMOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Prof.Ing. FRANTIŠEK BABINEC, CSc.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav metrologie a zkušebnictví
Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Nedomová Lenka

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

obor: **Řízení jakosti (3911T023)**

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

Posouzení bezpečnosti chladicí stanice

v anglickém jazyce:

Estimation of Cooling Station Safety

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Posouzení bezpečnosti chladicí stanice s kapalným amoniakem.

Cíle diplomové práce:

Kvantitativní posouzení míří rizika pro okolí zimního stadionu. Aplikace metody FMEA v bezpečnosti.

Seznam odborné literatury:

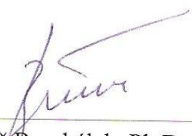
Crowl, A.D., Louvar, J.F.: Chemical Process Safety

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. František Babinec, CSc.

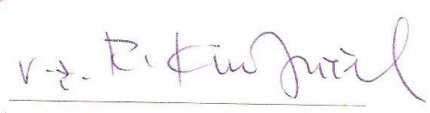
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 30.11.2007





doc. Ing. Leos Bumbálek, Ph.D.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

ABSTRAKT

Lenka Nedomová

Posouzení bezpečnosti chladicí stanice

Diplomová práce, Ústav metrologie a zkušebnictví, VUF FSI v Brně

Diplomová práce je zaměřena na posouzení bezpečnosti chladicí stanice zimního stadionu, která jako chladivo používá amoniak. Jde o konkrétní výpočet (kvantitativní odhad rizika) chlazení stanice amoniakem. Na zimním stadionu není k chlazení použito solanky, chladí se přímo amoniakem, takže se jedná o chlazení přímé. Je posouzena bezpečnost obyvatelstva, zvířat a životního prostředí. Součástí práce je výpočet indexu chemického ohrožení CEI a modelování následků havárie výpočetním modelem ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Na závěr je použita metoda FMEA, metoda příčina-důsledek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přímé chlazení

Toxická látka

Hodnocení rizika

Index chemického ohrožení

Modelování rozptylu

Metoda příčin a důsledků

ABSTRAKT

Lenka Nedomová

Estimation of cooling station safety

Diploma thesis, institute of metrology and quality assurance and testing, Brno University of Technology.

The diploma thesis deals with safety evaluation of cooling plant at a pool stadium, which uses amonia as a coolant. The work includes particular calculation (quantitative risk estimation) of cooling the plant with amonia. For cooling at the pool stadium no salt water, only amonia is used, so it is direct cooling. The safety of population, animals and enviroment is considered. Part of this thesis is also the estimation of the chemical exposure index (CEI) and simulation of breakdown effects with ALOHA model (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). At the end FMEA method is used, the method cause – effect.

KEY WORDS

Direct cooling

Dow's Chemical Exposure Index

Risk classification

Toxic substance/matter

Areal Locations of Hazardous Atmospheres

FMEA

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

BIBLIOGRAFICKÉ CITACE

NEDOMOVÁ, Lenka. *Posouzení bezpečnosti chladicí stanice*. Brno:Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s.57, příloh 3, Prof.Ing.František Babinec,CSc..

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Posouzení bezpečnosti chladicí stanice* vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce. Byla jsem seznámena s předpisy pro vypracování diplomové práce a jsem si vědoma toho, že v případě nedodržení těchto předpisů nebude moje práce vedoucím práce přijata.

V Brně dne 23.květen, 2008

.....

Lenka Nedomová

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Prof.Ing. Františku Babincovi, CSc. Za účinnou podporu, cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. A všem, u kterých jsem našla cennou pomoc při řešení problematiky.

OBSAH

1 ÚVOD	10
2 ZIMNÍ STADION BLANSKO	12
2.1 Poloha a popis zimního stadionu	12
2.2 Zóna ohrožení a její charakteristika	12
2.2.1 Definice zóny	12
2.2.2 Geografická charakteristika	13
2.2.3 Demografická charakteristika	13
2.2.4 Klimatická charakteristika	13
2.2.5 Popis infrastruktury	14
2.3 Schéma strojovny	14
2.4 Kompresorové chladicí okruhy	15
2.4.1 Jednostupňový chladicí okruh	15
2.4.2 Dvoustupňový chladicí okruh	15
2.5 Schéma zásobníku NH₃	16
3 AMONIAK - NH₃	17
3.1 Základní charakteristika	17
3.2 Strukturní vzorec amoniaku	18
3.3 Fyzikální a chemické vlastnosti NH₃	18
3.4 Charakteristika ohrožení	19
3.4.1 Účinky na člověka	19
3.4.2 Účinky na životní prostředí	20
3.5 První pomoc při zasažení	20
3.6 Individuální ochrana	20
3.6.1 Možné způsoby improvizované ochrany	21
3.6.2 Návrat z kontaminovaného prostoru	21
3.7 Neodkladná opatření	22
3.8 Asanace	22
4 INDEX CHEMICKÉHO OHROŽENÍ – METODA CEI	23
4.1 Popis metody CEI	23

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

4.2 Účel použití metody CEI	23
4.3 Podklady pro metodu CEI	23
4.4 Postup metody CEI	23
4.5 Koncentrační hodnoty ERPG/EEPG	25
4.6 Scénáře pro odhad rozptylu uniklé látky	25
4.7 Stanovení množství rozptýlené látky po úniku do atmosféry	26
4.8 Výpočet množství rozptýlené látky při úniku NH₃	27
4.8.1 Hodnoty pro výpočet CEI	27
4.8.2 Rychlost výtoku unikající kapaliny	27
4.8.3 Stanovení celkového množství uniklé kapaliny	28
4.8.4 Výpočet odpařeného množství (podílu) kapaliny	28
4.8.5 Množství kapaliny odpařené již při úniku kapaliny	28
4.8.6 Odpar kapaliny z povrchu louže	28
4.8.7 Výpočet celkového rozptylovaného množství	28
4.9 Výpočet indexu chemického ohrožení	28
4.10 Výpočet nebezpečné vzdálenosti	29
4.11 Shrnutí metody CEI	29
4.12 Souhrnný formulář CEI	30
5 ALOHA	31
5.1 Popis metody ALOHA	31
5.2 Účel použití	31
5.3 Podklady pro metodu ALOHA	31
5.4 Modelování rozptylu látek v ovzduší	31
5.5 Faktory uvažované v modelu	31
5.5.1 Charakteristika rozptylu	32
5.5.1.1 Gaussův model	32
5.5.1.2 Těžké plyny	33
5.5.2 Okamžitý var a dvoufázový tok	34
5.6 Automatická volba modelu v programu ALOHA	34
5.7 Aplikační možnosti	35
5.7.1 Velmi malá rychlost větru	35

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

5.7.2 Velmi stabilní atmosférické podmínky	35
5.7.3 Vliv změn směru větru a terénních nerovností	35
5.7.4 Koncentrační nepravidelnost/různorodost	37
5.8 ALOHA a její omezení použitelnosti	37
5.8.1 Požáry nebo chemické reakce	37
5.8.2 Produkty částicové povahy	38
5.8.3 Roztoky a směsi	38
5.8.4 Terén	38
5.9 Kontinuální únik modelovacím programem ALOHA	38
5.9.1 Umístění zimního stadionu	38
5.9.2 Specifikace nebezpečné látky	38
5.9.3 Meteorologické podmínky	38
5.9.4 Specifikace zdroje	39
5.10 Stanovení koncentrací oblastí ve směru větru	40
5.10.1 Oblast tří koncentrací pro těžký plyn	40
5.10.2 Koncentrace nebezpečné látky u zdroje	40
5.10.3 Vyhodnocení situace	41
5.10.4 Zakreslení stopy mraku na mapě města	42
5.11 Stanovení ohrožené oblasti pro hodnotu LC₅₀	42
5.11.1 Oblast koncentrace LC ₅₀ pro těžký plyn	43
5.11.2 Koncentrace nebezpečné látky v daném bodě	43
5.11.3 Vyhodnocení situace	44
5.11.4 Zakreslení stopy mraku na mapě města	45
5.12 Schéma únikových cest	46
5.13 Schéma uzavření dopravy	47
5.14 Vyhodnocení metody ALOHA	47
6 ANALÝZA PORUCH A JEJICH NÁSLEDKŮ – METODA FMEA	48
6.1 Popis metody	48
6.2 Cíl metody	48
6.3 Podklady pro metodu FMEA	48
6.4 Postup metody	48
6.5 Kritéria hodnocení v metodě FMEA	49
6.5.1 Závažnost následků	49
6.5.2 Možnost detekce	49
6.5.3 Index frekvence	49

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

6.6 Výsledný formulář metody FMEA	50
6.7 Zhodnocení metody FMEA	52
6.8 Nápravná opatření	52
7 ZÁVĚR	53
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56
10 SEZNAM PŘÍLOH	57
PŘÍLOHA 1	1
PŘÍLOHA 2	1
PŘÍLOHA 3	2

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

1 ÚVOD

V druhé polovině minulého století došlo vlivem rozvoje průmyslu k mnoha závažným průmyslovým haváriím, které odstartovaly snahy o přijetí legislativy k prevenci a řízení mimořádných událostí. Tragickými následky na životech, na životním prostředí a majetku se začal zabývat obor bezpečnostního inženýrství, který zjištěním příčin a následků posoudí riziko, identifikuje nebezpečí a zhodnotí dopad na okolí.

Při identifikaci zdroje rizika a stanovení velikosti a pravděpodobnosti ztrát jsou používány dva základní pojmy risk (riziko) a hazard (nebezpečí).

V souhrnném pojetí je riziko chápáno jako vztah mezi pravděpodobnosti (frekvenci) výskytu mimořádné události a očekávanou ztrátou.

Nebezpečí je neoddělitelná vlastnost látky, biologického či fyzikálního děje nebo stav systému, nepříznivě působící na zdraví člověka, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek.

Nejčastější příčinou vzniku závažné havárie je únik nebezpečné látky ze skladovacího zařízení nebo únik z aparátu. Podle množství a charakteristiky látky může dojít k požáru, výbuchu nebo k vytvoření toxického plynu.

Příkladem velké průmyslové havárie je exploze podniku ve Flixborough (Velká Británie) v roce 1974. Výbuch a následný požár zničily nejen celé zařízení i podnik, ale vyžádaly si 28 mrtvých, řadu zraněných a hrozila možnost Domino efektu (možnost zvýšení pravděpodobnosti vzniku a libosti dopadů závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti objektů/zařízení nebo skupiny objektů/zařízení a umístění nebezpečných látek), čímž by hrozila další následná havárie. V italském Sevesu se v chemickém zařízení roku 1976 vytvořil po závažné havárii výroby pesticidů hustý mrak TCDD (tetrachlorodibenzoparadiioxin), který unikl z reaktoru. Přes 2000 lidí bylo ohroženo otravou jedovaté a karcinogenní látky, nazývané dioxin. Evakuováno bylo více jak 600 lidí a došlo ke kontaminaci 27 km² plochy. Další a velmi rozsáhlou byla havárie chemického zařízení v Bhópálu (Indie) v roce 1984. Vlivem methylozokyanátu zemřelo více jak 2500 lidí a okolí objektu se dlouho zpamatovalo s následky závažné havárie.

V zemích Evropské unie byla po havárii v Sevesu vypracována direktiva SEVESO I (82/501/EEC), která byla v roce 1982 Radou a Evropským parlamentem přijata. Po tragické události v Bhópálu byla direktiva znovelizována jako direktiva SEVESO II (96/82/EC). Ta se zaměřila na prevenci rizik a na omezení následků. Prostřednictvím bezpečnostního programu a bezpečnostní zprávy dokáže obeznamit možnost rizika ohrožení života, zdraví lidí, hospodářských zvířat, životního prostředí a majetku při vzniku závažné průmyslové havárie.

V ČR byla direktiva harmonizována a dle právního řádu implementována ve formě zákona č.353 /1999 Sb. „o prevenci závažných havárií“, a v roce 2006 novelizován na zákon č.59/2006 „o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky“, která nařizuje podnikům zpracovat návrh na zařazení do skupina A (bezpečnostní program), nebo B (bezpečnostní zprávu) podle druhu a množství skladované látky.

Cílem diplomové práce je posouzení bezpečnosti chladicího zařízení na zimním stadionu v Blansku, který jako chladivo používá nebezpečnou látku.

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

Dílčím cílem práce je stanovení Indexu chemického ohrožení CEI (Chemical Exposure Index), maximální nebezpečnou vzdálenost úniku a rozptylu amoniaku pro nejrizikovější část potrubní větve při mimořádné události. Pomocí metody CEI dokážeme zjistit nejen jaké je celkové množství uniklé nebezpečné látky, rychlost úniku, ale také vzdálenost rozptylu při daných koncentracích.

Pro objektivní zhodnocení je v dalším kroku modelování následků havárie s únikem čpavku pomocí počítačového programu ALOHA (Area Location of Hazardous Atmospheres). Výsledkem této metody jsou graficky znázorněné plochy zasažené toxickou látkou s danou koncentrací, rychlost úniku a množství uniklé nebezpečné látky.

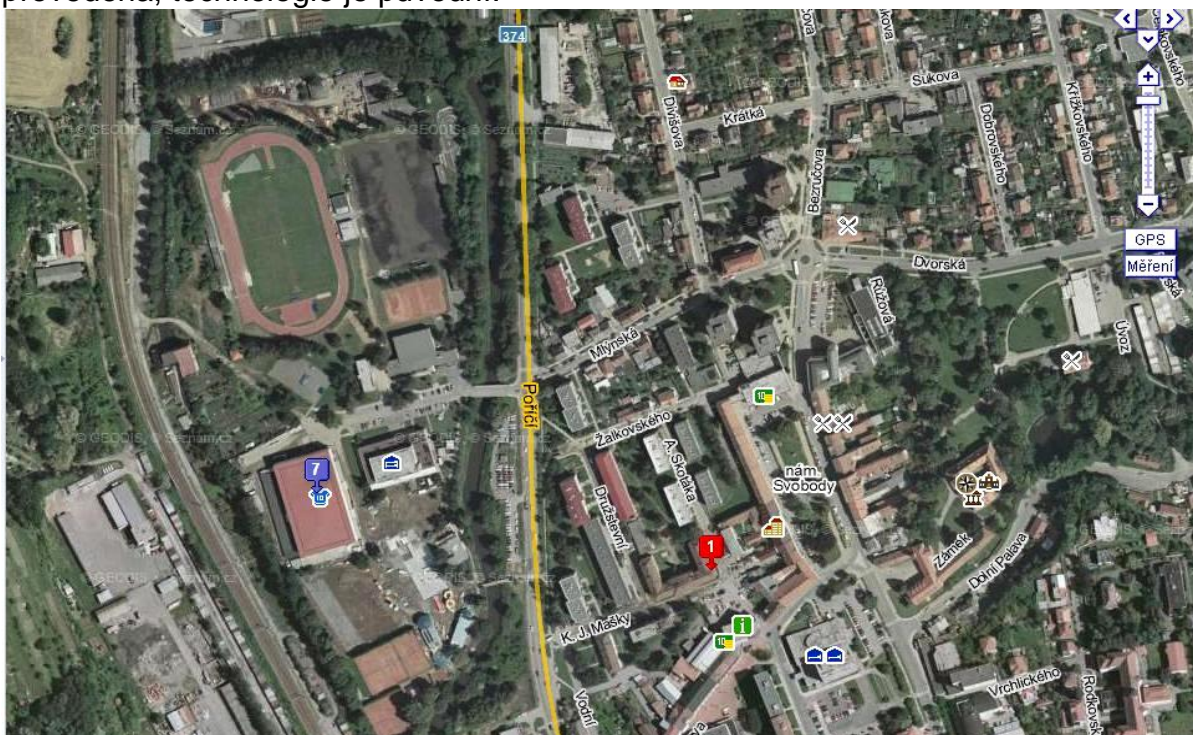
Na závěr je zařízení podrobena kvalitativní analýze příčina-důsledek metodou FMEA (Failure Modes and Effect Analysis). Takovým postupem lze identifikovat nebezpečí a odhalit takové poruchy, které mají závažný vliv na bezpečnost a provozování systému.

2 ZIMNÍ STADION BLANSKO

2.1 Poloha a popis zimního stadionu

Zimní stadion se nachází v Blansku, okresním městě jihomoravského kraje, vzdáleném asi 30 km severně od Brna. Je situován v centru města mezi ulicemi Mlýnská a Poříčí. V blízkosti obytných vícepodlažních domů. Viz.obr.2.1.1.

Čpavkové hospodářství je umístěno v prostorách zimního stadionu a je zabezpečeno čidly, která monitorují případné úniky čpavku. Obsluha zařízení (včetně dozoru) je nepřetržitá, strojníci jsou vybaveni ochrannými pomůckami tj. dýchacími přístroji. Stadion je v provozu od roku 1972. Generální oprava technologie nebyla provedena, technologie je původní.



Obrázek 2.1.1 Mapa Blanska v okolí zimního stadionu

[8]

2.2 Zóna ohrožení a její charakteristika

2.2.1 Definice zóny

Zóna ohrožení je definována jako prostor maximálního ohrožení (nejpravděpodobnější kontaminace) a vymezuje základní odstup od ohniska nebezpečí. Toto opatření je organizační záležitostí pro dodržování maximální bezpečnosti a k zamezení zbytečné kontaminace osob a prostředků nebezpečnou látkou. Vymezení zóny je dáno druhem nebezpečné látky.

- Výbušné látky a předměty, rozsáhlá oblaka par - 100 až 1 000 m.
- Stlačené, kapalně nebo pod tlakem rozpuštěné plyny - 50 m.

- Hořlavé tuhé látky, které ve styku s vodou vyvíjejí zápalné plyny - 0 až 30 m.
- Látky působící vznětlivě, organické peroxidy - 15 až 30 m.
- Jedovaté a zdraví škodlivé látky - 15 m.
- Radioaktivní látky - 50 m.

Uvedené vzdálenosti jsou minimální, s ohledem na nenadálé rozšíření výronu se zvětšují.

2.2.2 Geografická charakteristika

Oblast	Popis
Rozloha	125 600 m ²
Reliéf	Rovina, nadmořská výška 350 m n. m.
Vodstvo	Zimní stadion je situován na tzv. sportovním ostrůvku. Za areálem v bezprostřední blízkosti protéká levá část řeky Svitavy. Pravá část Svitavy protéká asi 130 m od areálu jiho-východním směrem. Zimní stadion leží v záplavovém území řeky Svitavy. Možnost ohrožení při vzniku zvláštní povodně pod vodními díly Letovice a Boskovice.

2.2.3 Demografická charakteristika

Oblast	Popis
Obyvatelstvo	1520
Hustota obyvatelstva	0,01/m ²

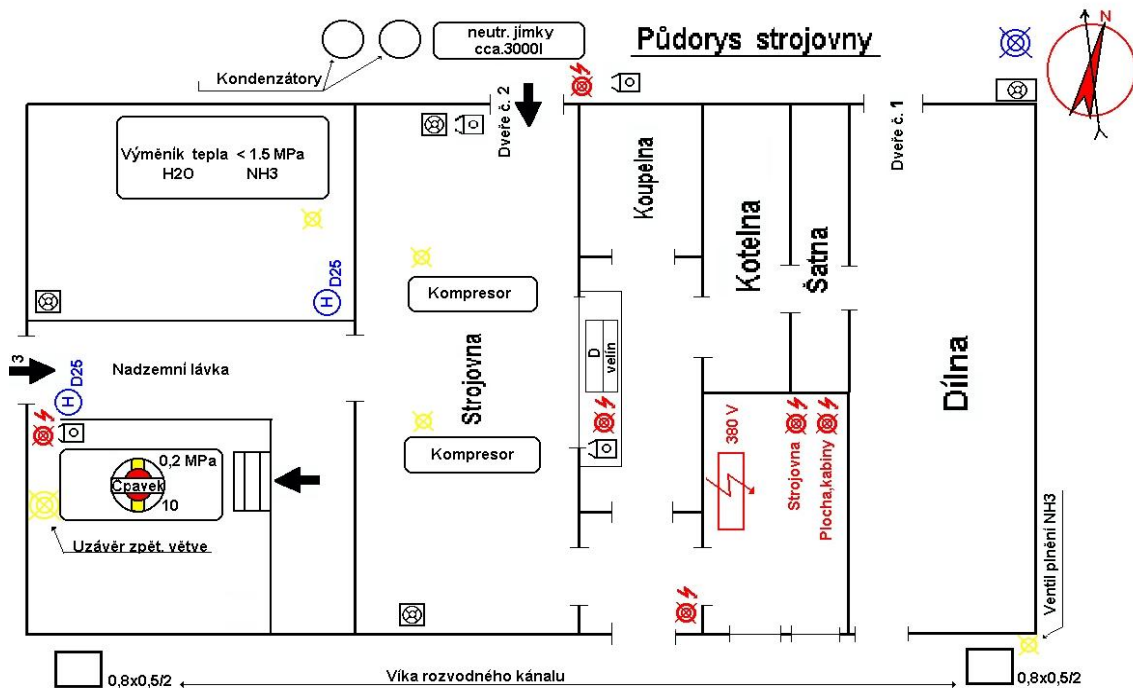
2.2.4 Klimatická charakteristika

Podnebí území lze charakterizovat jako klima severního mírného pásu s vlivem maritimního (mořského) působení. Otevřenost území směrem k severu usměrňuje větrné proudění při zemi, takže převládajícím větrem je jihozápadní směr. Teplotní i srážkový režim je ovlivněn terénními nerovnostmi a od oblasti mírně teplé, v nižších (pod 600 m n. m.) polohách přechází do oblasti chladné. Roční průměrná teplota v závislosti na nadmořské výšce se pohybuje do 9 ° C, roční srážkový úhrn od 650 mm do 1500 mm.

2.2.5 Popis infrastruktury

Oblast	Popis
Silniční síť	Na okraji předpokládané zóny ohrožení se nachází silnice č. III/37435 - ulice Poříčí. Při mimořádné situaci spojené s únikem čpavku z chladicího zařízení zimního stadionu se podstatně zkomplikuje doprava přes město Blansko, objížďky budou vedeny po místních komunikacích, které nejsou vhodné pro nákladní dopravu.
Telefony	Asi 100 m od areálu je telefonní automat. U vedoucího zimního stadionu je telefon.
Železniční síť	Zasahuje do předpokládané zóny ohrožení.
Plynovody	Nezasahují do předpokládané zóny ohrožení.
Ropovody	Nezasahují do předpokládané zóny ohrožení.
Zásobování vodou	Předpokládaná zóna ohrožení je napojena na místní vodovod, Ize předpokládat při havárii objektu vniknutí čpavku s vodou do kanalizační sítě města Blansko (VAS a. s., divize Boskovice).

2.3 Schéma strojovny

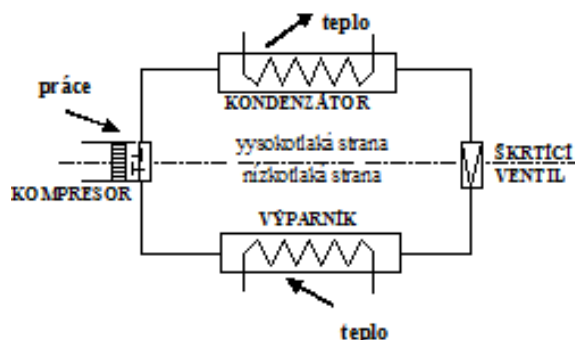


Obrázek 2.3.1 Schéma strojovny zimního stadionu

2.4 Kompresorové chladicí okruhy

2.4.1 Jednostupňový chladicí okruh

V oblasti průmyslového chlazení jsou nejrozšířenější kompresorové chladicí okruhy. Tvoří je 4 základní prvky: kompresor, kondenzátor, škrtkový orgán a výparník. Chladicí okruh nemůže bez jakékoliv z uvedených částí fungovat. Z hlediska principu jsou další aparáty v chladicích okruzích zbytečné, ale jsou výhodou pro zvýšení bezpečnosti, vylepšení funkcí a hospodárnosti provozu. U chlazení amoniakem jsou tato zařízení používána pro teploty do -25°C .



Obrázek 2.4.1.1 Základní schéma zapojení jednostupňového chladicího okruhu

Platí základní tepelná bilance, kondenzační teplo odvedené do okolního prostředí se musí rovnat součtu tepla přivedeného do výparníku z chlazené látky (chladicího výkonu zařízení) a tepla přivedeného do okruhu kompresní prací (zmařeného elektrického příkonu). To znamená, že kondenzátor musí odvést jednak teplo přivedené do výparníku, kterým je v našem případě ledová plocha, i teplo z kompresní práce, tj. zmařenou elektrickou energii při kompresi par chladiva.

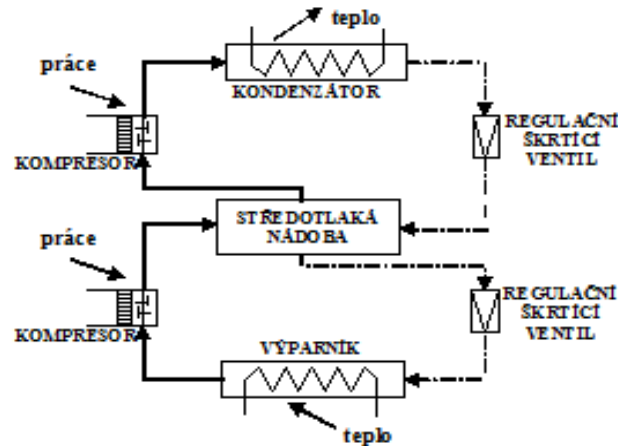
Ve skutečnosti je tepelná bilance chladicího zařízení složitější, protože do zařízení nebo z něj se dostává další energie, například ztrátami přes izolaci, odvodem tepla z kompresoru jeho chlazením apod.

2.4.2 Dvoustupňový chladicí okruh

Pro teploty nižší než je -25°C je jednostupňový okruh nevhodný, protože na výtlačku by jednostupňová komprese bez mezichladiče znamenala nepřípustně vysoké teploty. Z tohoto důvodu je nutné chladicí cyklus rozdělit na dva nebo více kompresních stupňů.

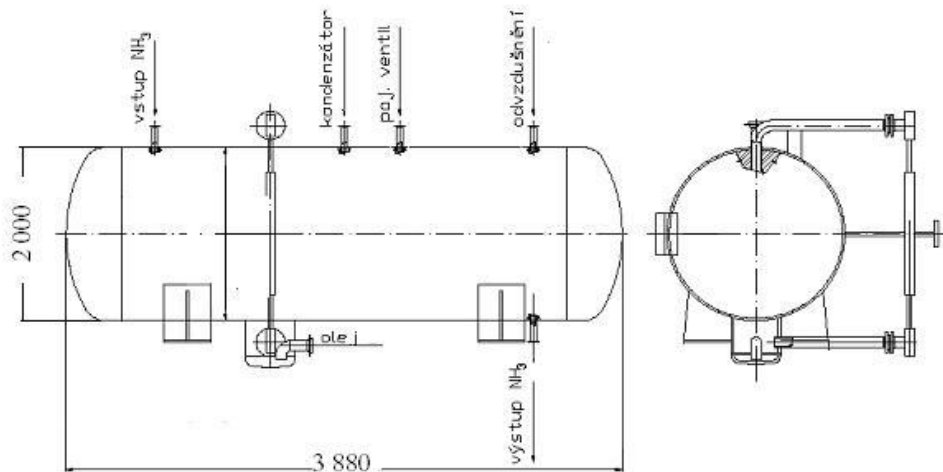
Proto než se bude v kompresi pokračovat, je nutné chladivo na výtlačku po částečné kompresi ochladit.

Základní schéma zapojení dvoustupňového chladicího okruhu s jednou chladicí povinností je zřejmé z obrázku č. 2.4.1.2.



Obrázek 2.4.1.2 Základní schéma zapojení dvoustupňového chladicího okruhu s jednou chladicí povinností, např. $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, s průchozí středotlakou nádobou.

2.5 Schéma zásobníku NH_3



Obrázek 2.5.1 Schéma zásobníku

Strojovna je konstruována s odvětrávacím zařízením, které je umístěno asi 10 m nad zemí. Detektory zaznamenávající únik v případě havárie sepnou ventilaci a ta celý prostor intenzivně odvětrá. Detektory ovládají dálkově uzavíratelné ventily, které jsou obsluhovatelné také přímo ze strojovny. V zásobníku je uskladněno 6 000 kg amoniaku, zásobník nemá zachytnou jímku, která by v případě mimořádné události zachytila unikající nebezpečnou látku. Strojníci jsou vybaveni bezpečnostními pomůckami a proškoleni.

3 AMONIAK - NH₃

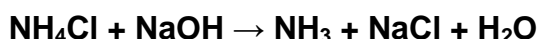
3.1 Základní charakteristika

Amoniak je sloučenina s chemickým vzorcem NH₃ o koncentraci minimálně 99,8 % hm., je skladován ve formě zkapalněného plynu. V čistém stavu za normálních podmínek je amoniak bezbarvý plyn (Teplota varu za normálních podmínek činí -33,5°C.) s typickým čpícím štiplavým zápachem, . Amoniak je klasifikován jako toxický (T), hořlavý (R10) a nebezpečný pro životní prostředí (N). Jde o látku zásadité povahy a s vodou tvoří louh. Hustotou 0,77 kg.m⁻³ je zhruba o polovinu lehčí než vzduch. Naopak má výbornou rozpustnost ve vodě - 540 g.l⁻¹. Může být skladován za zvýšeného tlaku v kapalném stavu. Reaguje s kyselinami za vzniku amonných solí. Má silné korozivní účinky vůči kovům, zejména vůči slitinám mědi. Označení podle nebezpečnosti viz. obr.3.1.1.



Obrázek 3.1.1 Výstražné symboly nebezpečnosti pro amoniak

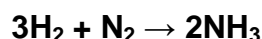
Čpavek se např. uvolňuje reakcí amonných solí se silnými hydroxidy, např. působením hydroxidu sodného na chlorid amonný



Popřípadě tepelným rozkladem uhličitanu amonného



Průmyslově se vyrábí katalytickým slučováním dusíku a vodíku, jako katalyzátor se používá houbové železo za vysokého tlaku (20 až 100 MPa) a vysoké teploty (nad 500°C)

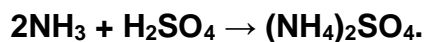


Amoniak se velmi dobře rozpouští ve vodě za vzniku zásaditého roztoku, který se nazývá čpavek. Přitom amoniak reaguje s vodou za vzniku hydroxidu amonného, který je částečně disociován na amoniový kationt a hydroxylový aniont



VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

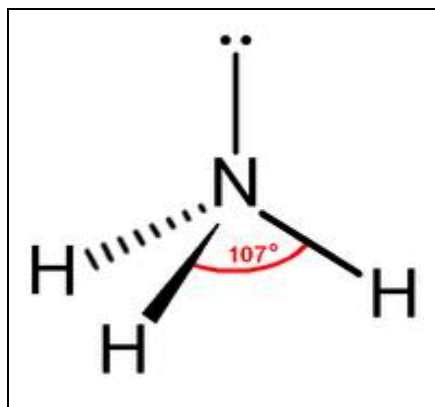
S kyselinami reaguje za vzniku amonných solí, např. s kyselinou sírovou vytváří síran amonný



Amonné soli silných kyselin (např. kyseliny sírové) reagují v roztoku slabě kyselě, protože hydroxid amonný je jen velmi slabou zásadou.

3.2 Strukturní vzorec amoniaku

Strukturní vzorec amoniaku na obr.3.2.1, znázorňuje molekulu amoniaku s prostorovým uspořádáním atomů, nad atomem dusíku se nachází volný pár elektronů. Molekula amoniaku za normálního tlaku podléhá tzv. dusíkové inverzi. To znamená, že atom dusíku přechází přes rovinu tvořenou třemi vodíkovými atomy na opačnou stranu (atom dusíku je v amoniaku vrchol jehlanu – viz obr.3.2.1).



Obrázek 3.2.1 Molekula amoniaku, prostorové uspořádání atomů.

3.3 Fyzikální a chemické vlastnosti NH₃

Tabulka 3.3.1 Označení nebezpečné látky a její fyzikální a chemické vlastnosti

Sumární vzorec	NH ₃
Registrační číslo CAS	7664-41-7
Číslo ES	231-635-3
Kód nebezpečnosti (Kemlerův kód)	268
UN kód	1005
Molární hmotnost	17,0307 g/mol
Teplota tání	-77,75°C (při tlaku 1013 hPa)
Teplota varu	-33,4°C (při tlaku 1013 hPa)
Bod vzplanutí	650°C
Teplota vznícení	650°C
Tenze par (při 20°C)	8,6 bar
Hustota (při 20°C)	0,97 kg/m ³

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

Hustota zkapalněného amoniaku	681,4 kg/m ³
Kritická teplota	132,4°C
Kritický tlak (při 20°C)	0,857 MPa
Dolní mez výbušnosti	15% obj.
Horní mez výbušnosti	28% obj.
R-věty	R10-23-34-50
S-věty	(1/2-)-9-16-26-36/37/39-45-61
Skupina výbušnosti	IIA
Fire index - N _F	1
Reaktivita index – N _R	0
Health index – N _H	3

[6]

Tabulka 3.3.2 Klasifikace látek podle R-vět a S-vět

R-věty
STANDARDNÍ VĚTY 10-23-34-50

- R10 Hořlavý.
- R23 Toxický při vdechnutí.
- R34 Způsobuje poleptání.
- R50 Vysoce toxický pro vodní organismy.

S-věty

STANDARDNÍ POKYNY (1/2-)-9-16-26-36/37/39-45-61

- S1/2 Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí.
- S9 Uchovávejte obal na dobře větraném místě.
- S16 Uchovávejte mimo dosah zdrojů zapálení – Zákaz kouření.
- S26 Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc.
- S45 V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).
- S61 Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy.
- S36/37/39 Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít.

[6]

3.4 Charakteristika ohrožení

Málo hořlavá látka. Při uvolnění plynu tvorba velkého množství studené mlhy těžší než vzduch a vznik leptavých a výbušných směsí se vzduchem. Vznícení působením vysoké teploty a silného zdroje energie.

3.4.1 Účinky na člověka

Velmi silně dráždí až těžce leptá oči, sliznice dýchacích cest, plíce a kůži. Křeč nebo otok hrtanu může vést k udušení. Vysoké koncentrace vedou k zástavě dechu, případně způsobují otok plic. Při styku se zkapalněným plynem dochází k poleptání a vzniku omrzlin.

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

3.4.2 Účinky na životní prostředí

Při úniku dochází k zamoření ovzduší do velkých vzdáleností od zdroje. Způsobuje kontaminaci terénu i vod, ve vodách se rozpouští a i při velkém zředění vytváří leptavé směsi, nad kterými se uvolňují nebezpečné páry. Je škodlivý pro vodu, vysoce toxický pro vodní organismy. Může poškodit okolní faunu i flóru.

3.5 První pomoc při zasažení

- Vynesení nebo vyvedení do čistého prostředí, odstranění kontaminovaného oděvu.
- Výplach očí nezávadnou vodou nebo vodou borovou.
- Inhalace par octa.

Při nadýchání, okamžitě postiženého vyvést na čerstvý vzduch a zavolat lékaře. Nedýchá-li postižený, musí být zavedeno umělé dýchání. Postiženého je nutno uložit v teple a třením končetin vyvolat zvýšení oběhu krve.

Při zasažení očí, okamžitě vymýt proudem čisté vody nebo ponořením hlavy do nádoby s vodou. Poté provádět přerušované oční výplachy 2% roztokem kyseliny citrónové nebo 3% borovou vodou. To se provádí tak, že po dobu 5 až 10 minut se vyplachují oči z uzavřené stříkací lahve s gumovým balónkem vždy po dobu 20 vteřin.

Při zasažení pokožky čpavkem, je nutné postižené místo oplachovat vodou, poté osušit ručníkem, postižené místa se nesmí třít.

Jestliže se kapalný čpavek dostane do styku přímo s pokožkou, nastává výlučně jen omrznutí. Zmrznutí jakékoliv části těla omezuje oběh krve. Přirozené obnovení oběhu je doprovázeno rudnutím a otékáním.

První pomoc při omrzlinách

- Postižený se dopraví do teplé místnosti, ne do přehřáté.
- Netřít část těla, která je postižena.
- Podává se v malém množství teplý čaj.
- Postižené místo se pokryje sterilním mulem, pak se zabalí vatou a zaváže pružným obinadlem.
- Nikdy neotevírat puchýře.
- Ihned vyhledat lékaře při větším rozsahu omrzlin.

3.6 Individuální ochrana

K individuální ochraně obyvatelstva před účinky amoniaku se využijí prostředky improvizované ochrany dýchacích cest, očí a povrchu těla v případě, kdy z technických a časových důvodů nebude možno zabezpečit evakuaci ohrožených osob nebo jejich účinné ukrytí.

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

Prostředky improvizované ochrany jsou jednoduché pomůcky, které si občané připravují svépomocí z dostupných prostředků a které omezeným způsobem nahrazují prostředky individuální ochrany.

3.6.1 Možné způsoby improvizované ochrany

- Ochrana dýchacích cest
navlhčená rouška (prodyšný textil - gáza, plátno, kapesník, ručník, utěrka) přiložená na nos a ústa a v zátylku upevněná šálou nebo šátkem, pro zvýšení účinnosti navlhčit roušku,

proti zásaditým látkám (amoniak) v 10% roztoku kyseliny citrónové.

- Ochrana očí

motocyklové, lyžařské, potápěčské, ochranné pracovní a podobné brýle (větrací průduchy přelepit lepicí páskou),

krajním řešením je přetažení průhledného igelitového sáčku přes hlavu a jeho stažením tkanicí nebo gumou v úrovni lícních kostí.

- Ochrana povrchu těla

Hlava - čepice, šátky a šály, přes které je vhodné převléci kapuci, případně nasadit ochranné přilby (motocyklové, pracovní ochranné, cyklistické, lyžařské atd. - chrání i před padajícími předměty) tak, aby byly úplně zakryty vlasy a použitá pokrývka chránila také čelo, uši a krk.

Trup - nejvhodnější jsou dlouhé kabáty, bundy, kalhoty, kombinézy, šustákové sportovní soupravy, pláštěnky nebo gumové pláště (s dostatečným utěsněním u krku, rukávů a nohavic).

Ruce - nejvhodnější jsou gumové rukavice; nejsou-li k dispozici žádné rukavice, ovinou se ruce látkou, šátkem, igelitovým sáčkem apod., ke krátkodobé ochraně před přímým stykem se škodlivými látkami.

Nohy - nejvhodnější jsou gumové a kožené holínky, kožené vysoké boty a kozačky.

3.6.2 Návrat z kontaminovaného prostoru

Při návratu z kontaminovaného prostoru je potřeba:

- Odložit před vchodem veškerý svrchní oděv (nejlépe zavázat do igelitového pytle nebo uzavíratelné nádoby).
- Podle možností osprchovat celé tělo.
- Obléci čistý (nekontaminovaný) oděv.

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

3.7 Neodkladná opatření

- Opuštění zasaženého prostoru a jeho uzavření.
- Varování v další ohrožené oblasti.
- Vyřadit veškeré zdroje vznícení, zákaz kouření, vypnout motory vozidel.
- Vytvoření omezujících a ochranných vodních clon.
- Zastavení nebo omezení dalšího úniku.

3.8 Asanace

Asanace představuje soubor opatření k obnově lokality dotčené mimořádnou událostí do úrovně přírodního a přirozeného standardu. Asanace je odstranění kontaminace z prostoru mimořádné události.

Dekontaminace je proces, při kterém se odstraňuje kontaminant na bezpečnou úroveň. Kontaminace je zasažení (osob, zvířat, techniky, budov, životního prostředí) chemickými, radioaktivními nebo biologickými látkami.

Dekontaminaci v prostoru úniku nebezpečné látky provede odborná firma zabývající se dekontaminací nebezpečných látek, pod dohledem odboru životního prostředí MěÚ Blansko. Náklady hradí viník nehody. Doporučený postup při dekontaminaci:

- Budovy a venkovní zařízení omývat tříštěným proudem vody.
- Vnitřky budov intenzivně větrat.
- Terén lze asanovat nejlépe 3% roztokem kyseliny octové (nouzově lze užít i 3% roztok anorg. kyseliny).

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

4 INDEX CHEMICKÉHO OHROŽENÍ – METODA CEI

4.1 Popis metody CEI

Index chemického ohrožení, nebo-li metoda CEI (Chemical Exposure Index), slouží pro identifikaci zdrojů rizika. Touto metodou se dá relativně jednoduše posoudit kvantitativnost potenciačního ohrožení lidského zdraví při úniku nebezpečné chemické látky v blízkosti chemických provozů. Metoda se nespecifikuje na nebezpečí požáru či výbuchu. Pro hodnocení takových nebezpečí jsou používány jiné metody, např. Index požáru a výbuchu – metoda FEI.

V metodě CEI nelze určit absolutní míru rizika na člověka, zvířata a okolí, ale pouze umožňuje vzájemné relativní porovnání různých zdrojů rizika. Metoda neumí rozhodnout o tom, zda provoz je nebo není bezpečný!

CEI se používá pro nové nebo stávající zařízení, na skladování či zpracování nebezpečných toxických látek.

4.2 Účel použití metody CEI

- Screening, neboli pro úvodní analýzy, studie procesního nebezpečí (zdrojů rizika).
- Pro stanovení Distribution Ranking Index (DRI).
- Při doporučení pro eliminaci, redukci a zmírnění následků účinků všech jednotek.
- Pro účely havarijního plánování.

4.3 Podklady pro metodu CEI

- Přesný plán závodu a jeho okolí.
- Technologické schéma obsahující skladovací kapacity, chemické aparáty a důležité potrubní větve v závodu.
- ERPG/EEPG hodnoty a hodnoty chemických a fyzikálních vlastností posuzovaných látek.
- Příručku k výpočtu metody CEI.
- Formulář CEI.

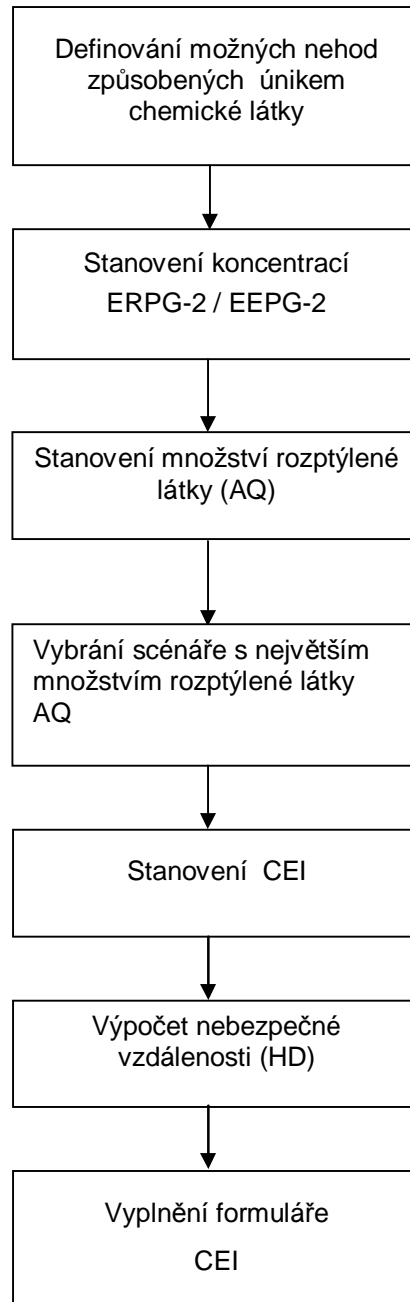
4.4 Postup metody CEI

- Všechny větve a zařízení, která přispívají k významnému úniku toxické látky, je třeba identifikovat v technologickém schématu.
- Určit Index chemického ohrožení (CEI) a stanovit nebezpečnou vzdálenost (HD).
- Vyplnit CEI formulář.

Pokud je hodnota CEI větší než 200, potom jednotka vyžaduje další posouzení bezpečnosti.

Vývojový diagram metody CEI

[1]



4.5 Koncentrační hodnoty ERPG/EEPG

Podle Americké asociace pro průmyslovou hygienu jsou hodnoty ERPG koncentrací, které představují přípustné hodnoty koncentrací škodlivin tam, kde se předvídají nepříznivé účinky. EEPG hodnoty se stanovují tehdy, když neexistují ERPG. Stanovuje je asociace AIHA a jsou DOW-ekvivalenty k ERPG.

- **ERPG-1/EEPG-1**

Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez výrazných zdravotních změn. [1]

- **ERPG-2/EEPG-2**

Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity. [1]

- **ERPG-3/EEPG-3**

Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez toho, aby byl smrtelně ohrožený. [1]

4.6 Scénáře pro odhad rozptylu uniklé látky

- **Potrubní větve**

Roztržení potrubní větve s největším průměrem potrubí:

- Úplné roztržení – pro průměry potrubí menší než 2 palce.
- Úplné roztržení potrubí \varnothing 2 palce - pro průměry potrubí od 2 do 4 palců.
- Protržení odpovídající 20 % průřezu - pro průměry potrubí větší než 4 palce.

- **Hadice**

Úplné roztržení hadice při plnění/stáčení cisterny..

- **Zásobníky**

Podle kritérií uvedených u potrubí se předpokládá roztržení potrubí největšího průřezu připojeného k aparátu.

- **Přetlakové ventily s vyústěním přímo do atmosféry**

Určí se celkové množství unikající při otevíracím tlaku pojišťovacího ventilu. Předpokládá se veškerý unikající materiál rozptýlený do ovzduší.

- **Přeplněný zásobník a rozlití kapaliny**

- **Ostatní**

Možné scénáře mohou být určeny na základě provozních nebo technologických zkušeností, mohou být odvozeny z bezpečnostních studií (studií procesního rizika) nebo výsledkem kontrol.

U všech scénářů je předpokladem pětiminutové trvání kontinuálního úniku. Jestli se za uvedený čas uvolní celkový objem, pak je úniková rychlost rovna celkovému objemu podělenému pěti minutami.

4.7 Stanovení množství rozptýlené látky po úniku do atmosféry

Celkové množství rozptýlené látky se skládá z množství unikajícího ve formě plynu (par), ve formě odpařující se kapaliny a odparem z hladiny rozlité kapaliny. Metoda uvažuje scénáře pro únik kapaliny nebo páry. Únik látky v kapalném stavu vyžaduje podrobnější popis. K úniku kapaliny dochází trhlinou, netěsností.

Na obrázku 4.7.1 je znázorněn únik kapaliny z aparátu, zásobníku nebo z potrubí, která na zemi vytvoří louži.



Obrázek 4.7.1 Únik kapaliny ze zásobníku, vznik louže

[1]

Pokud se kapalina současně částečně odpařuje a současně vytváří louži, pak se jedná o obrázek 4.7.2.



Obrázek 4.7.2 Únik kapaliny ze zásobníku, vznik louže a částečný

[1]

Louže se nevytváří, kapalina je formě malých kapek, které jsou unášeny spolu s parami. viz. obr.4.7.3



Obrázek 4.7.3 Únik kapaliny ze zásobníku, okamžitý vznik par

[1]

4.8 Výpočet množství rozptýlené látky při úniku NH₃

4.8.1 Hodnoty pro výpočet CEI

Množství látky	m	6000	Kg
Normální bod varu NH ₃	T _b	-33,4	[°C]
Molekulární hmotnost NH ₃	MW	17,03	[mol]
Poměr CP / Hv	CP / Hv	4,01E-03	[°C]
Teplota uvnitř zásobníku	T _s	25	[°C]
Hustota kapaliny v zásobníku	ρ ₁	625	[kg/m ³]
Tlak uvnitř zásobníku	P _g	1064	[kPa]
Průměr potrubí	D	80	[mm]
Výška hladina nad místem úniku	Δh	1	[m]
ERPG hodnoty NH ₃	ERPG 3	696	[mg/m ³]
	ERPG 2	139	[mg/m ³]
	ERPG 1	17	[mg/m ³]

Nejrizikovější je část potrubní větve, kde se nachází zásobník amoniaku. Podle metody CEI a kritéria pro potrubní větve, kde průměr potrubí je 80 mm (2 – 4 palce), je uvažováno úplné roztržení o průměru 2 palce, čemuž odpovídá průměr 50,8 mm.

4.8.2 Rychlost výtoku unikající kapaliny

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} \cdot D^2 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot P_g}{\rho_1} + 9,8 \cdot \Delta h} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{rovnice 1})$$

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} \cdot 50,8^2 \cdot 625 \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot 1064}{625} + 9,8 \cdot 1}$$

$$\underline{\underline{L = 63,0 \text{ kg/s}}}$$

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

4.8.3 Stanovení celkového množství uniklé kapaliny

$$W_T = 15 \cdot 60 \cdot L \quad [\text{kg}] \quad (\text{rovnice 2})$$

$$W_T = 900 \cdot L$$

$$W_T = 900 \cdot 63,0$$

$$\underline{W_T = 56\,702 \text{ kg}}$$

W_T je větší než celkové množství látky v zásobníku, proto dojde k jeho úplnému vyprázdnění a celkového množství uniklé kapaliny bude rovno objemu látky v zásobníku.

$$\underline{W_T = 6\,000 \text{ kg}}$$

4.8.4 Výpočet odpařeného množství (podílu) kapaliny

$$F_v = \frac{C_p}{H_v} \cdot (T_s - T_b) \quad [-] \quad (\text{rovnice 3})$$

$$F_v = 0,00401 \cdot [25 - (-33,4)]$$

$$\underline{F_v = 0,234}$$

Jestliže $F_v \geq 0,2 \leftrightarrow$ louže se neutváří a potom celý unikající proud zůstává ve fázi páry.

4.8.5 Množství kapaliny odpařené již při úniku kapaliny

$$AQ_f = L \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{rovnice 4})$$

$$\underline{AQ_f = 63,0 \text{ kg/s}}$$

4.8.6 Odpar kapaliny z povrchu louže

Louže se neutváří, $F_v \geq 0,2$

$$\underline{AQ_p = 0 \text{ kg/s}} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{rovnice 5})$$

4.8.7 Výpočet celkového rozptýleného množství

$$AQ = AQ_f + AQ_p \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{rovnice 6})$$

$$AQ = 63,0 + 0$$

$$\underline{AQ = 63,0 \text{ kg/s}}$$

4.9 Výpočet indexu chemického ohrožení

Pro všechny výpočty CEI se předpokládá rychlost větru 5 m/s a neutrální povětrnostní podmínky.

$$CEI = 655,1 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 2}} \quad [-] \quad (\text{rovnice 7})$$

$$CEI = 655,1 \cdot \sqrt{\frac{63,0}{139}}$$

$$\underline{CEI = 441,0}$$

4.10 Výpočet nebezpečné vzdálenosti

$$HD_1 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG-1}} \quad [m] \quad (\text{rovnice 8})$$

$$HD_1 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{63,0}{17}}$$

$$\underline{\underline{HD_1 = 12\,611,1\,m}} \Leftrightarrow \underline{\underline{10\,000\,m}}$$

$$HD_2 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG-2}} \quad [m] \quad (\text{rovnice 9})$$

$$HD_2 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{63,0}{139}}$$

$$\underline{\underline{HD_2 = 4\,410,3\,m}}$$

$$HD_3 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG-3}} \quad [m] \quad (\text{rovnice 10})$$

$$HD_3 = 6551 \cdot \sqrt{\frac{63,0}{696}}$$

$$\underline{\underline{HD_3 = 1\,970,9\,m}}$$

4.11 Shrnutí metody CEI

Hodnota Indexu chemického ohrožení vyšla výpočtem CEI = 441. Tato hodnota značně převyšuje hodnotu 200, která je limitní pro nutnost dalšího posouzení nebezpečné jednotky. Proto se chladicí stanice jeví jako nebezpečná a je nutné ji podrobit dalšímu posouzení bezpečnosti.

Možnou alternativou dalšího stanovení rizika se nabízí metoda ALOHA (Area Locations of Hazardous Atmospheres) – výpočetní model pro modelování následků závažných havárií.

4.12 Souhrnný formulář CEI

Zařízení: Zásobník čpavku Umístění: Vně budovy
 Chemická látka: NH₃ Celkové množství v zařízení: 6 000 kg
 Největší obsah jednoho zásobníku: _____

Plak v zásobníku: 1 064 kPa Teplota látky: 25°C

1. Hodnocený scénář: Únik NH₃ ze Zásobníku

2. Celkové množství rozptýlené látky podle scénáře: **63,0 kg/s**

3. Index chemického ohrožení: 441,0

4.	<u>Koncentrace</u>		<u>Dosah ohrožení</u>
	<u>mg/m³</u>	<u>ppm</u>	<u>m</u>
ERPG-1/EEPG-1	<u>17</u>	<u>25</u>	<u>10 000</u>
ERPG-2/EEPG-2	<u>139</u>	<u>200</u>	<u>4 410</u>
ERPG-3/EEPG-3	<u>696</u>	<u>1000</u>	<u>1 971</u>

5. Vzdálenosti:

K veřejnosti (obecně uvažovaná hranice podniku) 20m

K dalšímu zařízení podniku: 40m

Ke sportovnímu stadionu 60m

K hlavní silnici: 183m

Zhotovil(a): Lenka Nedomová Datum: : 15.1.2008

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

5 ALOHA

5.1 Popis metody ALOHA

Pro modelování následků chemické havárie a pro účely havarijního plánování byl předními odborníky vyvinut počítačový program Areal Locations of Hazardous Atmospheres, nebo-li program ALOHA.

5.2 Účel použití

ALOHA umožňuje předpovědět množství par chemické látky, které se uvolní do ovzduší při úniku nebezpečné chemické látky z roztrženého nebo poškozeného plynového potrubí, netěsností nádrže nebo odpařováním chemické látky z volné hladiny, dále umožňuje předpovědět, jak se oblak nebezpečných par rozptýlí v ovzduší v závislosti na fyzikálních vlastnostech a meteorologických podmínkách a také velikost a tvar plochy zasažené únikem při chemické havárii, kde je možné riziko vystavení obyvatelstva koncentracím toxického plynu. Rychle poskytne grafické řešení, v závislosti na okolnostech a podmínkách úniku, odhadu koncentrace uniklé látky.

5.3 Podklady pro metodu ALOHA

Podklady pro metodu jsou nezbytné a velmi důležité pro přesné určení následků chemické havárie a jsou specifikovány přesným postupem programování.

- Poloha, čas a datum, kde došlo k náhodnému úniku chemické látky.
- Výběr sledované chemické látky.
- Zadání údajů z hydrometeorologické růžice o současné povětrnostní situaci
- Typ úniku chemické látky ze systému a jeho popis.
- Zobrazení tzv. stopy (půdorys mraku par), která vymezuje oblast s takovou koncentrací chemické látky v ovzduší, která představuje riziko pro obyvatele.

V závislost na poloze a směru větru od místa úniku toxické látky nám grafické výstupy umožní předpovědět koncentrace uvnitř a vně budovy a dávky, které budou lidé v daném místě vystaveni.

5.4 Modelování rozptylu látek v ovzduší

Jak už bylo zdůrazněno, program umožňuje modelování rozptylu látky v ovzduší. ALOHA je ale pouze nástroj pro modelování. Věrohodnost a použitelnost výsledků závisí na správné interpretaci vstupních dat. Výběr modelu vhodného pro řešení konkrétního případu závisí na rozsahu řešené úlohy, na výši podrobnosti vstupních dat potřebné pro požadované výstupy, na znalostech budoucího uživatele a času potřebného pro výpočet a kompletaci výsledků.

5.5 Faktory uvažované v modelu

- Rozptyl

- Okamžitý var a dvoufázový tok

5.5.1 Charakteristika rozptylu

Rozptyl je termín používaný při modelování děje zahrnujícího přenos prouděním a difúzí. Prouděním se mrak nebezpečné látky šíří ve směru větru a díky difúzi i kolmo na směr a směrem vertikálním. Proti směru proudění větru se může v malé míře šířit plyn, který je hustější nebo těžší než vzduch. Takovému plynu říkáme těžký plyn.

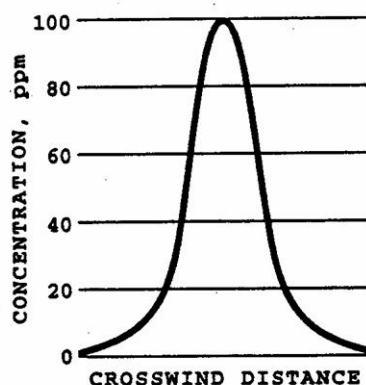
Výsledek modelování disperze mraku plynu v ovzduší zobrazí ALOHA v grafu. Stopa mraku, nebo-li footprint je plocha při pohledu shora a na této ploše se dá očekávat koncentrace nebezpečné úrovně. Pro zobrazení stopy mraku se musí ale nejdříve zadat prahová hodnota koncentrace. Nejčastěji je to hodnota LOC (Level of Concern), která značí úroveň znepokojení a tedy koncentraci plynu nebezpečného pro obyvatelstvo. Stopa mraku pak znázorňuje plochu, na které přízemní hodnota koncentrace nebezpečného plynu převyšuje hodnotu LOC v daném čase od počátku úniku.

ALOHA využívá pro modelování rozptylu dva základní modely:

- Gaussův model.
- Model pro těžký plyn.

5.5.1.1 Gaussův model

Ke stanovení rozptylu plynu v Gaussově modelu se využívá plyn, který má podobnou hustotu jako vzduch. Pohyb molekul uniklého plynu ve vzduchu zajišťuje vítr a atmosférické turbulence. Oblak uniklého plynu se pohybuje ve směru větru a zároveň, vlivem turbulentního prodění, se rozptyluje kolmo a svisle na směr proudění větru.

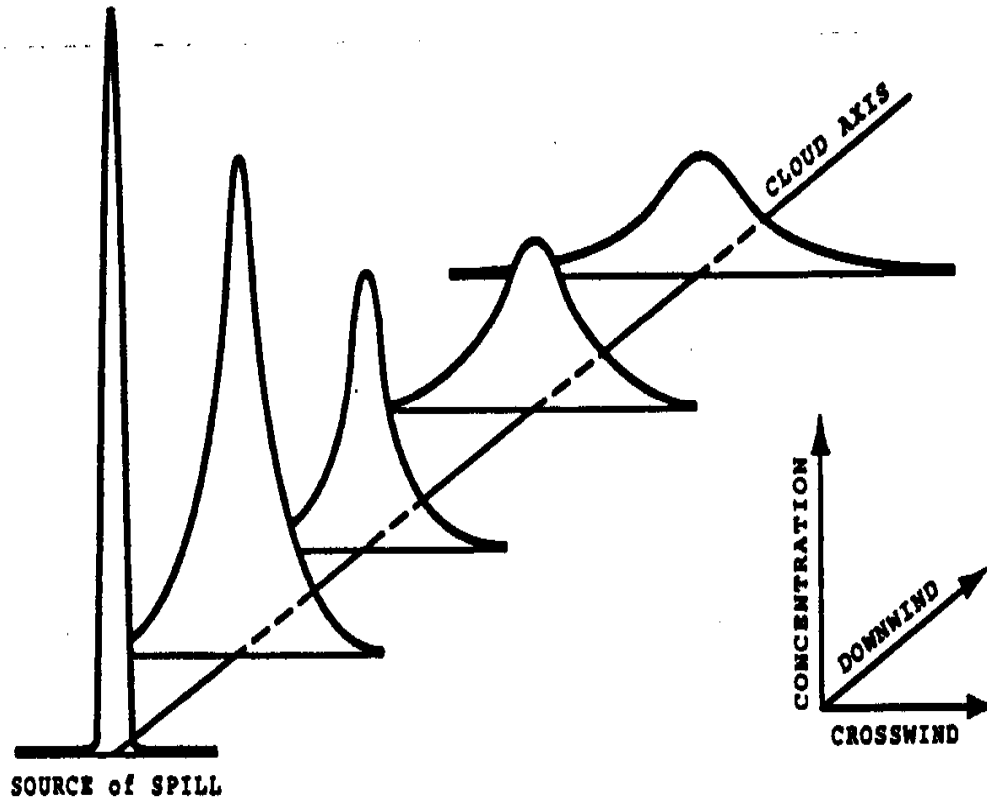


Obrázek 5.5.1.1.1 Zvonovitá křivka Gaussova rozložení koncentrací

[2]

V Gaussově modelu je grafické znázornění koncentrace plynu pohybujícího se mraku zvonovitá křivka, vysoká ve středu (kde je koncentrace nejvyšší) a klesající po stranách (kde je koncentrace nižší). Přesně v místě úniku, je koncentrace

unikajícího plynu velmi vysoká, neboť plyn nemůže difundovat na velkou vzdálenost kolmo na směr a proti směru větru, takže graf koncentrace oblaku u zdroje vypadá jako jehla. Jak oblak plynu unáší vítr dále od místa úniku, tak se tvar grafu (zvonovitá křivka) stává širší a nižší, viz. obr.5.5.1.1.2.



Obrázek 5.5.1.1.2 Gaussovský model rozptylu látky

[2]

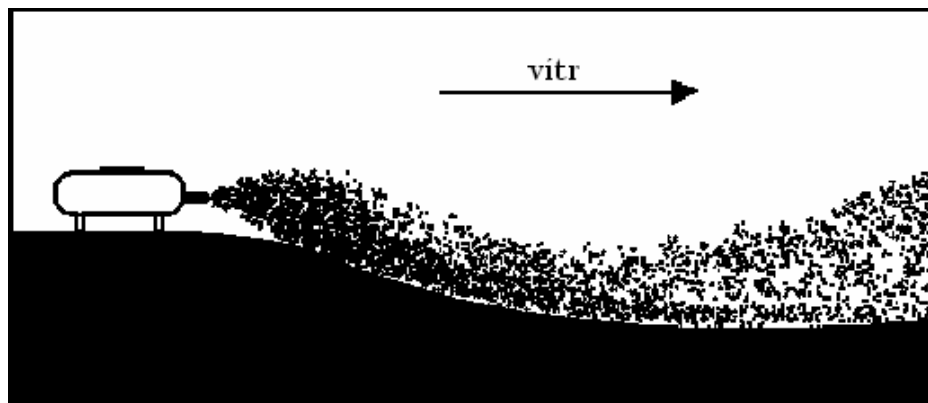
5.5.1.2 Těžké plyny

Těžký plyn se chová jako těžký, když je jeho molekulová hmotnost větší než je molekulová hmotnost vzduchu a pokud dojde k úniku jeho většího množství. Při pokojové teplotě jsou sice plyny jako je amoniak lehčí jak vzduch, ale pokud jsou skladovány při nízkých (kryogenních) teplotách, potom mohou vytvořit rovněž mrak těžkého plynu. Program ALOHA považuje plyn, který má svoji hustotu větší jak je hustota vzduchu (hustota vzduchu je asi $1,1 \text{ kg/m}^3$), za těžký plyn. Tento unikající plyn je velmi chladný a proto velmi hustý a při úniku proto vytvoří mrak těžkého plynu.

Chování plynu těžšího než vzduch je zpočátku velmi odlišné od chování plynu se skoro totožnou hustotou jako vzduch. Protože je těžší než okolní vzduch, tak plyn nejdříve klesá k zemi, ale vlivem gravitace a pohybu ve směru větru se oblak začne rozprostírat. Výsledkem je šíření oblaku, od místa úniku, směrem vzhůru a proti směru větru. Jak se mrak vzdaluje po směru větru od místa úniku je oblak více

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

zředěný a hustota plynu se přibližuje hustotě vzduchu. V okamžiku, kdy je koncentrace těžkého plynu v okolním vzduchu okolo 1 %, potom se začíná zředěný plyn chovat jako neutrální vznosný plyn. Pro většinu malých úniků k tomu dojde již ve vzdálenosti několika metrů. V případě většího úniku k tomu jevu dojde až ve větší vzdálenosti od zdroje ve směru větru. Na obr.5.5.1.2.1 vidíme vliv gravitace na rozptyl těžkého plynu.



obrázek 5.5.1.2.1 Vliv gravitace na rozptyl těžkého plynu

[2]

5.5.2 Okamžitý var a dvoufázový tok

Většina chemických látek se skladuje ve zkapalněném stavu při dostatečně vysokém tlaku. Podmínkou je, aby látka za normálního tlaku a teploty byla v plynné fázi. Když dojde k poruše ventilu nebo roztržení zásobníku, v nádrži se zkapalněným plynem poklesne tlak a kapalina přejde do prudkého varu. Tím kapalina zpění a vznikne směs zvaná aerosol. Aerosol je směs plynu a kapek čisté kapaliny. Okamžitý var je způsoben ztrátou tlaku a rychlým vypařováním kapaliny. Dvoufázový tok je únik kapalné fáze a zároveň únik fáze plynné. Při dvoufázovém toku je množství uniklé látky, oproti úniku čistého plynu, mnohem větší. Tím se při úniku ze zásobníku vytvoří mrak těžkého plynu. Mrak je zpočátku studený, proto hustý a z důvodu přítomnosti dvoufázové směsi zčásti těžký. Mrak je tlačěn k zemi vlivem kapiček aerosolu obsažených v mraku, které zvyšují hmotnost a hustot mraku. K ochlazení mraku dojde odpařováním kapiček.

5.6 Automatická volba modelu v programu ALOHA

K automatické volbě výpočtu rozptylu chemické látky v programu ALOHA dojde, s přihlédnutím k molekulární hmotnosti, teplotě mraku a velikosti úniku, pomocí Gaussova modelu nebo pomocí modelu pro těžký plyn. U chemických látek s molekulovou hmotností menší než vzduch, a které jsou skladovány buď za vysokého tlaku nebo za nízké teploty, je místo automatického výběru potřebné uplatnit volbu vlastního modelu. Typickým představitelem plynu, který se při úniku chová jako těžký plyn, je amoniak. V tomto případě nemá ALOHA dostatek informací o úniku látky a může nastat situace, kdy při volbě výpočtového modelu nemůže posoudit, zda se mrak těžkého plynu vytvoří. ALOHA tedy provede výpočet dle Gaussova modelu a

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

upozorní na posouzení případu i dle modelu pro těžký plyn. Potom je tedy nutné zopakovat výpočet i pro model těžký plyn a oba výsledky porovnat.

5.7 Aplikační možnosti

Model ALOHA nemůže dát výsledky přesnější než jsou informace, které jsou do programu vkládány. A tak jako jakýkoliv jiný model, může v určitých situacích ALOHA, i přes nejpřesnější vstupní data, být nespolehlivá. Některé druhy úniků není možno modelovat ALOHAU vůbec.

Nespolehlivé výsledky metody ALOHA za předpokladu přesných vstupních údajů mohou nastat za podmínek:

- velmi malá rychlost větru
- velmi stabilní atmosférické podmínky
- změny větru a vliv terénních nerovností (překážek)
- koncentrační nepravidelnost/různorodost, zejména blízko zdroje úniku

5.7.1 Velmi malá rychlost větru

Pokud se údaj o směru proudění větru nebude lišit od údaje, který byl zadán, ALOHA vykreslí stopu mraku, která přesně znázorňuje polohu nebezpečného mraku. Malá rychlost větru zhoršuje určení směru proudění větru. ALOHA podél stopy nebezpečného mraku zobrazí změnu směru větru na změnu polohy mraku dvěma přerušovanými čarami. Přerušovaná čára je zobrazena ALOHAU s předpokladem, že nebezpečný mrak se vlivem změny směru větru během 95% sledované doby nepřesune mimo tyto hranice. Hranice tvaru kruhu pro ALOHAU znamená, že ve výšce 10 metrů je rychlost větru 1 m/s. Jak se zhoršuje předvídatelnost směru větru, zvětšuje se i zóna mezi čarami a tvar mraku přestává být kruhový.

5.7.2 Velmi stabilní atmosférické podmínky

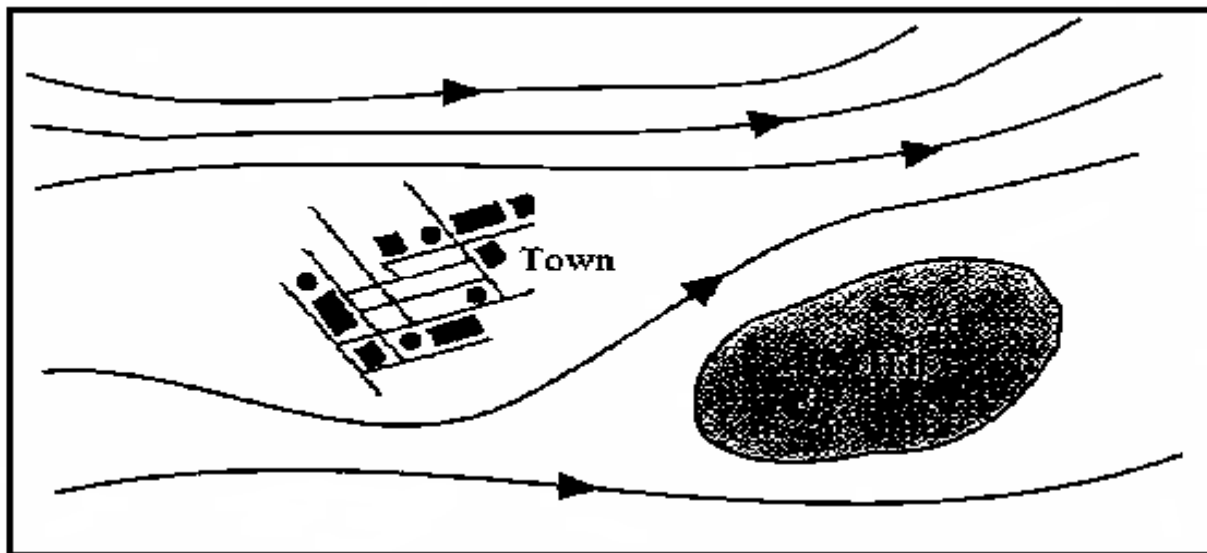
Velmi slabý vítr, při kterém nedochází k promíchání oblaku plynu s okolním vzduchem, nastává při největší stabilitě atmosférických podmínek. Tím mohou i ve velké vzdálenosti od místa úniku zůstat koncentrace nebezpečného plynu velmi vysoké. Vliv na vysokou koncentraci ve velké vzdálenosti a na délce setrvání mraku na místě mají vliv i prohlubeniny v terénu a údolí. Proto ALOHA nedokáže v nízkopoložených oblastech namodelovat vytvoření vysoké koncentrace nebezpečného plynu.

ALOHA není příliš spolehlivá při velmi stabilních atmosférických podmínkách, které představují nebezpečnou situaci. V této situaci musíme uvážit, zda se páry chemické látky budou chovat jako těžký plyn a zkontrolovat topografii terénu, která ovlivní zachycení nebo promíchání disperzního mraku.

5.7.3 Vliv změn směru větru a terénních nerovností

ALOHA dovoluje zadat pouze jeden údaj pro rychlost větru a směr proudění větru. Dále se předpokládá, že rychlost a směr větru se nemění (v jakékoli výšce) v celé oblasti po směru větru zasažené chemickou látkou. ALOHA při výpočtu předpokládá, že zemský povrch je pod rozptýlovaným mrakem rovný bez překážek. Ve skutečnosti však vítr obvykle mění rychlost a směr podle toho, jak po svazích

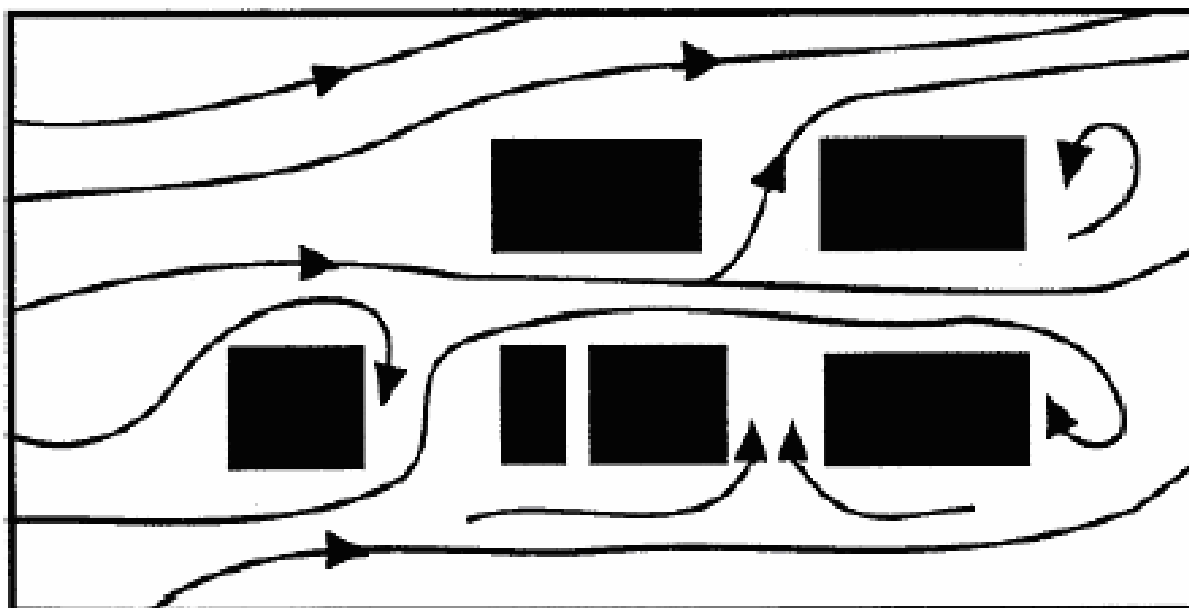
stoupá nahoru nebo klesá dolů, proudí mezi kopci nebo dolů do údolí a odchyluje se ze svého směru v místech, kde se mění rysy terénu. Jev, při kterém dochází vlivem terénu k promíchání vzduchu s parami se nazývá promíchávání vlivem terénu, viz. obr.5.7.3.1.



Obrázek 5.7.3.1 Vliv terénu na změny směru větru

[2]

V zastavěné oblasti (Urban area) proudí vítr kolem velkých budov, vytváří víry, mění směr a rychlost, což podstatně ovlivňuje tvar a směr pohybu mraku par. Ulice lemované velkými budovami tvoří úzké údolí a může dojít k "proudění větru ulicí" (tzv. "street canyon" wind) viz. obr.5.7.3.2, což omezuje a usměrňuje rozptylovaný oblak. ALOHA nebere tyto vlivy do úvah, když tvoří stopu mraku, stopa mraku se zakreslí nad nebo přes možnou terénní překážku (např. budova).



Obrázek 5.7.3.2 Lokální změny směru větru

[2]

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

Protože vítr pravděpodobně bude měnit rychlost a směr proudění v závislosti na vzdálenosti a čase, je platnost výstupních údajů o rozptylu omezená. ALOHA nemůže předpovědět situaci na dobu delší než je 1 hodina po začátku úniku chemické látky nebo pro vzdálenosti větší než 10 km od místa úniku (ALOHA ořezává stopu mraku delší než 10 km). Časové omezení na 1 hodinu od začátku úniku vyplývá z pravděpodobných změn z hlediska rychlosti a směru proudění větru. Jeden z důvodů omezení vzdálenosti na 10 km je skutečnost, že neznáme rychlost a směr proudění větru ve vzdálenosti 10 km a nelze předpokládat, že jsou totožné jako v místě úniku. Jestliže zadáme nesprávné údaje o směru a rychlosti větru, potom odhad velikosti a polohy stopy mraku nebude pravdivý.

5.7.4 Koncentrační nepravidelnost/různorodost

Nikdo nedokáže s jistotou předpovědět koncentraci uniklého plynu uvnitř mraku v určitém okamžiku po směru větru úniku, protože jsou to částečně údaje náhodné povahy. ALOHA ukazuje koncentrace, které představují střední hodnoty pro časový interval několika minut (přitom používá zákonů pravděpodobnosti a meteorologických znalostí o stavu ovzduší). ALOHA předpoví, jaká bude nejvyšší průměrná koncentrace v blízkosti místa úniku, podél středu nebezpečného oblaku, a také pokles koncentrace ve směru proudění větru a kolmo na tento směr. Nicméně, zvláště v blízkosti místa úniku větrný vír posunuje nebezpečným oblakem sem a tam a tak způsobuje, že koncentrace plynu na jednotlivých místech střídavě rostou a klesají. (Tento druh pohybu je důvěrně známý každému, kdo si zkoušel opéci buřty nad táborákem. Ať si sednete kdekoliv, kouř z ohně jde vždy přímo k Vám). Právě v tomto okamžiku, jsou průměrné koncentrace přibližně takové jak ALOHA předpovídá. Jak se mrak pohybuje s větrem od místa úniku a větrné víry oblak posouvají a rozptylují, koncentrace plynu v oblaku se stále více přibližují hodnotám, které předpověděla ALOHA.

5.8 ALOHA a její omezení použitelnosti

ALOHA verze 5.2., která byla modelování použita, nezahrnuje do výpočtu následující vlivy :

- Požár nebo chemické reakce.
- Částice.
- Topografie.

5.8.1 Požáry nebo chemické reakce

Kouř, který vzniklý hořením je horký, z počátku rychle stoupá vzhůru a tím vyvolá proudění vzduchu. ALOHA nepočítá s tímto zdrojem proudění. ALOHA také nepočítá s vedlejšími produkty hoření nebo chemické reakce jakéhokoliv druhu. ALOHA nepředpokládá, že rozptylující se mrak chemické látky reaguje s plyny nacházejícími se v ovzduší, jako je kyslík a vodní pára. Nicméně, mnoho chemických látek reaguje se suchým nebo vlhkým vzduchem, vodou, jinými chemickými látkami, nebo látka reaguje sama se sebou. Z důvodu těchto reakcí dochází k rozptylu zcela jiné látky, než původní látka uniká ze zdroje (zásobníku). V některých případech může být tento rozdíl natolik významný, že výsledky rozptylu modelované pomocí programu ALOHA budou nepřesné. Například při úniku aluminiumfosfátu a jeho následné reakci s vodou vzniká plyn fosfin. V takovém případě uniká do atmosféry

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

fosfin, a nikoliv aluminiumfosfát. Jestliže se má řešit taková událost, a pro stanovení půdorysné stopy se má použít ALOHA, potom je potřeba odhadnout, jaká je rychlost reakce mezi aluminiumfosfátem a vodou. V praxi se může ukázat, že je potřeba modelovat únik fosfinu, než únik aluminiumfosfátu.

5.8.2 Produkty částicové povahy

ALOHA do modelu nezahrnuje disperzi látek částicové povahy, včetně radioaktivních částic.

5.8.3 Roztoky a směsi

Pro jakýkoliv model je velmi obtížné správně předpovědět chování roztoků nebo směsí chemických látek, protože je obtížné přesně předpovědět tenzi par pro roztoky a směsi. Proto je ALOHA navržena pouze pro modelování úniku a rozptylu čistých látek a informace uvedené v knihovně jsou platné jen pro čisté chemikálie. ALOHA je dále ovlivněna i dalšími chemickými vlastnostmi, které mohou změnit odhady o úniku a rozptylu.

5.8.4 Terén

ALOH nedovoluje výpočet pro kaluž umístěnou v prohlubni nebo proud kapaliny stékající po šikmé ploše. ALOHA předpokládá, že půda pod netěsnou nádrží nebo louží je plochá a kapalina se rovnoměrně rozteče do všech směrů.

5.9 Kontinuální únik modelovacím programem ALOHA

5.9.1 Umístění zimního stadionu

- Poloha: BLANSKO, ČESKÁ REPUBLIKA
- Souřadnice Blanska: [49°21'47.288"N, 16°38'35.34"E]
- Souřadnice zimního stadionu: [49°21'49.569"N, 16°38'19.573"E]

5.9.2 Specifikace nebezpečné látky

- Název chemické látky: AMONIAK
- Molekulární hmotnost: 17,03 g/mol
- Bod varu: -33,5°C

5.9.3 Meteorologické podmínky

- Rychlost větru: podle větrné růžice 5 m/s ve výšce 10 m nad zemí
 - uvedena v Příloze 2
- Směr větru: podle větrné růžice převládá směr ze severu
 - uvedena v Příloze 2
- Počasí: bez inverzní počasí
- Oblačnost: 5/10
- Teplota vzduchu: 20°C

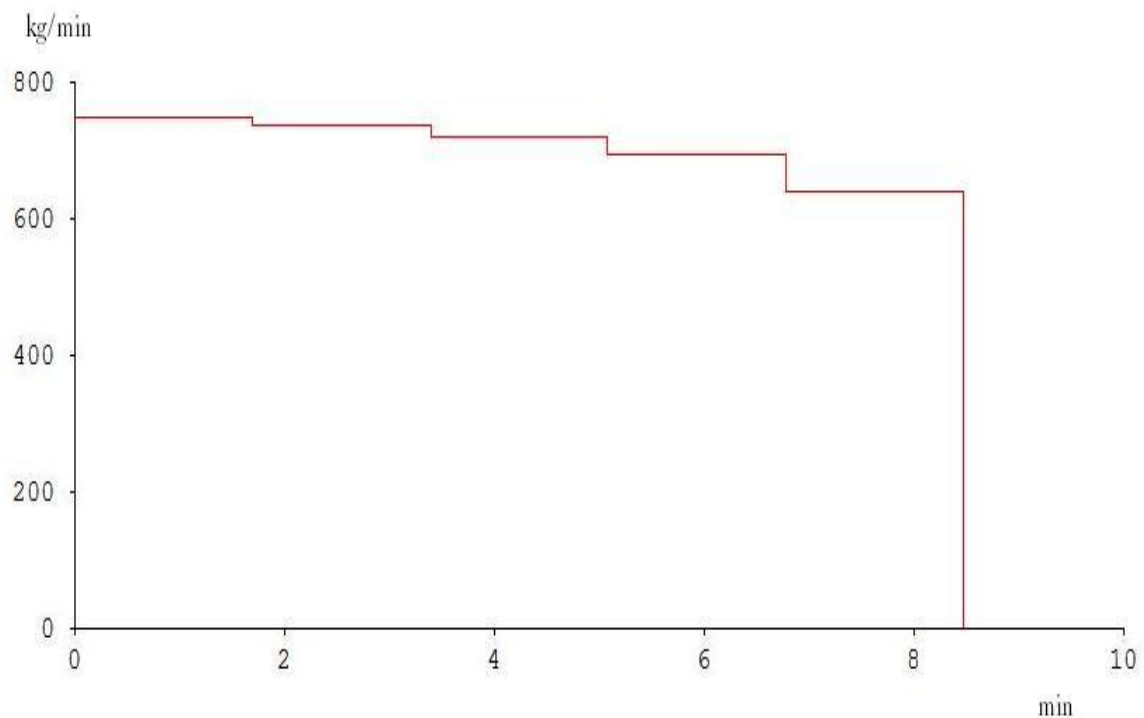
VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

- Třída stability: podle větrné růžice C
 - uvedena v Příloze 2
- Relativní vlhkost: 75%
- Charakteristické rysy krajiny: městská zástavba

5.9.4 Specifikace zdroje

- Druh úniku: z válcového horizontálního zásobníku, přetrhnutím trubky \varnothing 80 mm
- Průměr zásobníku: 2,00 m
- Délka zásobníku: 3,88 m
- Objem zásobníku: 12,20 m³
- Teplota okolí: 20°C
- Množství látky v zásobníku: 6 000 kg
- Naplnění zásobníku: 80%
- Průměr otvoru: 0,0508 m
- Otvor ode dna zásobníku: 0 m

Únik látky je uvažován jako směs plynu a aerosolu (dvoufázový tok)

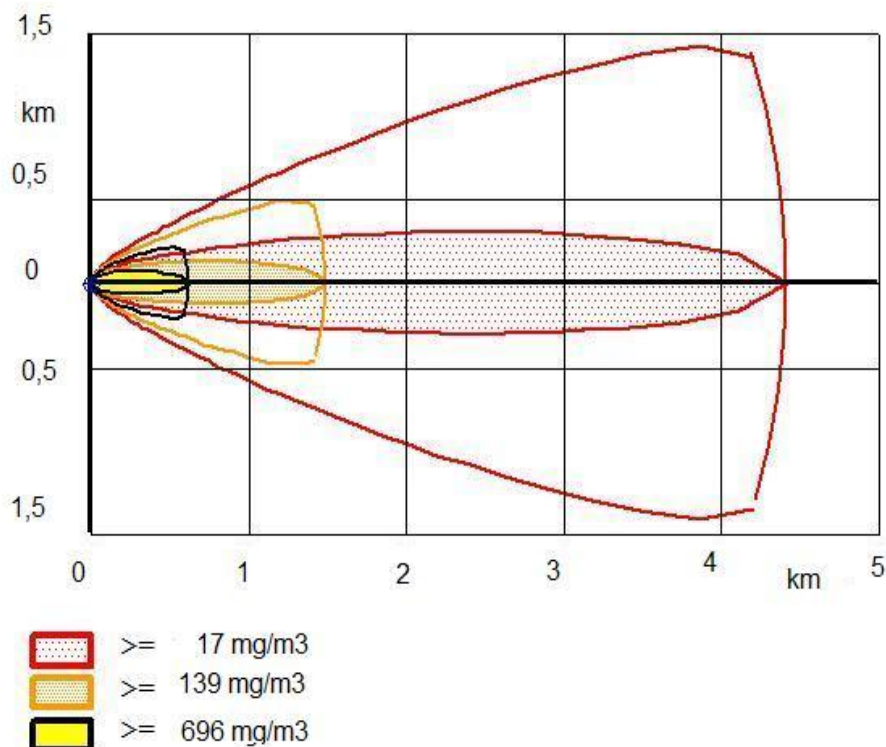


Graf 5.9.4.1 Model rychlosti úniku látky ze zásobníku

- Doba trvání úniku: 8 minut
- Maximální průměrná rychlost úniku: 748 kg/min
- (průměrná hodnota je uvažována po dobu trvání jedné minuty a více)
- Celkové uniklé množství chemické látky: 6 000 kg

5.10 Stanovení koncentrací oblastí ve směru větru

5.10.1 Oblast tří koncentrací pro těžký plyn



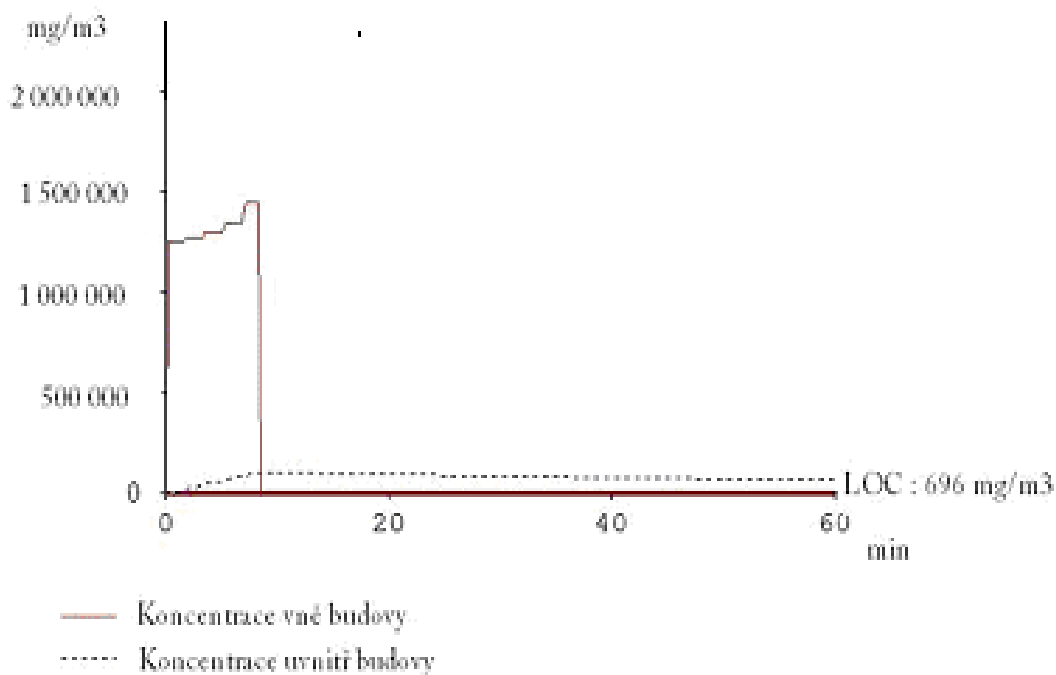
Graf 5.10.1.1 Grafické znázornění stopy mraku nebezpečné látky s třemi oblastmi koncentrace

Graf modeluje půdorysnou stopu mraku par uniknutého amoniaku a vymezuje oblasti koncentrací chemické látky v ovzduší pro ERPG-1, ERPG-2 a pro ERPG-3.

- LOC: 17 mg/m^3 : Maximální zasažená plocha: 4,5 km
- LOC: 139 mg/m^3 : Maximální zasažená plocha: 1,5 km
- LOC: 696 mg/m^3 : Maximální zasažená plocha: 0,625 km

5.10.2 Koncentrace nebezpečné látky u zdroje

- Souřadnice zdroje: ve směru větru – 0,0 km
kolmo na osu větru – 0,0 km



Graf 5.10.2.1 Grafické znázornění velikosti dávky u zdroje

Z grafu znázorňujícím velikost dávky přímo u zdroje je patrné, že koncentrace nebezpečné látky bude:

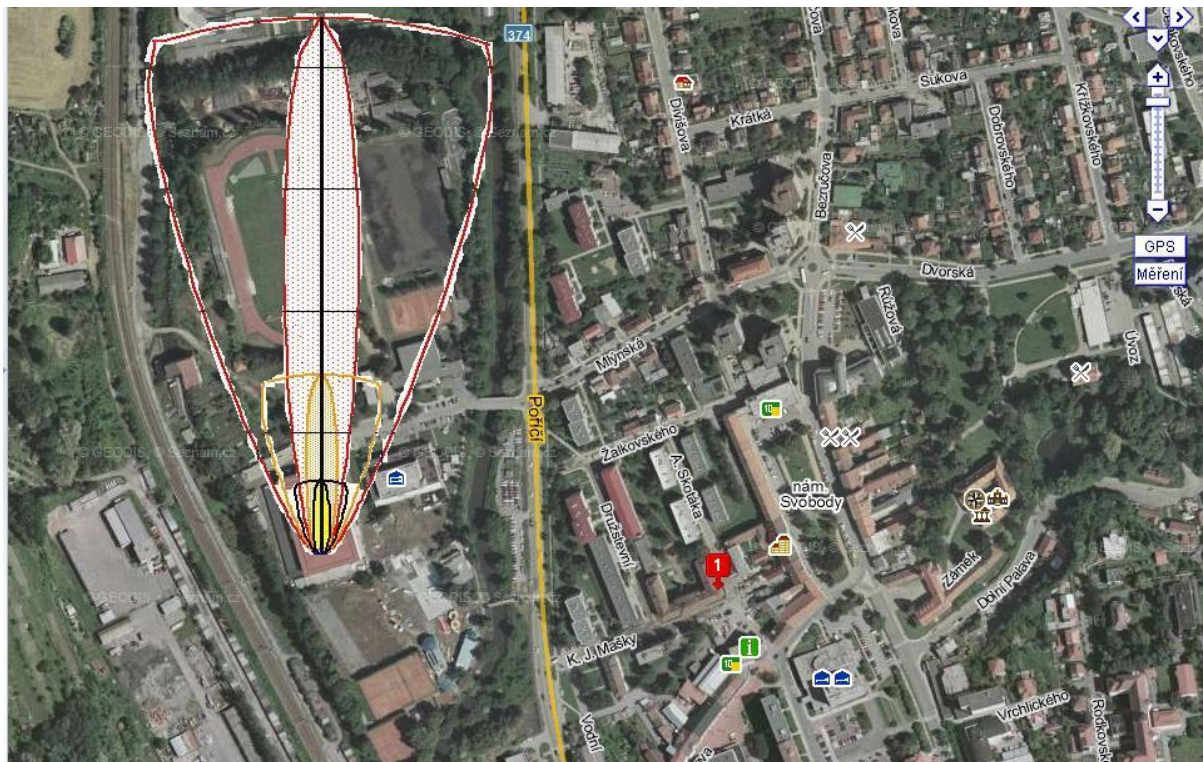
- uvnitř budovy – 104 000 mg/m³
- vně budovy – 1 440 000 mg/m³

5.10.3 Vyhodnocení situace

Ze zadaných parametrů a z údajů z větrné růžice (Příloha 2) do výpočetního modelu ALOHA vyšlo, že při nejčastějším větru ze severu a při rychlosti 5 m/s bude maximální zasažená plocha při ERPG-2, čemuž odpovídá LOC: 139 mg/m³, 1 500 m. Při 80% plnění zásobníku a při teplotě ovzduší 20°C bude maximální koncentrace u zdroje 1,44 x 10⁶ mg/m³ vně budovy a 1,04 x 10⁵ mg/m³ uvnitř budovy.

5.10.4 Zakreslení stopy mraku na mapě města

Na obr.5.8.4.1, znázorňujícím mapu Blanska v okolí zimního stadionu, je vidět rozsah mraku nebezpečné látky při úniku amoniaku.

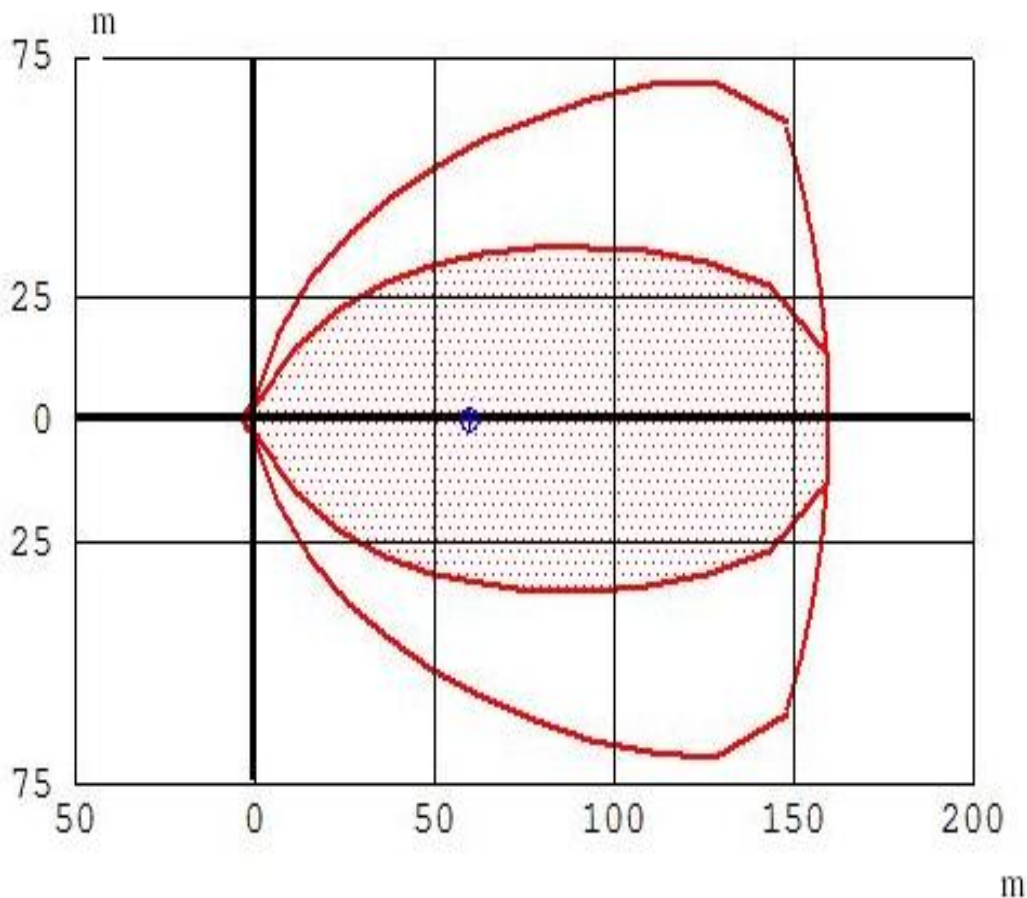


Obrázek 5.8.4.1 Stopa mraku na mapě města

5.11 Stanovení ohrožené oblasti pro hodnotu LC₅₀

Hodnota LC₅₀ označuje střední smrtelnou koncentraci (poloviční letální koncentrace) a je základní hodnotou pro posuzování akutní inhalační toxicity u aerosolů a plyných látek nacházejících se za normální teploty v parách. Pro amoniak je hodnota stanovena na hodnotu 6000 mg⁻³ (8 473 ppm) při expoziční době 30 min. Hodnota LC₅₀ nemůže být chápána jako absolutní číslo či biologická konstanta, charakterizující zkoušenou chemickou škodlivinu.

5.11.1 Oblast koncentrace LC₅₀ pro těžký plyn



Graf 5.11.1.1 Grafické znázornění stopy mraku nebezpečné látky při LC₅₀

Graf modeluje půdorysnou stopu mraku par uniknutého amoniaku a vymezuje oblasti koncentrace chemické látky v ovzduší pro LC₅₀.

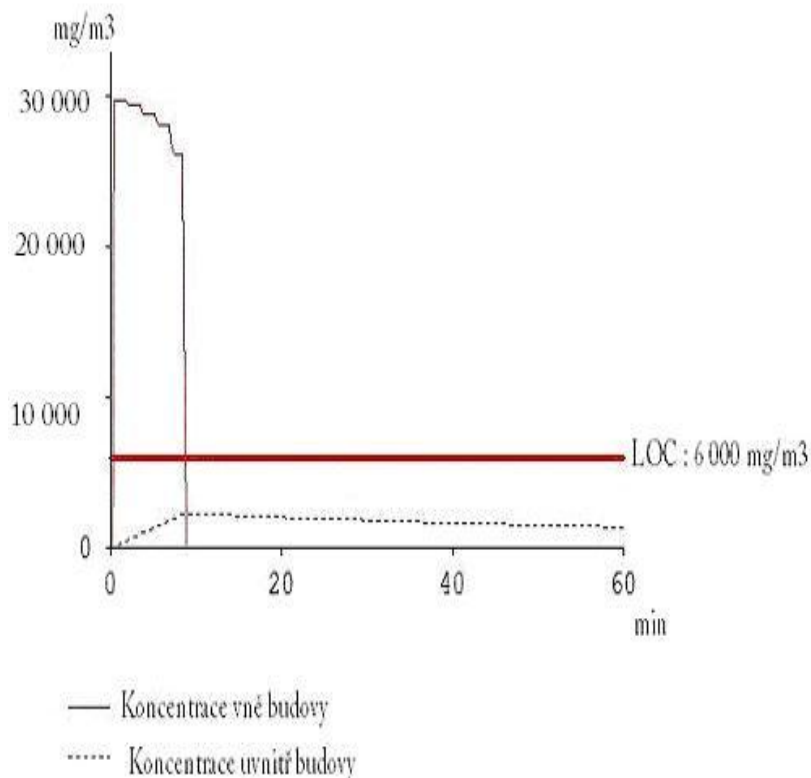
- LOC: 6 000 mg/m³ : Maximální dosah mraku: 160 m

5.11.2 Koncentrace nebezpečné látky v daném bodě

Ve vzdálenosti 60 m od zdroje rizika se nachází sportovní stadion. Sportovní stadion je umístěn po směru větru ze severu a při možném úniku by byl možným rizikem zasažení obyvatelstva nebezpečnou látkou.

- Souřadnice kontrolního bodu Sportovního stadionu :

ve směru větru – 0,06 km
kolmo na osu větru – 0,00 km



Graf 5.11.2.1 Grafické znázornění velikosti dávky 60 m od zdroje

Z grafu 5.9.2.1 je patrné, že doba trvání při koncentraci LC_{50} bude zhruba osm minut. Hodnota LC_{50} je ale navrhována po dobu trvání 30 minut, proto podmínky za niž by došlo ke střední smrtelné koncentraci nebudou naplněny.

Ve vzdálenosti 60 m, kde se nachází sportovní stadion, je patrné, že při hodnotě LC_{50} , bude koncentrace nebezpečné látky:

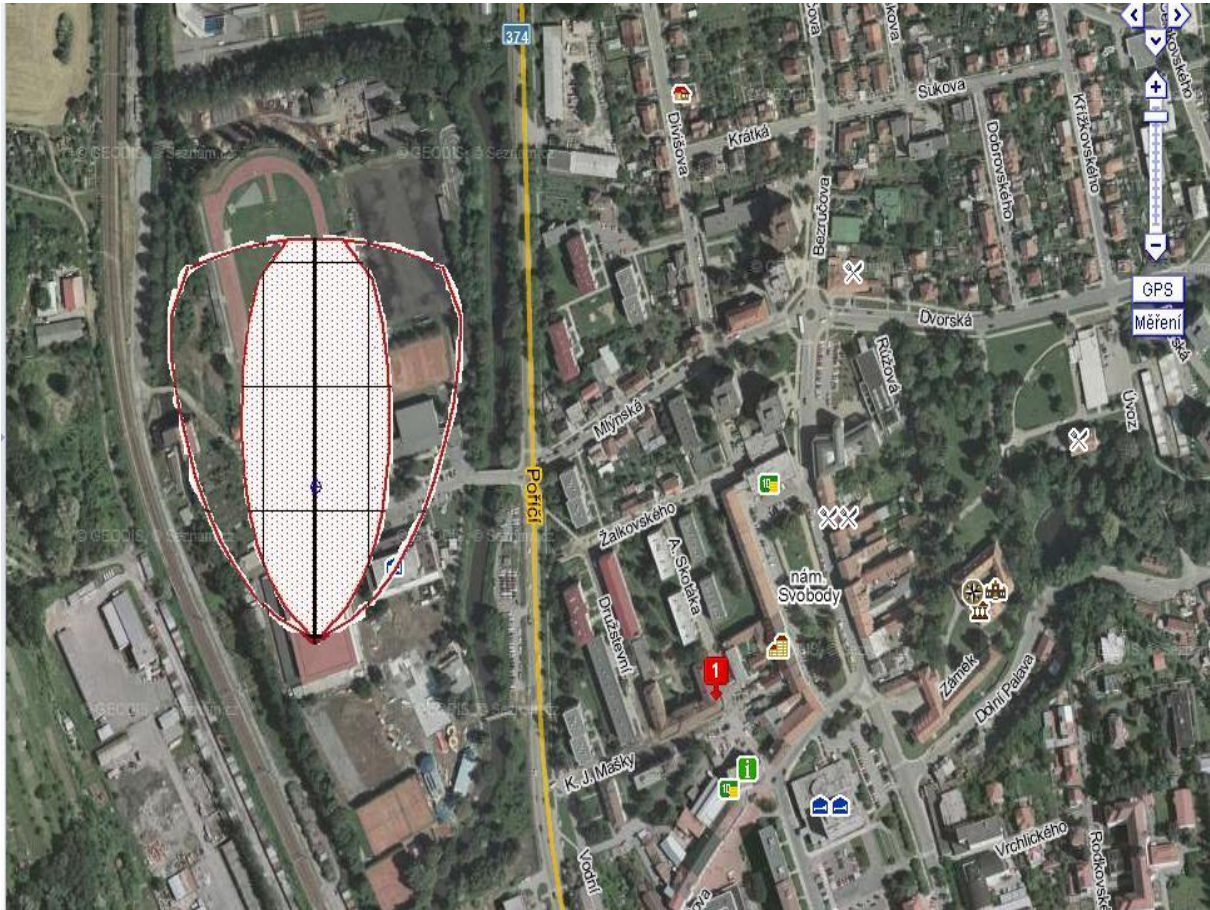
- vně budovy – $29\,700\text{ mg/m}^3$
- uvnitř budovy – $2\,240\text{ mg/m}^3$

5.11.3 Vyhodnocení situace

Ze zadaných parametrů a z údajů z větrné růžice (Příloha 2) do výpočetního modelu ALOHA vyšlo, že při nejčastějším větru ze severu a při rychlosti 5 m/s bude maximální zasažená plocha při poloviční letální koncentrací chemické látky v ovzduší LC_{50} , čemuž odpovídá LOC: $6\,000\text{ mg/m}^3$, 160 m. Při 80% plnění zásobníku a při teplotě ovzduší 20°C bude maximální koncentrace ve vzdálenosti 60 m od zdroje $2,97 \times 10^4\text{ mg/m}^3$ vně budovy a $2,24 \times 10^3\text{ mg/m}^3$ uvnitř budovy.

5.11.4 Zakreslení stopy mraku na mapě města

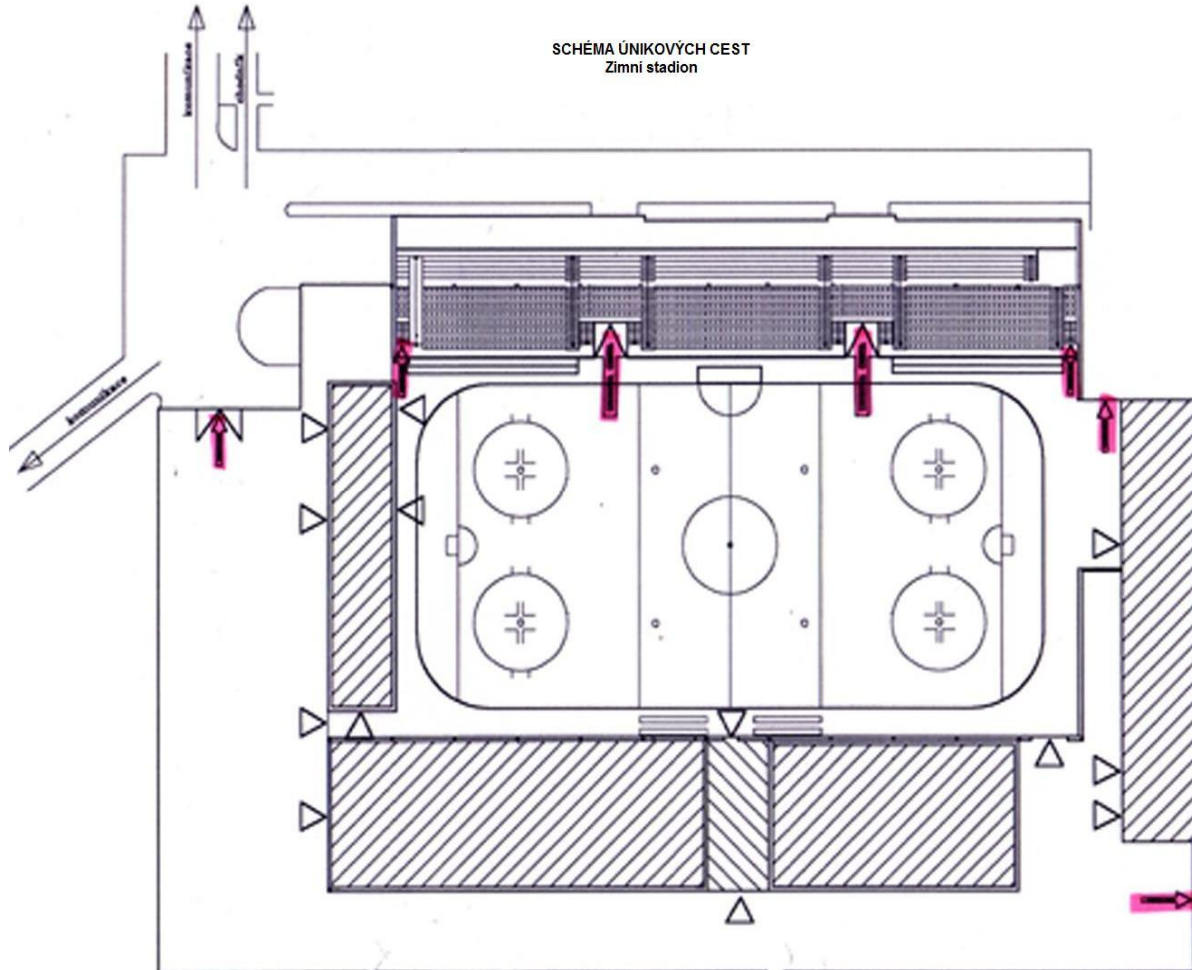
Na obr.5.11.4.1, znázorňujícím mapu Blanska v okolí zimního stadionu, je vidět rozsah mraku nebezpečné látky při úniku amoniaku.



Obrázek 5.11.4.1 Stopa mraku na mapě města

5.12 Schéma únikových cest

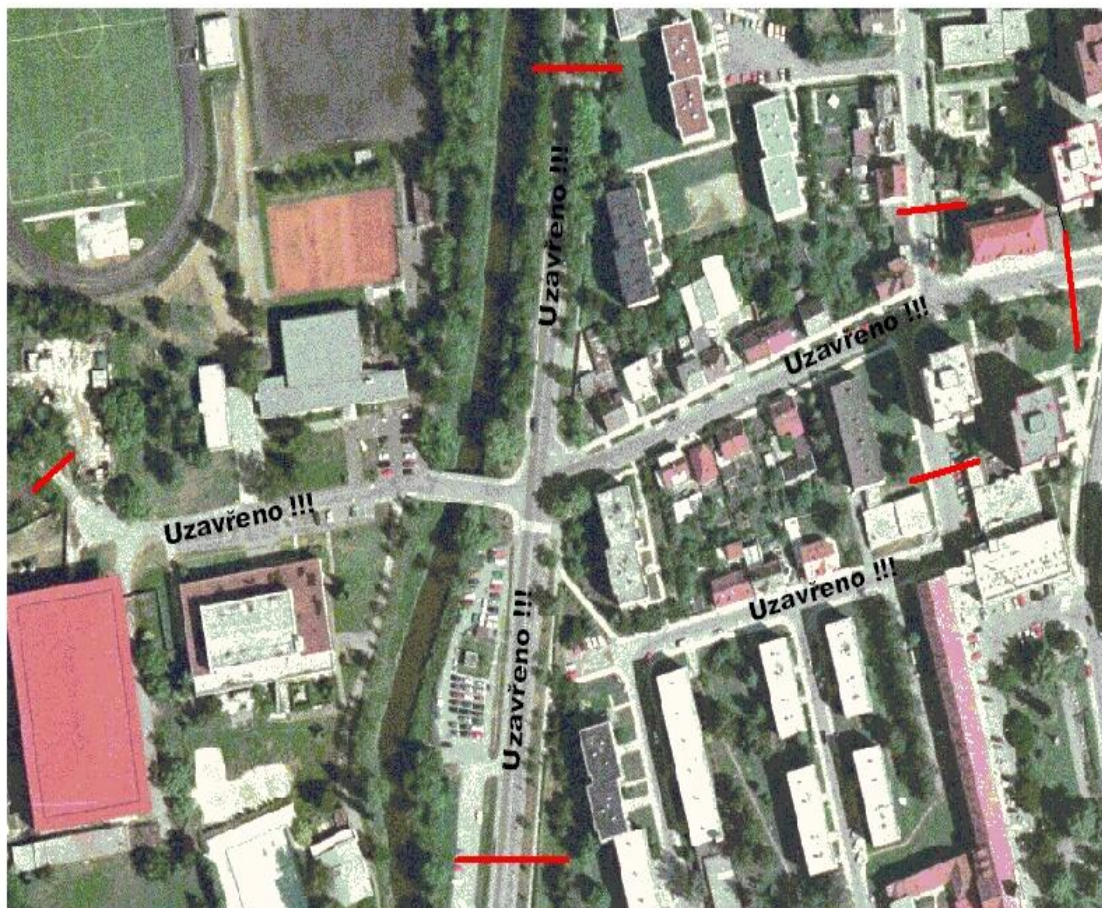
Na obrázku 5.12.1 je znázorněno schéma únikových cest při evakuaci ze zimního stadionu Blansko.



Obrázek 5.12.1 Schéma únikových cest

5.13 Schéma uzavření dopravy

Schéma uzavření příjezdových cest v okolí zimního stadionu Blansko při mimořádné události s únikem nebezpečné látky do okolí je znázorněna na obr.5.13.1.



Obrázek 5.13.1 Schéma uzavření dopravy

5.14 Vyhodnocení metody ALOHA

Modelování úniku amoniaku ze zásobníku programem ALOHA, který je naplněn z 80 % své kapacity a je uložen vně budovy bez zachytné jímky, utrnutím potrubní hadice o průměru 80 mm byla sledována stopa mraku a oblast zasažené plochy nebezpečnou látkou. Při atmosférických podmínkách daných větrnou růžicí (Příloha 2) a úniku nebezpečné látky po směru větru vyšla při ERPG-2 nebezpečná vzdálenost 1,5 km. Tato vzdálenost je sice o mnoho menší než vyšla pomocí výpočtové metody CEI, ale přesto je zimní stadion za daných podmínek pro město Blansko velkým rizikem. Dalším důvodem nebezpečnosti je také velká vzdálenost dosahu mraku nebezpečné látky při poloviční letální koncentraci LC₅₀, která vyšla 160 m, a tím by mrak chemické látky v ovzduší zasáhl sportovní stadion.

6 ANALÝZA PORUCH A JEJICH NÁSLEDKŮ – METODA FMEA

6.1 Popis metody

Metoda FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) je významnou metodou pro identifikaci nebezpečí v průmyslových zařízeních. Je charakterizována systematickým postupem a pečlivou prací jednotlivce nebo menšího pracovního týmu.

6.2 Cíl metody

Cílem studie je odhalit takové poruchy, které mají závažný vliv na bezpečnost a provozovatelnost systému.

6.3 Podklady pro metodu FMEA

Při bezpečnostní studii je hlavním dokumentem, ze kterého se vychází, funkční schéma systému. V různých oborech se pro taková schémata používá různé označení, např. technologické schéma nebo konstrukční výkresová dokumentace.

6.4 Postup metody

Postup je založen na systematickém prověřování systému s cílem odhalit možné poruchy, jejich příčiny a následky. Metodicky se vychází spíše z jednotlivých prvků systému než z procesních parametrů systému.

Postup zahrnuje:

- Identifikaci každé poruchy u jednotlivých prvků, uvažování sekvence návazných událostí, hledání příčiny poruchy a odhad možných následků.
- Klasifikace poruch podle závažných charakteristik – možnosti detekce, diagnostiky, výměny atd.

Pro praktické použití byl postup studie rozpracován do několika základních kroků, které jsou charakterizovány následujícími otázkami:

- Jaký je projev poruchy?
- Jaké jsou možné příčiny poruchy?
- Jak může být porucha objevena?
- Jak porucha ovlivní systém?
- Je tento stav přijatelný, co je potřeba udělat?

Průběh studie metodou FMEA lze zaznamenávat do formuláře

Prvek	Porucha	Příčina	Detekce	Následek	Doporučení

[1]

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

6.5 Kritéria hodnocení v metodě FMEA

6.5.1 Závažnost následků

- 1 – Velmi nízká závažnost následků- žádný zranění
- 2 – Velmi nízká závažnost – jen smyslové vnímání
- 3 – Nízká závažnost následků- jeden lehce zraněný bez hospitalizace
- 4 – Nízká závažnost-několik lehce zraněných bez hospitalizace
- 5 – Střední závažnost následků- jeden lehce zraněných s hospitalizací
- 6 – Střední závažnost následků- několik lehce raněných s hospitalizací
- 7 – Vysoká závažnost- jeden těžce zraněný
- 8 – Vysoká závažnost- několik těžce zraněných
- 9 – Vysoká závažnost následků- jeden mrtví, spousta zraněných
- 10 – Velmi vysoká závažnost následků–několik mrtvých a nesčetně zraněných

6.5.2 Možnost detekce

- 1 – Velmi vysoká možnost odhalení poruchy, chyba je odhalena
- 2, 3, 4 – Vysoká možnost odhalení poruchy.
- 5, 6 – Střední možnost odhalení, chyba se pravděpodobně odhalí.
- 7, 8 – Malá možnost odhalení.
- 9, 10 – Velmi malá možnost odhalení poruchy.

6.5.3 Index frekvence

- 1 – Velmi malá pravděpodobnost výskytu
- 2,3, – Malá pravděpodobnost–výskyt maximálně jednou za 10^{-7} až 10^{-8} let
- 5,6 – Střední pravděpodobnost výskytu- výskyt jednou za 10^{-2} až 10^{-5} let
- 7, 8 – Vysoká pravděpodobnost výskytu–opakovaný výskyt za 10 až sto let
- 9,10 –Velmi vysoká pravděpodobnost–opakovaný výskyt několikrát za rok

6.6 Výsledný formulář metody FMEA

Tabulka 6.6.1. Formulář FMEA

Prvek	Způsob selhání	Možný důsledek	Příčina	Prev. opatření	Možnost detekce	Závažnost následků	Index frekvence	Riziko	Doporučená opatření
Servisní ventil	Ventil zůstal otevřený (má být zavřený)	Velký únik látky do okolí	Nefunkční servomotor Koroze	Kontrola funkčnosti motoru Kontrola materiálu	3	9	7	189	Výměna motoru dle doporučení výrobce
	Ventil zůstal zavřený (má být otevřený)	Žádný únik Ztráta chladicí schopnosti	Chyba obsluhy Zaseknutí	Kontrola před spuštěním Zajištění proti manipulaci	3	2	7	42	Proškolení obsluhy
	Prasklé těsnění	Malý únik látky do okolí	Chyba při montáži	Kontrola utažení daným momentem	3	5	7	105	Použití kvalitních těsnění s vyšší životností
	Prasklé těleso ventilu	Malý únik látky do okolí	Výrobní vada	Kontrola při výrobě	3	5	7	105	Zajistit bezchybné gravitační liti odlitku
Potrubí	Roztržení v celém průřezu	Velký únik látky do okolí	Navýšení tlaku v důsledku zvýšení teploty	Visuální kontrola potrubí	5	9	5	225	Revize kontrolního a pevnostního výpočtu
	Trhlina v potrubí	Malý únik látky do okolí	Výrobní vada při montáži Vnější náraz	Kontrola při výrobě pomocí RTG	5	5	5	125	Bezešvé trubky
	Prasklý svar	Malý únik látky do okolí	Špatný svar	Tlaková zkouška před spuštěním	5	5	5	125	Provedení svaru autorizovanou firmou Defektoskopická kontrola

Prvek	Způsob selhání	Možný důsledek	Příčina	Prev. opatření	Možnost detekce	Závažnost následků	Index frekvence	Riziko	Doporučená opatření
Zásobník	Roztržení v celém průřezu	Velký únik látky do okolí	Zvýšení tlaku vlivem teploty	Dvojitě jištění	10	10	3	300	Tlaková zkouška
	Prasknutí svaru zásobníku	Malý únik látky do okolí	Špatný svar	Tlaková zkouška	5	6	5	150	Defektoskopická kontrola při výrobě
	Trhlina ve stěně zásobníku	Malý únik látky do okolí	Vada materiálu Koroze	Pravidelná kontrola	5	6	5	150	Použití odolného materiálu
Pojistný ventil	Předčasně otevře	Malý únik látky do okolí	Konstrukční vada	Pravidelná kontrola	5	5	6	150	Včasná výměna
	Neotevře	Vlivem navýšení tlaku, prasknutí zásobníku únik látky do okolí	Koroze	Včasná výměna Periodická kontrola funkčnosti	5	4	6	120	Použití kvalitního ventilu
	Prasklé těsnění	Malý únik látky do okolí	Vada materiálu	Včasná výměna těsnění	5	3	6	90	Použití kvalitnějších těsnění s vyšší životností
	Prasklé těleso ventilu	Malý únik látky do okolí	Špatné lití, technologická vada	Visuální kontrola Kontrola RTG	5	3	6	90	Kontrola RTG

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

- Způsob selhání je chyba daného prvku (důvod nefunkčního zařízení).
- Možný důsledek určuje, co se bude za vzniku možné chyby dít. Dojde-li k úniku látky okamžitě, tzn. během pár minut se vyprázdní celý objem prvku, nebo bude-li únik řádově v minutách až desítkách minut.
- Příčina je taková událost, která dává záminku ke vzniku havárie. Většinou jde o hrubé porušení bezpečnostních předpisů, směrnic, nařízení, ale mohou to být také nedostatky při výrobě, jak z hlediska kvality materiálu tak kvality zpracování.
- Riziko nám ukazuje pomocí násobků koeficientu jak hodně je daný scénář závažný, jak velký bude mít havárie dopad na ekonomiku, životní prostředí, lidské životy a hospodářská zvířata. Násobí se koeficient možnosti detekce, koeficient závažnosti a indexu frekvence.
- Preventivní opatření jsou taková opatření, která nejefektivněji pomohou předcházet vzniku daných scénářů.
- Detekce je možnost odhalení chyby. Je ohodnocena koeficientem od 1 do 10. Čím je detekce složitější a je menší pravděpodobnost odhalení chyby, tím větší je i hodnotící koeficient.
- Závažnost je nebezpečnost daného problému, je ohodnocena stupnicí od 1 do 10. Čím je závažnost větší, tím je větší i hodnotící koeficient.
- Index frekvence je hodnota koeficientu určujícího jak často (kolikrát za kolik let) je možnost vzniku selhání definovaného prvku. Čím větší je frekvence pravděpodobnosti vzniku této situace, tím větší je i hodnotící koeficient.

6.7 Zhodnocení metody FMEA

Na základě systematickosti byla prověřena každá část chladicího okruhu. A vzhledem k informacím o způsobu selhání, jejich příčiny a následku byla každá zjištěná porucha obodována podle možnosti způsobu detekce, závažnosti a frekvence. Výsledným kritériem je násobek tří hodnot a určení hranice pro rizikovost a následná opatření. Tato hranice byla určena výsledným číslem 200.

Pomocí metody FMEA vyšlo, že velkým zdrojem rizika zařízení je v první řadě zásobník a dále potrubí, které by při roztržení v celém průřezu mělo bodové ohodnocení 225. Proto je potřebné všechny prvky, které mají bodové ohodnocení nad hranicí 200, podrobit nápravným opatřením a zmírnit tak důsledek rizikovosti.

- | | | |
|------------|---------------------------|-----|
| • Zásobník | Roztržení zásobníku | 300 |
| • Potrubí | Roztržení v celém průřezu | 225 |

6.8 Nápravná opatření

Možnosti nápravných opatření v závislosti na druhu prvku, příčině a druhu vady :

- U potrubí je důležité dbát na materiál použitý při konstrukci. Použití teplotního a tlakového výpočtu.
- Zásobník by měl být konstruován jako dvouplášťový z velmi dobrého materiálu, podrobenému jak teplotním, tak tlakovým zkouškám.

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo posouzení bezpečnosti chladicí stanice zimního stadionu v Blansku.

Pro posouzení rizika pro obyvatelstvo, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek bylo v souvislosti s únikem toxické látky použito dvou metod. Jako první metoda byla použita metoda Index chemického ohrožení CEI (Chemical Exposure Index), pro ověření výsledků program ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres).

Pro stanovení indexu toxicity a nebezpečné vzdálenosti bylo užito metody indexu chemického ohrožení CEI. Nejdůležitější hodnotou pro vyjádření nebezpečnosti pro člověka byla hodnota ERPG-2 (maximální koncentrace škodlivin ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity). Index toxicity ve výsledném propočtu překročil mezní hodnotu, která je stanovená hodnotou 200, více než dvakrát. Objekt se tedy stal pro okolí zdrojem jistého nebezpečí a bylo potřeba ho podrobit dalšímu posouzení. Hodnoty vypočtených vzdáleností pomocí metody CEI :

• ERPG-1	17 mg/m ³	10 000 m
• ERPG-2	139 mg/m ³	4 410 m
• ERPG-3	696 mg/m ³	1 971 m

Pro další posouzení rizika bylo užito modelovacího programu ALOHA. ALOHA uvažuje vliv atmosférických podmínek, vliv rychlosti větru, zahrnuje vliv třídy stability ovzduší a chemické i fyzikální vlastnosti nebezpečné látky. Po zadání těchto informací do programu, ALOHA namodelovala dobu úniku, množství a rychlost unikající látky a pomocí grafu znázornila informace o velikosti zasažené oblasti pro jednotlivé situace.

Jako první byla zadána situace pro okolí ve směru nejpravděpodobnějšího šíření větru. Pro tuto oblast, a pro porovnání výsledků s metodou CEI je nejdůležitější hodnota ERPG-2 (je maximální koncentrace škodlivin ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity). Koncentrace této hodnoty přímo u zdroje nebezpečí je:

- uvnitř budovy – 104 000 mg/m³
- vně budovy – 1 440 000 mg/m³

Vzdálenosti zasažených ploch všech tří koncentrací pro ERPG-1, ERPG-2 a ERPG-3 po směru větru :

• ERPG-1	17 mg/m ³	4 500 m
• ERPG-2	139 mg/m ³	1 500 m
• ERPG-3	696 mg/m ³	625 m

Dále byla modelována situace, kde se ve vzdálenosti 60 metrů od zdroje nachází sportovní stadion. Sportovní stadion by se při mimořádné události v době konání sportovních soutěží stal rizikem pro obyvatelstvo. Při 80% plnění zásobníku o kapacitě 6 000 kg, který se za 8 minut vyprázdňuje rychlostí 748 kg/min, by vzdálenost

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

poloviční letální koncentrace chemické látky v ovzduší LC₅₀, která způsobí s určitou pravděpodobností smrt 50 % osob, byla 160 m.

Pro názornou představu o účincích koncentrací ERPG lze uvést i výsledek modelování pro koncentraci LC₅₀, kdy dosah mraku o koncentraci LC₅₀ dosahuje do vzdálenosti 160 m.

- vně budovy – 29 700 mg/m³
- uvnitř budovy – 2 240 mg/m³

Výsledkem studie metodou FMEA je pořadí zdrojů rizika s ohledem na míru rizika. Významným zdrojem rizika je nejen zásobník, ale také potrubní větev. Na základě systematickosti byla prověřena každá část chladicího okruhu. A vzhledem k informacím o způsobu selhání, jejich příčiny a následku byla každá zjištěná porucha obodována podle možnosti způsobu detekce, závažnosti a frekvence. Výsledným kritériem je násobek tří hodnot a určení hranice pro rizikovost a následná opatření. Tato hranice byla určena výsledným číslem 200.

- | | | |
|------------|---------------------------|-----|
| • Potrubí | Roztržení v celém průřezu | 225 |
| • Zásobník | Roztržení v celém průřezu | 300 |

I přes rozdílnost výsledků vzdáleností zasažených oblasti, zapříčiněných odlišností obou metod, kdy metoda CEI je poměrně jednoduchá indexová metoda a naproti tomu metoda ALOHA je komplexním modelovacím nástrojem zahrnujícím vliv celé řady faktorů, je patrné, že zimní stadion je pro okolí nebezpečným zdrojem rizika.

Jak už bylo dokázáno pomocí metody FMEA, hlavním zdrojem nebezpečí zimního stadionu je zásobník umístěný v prostorách strojovny s kapacitou 6 000 kg. Sledovaný zásobník amoniaku by v případě mimořádné události znamenal pro okolí velké společenské riziko. Důvodem je nejen velké množství skladované látky, ale také umístění zásobníku vně budovy (strojovna) bez zachytné jímky. To by v případě havárie zapříčinilo okamžitý vznik toxického mraku. I přes zásah hasičského sboru by došlo k velmi rychlému úniku do okolí, půdy, vodních zdrojů a nekontrolovatelnému šíření toxického mraku vlivem neadekvátního času mezi vyprázdněním celého objemu zásobníku a dobou příjezdu hasičského záchranného sboru. V havarijních plánech se dále počítá s následnou asanací, dekontaminací a rekultivací zasaženého prostoru.

Možností snížení rizika při mimořádné události je celková rekonstrukce chladicího zařízení. Velké nebezpečí plyne z množství uskladněné látky, které by se dalo snížit dodáním dalšího media do okruhu. Dále vybudováním zachytné jímky, která by v případě havárie zachytila celý objem unikající nebezpečné látky, a tím by minimalizovala ekologické dopady. Dalším opatřením ke snížení následků je použití sprinklerů s elektronickými čidly napojenými na detekční systém. Sprinklery by v případě havárie spustily vodní clonu, která by okolí úniku zkrápěla vodou, a tím zamezila rozšíření toxického mraku.

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Babinec, F.: Bezpečnostní inženýrství, Brno, VUT 2006
- [2] ALOHA, verze 5.2, Uživatelská příručka
- [3] Zákon č.59/2006 Sb. ze dne 2. února 2006, o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č.258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů ve znění pozdějších předpisů a zákona č.320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů ve znění pozdějších předpisů.
- [4] Zákon č.353/1999 SB. ze dne 9. prosince 1999 o prevenci závažných průmyslových havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky a o změně zákona č. 425/1990 Sb., o okresních úřadech, úpravě jejich působnosti a o některých dalších opatřeních s tím souvisejících ve znění pozdějších předpisů.
- [5] Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje, Interní podklady – Analýza rizik, 2004
- [6] AIR LIGUIDE, Bezpečnostní list amoniaku [on-line], dostupné z :<http://www.airliguide.cz/cs/business/products/list/index.php>, 2007
- [7] Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky odbor ochrany obyvatelstva, Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek – příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby, podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo [on-line], dostupné z :<http://www.mvcr.cz/udalosti/prirucky/chemie.html>, 2007
- [8] Město Blansko, Mapa města Blanska [on-line], dostupné z :http://www.twist.mestoblansko.cz/tms/superprojektext/index_orig.php?frame
- [9] Guidelines for quantitative risk assessment. Purple book, The first edition, 1999, CPR 18E, The Hague
- [10] Crowl, D.A. Louvar, J.F.: Cemical Process Safety: Fundamentals With Applications. 1990
- [11] Nařízení vlády č. 258/2001 Sb. ze dne 6. června 2001, kterým se stanoví postup hodnocení nebezpečnosti chemických látek a chemických přípravků, způsob jejich klasifikace a označování a vydává Seznam dosud klasifikovaných nebezpečných chemických látek. Sbírka zákonů č. 99/2001

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Veličina
AQ	[kg/s]	Celkové rozptýlované množství
AQ _f	[kg/s]	Množství kapaliny odpařené již při úniku kapaliny
AQ _p	[kg/s]	Odpar kapaliny z povrchu louže
C	[mg/m ³]	Koncentrace
C _p	[J/kg°C]	Průměrná tepelná kapacita kapaliny
D	[mm]	průměr otvoru
ERPG-1	[mg/m ³] [ppm]	Je maximální koncentrace škodlivin ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez výrazných zdravotních změn
ERPG-2	[mg/m ³] [ppm]	Je maximální koncentrace škodlivin ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity
ERPG-3	[mg/m ³] [ppm]	Je maximální koncentrace škodlivin ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny bez toho, aby byl smrtelně ohrožený
F _v	[kg]	Podíl odpařené kapaliny
HD	[m]	Nebezpečná vzdálenost
H _v	[J/kg°C]	Výparné teplo
Δh	[m]	Výška hladiny nad místem úniku
L	[kg/s]	Rychlost toku kapaliny
LC ₅₀	[mg/m ³] [ppm]	Poloviční letální koncentrace, na zasažené ploše bude minimálně 50% mrtvých
LOC	[mg/m ³] [ppm]	Level of Concern - úroveň znepokojení (prahová hodnota koncentrace), hodnota koncentrace nečistot v ovzduší
MW	[mol]	Molekulární hmotnost
P _a	[kPa]	Absolutní tlak
P _g	[kPa]	Tlak uvnitř zásobníku
T _b	[°C]	Bod varu NH ₃
T _s	[°C]	Teplota uvnitř zásobníku
t	[min]	Čas
W _T	[kg]	Celkové množství unikající kapaliny
ρ ₁	[kg/m ³]	Hustota kapaliny v zásobníku
ALOHA	[-]	Areal Locations of Hazardous Atmospheres, výpočetní program
CEI	[-]	Chemical Exposure Index, Index chemického ohrožení
FMEA	[-]	Failure Modes and Effects Analysis, analýza poruch a jejich následků

VUT v Brně	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Ústav metrologie a zkušebnictví
Fakulta strojního inženýrství		Metrologie a řízení jakosti

10 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tabulka s ERPG/EEPG hodnotami nebezpečných látek
- Příloha 2 Větrná růžice města Blansko
- Příloha 3 Větrná růžice města Blansko - graf

PŘÍLOHA 1

HODNOTY ERPG/EEPG pro HAVARIJNÍ PLÁNOVÁNÍ								
Chemická látka	Molekul hmotn.	Bod varu (°C)	ERPG-1 (mg/m ³)	ERPG-1 (ppm)	ERPG-2 (mg/m ³)	ERPG-2 (ppm)	ERPG-3 (mg/m ³)	ERPG-3 (ppm)
Acetonkyanohydrin*	85,11	95			35	10		
Akrolein	56,06	52,5		0,1	1	0,5	7	3
Kyselina akrylová	72,06	141,4	6	2	147	50	2210	750
Akrylonitril*	53,06	77,2			43	20		
Allylchlorid	76,53	44,8	9	3	125	40	939	300
Čpavek	17,03	-33,4	17	25	139	200	696	1000
Bróm	159,81	58,7	1	0,2	7	1	33	5
Butadién	54,09	-4,4	22	10	111	50	11060	5000
n-butyl akrylát	128,17	147,5	0,26	0,05	131	25	1310	250
n-butyliisokyanát	99,13	115,13	0,04	0,01	0,2	0,05	4	1
Sirouhlik	76,14	46,3	3	1	156	50	1557	500
Tetrachlórmetan	153,82	76,8	126	20	629	100	4718	750
Chlór	70,91	-34,0	3	1	9	3	58	20
Trifluorid	92,50	11,8	0,38	0,1	4	1	38	10
Chloracetylchlorid	112,94	106,0	0,5	0,1	5	1	46	10
Chloroform*	119,38	61,7			488	100		
Chlorpikrin	164,38	112,0		NA	1	0,2	20	3
Kyselina chlorsulfonová	116,52	152	2	0,4	10	2,1	30	6,3
Chlorotrifluoroethylen	116,47	-28,2	95	20	476	100	1429	300
Krotonadehyd	70,09	102,4	6	2	29	10	143	50
Diketen	82,08	127,4	3	1	17	5	168	50
Dimethylamin	45,08	6,9	2	1	184	100	922	500
Epichlorohydrin	92,52	116,4	8	2	76	20	378	100
Ethyl chlorid*	64,51	12,3			13192	5000		
Ethylen dichlorid*	98,96	83,5			405	100		
Ethylen oxid	44,05	10,5		NA	90	50	901	500
Formaldehyd	30,03	-19,3	1	1	12	10	31	25
Hexachlorbutadien	260,79	214,2	32	3	107	10	320	30
Hexafluoraceton	166,02			NA	7	1	339	50
Bromovodík*	80,91	-66,7			17	5		
Chlorovodík	36,46	-85,0	4	3	30	20	149	100
Kyanovodík	27,03	25,7		NA	11	10	28	25
Fluorovodík	20,01	19,6	4	5	16	20	41	50
Sirovodík	34,08	-60,3	0,14	0,1	42	30	139	10
2-isokyanatoethyl metakrylát	155,20	211,2		NA	1	0,1	6	
Isobutyronitril	69,11	103,6	28	10	141	50	565	20
Metakrylonitril*	67,09	90,3			27	10		
Metanol	32,04	64,5	262	200	1310	1000	6551	500
Methylamin	31,06	-6,3	13	10	127	100	635	50
Metyl chlorid	50,49	-24,1		NA	826	400	2065	100
Metyl jodid	141,94	-6,5	145	25	290	50	726	125
Metyl isokyanát	57,05	38,4	0,058	0,025	1	0,5	12	
Methyl merkaptan	48,11	6,0	0,01	0,005	49	25	197	
Perfluoroisobutylén	218,11			NA	1	0,1	3	0,34
Fenol	94,11	181,9	38	10	192	50	770	200

PŘÍLOHA 2



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
ÚTVAR OCHRANY ČISTOTY OVZDUŠÍ
Oddělení modelování a expertíz

ODBORNÝ ODHAD VĚTRNÉ RŮŽICE PRO LOKALITU **BLANSKO**, okr. Blansko
platná ve výšce 10 m nad zemí v %
podklad pro metodiku výpočtu znečištění ovzduší

Třída stability F									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	1.56	0.83	0.83	0.95	1.39	0.92	1.26	1.60	9.34
5,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	1.56	0.83	0.83	0.95	1.39	0.92	1.26	1.60	9.34
Třída stability E									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	3.37	1.81	1.65	1.65	1.90	1.06	1.26	3.26	15.96
5,0	0.15	0.06	0.06	0.15	0.26	0.09	0.14	0.15	1.06
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	3.52	1.87	1.71	1.80	2.16	1.15	1.40	3.41	17.02
Třída stability D									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	2.63	1.64	1.61	1.47	1.55	1.03	1.19	3.13	14.25
5,0	3.64	1.77	1.29	2.90	2.36	0.99	1.16	2.98	17.09
11,0	0.02	0.00	0.00	0.03	0.08	0.00	0.01	0.03	0.17
součet	6.29	3.41	2.90	4.40	3.99	2.02	2.36	6.14	31.51
Třída stability C									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	1.03	0.50	0.63	0.87	1.27	0.83	0.98	0.89	7.00
5,0	4.07	1.61	0.98	3.83	3.91	1.45	2.46	3.73	22.04
11,0	0.28	0.00	0.00	0.37	1.12	0.00	0.09	0.27	2.13
součet	5.38	2.11	1.61	5.07	6.30	2.28	3.53	4.89	31.17
Třída stability A + B									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	0.75	0.39	0.54	1.05	1.45	0.71	0.69	0.68	6.26
5,0	0.74	0.16	0.17	0.72	1.27	0.47	0.63	0.54	4.70
11,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	1.49	0.55	0.71	1.77	2.72	1.18	1.32	1.22	10.96
celková růžice									
m.s ⁻¹	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	součet
1,7	9.25	5.16	5.31	6.08	7.60	4.55	5.30	9.56	52.81
5,0	8.60	3.60	2.50	7.60	7.80	3.00	4.39	7.40	44.89
11,0	0.30	0.00	0.00	0.40	1.20	0.00	0.10	0.30	2.30
součet	18.15	8.76	7.81	14.08	16.60	7.55	9.79	17.26	100.00

PŘÍLOHA 3

