



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

**Analýza rizik a modelace úniku amoniaku ze zimního stadionu
v Kladně**

**Risk Analysis and Modelation of Ammonia Leakage from Ice Arena
in Kladno**

Bakalářská práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Plánování a řízení krizových situací

Vedoucí práce: Ing. Martin Staněk

Tomáš Bejbl

Kladno, květen 2018

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Tomáš Bejbl**
Obor: Plánování a řízení krizových situací
Téma: **Analýza rizik a modelace úniku amoniaku ze zimního stadionu v Kladně**
Téma anglicky: Risk Analysis and Modelation of Ammonia Leakage from the Ice Arena in Kladno

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Předmětem bakalářské práce bude analýza rizik zimního stadionu v Kladně, se zaměřením na únik amoniaku.

V teoretické části budou vymezeny základní pojmy, historie a obecné seznámení s objektem a jeho okolím. Dále bude práce zaměřena na legislativu, charakteristiku amoniaku, mezinárodní předpisy pro jejich označování, transport a bezpečnostní opatření.

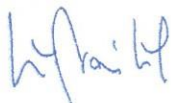
V praktické části bude zpracována analýza rizik a modelace úniku nebezpečné látky. K modelaci budou využity softwarové programy TerEx, Aloha, RMP*COMP. Výsledky budou prezentovány formou modelace ze softwarových programů. Na základě získaných informací bude provedeno zhodnocení, zda je objekt dostatečně zabezpečen a připraven na mimořádnou událost tohoto typu a případné stanovení doplňujících bezpečnostních opatření.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČAPOUN, Tomáš a kol., Prevence nehod a havárií, 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků., MV-GŘ HZS ČR, 2009, ISBN 978-80-86640-64-8
- [2] SKŘEHOT, Petr a kol. , Prevence nehod a havárií, 1. díl: nebezpečné látky a materiály., Výzkumný ústav bezpečnosti práce a T-soft., 2009, ISBN 978-80-86973-70-8
- [3] SKŘEHOT, Petr a kol, Prevence nehod a havárií, 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků., Výzkumný ústav bezpečnosti práce a T-soft, 2009, ISBN 978-80-86973-73-9
- [4] SMETANA, Marek, Danuše KRATOCHVÍLOVÁ a Danuše KRATOCHVÍLOVÁ ML, Havarijní plánování: varování, evakuace, poplachové plány, povodňové plány., Computer Press, 2010, ISBN 9788025129890

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: Ing. Martin Staněk



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Analýza rizik a modelace úniku amoniaku ze zimního stadionu v Kladně vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 18.05.2018

.....

podpis

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Staňkovi za odborné vedení, rady, trpělivost a veškerý věnovaný čas. Dále bych chtěl poděkovat panu Františku Poláčkovi, řediteli zimního stadionu v Kladně, za poskytnuté materiály a informace k vytvoření praktické části bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat panu mjr. Bc. Milanu Strádalovi za možnost zúčastnit se prověřovacího cvičení na téma Únik amoniaku ze zimního stadionu v Kladně.

Abstrakt

Předmětem mé bakalářské práce je analýza rizik a modelace úniku amoniaku v softwarových programech ALOHA, TerEx, RMP*COMP.

Teoretická část se zabývá vymezením základních pojmů. Dále evropskou legislativou o mezinárodní přepravě nebezpečných látek jako je hlavně ADR a RID. Z české legislativy hlavně zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií. Jako samostatný bod je popsána chemická látka amoniak. Dále je zde popsán zimní stadion, jeho kapacita či vybavení strojovny. Rovněž jsou v této části uvedeny havárie podobného typu, a to konkrétně například ve Znojmě v roce 2007, či havárie ve městě Fernie v Kanadě v roce 2017.

Na začátku praktické části jsou základní údaje o poloze zimního stadionu. Nejdůležitější částí je modelace úniku pomocí softwarových nástrojů ALOHA, TerEx a RMP*COMP. V této části je provedeno vyhodnocení modelací, analýza a stanovení doporučení.

Cílem práce je analýza a modelace úniku amoniaku v případě porušení potrubí vedoucího z nádrže na amoniak, popis úniku a ohrožení okolí a následná komparace výsledků ze softwarových programů ALOHA, TerEx a RPM*COMP.

Podklady pro zpracování bakalářské práce byly čerpány z veřejných pramenů a interní dokumentace zimního stadionu v Kladně. Jedná se o veřejně dostupné literární a internetové zdroje. Dále také havarijní plán a provozní řád stadionu.

Klíčová slova

Amoniak; únik; zimní stadion; modelace; softwarový program; ALOHA, TerEx.

Abstract

The topic of my bachelor thesis is analysis of risks and modeling of ammonia leakage in software programmes ALOHA, TerEx, RMP * COMP.

The theoretical part deals with the definition of basic terms. Furthermore, the European legislation on the international transport of hazardous substances such as ADR and RID. From Czech legislation mainly Act No. 224/2015 Coll. on the prevention of major accidents. As a separate topic the chemical ammonia is described. There is also described the winter stadium, its capacity or equipment of the engine room. Also, in this part, accidents of a similar type are reported, namely in Znojmo in 2007, or in the city of Fernie in Canada in 2017.

At the beginning of the practical part are basic information about the position of the winter stadium. The most important part is leakage modeling using ALOHA, TerEx and RMP * COMP software tools. This section evaluates modeling, analysis, and recommendations.

The goal of the work is to analyze and model the leakage of ammonia in the case of pipe leakage leading from the ammonia reservoir, the description of the leakage, the danger of the environment and the subsequent comparison of the results from the software programs ALOHA, TerEx and RPM * COMP.

The materials for the bachelor thesis were drawn from public sources and internal documentation of the Winter Stadium in Kladno. These are publicly available literary and internet resources. In addition, the emergency plan and operating rules of the stadium.

Keywords

Ammonia; leakage; ice arena; modeling; software program; ALOHA; TerEx.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Současný stav.....	10
2.1	Základní pojmy	10
2.2	Právní normy.....	13
2.3	Historické příklady úniku amoniaku	14
2.4	Základní informace o zimním stadionu	16
2.5	Seznámení se situací podle místních podmínek	17
2.6	Zamrazení, údržba a rozpuštění ledových ploch	18
2.7	Vlastnosti amoniaku	20
2.8	Prevence rizik při práci v uzavřeném prostoru.....	28
2.9	Úkoly a postup při úniku amoniaku	29
2.10	Poplachový plán Integrovaného záchranného systému	30
2.11	Rozdělení poplachů do stupně podle množství uvolněného amoniaku	33
2.12	Plán varování obyvatelstva.....	34
3	Cíl práce.....	35
4	Metodika.....	36
4.1	Analýza rizik	36
4.2	Modelování.....	36
4.2.1	ALOHA.....	37
4.2.2	MARPLOT	37
4.2.3	TerEx.....	38
4.2.4	RMP*COMP	38
4.3	SWOT analýza.....	39

4.4	Používané pojmy pro vyjádření koncentrace plynných látek v ovzduší	39
5	Výsledky	43
5.1	Analýza rizik	43
5.1.1	Míra rizika	47
5.2	Scénář modelové situace	49
5.3	Modelace pomocí softwarového programu ALOHA	53
5.4	Modelace pomocí softwarového programu TerEx	59
5.5	Modelace pomocí softwarového programu RMP*COMP	64
5.6	Komparace softwarových programů	65
5.7	SWOT analýza	66
5.8	Doporučující opatření	69
6	Diskuze	72
7	Závěr	78
8	Seznam použitých zkratk	79
9	Seznam použité literatury	81
10	Seznam použitých obrázků	88
11	Seznamu použitých tabulek	89
12	Seznam Příloh	90

1 ÚVOD

Předmětem mé bakalářské práce je únik amoniaku ze zimního stadionu v Kladně. V kladenském zimním stadionu je jako chladiivo použit amoniak, který je hojně využíván na většině stadiónů po celém světě. Nesprávnou manipulací s touto látkou dochází k jeho úniku do ovzduší a vzniká tím možnost ohrožení životů a zdraví osob, majetku a životního prostředí.

I při malém množství uniklého amoniaku může dojít k havárii se závažnými následky. V historii k haváriím tohoto typu došlo ve Znojmě, Rosicích u Brna nebo například v zahraničí ve městě Fernie v Kanadě. Nejaktuálnější nehoda úniku amoniaku se stala na začátku května 2018 v příbramském zimním stadionu.

Pokud je osoba vystavena působení amoniaku a pobytu v jeho blízkosti bez jakýchkoliv ochranných prostředků, může dojít k podráždění sliznice a v případě vniknutí látky do plic, může způsobit poranění neslučitelná se životem. Je tedy nutné zajistit co nejlepší prevenci a ochranu před únikem amoniaku.

V teoretické části jsou vymezeny základní pojmy a právní předpisy týkající se této problematiky. Dále uvádím základní informace o zimním stadionu v Kladně. Součástí je popis chemické látky amoniaku, jeho vlastností, podmínek transportu a manipulace s ním. Na konci teoretické části jsou definovány úkoly a postupy dotčených orgánů při události úniku amoniaku.

V praktické části je provedena analýza rizik. Únik amoniaku ze zimního stadionu v Kladně je namodelován pomocí softwarových programů dle předem stanoveného scénáře. Domnívám se, že objekt zimního stadionu v Kladně má nastavený systém ochrany a reakce v případě úniku amoniaku dostatečný, tak aby vzniklá mimořádná událost měla co nejmenší dopad.

2 SOUČASNÝ STAV

2.1 Základní pojmy

Jedná se o základní vybrané pojmy v oblasti prevence závažných havárií s únikem nebezpečných chemických látek a směsí.

Závažná havárie

Mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost. Jedná se zejména o závažný únik nebezpečné látky, požár nebo výbuch, který vznikl nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu a vede k vážnému ohrožení nebo následkům na životech a zdraví osob, zvířat, majetku a životního prostředí [1].

Zařízení

Technický nebo technologický celek, ve kterém dochází k výrobě, zpracování, používání, přepravování nebo skladování nebezpečné látky. Zahrnuje rovněž všechny části nezbytné pro provoz zařízení, zejména stavební objekty, potrubí, skladovací tankoviště, stroje, průmyslové dráhy a nákladové prostory [2].

Zdroj rizika

Zdroj rizika je podstatná vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace, vyvolávající možnost vzniku závažné havárie. Má také potenciál způsobit škodu lidskému zdraví, majetku nebo životnímu prostředí, popřípadě jejich kombinace. Zdroj rizika může realizovat svůj potenciál například vznikem požáru, výbuchu, toxického úniku, zamoření životního prostředí nebo jiného nežádoucího projevu [2].

Riziko

Pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, či záporné projevy tvůrčího procesu, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností [2].

Analýza rizika

Proces analýzy nebezpečí (zdroje rizika) při určité činnosti, v určitém systému a odhad (ocení) úrovní rizika pro osoby, majetek a životní prostředí (včetně hospodářských zvířat), které toto nebezpečí (zdroj rizika) představuje. Výsledky analýzy rizika pak lze použít pro hodnocení rizika [3].

Objekt

Celý prostor, popřípadě soubor prostorů, ve kterém je umístěna jedna nebo více nebezpečných látek v jednom nebo více zařízeních užívaných právnickou nebo podnikající fyzickou osobou, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur a činností [2].

Chemická látka

Podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, se definuje, že „látkou“ je chemický prvek a jeho sloučeniny v přírodním stavu nebo získané výrobním procesem, včetně všech přídatných látek nutných k uchování jeho stability a také všech nečistot vznikajících v použitém procesu, avšak s vyloučením všech rozpouštědel, která lze oddělit bez ovlivnění stability látky nebo změny jejího složení [3] [4].

Únik

Únik je uvolnění nebo emise látky z kontejnmentu, systému nebo procesu. Může být jednorázový, kontinuální nebo časově omezený. Ohledně skupenství látky se jedná o únik plynu, páry, kapaliny, dvoufázový únik páry nebo kapaliny, popřípadě uvolnění pevné látky. Může jít o malé úniky kapalin – netěsnosti a průsaky, rozlití či přetečení kapalin, rozsypaní pevné látky nebo významná množství plynů a par, kapalin. Typ úniku závisí na způsobu, jakým je kontejnment porušen, na vlastnostech přítomné chemické látky a podmínkách skladování nebo zpracování [3].

Uzavřený prostor

Není jasně stanovená jednotná definice tohoto pojmu. Každý zaměstnavatel si tento pojem musí vymezit sám. Je to nezbytné jak z důvodu vysvětlení jeho podstaty zaměstnancům, ale také z důvodu včlenění této specifické problematiky do systému řízení Bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (dále jen „BOZP“) v dané firmě [5].

Uzavřeným prostorem rozumíme prostor, který není za normálních podmínek určen k trvalému pobytu osob. Je zcela nebo částečně uzavřen a vstup či výstup do prostoru je omezen. V prostoru se může vyskytovat škodlivá atmosféra, která svým vnitřním uspořádáním může způsobit uvěznění či zadušení přítomných osob [5].

Evakuace

Souhrn organizačních a technických opatření zabezpečujících přemístění osob, zvířat a věcných prostředků, z míst ohrožených mimořádnou událostí do míst, ve kterých je zajištěno pro osoby náhradní ubytování a stravování. Pro zvířata

je v těchto místech zajištěno ustájení a pro věcné prostředky uskladnění. Největší prioritou je život a zdraví [6] [7].

2.2 Právní normy

V této části jsou uvedeny právní normy v oblasti prevence závažných havárií s únikem nebezpečných chemických látek a směsí.

Zákon č. 224/2015 Sb. zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). Tento zákon zpracovává příslušný předpis Evropské unie a stanovuje systém prevence závažných havárií, pro objekty ve kterých se nachází nebezpečná látka. Vymezuje povinnosti právnických či podnikajících osob, které užívají nebo budou užívat objekt, ve kterém se nachází nebezpečná látka. Tento zákon obsahuje pojmy související s prevencí závažných havárií [2].

Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií [3].

Řád chemické služby Hasičského záchranného sboru České republiky. Vydává se na pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen „HZS ČR“). Stanovuje plnění úkolů a upravuje jednotný výkon chemické služby HZS ČR [8].

Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, ve znění pozdějších předpisů. Vymezení rizikové faktory pracovních podmínek a minimální opatření [9].

Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu
Název: Zásahy s únikem čpavku (amoniaku) Metodický list číslo 15 L. Vydává se na pokyn HZS ČR. Zajišťuje odbornou přípravu jednotek požární ochrany [10].

2.3 Historické příklady úniku amoniaku

V České republice jsme se již setkali s nebezpečným únikem amoniaku ze zimního stadionu, kdy únik ohrožoval okolí objektu zimního stadionu ve Znojmě. Proběhla evakuace osob z ulic v okolí stadionu.

V roce 2013 unikl amoniak z prasklého chladicího potrubí na zimním stadionu v Rosicích u Brna.

V zahraničí došlo k úniku amoniaku například v Kanadě ve městě Fernie.

Únik amoniaku ze zimního stadionu ve Znojmě

Dne 28. května v 02:00 byl zjištěn únik amoniaku jedním ze zaměstnanců stadionu. Zavinilo jej prasklé těsnění ve spoji mezi trubkami na zásobníku s amoniakem, které obsahovalo pět tun této látky. Z objektu bylo evakuováno deset lidí [11].

Zásah prováděli hasiči v dýchacích přístrojích a protichemických oblecích. Na místě bylo zahájeno monitorování a unikající amoniak byl zkrápěn vodou a následně odčerpáván. Zásah skončil krátce před 13:00. Kvůli úniku amoniaku bylo z preventivních důvodů uzavřeno několik ulic v okolí stadionu [11].

Únik amoniaku ze zimního stadionu v Rosicích u Brna

Dne 11. dubna 2013 unikl amoniak ze zimního stadionu v Rosicích u Brna. Amoniak unikl z prasklého potrubí pod ledovou plochou a budovu zimního

stadionu rychle zamořil. Koncentrace amoniaku v budově byla tak vysoká, že zničila jedno čidlo [12].

Únik amoniaku ze zimního stadionu ve městě Fernie v Kanadě

Dne 18. října 2017 došlo k prvnímu úniku amoniaku ze zimního stadionu Fernie Memorial Arena, který způsobil smrt. Tři lidé zemřeli v důsledku vystavení úniku amoniaku. Naštěstí v té době byl zimní stadion prázdný, proto nedošlo k většímu počtu úmrtí osob. K neštěstí došlo při provádění údržby na chladícím zařízení. Z okolí stadionu bylo evakuováno na 24 hodin 60 osob. Byl vyhlášen sedmidenní stav nouze [13] [14].

Fernie Memorial Arena stejně jako většina kluzišť, je vybavena čidlem rozpoznávající amoniak v ovzduší. Upozorňuje pracovníky na nebezpečnou koncentraci amoniaku. Není však jasné, zda bezpečnostní opatření neselhala [14].

Únik amoniaku při přepravě

Únik amoniaku hrozí také při přepravě z výroby amoniaku do místa určení. Hrozí zde velké riziko pro obyvatelstvo, způsobené prvotní vlnou při úniku amoniaku. Je důležité se při přepravě amoniaku řídit Evropskou dohodou o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí ADR (Accord Dangereuses Route), která ukládá podmínky přepravy nebezpečného nákladu [15] [16].

Podobnou dohodou je Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí RID. Je to mezinárodní smlouva určující podmínky pro přepravu nebezpečných látek po železnici a je součástí Úmluvy o mezinárodní železniční přepravě COTIF [15] [16].

Na základě statistik je dlouhodobě známo, že pravděpodobnost vzniku havárie autocisterny je mnohokrát vyšší než havárie zásobníku v objektu [15].

Dopravní nehoda cisterny převážející amoniak ve městě Houston

Dne 11. května 1967 v 11:00 spadla z dálničního nadjezdu automobilová cisterna s více než 26,5 m³ bezvodého amoniaku. Tato nehoda měla za následek 7 mrtvých a 200 zraněných – 5 osob zemřelo na místě v důsledku vdechnutí amoniaku, 1 osoba zemřela na následky dopravní nehody a 1 osoba zemřela v roce 1979 na zdravotní následky z této havárie. Doprava byla uzavřena v okruhu 5 km od místa události. Národní rada pro bezpečnost dopravy později zjistila, že řidiči cisteren nejezdí bezpečně a porušují dopravní předpisy. Příčinou nehody byla vysoká rychlost v kombinaci přelití amoniaku v částečně naložené cisterně [17] [18].

2.4 Základní informace o zimním stadionu

Provozovatelem Městského zimního stadionu v Kladně je společnost Sportovní areály města Kladna s.r.o., Sportovců 818, 272 01 Kladno. Městský zimní stadion v Kladně je provozován nepřetržitě po celý rok. Ředitelem je František Poláček [19].

Otevřeno je 24 hodin denně. Aktuální rozpisy pronájmů ledových ploch jsou zveřejňovány na internetových stránkách společnosti. Na 2. ledové ploše probíhá veřejné bruslení vždy v sobotu od 18,00 hod. – 20,00 hod. a v neděli od 16,00 hod. – 18,00 hod [19].

Chladivo

- Chladicí zařízení pracuje s chladivem R 717 – amoniak – NH₃;
- způsob chlazení – přímé chlazení třídy A, C;
- chladivo přímo v trubkovém systému ochlazuje ledovou plochu;

- celková velikost náplně amoniaku je cca 9000 kg
 - 2x expanzní nádrže o objemu 6m³ naplněny do 40% svého objemu;
 - 1x nádrž 3,75m³;
 - potrubí o průměru 0,1m [19].

2.5 Seznámení se situací podle místních podmínek

Chladicí zařízení v objektu zimního stadionu ochlazuje dvě kryté ledové plochy. Tyto plochy slouží k provozování ledních sportů. Při činnosti chladicího zařízení může dojít, vlivem selhání zařízení nebo působením přírodních vlivů, k následné havárii amoniaku [19].

Objekt zimního stadionu je situován v neobydlené části města Kladna. V těsné blízkosti objektu je frekventovaná silnice, sportovní areály a budova vysoké školy. Ve vzdálenosti několika set metrů je areál nemocnice a areál mrazíren [19].

Kapacita zimního stadionu je 8500 osob, což je maximální soustředění osob v jednom prostoru. Průměrná návštěvnost zimního stadionu je 2500 osob. Meteorologická situace pro oblast zimního stadionu a okolí je dána převládajícím západním směrem přízemního větru [19].

V chladicím zařízení zimního stadionu je celková náplň amoniaku 9000 kg. Toto množství chladiva je rozděleno do dvou expanzních nádob (nizkotlakých sběračů), do dvou potrubních roštů ledové plochy (výparníků) a vysokotlakého sběrače tekutého chladiva. Expanzní nádoby a vysokotlaký sběrač jsou instalované ve strojově chlazení. Každá z těchto tlakových nádob se dá samostatně uzavřít na vstupu nebo výstupu chladiva. Amoniak je možno pro manipulaci přepustit, a to z každé jednotlivé části do části zbývajících, tedy je možné je vyprázdnit v případě poruchy. Odpařovací kondenzátor je umístěn na střeše strojovny chlazení [19].

2.6 Zamrazení, údržba a rozpuštění ledových ploch

Činnosti obvykle spojené se zamrazením ledových ploch před zahájením zimní sezóny jsou:

- kontrola náplní ve strojním chladicím zařízení (amoniak, oleje, chemické přísady pro úpravu vody potřebné k chlazení);
- odolejování expanzních nádrží (2 ks);
- odolejování obou ledových ploch;
- údržba a seřízení chladicích kompresorů (2 kompresory Grasso 412, 1 kompresor Grasso 612);
- odvzdušnění vysokotlaké strany NH₃ chlazení;
- odvzdušnění ledových ploch;
- zkouška chladicího zařízení na těsnost NH₃;
- sjednání výkonu trafostanice na dané období (tj. Maximum v kW) u dodavatele elektrické energie;
- kontrola úpravny vody potřebné pro vytvoření ledové plochy;
- seřízení kvality vody pro kondenzátor NH₃ (tj. tvrdost, Ph, množství 38% kyseliny akumulátorové, Continuum, Spectrus 6211, Spectrus 6212);
- při spuštění chlazení se provádí postupné namražování ledové plochy do teploty cca -3 st. Celsia spojené s nanášením upravené vody na plochu, tj. 20 minut nastříkávání vody + 40 minut namražování, vše po dobu 3 až 4 týdnů do výše pokrytí ledové vrstvy 4 cm. V průběhu tohoto období 2x kompletní lajnování ledové plochy práškovou barvou pro potřeby ledního hokeje + malování reklam na ledové ploše;
- po těchto 3-4 týdnech se provádí rovnání plochy rolbou a navážením další vrstvy vody na ledovou plochu;
- pro provoz strojovny je vždy zaveden deník chlazení pro nadcházející sezónu (zimní provoz), kam jsou zapisovány hodnoty parametrů důležitých pro ledovou plochu;

- rozepsání pracovníků strojovny a obsluhy ledové plochy do směnného provozu (rozpis směn) [20].

Činnosti obvykle spojené s údržbou ledových ploch zimního stadionu (pravidelná údržba plochy) jsou:

- ledová plocha se upravuje rolbou 12x až 15x za jeden provozní den;
- v nočních hodinách se ledová plocha seřezává rolbou do roviny a naváží se potřebné množství vody k jejímu dorovnání;
- osekávají se zmrazky na mantinelech a ořezává se led u okopových desek,
- průběžně se upravuje porušené lajnování a 2x za sezónu se lajnování včetně reklam na ledě kompletně obnovuje;
- kontrolují se a opravují výplety hokejových branek;
- kontrolují se a opravují mantinely a ochranná plexiskla [20].

Mezi činnosti obvykle spojené s rozpuštěním ledových ploch zimního stadionu patří:

- odstávka (vypnutí) technického zařízení pro chlazení ledové plochy ve strojovně chlazení;
- odolejování a odvzdušnění ploch;
- odsátí NH₃ z výparníků ledových ploch z důvodu nebezpečí hydraulického tlaku;
- kontrola odstavení ploch dle platného manuálu pro strojovnu chlazení NH₃;
- zavedení deníku strojovny pro letní provoz [20].

Všechny tyto popsané úkony jsou nezbytné pro provoz zimního stadionu. Bez takto přesně stanovených po sobě jdoucích úkonů by nebylo možné zajistit celoroční provozuschopnost ledových ploch.

2.7 Vlastnosti amoniaku

Amoniak je jedovatý plyn. Pro svůj ostrý zápach je snadno rozpoznatelný ve vzduchu. Plynný amoniak při normálním atmosférickém tlaku je lehčí než vzduch ($0,771 \text{ kg/m}^3$) při 0°C a tlaku 760 torrů. Amoniak nerozrušuje litinu ani ocel. Porušuje však pozinkované plechy, slitiny hliníku a způsobuje korozi mědi a jejich slitin, vyjma fosforu a bronzu. Amoniak se mísí s vodou v každém poměru. Rozpouštění je provázeno změnou objemu a vývinem tepla [19].

Plynný amoniak

Za normálních podmínek je bezbarvý jedovatý plyn s charakteristickým štiplavým zápachem. Je hořlavý, výbušný, žíravý a nebezpečný pro životní prostředí. Dráždí oči, dýchací orgány a způsobuje křečovitý kašel, leptá sliznice a kůži [10].

Díky dobré rozpustnosti ve vodě lze zkrápět. Čím vyšší je teplota vody, tím menší je rozpustnost amoniaku. Amoniak je lehčí než vzduch, proto se v místě odpaření vytváří čpavková mlha, která je těžší než vzduch a může zatékat do níže položených prostor [10].

Kapalný amoniak

Kapalný amoniak způsobuje omrzliny. Z 1 l zkapalněného amoniaku se za normálních podmínek vytvoří až 1000 l plynného amoniaku. Při styku zkapalněného amoniaku s vodou dochází k exotermní reakci (vývin tepla) [10].

Tabulka 1 - Fyzikální vlastnosti čpavku [zdroj:vlastní]

Fyzikální vlastnosti	
Chemický název	amoniak
Chemický vzorec	NH ₃
Molová hmotnost	17,03 kg/kmol
Teplota varu při tlaku 760 torrů	-33,4 °C
Bod tuhnutí	-77,9 °C
Bod vznícené	630 °C
Dolní mez výbušnosti	15% objemu
Horní mez výbušnosti	28% objemu
Kritický tlak	113 bar

Za atmosférického tlaku při výronu kapalného amoniaku dojde k odpaření pouze části amoniaku přívodem tepla z okolí, které se silně podchladí. Zbylý amoniak zůstává ve formě kapaliny a dalším přívodem z okolí se postupně odpařuje. Teplota varu při atmosférickém tlaku, kdy dochází k odpaření amoniaku, je -33,4°C [19].

Identifikace chemické látky

Tabulka 2 - Identifikace chemické látky [zdroj vlastní]

Identifikace chemické látky	
Chemický název	amoniak
Registrační číslo CAS	7764-41-7
Číslo ES	231-635-3
Indexové číslo (EEC)	007-001-00-5
Kemler kód	268
UN číslo	1005

Přeprava nebezpečných látek a materiálů

Přeprava nebezpečných látek, či nebezpečných věcí, která se uskutečňuje hlavně po silnici, ale také po železnici nebo po vodních cestách a letecky, představuje významné riziko. Je nutné stanovit pro přepravu základní podmínky a pravidla na zajištění bezpečnosti [15].





Většina přepravy nebezpečných látek probíhá na mezinárodní úrovni, proto byly sjednány mezinárodní dohody o přepravě [15].

Na území Evropské unie dosahuje celkový objem přepravy nebezpečných věcí 110 miliard tun na kilometr za rok. Po silnici se převáží 58%, po železnici 25% a po vodních cestách 17%. V posledních letech klesá objem přepravovaných věcí po železnici, zatímco objem přepravovaných věcí po silnici a vodních cestách stoupá. Podíl přepravy nebezpečných látek v přepravě tvoří 8% [15].

Výstražné symboly CLP

Klasifikace, označování a balení látek a směsí (CLP) [21].

Tabulka 3 - Výstražné symboly CLP [22]

Výstražné symboly CLP	
GHS04	Obsahuje plyn, pod tlakem; při zahřívání může vybuchnout 
GHS05	Způsobuje těžká poleptání a poškození očí 
GHS06	Toxický při vdechování 
GHS09	Vysoce toxický pro vodní organismy 

Klasifikace ADR

Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě (ADR).

Tabulka 4 - Klasifikace ADR [23]

Klasifikace ADR	
Třída	2 – plyny
Klasifikační kód	2TC – Zkapalněné plyny: plyny, které, jsou-li naplněny pod tlakem pro přepravu, jsou částečně kapalné při teplotách nad -50°C – toxické, žíravé
Zákaz ADR přepravy	Ne

Klasifikace RID




Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných látek (RID).

Tabulka 5 - Klasifikace RID [23]

Klasifikace RID	
Třída	2 - plyny
Klasifikační kód	2TC – Zkapalněné plyny: plyny, které, jsou-li naplněny pod tlakem pro přepravu, jsou částečně kapalné při teplotách nad -50°C – toxické, žíravé
Zákaz RID přepravy	Ne

Bezpečnostní značky

Tabulka 6 - Bezpečnostní značky [23]

Bezpečnostní značky	
ADR/RID	2.3 – Toxické plyny 
ADR/RID	8 – Žíravé látky 
RID	13 – Opatrně posunovat 

Dekontaminační činidla

Dekontaminační činidla pro amoniak se liší podle toho, co bude dekontaminováno. Pro dekontaminaci protichemického ochranného oděvu a povrchů se používá 8% kyselina octová (ocet). Pro dekontaminaci těla se jako dekontaminační činidlo používá voda [8].

Tabulka 7 - Způsob nanášení dekontaminačních kapalin [8]

Způsob nanášení dekontaminačních kapalin	Množství [l/m ²]
Dekontaminační roztok sprchou	0,5
Dekontaminační roztok mechanicky	1
Oplach vodou (sprcha, mlhová proudnice)	10

Působení čpavku na lidský organismus

Čpavkové páry dráždí sliznici horních cest dýchacích. Při vdechnutí, požití či absorpcí kůží může mít smrtelné účinky. Páry jsou extrémně dráždivé a žíravé. Při větším obsahu par ve vzduchu dochází k zrudnutí, slzení, silným záchvatům kašle, závratím a bolestem žaludku. Zasažne-li oči, dochází k těžkému poškození rohovky a úraz může skončit ztrátou zraku. Dlouhodobé působení čpavkových par vyvolává chronické záněty sliznic hrtanu, průdušek a poruchy výměny látkové. Stříkne-li tekutý amoniak na kůži, vznikne poškození kůže, které má charakter popálení II. stupně [19] [24].

Poskytnutí první pomoci

Důležité je vyvést postiženého z místa zasažení a zajistit mu přívod čerstvého vzduchu. Uložit ho do stabilizované polohy a zabránit prochladnutí. V případě potřeby zahájit podporu dýchání pomocí křísícího přístroje. Z důvodu možnosti intoxikace záchránce je zakázáno provádět dýchání z úst do úst. Při potřísnění kapalnou frakcí je nutné svléci zasažený oděv. Neodstraňovat oděv, pokud přiléhá ke kůži. Potřísněná místa oplachovat pouze vodou. Dostane-li se látka do očí, vymývat je minimálně 15 minut. V případě potřísnění zkapalněným amoniakem ošetřit omrzlé části kůže, pokud možno, vlažnou vodou, omrzlá místa na těle netřít. Předat postiženého k lékařskému ošetření [10].

Požární nebezpečí

Uniklý amoniak může hořet, ale nedochází ke snadnému vznícení. Páry ze zkapalněného plynu jsou zpočátku těžší než vzduch a šíří se při zemi. Některé tyto látky mohou reagovat prudce s vodou. Z tlakových lahví vystavených ohni může přes tlakový pojistný ventil unikat toxický a/nebo žíravý plyn. Nádoby mohou při zahřátí explodovat. U prasklých tlakových lahví hrozí, že vyletí do vzduchu [24].

Tabulka 8 - Seznam ochranných pomůcek a prostředků pro likvidaci havárie [19]

Seznam ochranných pomůcek a prostředků pro likvidaci havárie
Ochranné masky
Filtr „K“ (proti čpavkovým parám)
Dýchací přístroje Saturn
Gumový oblek s tepelnou izolací
Pryžové ochranné rukavice
Holínky pro každého pracovníka
Přiléhavé ochranné brýle
Polyetylénové pytle na 50kg – 10 ks
Polyetylénové pytle na 20kg – 10 ks
Polyetylénové fólie – 30 kg
30 % roztok HNO ₃ – 2 x 50 l
Barel o obsahu 200 l – 5 ks
Barel o obsahu 100 l – 5 ks
Přenosné kalové čerpadlo – 1 ks
Krumpáč, lopata, hrábě, 2 m ³ písku umístěné v bednách
Lékárnička vybavená dle schválení místního zdravotního střediska

Při likvidaci havárie jsou osoby pověřené likvidací povinny dodržovat bezpečnostní předpisy, tj. nepřipustit přístup s otevřeným ohněm, kouření, zapínání jiskřivých elektrických spotřebičů. Povinnosti osob pověřených likvidací havárie je rovněž brát zřetel na obyvatele okolních domů a uživatele komunikací [19].

Při zásahu je nutné používat uvedené osobní ochranné prostředky.

Plynová maska s filtrem K (zelený obal) proti parám amoniaku. Filtr je účinný 50 minut při koncentraci 0,5 %. Při větších koncentracích je nutné používat plynový dýchací přístroj a prostředky osobní ochrany jako je ochranný gumový oděv s tepelnou izolací, gumové rukavice a obuv, včetně přiléhavých ochranných brýlí [19].

Umístění a uložení pomůcek pro likvidaci případné havárie

Ochranné pomůcky a prostředky pro likvidaci havárie jsou uloženy na chodbě u velína strojovny chlazení. Hadice k hydrantům jsou umístěny ve skříních na každé chodbě zimního stadionu, u vstupních dveří do restaurace, na chodbě před strojovnou chlazení a na dalších důležitých místech [19].

2.8 Prevence rizik při práci v uzavřeném prostoru

Strojovna Zimního stadionu v Kladně se nachází uvnitř budovy v suterénu a práce tedy probíhá v uzavřeném prostoru, ve kterém je nutné dodržovat stanovené podmínky práce v uzavřených prostorech.

Měření kvality ovzduší uvnitř uzavřených prostor

Měření kvality ovzduší uvnitř uzavřených prostor se provádí dvěma způsoby:

1. Multifunkční detektory, které měří vždy více plynů. Pro jednotlivé pracovníky je důležité vědět, co daný typ detektoru měří a k čemu slouží. Důležité je také vědět, co daný přístroj neměří. Pracovník nesmí spoléhat na to, že když detektor nevydává výstražný signál, tak neexistuje žádné nebezpečí. V prostředí se totiž může nacházet nebezpečná látka, jejíž přítomnost detektor nezaznamená. Proto je nutná znalost místních

podmínek, aby pracovník věděl, jaké látky lze v uzavřeném prostoru předpokládat a mohl zvolit vhodný detektor [5].

2. Jednoúčelové detektory, kdy na každou nebezpečnou látku je zapotřebí samostatný detektor. V této souvislosti je nezbytná dobrá znalost technologií měření. Je-li měření prováděno například metodou katalytické difuze, je nutné při měření koncentrace plynů začít kyslíkem [5].

V mnoha případech se k měření koncentrace plynů v prostoru používá stacionárních přístrojů s pevně umístěným senzorem. Výsledky z těchto senzorů bývají velmi zkreslené, protože nejsou měřeny v dýchací zóně pracovníka [5].

2.9 Úkoly a postup při úniku amoniaku

Po provedení obecných činností při zásahu s přítomností nebezpečných látek se provádí ve vzdálenosti 15 m vyznačení hranice nebezpečné zóny. Hranice nebezpečné zóny se pomocí měření upřesní v úrovni koncentrace NPK je 52 PPM. O koncentraci NPK se zmiňují v metodice. Při činnostech v nebezpečné zóně používají jednotky osobní ochranné prostředky podle naměřené koncentrace [10].

Záchrana a evakuace osob z nebezpečné zóny

Zachraňují se vždy osoby, které se nacházejí v přímo zasaženém prostoru a včas se varují, dále se evakuují osoby z prostoru, kde se předpokládá šíření čpavku. Evakuační cesty se volí tak, aby vedly mimo nebezpečnou zónu, mimo směr větru a aby navazovaly na dostatečně velký rozptylový prostor pro evakuované osoby (shromaždiště), zejména při evakuaci velkého počtu osob ze zimního stadionu [10].

Monitoring, informování obyvatelstva

Monitoring úniku amoniaku a jeho vyhodnocování v místě zásahu zajišťují chemické laboratoře HZS ČR [10].

Důležitá je spolupráce s danou obcí při informování obyvatelstva v místě předpokládaného šíření amoniaku. Osoby provádějící varování obyvatelstva v místě zásahu a v místě předpokládaného šíření musí být poučeny o nebezpečí šíření amoniaku a případně vybaveny osobními ochrannými prostředky (minimálně obličejovou maskou s příslušným filtrem) [10].

Zabránění dalšímu úniku a rozšiřování plynného nebo kapalného amoniaku. Pro utěsnění porušených míst lze využít těsnicí vaky, klíny, tmely a další prostředky. Utěsnění kanálových vpustí a vstupů do nízko položených prostor. Dle možnosti odvětrání zasažených prostor. Pro odvětrání využít, vzhledem k nebezpečí výbuchu, přetlakový ventilátor s hydraulickým pohonem. Je nezbytné sledování pohybu uniklého plynného nebo kapalného amoniaku a monitorování okolních prostor. Podle potřeby upravovat hranice nebezpečné zóny. Zvláštní pozornost se musí věnovat níže položeným prostor (kanalizace, sklepy) a zajistit jejich odvětrávání s ohledem na směr proudění odvětrávaných plynů [10].

2.10 Poplachový plán Integrovaného záchranného systému

Poplachovým plánem integrovaného záchranného systému (dále jen „IZS“) kraje se rozumí požární poplachový plán kraje, který vydává jako nařízení kraje. Kromě poplachového plánu IZS zpracovává Ministerstvo vnitra tzv. Ústřední poplachový plán IZS. Ústřední poplachový plán se použije při ústřední koordinaci záchranných a likvidačních prací MV – generálním ředitelstvím HZS ČR [25].

Stupně poplachu podle poplachového plánu IZS

Stupeň poplachu předurčuje potřebu sil a prostředků pro záchranné a likvidační práce v závislosti na rozsahu a druhu mimořádné události a také na úrovni koordinace složek při společném zásahu. V rámci IZS se vyhláší čtyři stupně poplachu. Nejvyšší čtvrtý stupeň je označován jako zvláštní [25].

První stupeň poplachu

První stupeň poplachu se vyhláší při následujících mimořádných událostech. Mimořádné události, které ohrožují jednotlivé osoby, objekt nebo jeho část s výjimkou objektu, kde jsou složité podmínky pro zásah. Mimořádné události ohrožující jednotlivé dopravní prostředky osobní nebo nákladní dopravy nebo plochy území do 500 m². První stupeň poplachu se vyhláší při záchranných a likvidačních pracích prováděné základními složkami, které není nutno při společném zásahu nepřetržitě koordinovat [25].

Druhý stupeň poplachu

Druhý stupeň je vyhlášen v případě, že mimořádná událost ohrožuje nejvýše 100 osob, více jak jeden objekt se složitými podmínkami pro zásah, jednotlivé prostředky hromadné dopravy osob, cenný chov zvířat nebo ohrožuje plochy území do 10 000 m². Záchranné a likvidační práce provádí základní a ostatní složky z kraje, kde mimořádná událost probíhá. Vyhláší se, pokud je nutné při společném zásahu složky nepřetržitě koordinovat velitelem zásahu [25].

Třetí stupeň poplachu

Třetí stupeň poplachu se vyhláší v případě, že mimořádná událost ohrožuje více jak 100 a nejvýše 1000 osob, část obce nebo areálu podniku, soupravy železniční přepravy, několik chovů hospodářských zvířat nebo ohrožuje plochy

území do 1 km². Další situace, při kterých je vyhlášen třetí stupeň poplachu, jsou mimořádné události ohrožující povodí řek nebo produktovody. Pokud se jedná o hromadnou havárii v silniční dopravě nebo o havárii v letecké dopravě. Pro záchranné a likvidační práce jsou využity základní a ostatní složky nebo síly a prostředky z jiných krajů a je nutné složky při společném zásahu v místě zásahu koordinovat velitelem zásahu za pomoci štábu velitele zásahu a místo zásahu je potřeba rozdělit na sektory a úseky. Na základě rozhodnutí řídicího důstojníka HZS kraje oznamuje operační a informační středisko kraje vyhlášení třetího stupně poplachu dle poplachového plánu kraje hejtmanovi nebo starostovi obce s rozšířenou působností [25].

Zvláštní stupeň poplachu

Vyhlašuje se v případě, že mimořádná událost ohrožuje více jak 1000 osob, celé obce nebo plochy území nad 1 km². Mezi další podmínky patří provádění záchranných a likvidačních prací prováděné základními a ostatními složkami včetně využití sil a prostředků z jiných krajů, popřípadě je-li nutné využití zahraniční pomoci. Pokud je nutné složky při společném zásahu v místě zásahu koordinovat velitelem zásahu za pomoci štábu velitele zásahu a místo zásahu rozdělit na sektory a úseky nebo při společném zásahu složek, který vyžaduje koordinaci na strategické úrovni [25].

Vyhlášení zvláštního stupně poplachu poplachového plánu kraje oznamuje operační a informační středisko kraje hejtmanovi nebo starostovi dotčené obce s rozšířenou působností. Po vyhlášení zvláštního stupně poplachu poplachového plánu kraje jsou povolány a nasazeny síly a prostředky z kraje pomocí krajského operačního a informačního střediska. Dále koordinuje pomoc se sousedními kraji a informuje o vyhlášení zvláštního stupně poplachu poplachového plánu kraje generální ředitelství [25].

2.11 Rozdělení poplachů do stupně podle množství uvolněného amoniaku

Z hlediska bezpečnosti osob a ohrožení okolí, lze havarijní situaci chladícího zařízení rozdělit podle množství úniku amoniaku na tři stupně [19].

I. stupeň ohrožení

Výron amoniaku je lokalizovatelný a zlikvidovatelný vlastními silami (obsluhou chladícího zařízení – ve strojově chlazení příp. v aparátově). Únik NH₃ do 1000 kg [19].

II. stupeň ohrožení

Výron amoniaku ohrožuje nejen pracovníky v místě výronu, ale i další osoby objektu zimního stadionu. Únik NH₃ do 2000 kg. Místo výronu je totožné s I. stupněm [19].

III. stupeň ohrožení

Výron amoniaku je takového rozsahu, že dojde k ohrožení nejen celého objektu, ale i k okolí zejména ve směru větru. Únik NH₃ nad 2000 kg. Místo výronu je totožné s I. stupněm nebo je umístěn na střeše strojovny chlazení u odpařovacího kondenzátoru, kanálu ledové plochy nebo přívodního potrubí [19].

Výši stupně ohrožení při vzniku havárie určuje služba konající strojník podle množství uniklé nebezpečné škodliviny. Likvidaci havárie prvního stupně ohrožení provádějí zaměstnanci zimního stadionu. Likvidaci havárie druhého a třetího stupně ohrožení řídí havarijní komise v čele s vedoucím zimního stadionu, který určí povinnosti jednotlivých pracovníků [19].

2.12 Plán varování obyvatelstva

Varování obyvatelstva má základ v zákoně č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Varování a vyrozumívání obyvatelstva je jedním ze základních opatření prováděných při ochraně obyvatelstva před mimořádnými událostmi nebo krizovými situacemi. Je úzce spjato s informováním obyvatelstva, které následuje ihned po varování. Všechny koncové prvky varování zařazené do jednotného systému varování musí být centrálně ovladatelné. Moderní koncové prvky varování musí mít záložní zdroj energie na 72 hodin funkčnosti tohoto koncového prvku [26] [27].

Moderní koncové prvky varování jsou elektronické sirény a místní informační systémy s vlastnostmi elektronických sirén. Tyto prvky nahrazují již dosluhující rotační sirény.

Varování

Varování je komplexní souhrn organizačních, technických a provozních opatření zabezpečující včasné předání varovné informace o reálně hrozící nebo již vzniklé mimořádné události a vyžadující realizaci opatření na ochranu obyvatelstva [28].

Tísňové informování obyvatelstva

Je komplexní souhrn všech organizačních, technických a provozních opatření, zabezpečujících bezprostředně po zaznění varovného signálu předání informací o zdroji, povaze a rozsahu nebezpečí a nutných opatření k ochraně života zdraví a majetku [26].

3 CÍL PRÁCE

Předmětem této bakalářské práce je seznámit čtenáře se základními pojmy, historií, obecném seznámení s objektem Městského zimního stadionu v Kladně a jeho okolím.

Cílem práce v praktické části je analýza rizik Městského zimního stadionu v Kladně. Modelace úniku amoniaku z potrubí zásobníku je vytvořena softwarovými programy ALOHA, TerEx, RMP*COMP. Na závěr jsou výsledky ze softwarových programů porovnány. Na základě získaných výsledků a jejich zhodnocení jsou navržena možná zlepšení připravenosti na mimořádnou událost tohoto typu a celkového bezpečnostního systému zimního stadionu.

4 METODIKA

Ke zpracování bakalářské práce jsou použity obecně známé vědecké metody, kterými jsou analýza, dedukce, indukce a modelování.

Data pro bakalářskou práci byla získána z dostupných literárních zdrojů, webových stránek, z interních dokumentů Městského zimního stadionu v Kladně a HZS Středočeského kraje.

4.1 Analýza rizik

Pro analýzu rizik je použita matice rizik, která je jednou z metod určení míry rizika. Vychází z parametrů – Frekvence neboli četnost aktivace možného nebezpečí a Následků – neboli souhrn všech nepříznivých účinků poškodit chráněné zájmy.

4.2 Modelování

Pro modelaci úniku jsou použity parametry výhradně z interních dokumentů Městského stadionu v Kladně. Hlavními použitými údaji jsou údaje o množství amoniaku v jednotlivých zásobnících a potrubí, umístění všech zásobníků a jejich velikost. Meteorologické podmínky jsou stanoveny výpočtem průměru teplot, vlhkosti, pokrytí oblaky a rychlosti větru za posledních 5 let. Data pro určení meteorologických podmínek jsou získány z webové stránky www.e-pocasi.cz.

Pro modelování jsou použity softwarové programy ALOHA, TerEx, RMP*COMP a MARPLOT.

4.2.1 ALOHA

Nástroj ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) je nástroj pro modelaci úniku nebezpečných (toxických, hořlavých, výbušných) látek do atmosféry [29].

Podle vstupních údajů a externích vlivů modeluje nebezpečnou zónu (Threat zone), kde nastává ohrožení v důsledku vlastností uniklé látky. Funkce programu je v mnohém totožná s programem TerEx, z čehož vyplývá i jeho nasazení v obdobných situacích. Na rozdíl od aktuální verze TerExu se liší menším počtem nebezpečných látek v základní databázi a naopak z hlediska modelů šíření se jedná o velmi propracovaný a kvalitní nástroj. Možnost zobrazit zákresy je pouze v prostředí GIS systémů MARPLOT a ArcView (pomocí transformace nástrojem ALOHA Arc Tools) [29].

Tato aplikace je dostupná zdarma americkou organizací NOAA (National Ocean Service, Office of Response and Restoration) a je vyvíjena 25 let. Velkou výhodou tohoto programu je široká podpora mapových oblastí a také značné ověření nástroje praxí [29].

4.2.2 MARPLOT

Aplikace je dodávána spolu s programem ALOHA organizací NOAA a představuje jednoduchý mapový nástroj, umožňující přenést grafické výstupy ALOHY (zákresy vypočítaných oblastí koncentrací uniklých látek) na mapové pozadí. V této aplikaci je možné určit směr větru a tedy i směr šíření nebezpečné látky [29].

4.2.3 TerEx

Softwarový nástroj TerEx je určen pro rychlý odhad následků průmyslových havárií, úniku nebezpečných látek, teroristických nebo vojenských útoků. TerEx neboli Teroristický Expert je program od společnosti T-SOFT [15] [30].

Součástí tohoto programu je databáze chemických látek, která je přehledně strukturována a obsahuje řadu informací. Má rozsáhlé využití pro operativní jednotky Integrovaného záchranného systému jak přímo na místě, tak i v řídicím středisku. Z důvodu hojného používání programu v terénu, je práce s ním v maximální možné míře zjednodušena a také výsledné informace jsou stručně prezentovány [15] [30].

Základ programu TerEx tvoří devět základních modelů mimořádných událostí, které zahrnují různé typy havárií a teroristických útoků. Obsahuje seznam nebezpečných látek, který při těchto událostech připadají v úvahu. TerEx má návaznost na geografický informační systém s možností zobrazovat výsledky na mapě. Jako podklad je možno využít lokální geografická data, případně se připojit na služby mapového serveru Státního mapového centra nebo využít možnost map z prohlížeče Google [30].

Program TerEx je aktivním linkem propojen s toxikologickou databází chemických látek NIOSH, takže lze v nutném případě dohledat další doplňující informace v této databázi o určité látce. Program pracuje v českém, anglickém a slovenském jazyce. TerEx je licencovaným komerčním produktem a není volně k dispozici [15].

4.2.4 RMP*COMP

Risk Management Plane je volně dostupný program pro používání analýz následků podle stanoveného scénáře. V tomto programu není potřeba provádět žádné složité výpočty, ty provede sám program [31].

4.3 SWOT analýza

SWOT analýza je strukturovaná metoda užívaná ke zhodnocení určitého projektu, podniku, místa, systému, či jiného předmětu našeho zájmu. V našem případě pro zhodnocení zimního stadionu. Zahrnuje určení cíle, kterého má například projekt dosáhnout a identifikuje vnitřní a vnější faktory. Tyto faktory mohou mít na dosažení cíle příznivý či nepříznivý vliv. Výstupem SWOT analýzy je matice zahrnující všechny zmíněné faktory [32].

Vnitřní faktory:

- Strengths – silné stránky;
- Weaknesses – slabé stránky [32].

Vnější faktory:

- Opportunities – příležitosti;
- Threats – hrozby [32].

Předmětem analýzy je připravenost objektu na havárii, schopnost řešení dané situace a prevence vzniku havárie.

4.4 Používané pojmy pro vyjádření koncentrace plynných látek v ovzduší

HPK – Havarijní přípustná koncentrace HPK-10, HPK-60

Limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky v ovzduší, které se mohou vystavit záchranáři při záchraně osob z prostředí bez prostředků individuální ochrany po dobu 10 min nebo 60 min [33].

HPK-10 amoniaku je pro záchranáře bez ochranných pomůcek 1043 mg.m^{-3} (1500 PPM). HKP-60 amoniaku je 139 mg.m^{-3} (200 PPM) [10].

HAU – Havarijní akční úroveň HAU-20, HAU-120

Limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky v ovzduší, při kterém je nutné vyvést obyvatelstvo ze zamořeného prostoru do 20 min nebo 120 min od zahájené inhalace jednotlivých osob [33].

HAU-20 amoniaku pro vyvedení obyvatelstva ze zamořeného prostoru do 20min je 348 mg.m^{-3} (500 PPM). HAU-120 amoniaku je 200 PPM [10].

NPK - Nejvyšší přípustná koncentrace

Je to nejvyšší přípustná koncentrace chemických látek v pracovním ovzduší. Jsou to koncentrace látek, kterým nesmí být zaměstnanec v žádném časovém úseku pracovní doby vystaven [9].

Hodnota NPK pro amoniak je 36 mg.m^{-3} (52 PPM) [10].

AEGL – Acute Exposure Guideline Levels

Popisuje působení chemických látek ve vzduchu člověka na člověka a životní prostředí po jednorázové nebo dlouhodobé expozici. Existují tři úrovně závažnosti toxických následků – AEGL 1, 2, 3 [34].

ERPG – Emergency Response Planning Guidelines

Odhaduje koncentrace, při nichž se u většiny lidí, kteří jsou vystaveni působení nebezpečné chemické látky po dobu 1 hodiny, začnou projevovat účinky na zdraví. Nejzranitelnější osoby jsou starší a nemocné osoby nebo děti. U těchto skupin se nepříznivé účinky při koncentracích pod hodnotami ERPG mohou lišit.

Chemikálie může mít až tři hodnoty ERPG, které odpovídají určitému stupni zdravotních účinků [3] [35]. Těmito stupni jsou:

- ERPG-3 je maximální koncentrace látky ve vzduchu, do které by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni této koncentraci nechráněni po dobu až 1 hodiny, aniž by se objevily nebo projevovaly životu ohrožující zdravotní účinky;
- ERPG-2 je maximální koncentrace ve vzduchu, do které by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni po dobu až 1 hodiny, aniž by se objevily nebo nevznikaly nenávratné nebo jiné závažné zdravotní účinky nebo příznaky, které by mohly narušit schopnost osoby přijmout ochrannou činnost;
- ERPG-1 je maximální koncentrace ve vzduchu, do které by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni po dobu až 1 hodiny, aniž by došlo k zaznamenání mírných, nebo nepříznivých účinků na zdraví. Bez vnímání jasně definovaného nežádoucího zápachu [3] [35].

IDLH – Immediately Dangerous to Life or Health

Hodnoty koncentrace bezprostředně nebezpečné pro životní prostředí nebo zdraví, které vypracoval Národní ústav pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci - National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Maximální koncentrace toxické látky ve vzduchu na určitém pracovišti, z kterého může jedinec vyváznout během 30 minut, bez jakýchkoliv příznaků [36] [37].

PPM – Parts per Million

Tabulka 9 - PPM [zdroj vlastní]

100 %	1 000 000 PPM
1 %	10 000 PPM
1 ‰	1 000 PPM

Tabulka 10 - Doporučené ochranné prostředky [10]

Koncentrace amoniaku (PPM)	Doporučené ochranné prostředky
50 – 500	izolační dýchací přístroj vzduchový nebo filtrační dýchací přístroj a zásahový oděv; při záchraně osob viz HPK-10, HPK-60
500 – 5 000	izolační dýchací přístroj vzduchový a protichemický ochranný oděv typu 3 nebo 4 (nepřetlakový, kapalinovzdorný); při záchraně osob viz HPK-10
Nad 5 000	izolační dýchací přístroj vzduchový a protichemický ochranný oděv typu 1a (přetlakový)

5 VÝSLEDKY

5.1 Analýza rizik

Stanovení rizik je dáno charakterem objektu – zimní stadion a jeho okolím. Předmětem bude chemická látka amoniak a bezpečnost lidí pohybujících se v blízkosti stadionu. Okolí stadionu hraje důležitou roli v určování rozsahu následků a evakuace. Důležitým faktem je, že se zimní stadion nachází na kraji obydlené části města a sousedí se sportovními areály.

Nejprve jsme si vytvořili tabulku frekvence možné aktivace nebezpečí. Následně stanovíme možné následky. V našem případě se jedná o dopad na život a zdraví osob, ekonomické dopady a společenské dopady. Nejvyšší váhu přikládáme následkům na život a zdraví osob.

Pro určení úrovně rizika je využito následujícího vztahu:

$$R=F \times N$$

kde

F (Frekvence) je koeficientem četnosti možné aktivace konkrétního typu nebezpečí

N (Následky) jsou souhrnným vyjádřením nepříznivých účinků (dopadů) či jevu schopného poškodit chráněné zájmy

Frekvence

Tabulka 11 - Frekvence možného nebezpečí [zdroj vlastní]

Frekvence možného nebezpečí	F
1 x za 1 až 6 měsíců nebo častěji	10
1 x za 7 až 12 měsíců	9
1 x za více než 1 rok až 5 let	8
1 x za 5 až 10 let	7
1 x za více než 10 až 50 let	6
1 x za 50 až 100 let	5
1 x za více než 100 až 300 let	4
1 x za 300 až 500 let	3
1 x za více než 500 až 1000 let	2
1 x za 1000 let a více	1

Následky

Pro určení celkových nepříznivých následků jsme si určili tři kategorie: dopad na život a zdraví osob, ekonomický dopad a společenský dopad. Celkové následky se vypočítají ze vzorce:

$$N = (K_o \times V_{K_o}) + (K_e \times V_{K_e}) + (K_s \times V_{K_s}),$$

kde

K_o je koeficient dopadu na životy a zdraví;

K_e je koeficient ekonomických dopadů;

Ks je koeficient společenských dopadů;

Vkx je váhový koeficient.

Tabulka 12 - Váhové koeficienty [zdroj vlastní]

Chráněný zájem	Váhový koeficient	
	Označení	hodnota
Život a zdraví osob	VKo	0,4
Ekonomika (majetek)	VKe	0,2
Společenská stabilita	VKs	0,2

Koeficient ohrožených osob na životě a zdraví

Tabulka 13 - Koeficient ohrožených osob [zdroj vlastní]

Ohrožení osob	Ko
Bez ohrožení osob	0
1 – 10 ohrožených osob	1
11 – 20 ohrožených osob	2
21 – 50 ohrožených osob	3
51 – 100 ohrožených osob	4
101 – 200 ohrožených osob	5
201 – 500 ohrožených osob	6
501 – 1 000 ohrožených osob	7
1 001 – 5 000 ohrožených osob	8
5 001 – 10 000 ohrožených osob	9
> 10 000 ohrožených osob	10

Ekonomické dopady v Kč

Tabulka 14 - Ekonomické dopady [zdroj vlastní]

Přímé škody a náklady	Ke
Bez nákladů	0
Do 25 000	1
Do 50 000	2
Do 100 000	3
Do 500 000	4
Do 1 000 000	5
Do 2 500 000	6
Do 5 000 000	7
Do 10 000 000	8
Do 50 000 000	9
Do 100 000 000	10

Časové období předpokládané doby trvání omezujícího stavu

Tabulka 15 - Časové období společenských dopadů [zdroj vlastní]

Časové období	Ks
Bez omezujícího stavu	0
Max 10 minut	1
10 až 30 minut	2
30 až 60 minut	3
1 až 2 hodiny	4

2 až 6 hodin	5
6 až 12 hodin	6
12 až 24 hodin	7
1 až 15 dní	8
15 dní až 1 měsíc	9
Více jak 1 měsíc	10

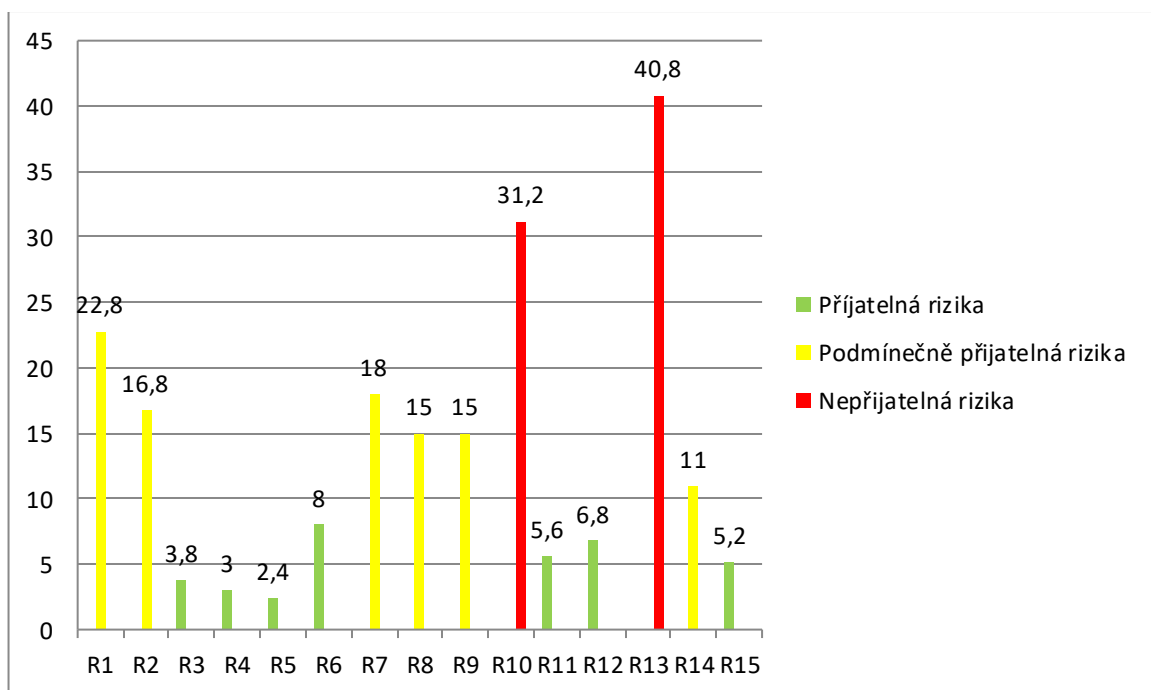
5.1.1 Míra rizika

Pro zjištění míry rizika jsme použili vzorec $R = F \times N$. Výpočet míry rizika je znázorněn v Tabulce 16. Rizika jsme rozdělili do tří kategorií:

- **Přijatelná rizika** – úroveň rizika je 0 – 10. Není předpokládáno přijímání mimořádných opatření. Situace se dají vyřešit a zvládnout v běžném chodu zimního stadionu.
- **Podmínečně přijatelná rizika** – úroveň rizika je 11 – 29. Toto riziko vyžaduje přijímání jistých opatření vedoucích k jejich eliminaci. Riziko je zvládnutelné v běžné činnosti složek IZS.
- **Nepřijatelná rizika** – úroveň rizika je 30 a více. Tato rizika vyžadují zvláštní opatření především havarijní a krizové plánování a na zvládnutí těchto rizik není vždy možné v běžné činnosti složek IZS.

Tabulka 16 - Výsledné stanovení míry rizika [zdroj vlastní]

Riziko	Mimořádná událost	Frekvence	Následky			Míra rizika
			Ko	Ke	Ks	
R1	Krupobití a přívalové deště	6	3	5	2	22,8
R2	Extrémní teploty	7	2	2	6	16,8
R3	Povodně a záplavy	1	1	8	9	3,8
R4	Zemětřesení	1	1	9	4	3
R5	Sesuvy půdy v důsledku přívalových dešťů	1	1	7	3	2,4
R6	Pád kosmických těles	1	10	10	10	8
R7	Bouřky, vichřice a prudké větrné poryvy	5	3	8	4	18
R8	Narušení dodávek vody	5	1	7	6	15
R9	Narušení dodávek energií	5	1	7	6	15
R10	Požár uvnitř budovy	6	5	9	7	31,2
R11	Stávka	2	0	8	6	5,6
R12	Teroristický čin	1	10	10	4	6,8
R13	Únik amoniaku	6	10	8	6	40,8
R14	Planý poplach	5	0	5	6	11
R15	Narušení dodávek amoniaku	2	0	8	5	5,2



Obrázek 1 - Grafické vyobrazení míry rizik [zdroj vlastní]

Z analýzy rizik vyplívá, že za nepřijatelné riziko považujeme únik amoniaku a požár uvnitř budovy. Únik amoniaku může být způsoben lidskou chybou, meteorologickými podmínkami, technickou chybou, či jako důsledek sabotáže nebo teroristického útoku. Únik této látky může být způsoben také požárem ve strojovně, explozí, nebo v důsledku narušení dodávek energií. Vznikem více hrozeb najednou může nastat domino efekt, který by mohl vzniklou situaci výrazně zhoršit. Jedna hrozba může být potencionálně i příčinou dalších uvedených hrozeb. Například požár ve strojovně může vést k ohrožení a následné explozi nádrží s amoniakem.

5.2 Scénář modelové situace

Dne 1. března 2018 v ranních hodinách, mezi 8:00h – 8:30h došlo v prostorách strojovny zimního stadionu v Kladně k úniku amoniaku z poškozeného potrubí jednoho ze zásobníků na amoniak. Toto potrubí vede na první plochu zimního stadionu a jeho průměr je 0,1 m. Zásobník má velikost 6m³, což odpovídá 3 780 kg. Aktuálně se v zásobníku nachází 1512 kg amoniaku. Je naplněn ze 40 %.

Příčinou poškození potrubí byla nesprávná a neopatrná manipulace s břemenem v průběhu úklidu strojovny. Při této nehodě nastal déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.

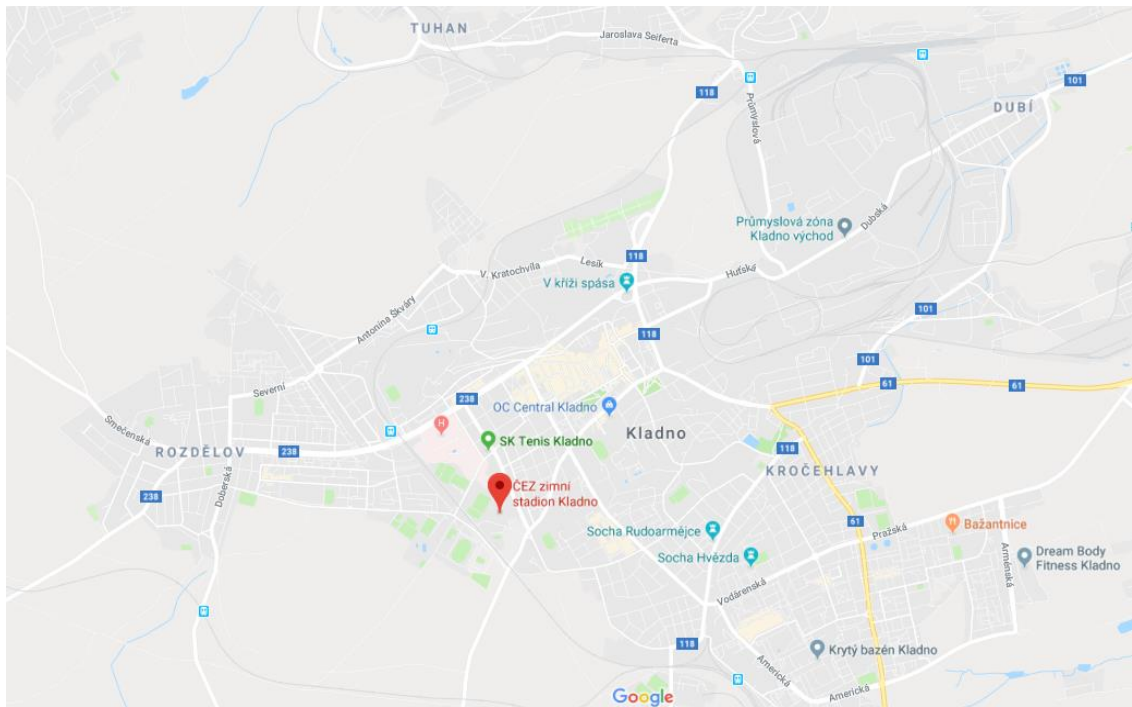


Obrázek 2 - Potrubí vedoucí z nádrže [zdroj vlastní]



Obrázek 3 - Nádrž na amoniak [zdroj vlastní]

Místo události se nachází v jihozápadní části města zvané Rozdělov. V blízkosti se nachází areál nemocnice, sportovní areál Sletišť, aquapark, hokejbalové hřiště a víceúčelová hala BIOS. Obytná zóna v podobě rodinných domů je vzdálena vzdušnou čarou 200 m, panelové domy se nachází vzdušnou čarou ve vzdálenosti 500 m.



Obrázek 4 - Poloha Zimního stadionu [38]

Tabulka 17 - Základní údaje o počasí [39]

Základní meteorologické údaje v okamžiku vzniku havárie	
Teplota vzduchu	11°C
Rychlost větru	4 m/s
Směr větru	severovýchodní
Relativní vlhkost vzduchu	75 %
Pokrytí oblohy oblačností	100 %
Inverze	Stav bez inverze

Tabulka 18 - Důležité údaje [zdroj vlastní]

Důležité údaje	
Nadmořská výška	381 m n. m.
Místo události	Kladno
Zeměpisné souřadnice	50.14170 N, 14.10674
Charakter oblasti	Obydlená oblast
Objem nádrže	6m ³
Tvar nádrže	válec
Množství amoniaku	1512 kg
Velikost otvoru, kterým amoniak uniká	0,1 m

Aktivace zasahující jednotky

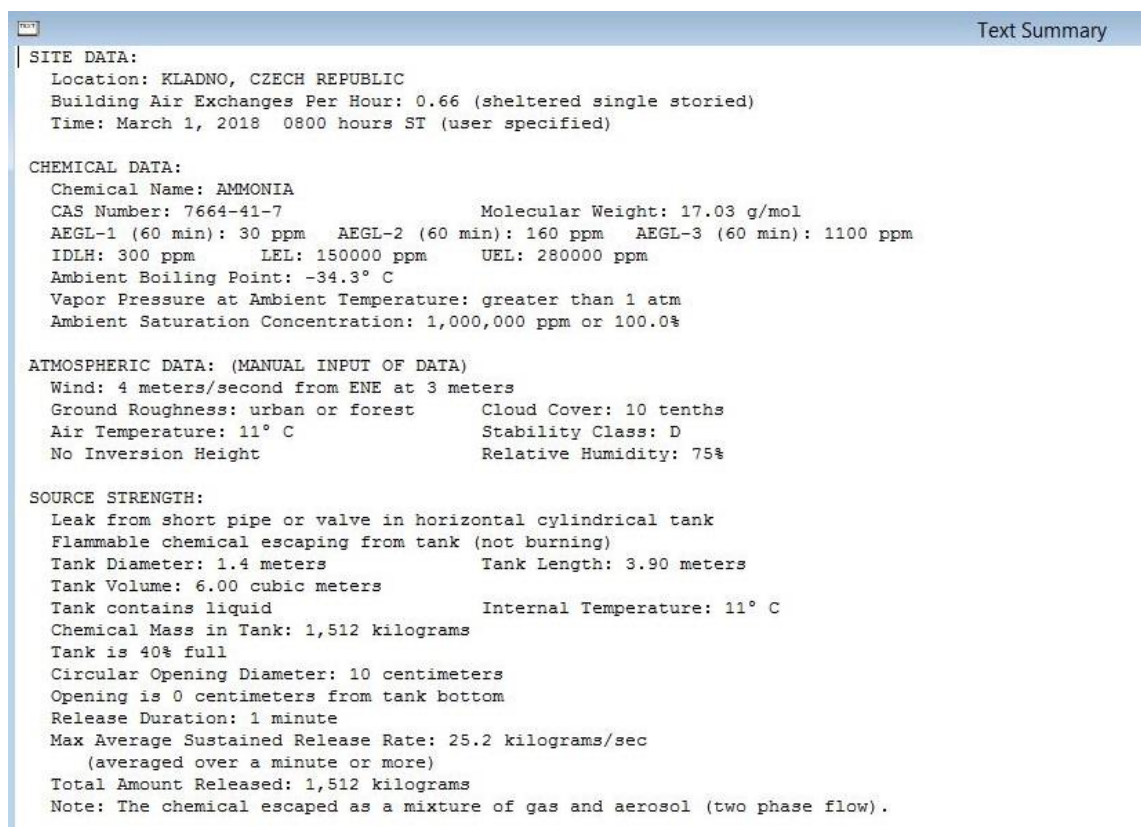
Voláním na linku tísňového volání 112 byli povoláni na místo zásahu profesionální hasiči z Kladna, Slaného a Stochova. Dále byly aktivovány jednotky sboru dobrovolných hasičů Braškov, Brandýsek, Pchery, Hřebeč a Unhošť.

Po příjezdu na místo události hasiči provedli průzkum aktuální situace v místě havárie a předali zjištěné informace o havárii Krajskému operačnímu středisku Středočeského kraje z důvodu potřeby vyhodnocení možného šíření uniklé nebezpečné látky. Na základě výsledků průzkumu a následného zhodnocení situace byly předány informace o havárii ostatním dotčeným subjektům.

5.3 Modelace pomocí softwarového programu ALOHA

ALOHA

Jako první byla v programu ALOHA stanovena lokalita Zimního stadionu. Postupně jsme nastavili datum a čas úniku podle stanoveného scénáře. Dalším krokem bylo nastavení meteorologických a povětrnostních podmínek a vybrání konkrétní chemické látky amoniak a charakter úniku.



```
Text Summary
SITE DATA:
Location: KLADNO, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.66 (sheltered single storied)
Time: March 1, 2018 0800 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: AMMONIA
CAS Number: 7664-41-7 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: -34.3° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

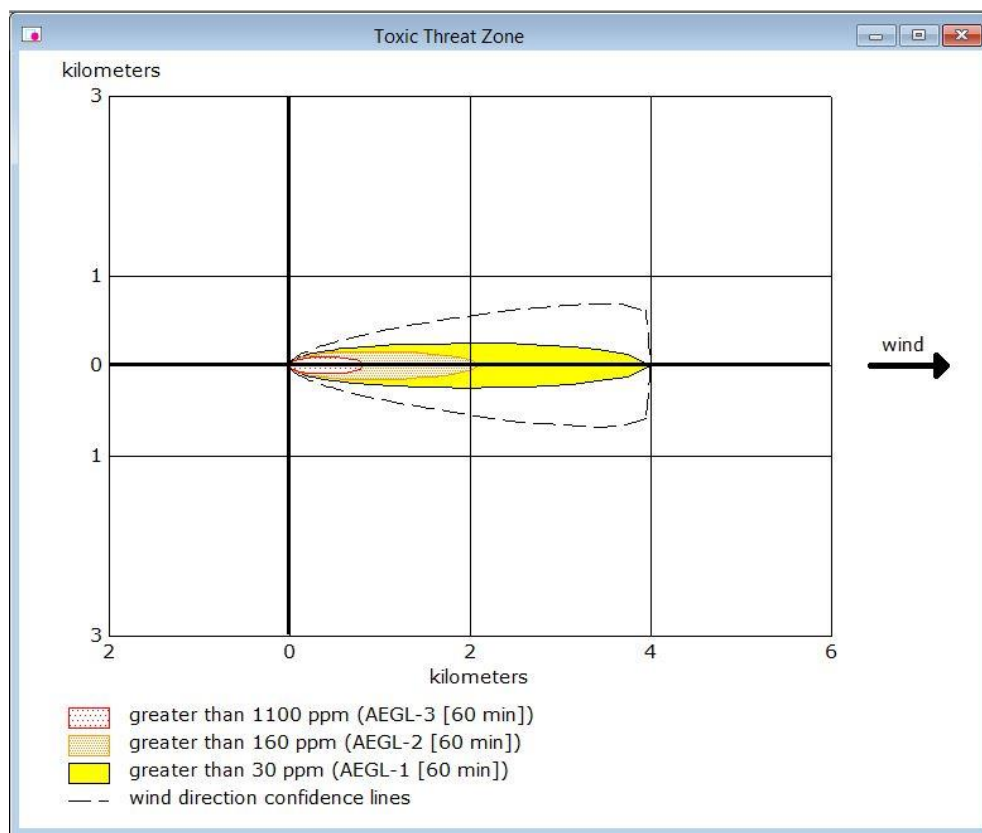
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 4 meters/second from ENE at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths
Air Temperature: 11° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 75%

SOURCE STRENGTH:
Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 1.4 meters Tank Length: 3.90 meters
Tank Volume: 6.00 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 11° C
Chemical Mass in Tank: 1,512 kilograms
Tank is 40% full
Circular Opening Diameter: 10 centimeters
Opening is 0 centimeters from tank bottom
Release Duration: 1 minute
Max Average Sustained Release Rate: 25.2 kilograms/sec
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 1,512 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).
```

Obrázek 5 - Výstup programu ALOHA [40]

Únik amoniaku probíhal z potrubí kulatého průřezu. Na obrázku 5 máme přehledně souhrn dat, která jsme zadávaly do programu. Zadávaná kritéria byla například typ látky, hmotnost, tlak a teplota skladované látky, směr větru, velikost a tvar skladovací nádrže a mnoho dalších.

Toxic Threat Zone



Obrázek 6 - Toxic Threat Zone [40]

Tabulka 19 - Hodnoty PPM v zónách [zdroj vlastní]

Hodnota PPM	Barva	Velikost zóny
1 100	červená	0,8 km
160	oranžová	2,1 km
30	žlutá	4 km

Toxic Threat Zone je v čase 60 min od začátku události. V červené zóně, která je nejbližší místu události, budou hodnoty 1 100 PPM a nachází se do 0,8 km od místa události. Koncentrace nebezpečná pro život po dobu 60 minut je 696 PPM. V zóně se vyskytuje koncentrace látky nebezpečná pro život. Prostor je životu nebezpečný pro osoby, které se v něm nacházejí, a je nutné provést evakuaci.

V oranžové zóně do vzdálenosti 2,1 km jsou hodnoty 160 PPM. V této zóně se vyskytuje koncentrace látky v mezích IDLH. Prostor je zdraví nebezpečný, avšak lidé zde nejsou přímo ohroženi na životě. Provádí se varování prostřednictvím sirén, rozhlasů a SMS zpráv.

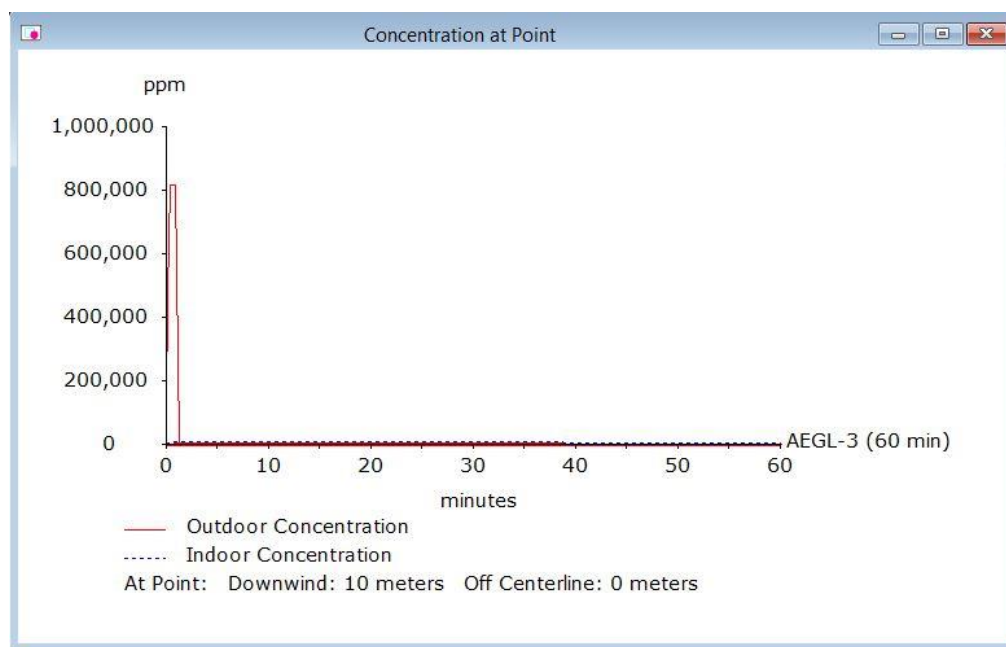
Ve žluté zóně, která se nachází nejdále od události, bude hodnota 30 PPM. Zóna se nachází ve vzdálenosti 4 km od místa události. V oblasti je jen pocitová koncentrace amoniaku a prostor již není zdraví nebezpečný. Občané budou informováni o ochranných opatřeních.

Threat at Point

Tabulka 20 - Threat at Point [40]

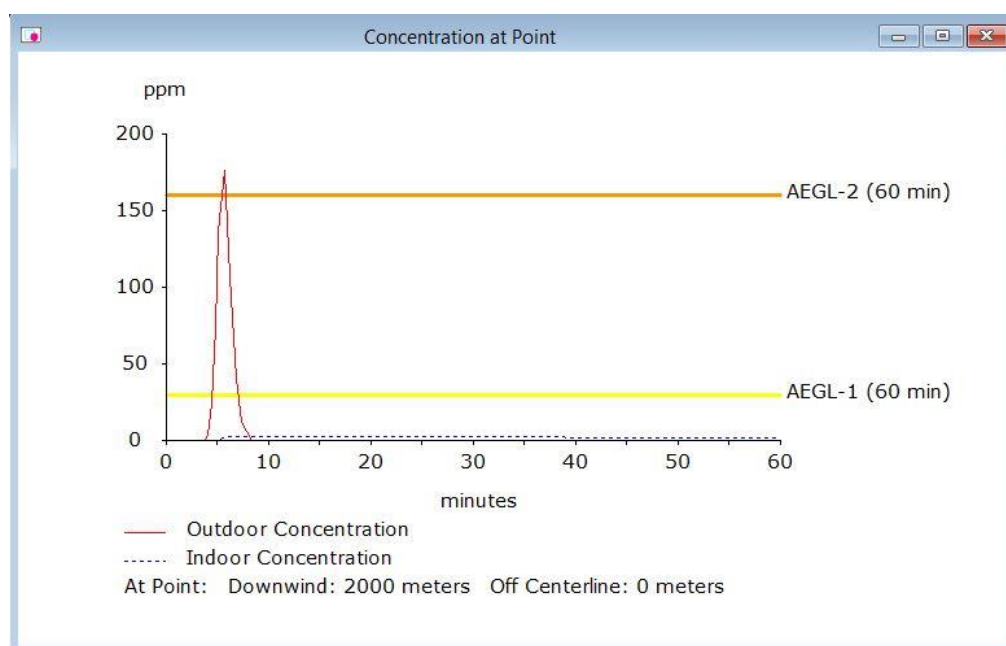
Koncentrace PPM od místa události v metrech	Vně budov [PPM]	Uvnitř budov [PPM]
10	815 000	8 790
50	101 000	1 040
100	32 300	321
250	7 160	76,9
500	2 420	25,9
750	1 190	14,1
1 000	741	9,19
1 250	498	6,61
1 500	349	5,01
1 750	247	3,88
2 000	176	3,06

Ve vzdálenosti 10 m od místa úniku je koncentrace 815 000 PPM, což by pro obsluhující pracovníky nacházející se ve strojovně byla smrtelná koncentrace.



Obrázek 7- Hodnota PPM ve vzdálenosti 10 m [40]

V programu ALOHA jsme jako nejvzdálenější bod od místa úniku určili vzdálenost 2 000 m. V této vzdálenosti je hodnota uvnitř budovy 176 PPM.



Obrázek 8 - Hodnota PPM ve vzdálenosti 2000 m [40]

Zóny ohrožení

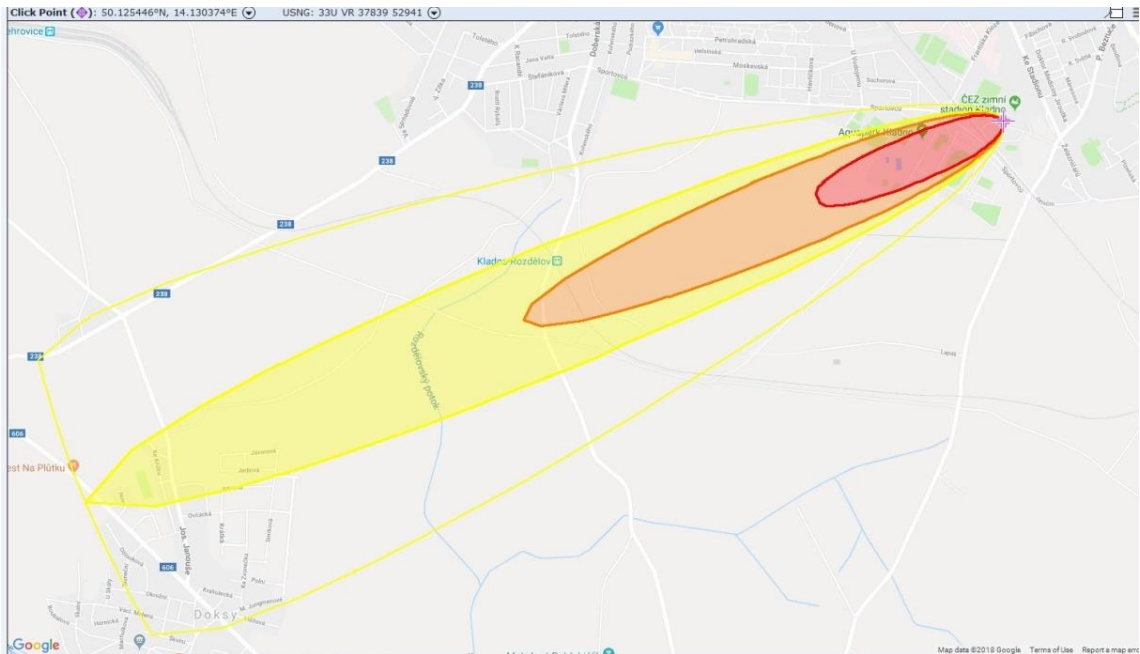
Tabulka 21 - Zóny ohrožení [40]

Zóny ohrožení	Hodnota PPM	Doba expozice	Vzdálenost
HPK-10	1 500PPM	10 minut	0,7 km
HAU-20	500 PPM	20 minut	1,3 km
HPK-60	200 PPM	60 minut	1,9 km
EGPG-3	1 500 PPM	60 minut	0,7 km
ERPG-2	150 PPM	60 minut	2,1 km
ERPG-1	25 PPM	60 minut	4,3 km
AEGL-3	2 700 PPM	10 minut	0,5 km
AEGL-2	220 PPM	10 minut	1,8 km
AEGL-1	30 PPM	10 minut	4 km
AEGL-3	1 600 PPM	30 minut	0,6 km
AEGL-2	220 PPM	30 minut	1,8 km
AEGL-1	30 PPM	30 minut	4 km
AEGL-3	1100 PPM	60 minut	0,8 km
AEGL-2	160 PPM	60 minut	2,1 km
AEGL-1	30 PPM	60 minut	4 km

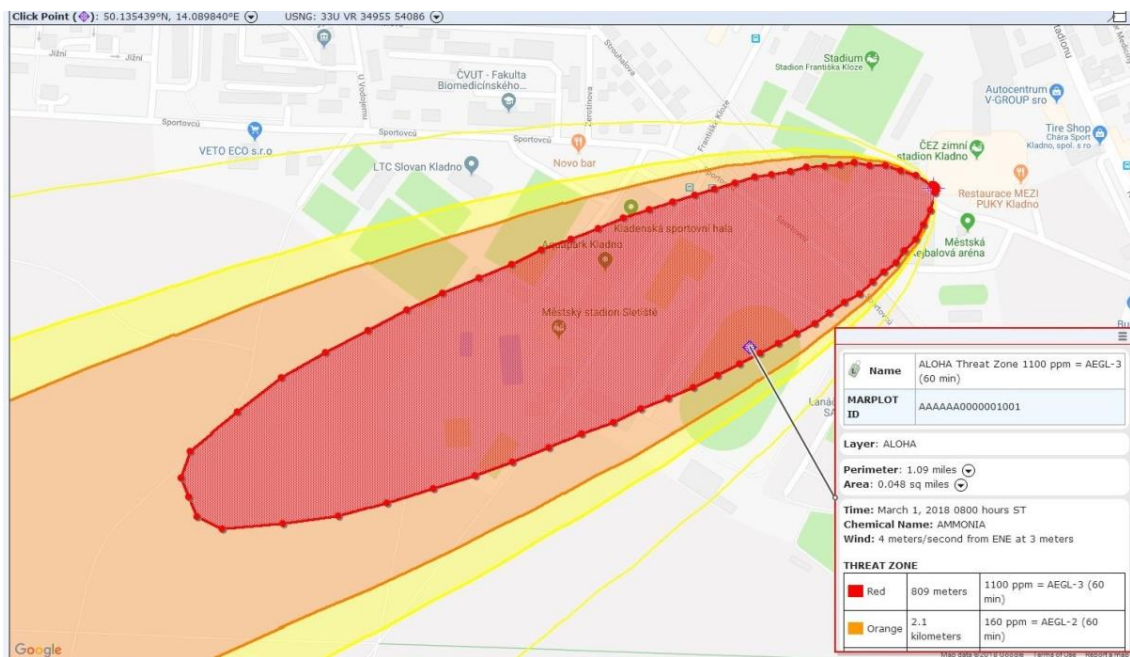
V této tabulce můžeme vidět souhrnné informace zón ohrožení pro jednotlivé typy hodnot.

MARPLOT

Pro grafické znázornění směru úniku amoniaku jsme použili softwarový program MARPLOT, který zobrazil směr úniku do Google maps.

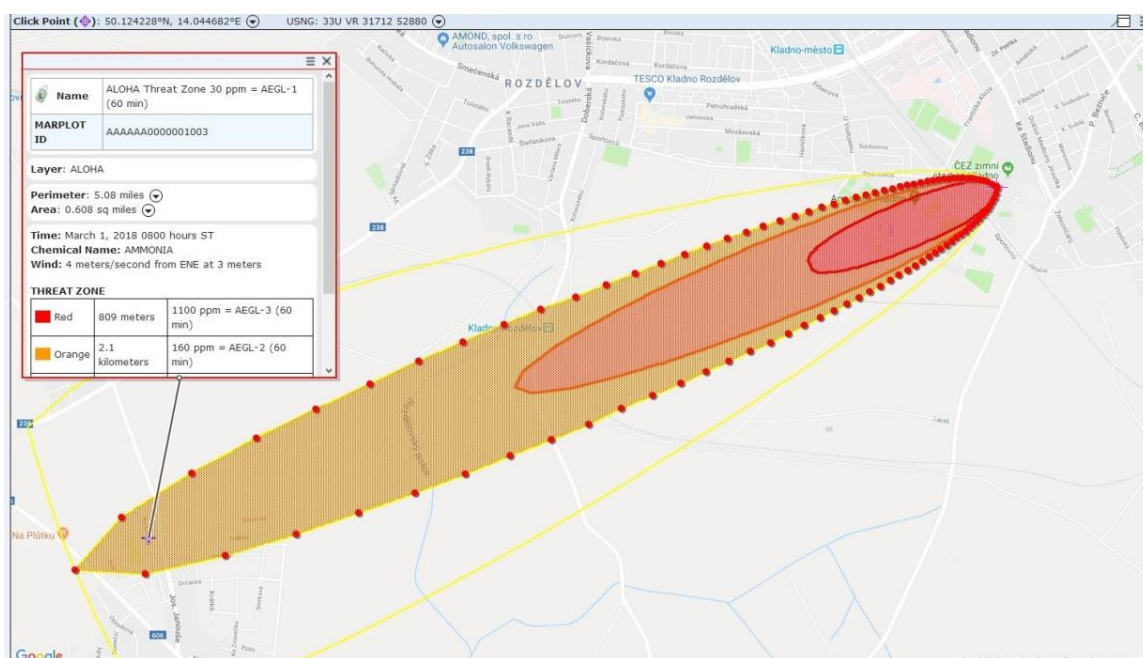


Obrázek 9 - Směr úniku amoniaku [41]



Obrázek 10 - Koncentrace PPM na atletickém oválu [41]

V čase 60 min od události je na atletickém oválu Městského stadionu sletišť koncentrace 1100 PPM. To znamená, že pro všechny osoby nacházející se v tomto prostoru je tato koncentrace smrtelná. Stejně podmínky platí i pro osoby nacházející se na dětských hřištích okolo atletického oválu a také pro osoby nacházející se na přilehlé in-line dráze v lese za Městským stadionem Sletišť.



Obrázek 11 - Koncentrace PPM v obci Doksy[41]

V obci Doksy vzdálené vzdušnou čarou 8,1 km od místa události je koncentrace 30 PPM. Tato koncentrace již smrtelná není. Osoby nacházející se v této oblasti jsou poučeni o zákazu otevírání oken, dveří a je zde zakázáno větrat.

5.4 Modelace pomocí softwarového programu TerEx

V tomto programu je modelován model PLUME – Déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku na zimním stadionu v Kladně. Výstup z tohoto softwarového programu je oblast ohrožení osob toxickou látkou. Dále také ohrožení osob toxickou látkou, ohrožení osob přímým ošlehnutím, ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním, závažné poškození budov,

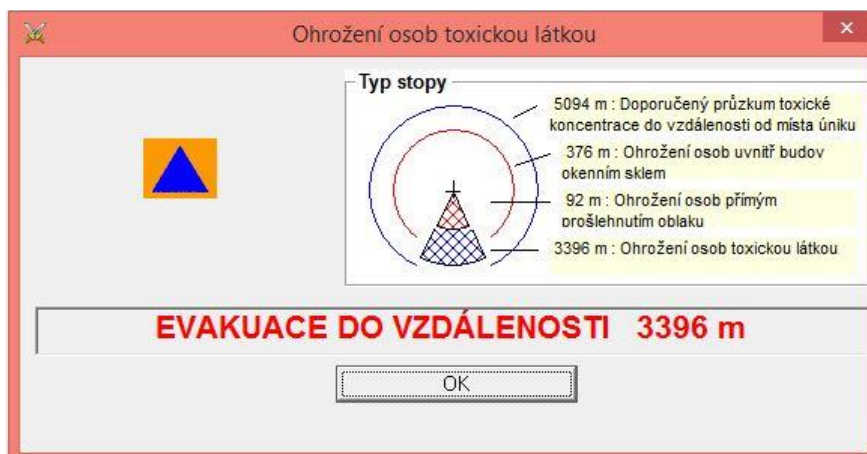
ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem, či doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku.

Data zadaná do tohoto softwarového programu jsou shodná se zadaným scénářem a s daty zadanými do softwarového programu ALOHA. Po jejich zadání vznikne textový adresář výsledků, který můžeme vidět na obrázku 12, grafické a mapové stanovení zón s určitými vzdálenostmi.

TerEx Verze 3.1.1	14:00:56	27.04.2018	Licence pro : FBMI ČVUT Kladno

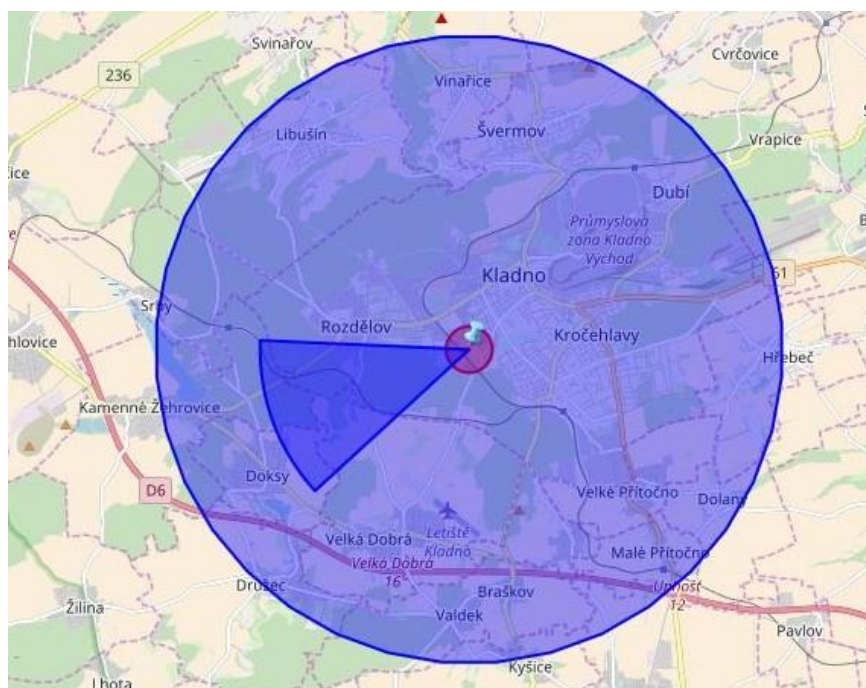
Událost: TE180427_1339			
Model: PLUME - Déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku			
Látka: Amoniak			
Teplota kapaliny v zařízení: 11 °C			
Přetlak v havarovaném zařízení: 1300.00 kPa			
Průměr únikového otvoru: 0.1 m			
Výška hladiny kapaliny v zařízení: 0.56 m			
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 4 m/s			
Pokrytí oblohy oblaky: 100 %			
Doba vzniku a průběhu havárie: Den - Jaro			
Typ atmosférické stálosti: D - izotermie			
Typ povrchu ve směru šíření látky: Obytná krajina			
Ohrožení osob toxickou látkou			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 3396 m (11141.7 ft.)			
[Koncentrace IDLH: 210 mg/m3 (Aktuální: 210 mg/m3)]			
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 5094 m (16712.6 ft.)			
[Koncetrace: 103 mg/m3]			
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 92 m (301.837 ft.)			
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním			
NUTNÝ ODSUN OSOB 226 m (741.47 ft.)			
Závažné poškození budov			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 169 m (554.462 ft.)			
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem			
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 376 m (1233.6 ft.)			

Obrázek 12 - Výstup z programu TerEx [42]



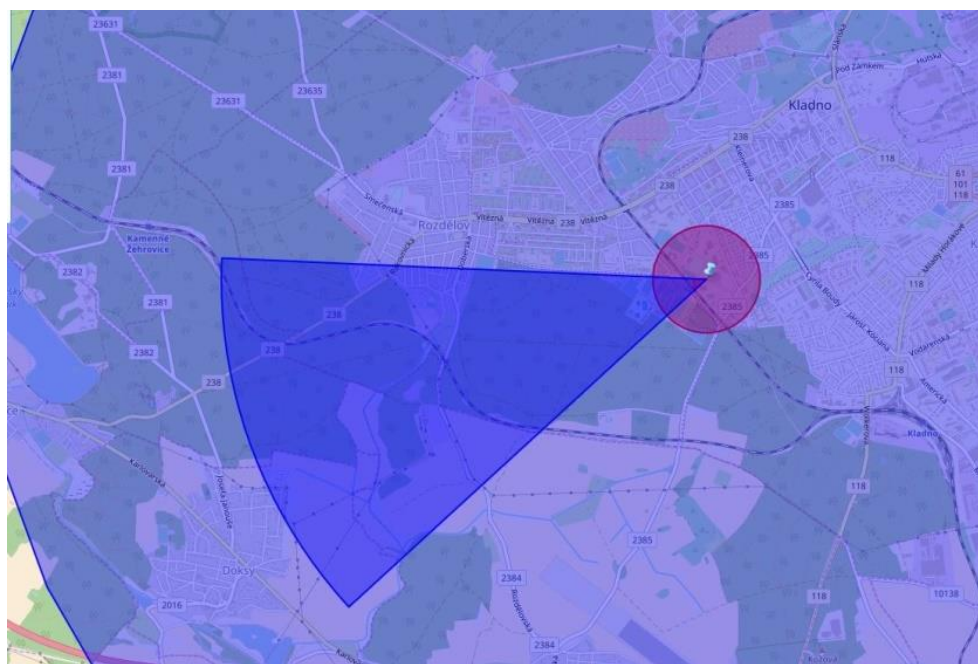
Obrázek 13 - Oblast ohrožení osob [42]

Na obrázku 13 je zobrazena vzdálenost, ve které by měla proběhnout evakuace, pokud dojde k úniku 1 512 kg amoniaku. Do 3 396 m dochází k ohrožení osob touto toxickou látkou. Do 92 m jsou ohrožené osoby přímým prošlehnutím oblaku. Do 376 m mohou být ohroženy osoby uvnitř budov okenním sklem a do 5 094 m od místa úniku je doporučený průzkum toxické koncentrace.



Obrázek 14 - Zobrazení úniku na mapě [42]

Na obrázku 14 je oblast evakuace zobrazena přímo v mapě. Dosah vyobrazené oblasti je 3 396 m. Modrá výseč zobrazuje oblast, kde může dojít k ohrožení osob toxickou látkou - viz Obrázek 15.

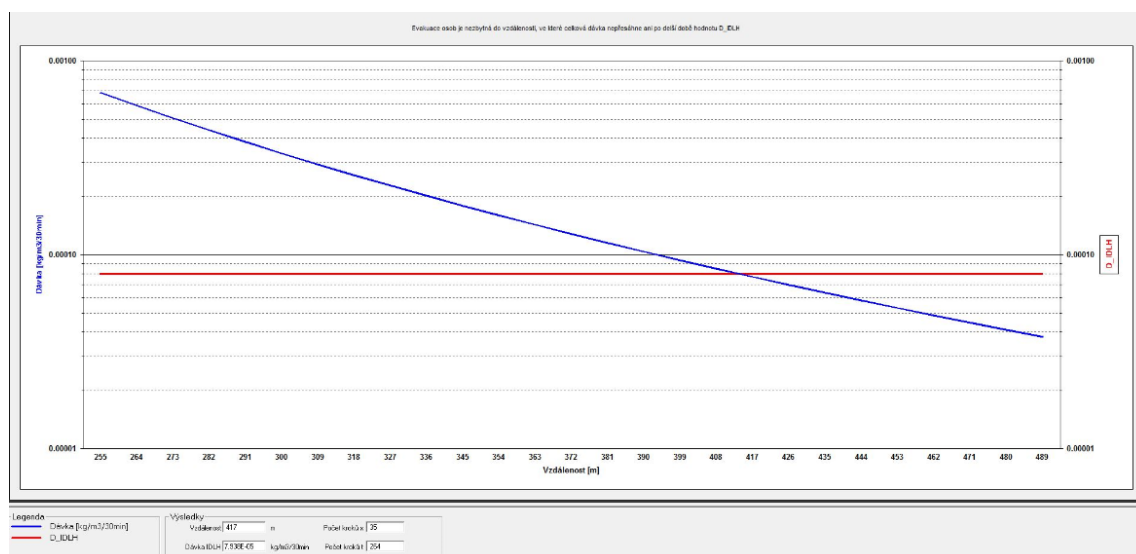


Obrázek 15 - Možné přímé ohrožení osob [42]



Obrázek 16 - Detail místa události [42]

Evakuační oblast se dotýká až areálu nemocnice Kladno, pokrývá také Městský stadion Sletišť, Aquapark Kladno či fotbalové hřiště.



Obrázek 17- Graf nezbytné evakuace osob [42]

Podle grafu na obrázku 17 můžeme vidět, že nezbytná evakuace osob dosahuje do vzdálenosti 417 m. Modrá křivka zobrazuje vývoj koncentrace toxické látky v závislosti na vzdálenosti od místa události. Červená křivka je koncentrace bezprostředně ohrožující život a zdraví.

5.5 Modelace pomocí softwarového programu RMP*COMP

Z tohoto softwarového programu je výstupem informace o toxické látce. Program nám též vyhodnotil a zobrazil grafickou podobu ohrožené oblasti.

The image shows two panels from the RMP*COMP software output. The top panel, titled 'Estimated Distance Calculation', displays the estimated distance to the toxic endpoint as 0.6 miles (1 kilometer). It includes a note that distances shorter than 0.1 mile are reported as 0.1 mile, and distances longer than 25 miles are reported as 25 miles. The bottom panel, titled 'Scenario Summary', provides detailed information about the release scenario, including the chemical (Ammonia), CAS number (7664-41-7), threat type (Toxic Gas), scenario type (Worst-case), physical state (Liquefied under pressure), quantity released (1512 kilograms), release duration (10 min), release rate (183 pounds per minute), mitigation measures (Release in enclosed space, in direct contact with outside air), surrounding terrain type (Urban surroundings), and toxic endpoint (0.14 mg/L; basis: ERPG-2). Below this, under 'Assumptions about this scenario', it lists wind speed (1.5 meters/second), stability class (F), and air temperature (77 degrees F).

Estimated Distance Calculation

Estimated distance to toxic endpoint: 0.6 miles (1 kilometers)

This is the downwind distance to the toxic endpoint specified for this regulated substance under the RMP Rule. Report all distances shorter than 0.1 mile as 0.1 mile, and all distances longer than 25 miles as 25 miles.

Scenario Summary

Chemical: Ammonia (anhydrous)
CAS number: 7664-41-7
Threat type: Toxic Gas
Scenario type: Worst-case
Physical state: Liquefied under pressure
Quantity released: 1512 kilograms
Release duration: 10 min
Release rate: 183 pounds per minute

Mitigation measures: Release in enclosed space, in direct contact with outside air

Surrounding terrain type: Urban surroundings (many obstacles in the immediate area)
Toxic endpoint: 0.14 mg/L; basis: ERPG-2

Assumptions about this scenario

Wind speed: 1.5 meters/second (3.4 miles/hour)
Stability class: F
Air temperature: 77 degrees F (25 degrees C)

Obrázek 18 - Výstup RMP*COMP [43]

Na obrázku 18 jsou zobrazeny informace o toxické látce po předešlém zadání dat, jako jsou rychlost větru, množství látky. Díky tomuto programu získáme také vzdálenost, kam až toxická látka může uniknout.

5.6 Komparace softwarových programů

Funkce softwarového programu ALOHA je v mnohém totožná s programem TerEx, z čehož vyplývá i jeho nasazení v podobných situacích. Ovšem i za předpokladu přesných vstupních dat mohou být výsledky získané programem ALOHA a TerEx nespolehlivé. Modelovaný únik je z pohledu uzavřeného prostoru omezen dle možností použitých softwarových nástrojů. Zvolené softwarové nástroje s těmito podmínkami umí pracovat omezeně, proto výsledky mohou být nepřesné. V modelovém scénáři je předpokládáno, že unikající amoniak se dostane do vnějšího prostředí, např. kdyby byla otevřená vrata do strojovny, k čemuž může dojít při plnění zásobníků.

Softwarový program RPM*COMP udává výsledek v hodnotě AEGL-2 s výslednou vzdáleností 1 km zatímco ALOHA udává vzdálenost od místa události 2,1 km.

Mezi programem ALOHA a TerEx jsou rozdíly ve výsledných zónách. Při koncentraci IDLH 210 mg/m³ uvádí program ALOHA nezbytnou evakuaci do vzdálenosti od místa úniku 1,6 km zatímco program TerEx udává nezbytnou evakuaci od místa úniku 3,4 km. Při koncentraci IDLH 103 mg/m³ udává program ALOHA doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 2,2 km, program TerEx však tuto vzdálenost udává 5,1 km.

Program TerEx hodnoty IDLH automaticky vepsal do výstupu, zatímco program ALOHA do výstupu zobrazí jen hodnotu IDLH 210 mg/m³, hodnota IDLH 103 mg/m³ se zadává ručně.

5.7 SWOT analýza

Předmětem SWOT analýzy je zhodnocení zimního stadionu z pohledu silných a slabých stránek, hrozeb a příležitostí.

Tabulka 22 - SWOT analýza [zdroj vlastní]

Silné stránky	Slabé stránky
Hlásiče úniku amoniaku	Neaktualizovaný havarijní plán
Provádění cvičení na únik amoniaku	Sportoviště v blízkosti zimního stadionu
Jednotka HZS ČR v blízkosti objektu	Nedodržování zákazu kouření ve strojovně
Železniční val u vchodu strojovny	Neznalost přesného objemu amoniaku
Moderní systém řídicí provoz amoniaku	Nedostatečné značení únikových cest
Zkušený personál	Zastaralé reproduktory
Příležitosti	Hrozby
Vyšší přísun financí od vedení	Nepřípravenost občanů na možnou evakuaci
Velká modernizace	Umístění stanice HZS ČR v blízkosti objektu
Vybudování nového stadionu ve vzdálenější lokalitě od frekventovaného sportoviště	Nedostatek financí

Silné stránky

Mezi silné stránky určitě patří hlásiče úniku amoniaku, které včas upozorní personál na možný únik amoniaku.

Pro případ úniku si myslím, že je dobré provádění taktických a prověřovacích cvičení jednak ze strany zimního stadionu a jeho personálu, ale také ze strany zasahujících složek IZS. Nyní tato cvičení neprobíhají pravidelně. Naposledy proběhlo cvičení v dubnu 2018, kterého jsem se osobně zúčastnil.

Ve vzdálenosti 1 km od zimního stadionu se nachází stanice HZS Středočeského kraje. V případě úniku amoniaku je jednotka HZS do několika málo minut na místě události. O poloze stanice se zmiňují i v hrozbách. Pokud by povětrnostní podmínky směřovaly směrem k hasičské stanici, mohla by být ohrožena její funkce.

Železniční val v blízkosti vchodu strojovny při úniku amoniaku může zabránit či zpomalit nežádoucímu šíření uniklého amoniaku. Uniklý amoniak má vyšší hustotu než vzduch a proto se při úniku drží u země. Každé překážky ve směru šíření úniku mohou omezit a zpomalit šíření amoniaku.

Moderní systém řídicí provoz amoniaku má na starosti správné dávkování amoniaku do potrubí a další procesy spojené s údržbou amoniaku. Díky tomuto systému lze předcházet selhání lidského faktoru.

Při návštěvě zimního stadionu v Kladně a konzultaci s jeho zaměstnanci jsem se přesvědčil o odborné znalosti personálu. Personál je vyškolený a dokázal mi poskytnout mnoho užitečných informací.

Slabé stránky

Při práci s havarijním plánem zimního stadionu jsem zjistil, že obsahuje neplatné zákony. Pro nové a neznalé zaměstnance by tato skutečnost mohla znamenat při výkonu práce komplikace, pokud by s ním pracovali.

Nedodržování zákazu kouření ve strojovně si myslím, že je jedním z důvodů ke vzniku požáru. Například odhozený nedopalek cigarety může způsobit ve strojovně požár s následným únikem amoniaku. V tomto případě je na vině i nedůsledná kontrola vnitřních předpisů ze strany vedení.

V blízkosti zimního stadionu se nachází sportovní areály. Během celého dne se zde vyskytuje velké množství osob. Při úniku amoniaku by mohlo dojít k ohrožení mnoha osob a zejména dětí, které sportoviště navštěvují.

Při mém dotazu na aktuální celkové množství amoniaku na zimním stadionu mě nikdo nedokázal říci přesný objem této látky. Zaměstnanci i hasiči znají jen původní objem amoniaku při prvotním plnění.

V případě vyhlášení poplachu při vzniku úniku amoniaku nebo jiných mimořádných událostech v objektu zimního stadionu se pomocí reproduktorů hlásí nouzová zpráva. Kvůli starým a nemoderním reproduktorům je hlášení z reproduktorů špatně slyšitelné.

Příležitosti

Kladnou příležitostí pro zimní stadion by rozhodně byl vyšší příjem financí od vedení. Finance by mohly být využity pro modernizaci bezpečnostních opatření zimního stadionu. Celková modernizace může být další příležitostí k vylepšení zimního stadionu.

Pokud by došlo k vybudování nového stadionu ve vzdálenější lokalitě od frekventovaného sportoviště a obydlené části města, při úniku amoniaku by nemuselo dojít k tak vysokému počtu ohrožených osob.

Hrozby

Dle mého názoru je hrozbou pro zimní stadion nevědomost osob, jak se mají chovat při úniku amoniaku ze zimního stadionu a zbytečně, tak může vzniknout panika.

O umístění stanice hasičského záchranného sboru v blízkosti zimního stadionu jako hrozbě jsem se již zmínil současně v silných stránkách výše.

V případě nedostatku financí může dojít k nenaplnění potřebného počtu zaměstnanců k provozu zimního stadionu a tím k nedostatečné kontrole systému a celého objektu. Na směně musí být přítomno současně 10 zaměstnanců.

5.8 Doporučující opatření

Reflexní prvky

Ve vnitřních prostorech budovy by mělo být použito lepší značení únikových a evakuačních cest. Dalším návrhem je označení schodů v prostoru zimního stadionu protiskluzovou reflexní páskou z důvodu lepší viditelnosti. Také na stropěch by měli být osvětlené tabulky se směrem únikové cesty.

Varovný signál

V areálu zimního stadionu již rozhlasové zařízení je nainstalováno. Avšak bylo by potřeba rozšířit tento systém po celém objektu, ne jen na hlavní ledové ploše, ale také na chodby a toalety. Dále by bylo vhodné mikrofon a reproduktory zmodernizovat. Zvukům ze stávajících reproduktorů je velmi špatně rozumět.

Díky tomuto vylepšení by návštěvníci mohli být lépe a rychleji informováni o vzniklé události.

Požární ochrana

Ke zvýšení požární bezpečnosti bych navrhoval nárůst počtu hasicích přístrojů v prostorách tribun.

Četnost zaměstnanců

Při událostech, které se konají na stadionu s velkým počtem návštěvníků, by se měl navýšit počet pracovníků schopných celkové koordinace průběhu evakuace účastníků při jakékoli mimořádné události.

Zabezpečení objektu

Navrhoval bych zvýšení zabezpečení strojovny pomocí elektronického zabezpečovacího systému. Příkladem může být využití alarmu proti vandalismu či násilnému vniknutí.

Havarijní plán

Myslím si, že by byla potřeba aktualizace stávajícího havarijního plánu dle současné platné legislativy z důvodu vydání stávajícího havarijního plánu před sedmi lety dne 31. 3 2011. Hlavním legislativním dokumentem je zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií. Tento zákon stanovuje, zda příslušný objekt bude zařazen do skupiny A nebo B. V Havarijním plánu se nachází Protokol o zařazení/nezařazení objektu Městského zimního stadionu Kladno dle zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky, který již není platný. Zákon byl zrušen 1. října 2015. Podle tohoto zákona je vydán protokol,

který říká: bylo zjištěno, že skladovaná množství nedosahují limitních množství pro zařazení objektu do skupiny A nebo B, přílohy 1, zákona č. 353/1999 Sb. [19]. Zákon č. 353/1999 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky je také od 1. června 2006 zrušen.

Kontrola objemu amoniaku

Z důvodu neznalosti zaměstnanců zimního stadionu i HZS ČR o přesné kapacitě amoniaku, bych navrhoval zjištění přesného objemu. Pro přesnější odhad následků při jeho případném úniku je vhodné znát konkrétní objem amoniaku. Zjištění současného stavu amoniaku by mohlo probíhat například připojením řady průtokových ventilů na různá místa potrubí, která by měřila, kolik látky prochází a odchází z určité části zařízení.

Pravidelná cvičení

Zmiňoval jsem prověřovací a taktická cvičení na zimním stadionu v silných stránkách analýzy. Navrhoval bych pro lepší připravenost na únik amoniaku tato cvičení provádět pravidelně, například každý rok.

6 DISKUZE

Cílem této bakalářské práce je analýza rizik zimního stadionu v Kladně a modelace úniku amoniaku z potrubí zásobníku pomocí softwarových programů. Na základě získaných výsledků jsem provedl jejich zhodnocení, komparaci a navržení možných zlepšení připravenosti a bezpečnostního opatření zimního stadionu.

Metod analýz existuje velké množství. Pro vypracování analýzy rizik jsem si ve své práci zvolil Multikriteriální analýzu a SWOT analýzu. Multikriteriální analýza je z mého pohledu nejlepší pro získání hlavní hrozby pro daný objekt. V této analýze můžeme zohlednit několik faktorů pro její utvoření. Zvolením reálných rizik dospějeme ke komplexnímu závěru, který bude mít podložené výsledky. SWOT analýza pracuje se silnými stránkami, slabými stránkami, příležitostmi a s hrozbami. Při vytvoření této přehledné analýzy dojdeme k doporučením co zlepšit.

Analýzou rizik bylo zjištěno, že za největší riziko považujeme únik amoniaku. Únik mohou způsobit různé činitele jako například lidský faktor, technická závada nebo přírodní katastrofa. Pro tuto bakalářskou práci je zvolen lidský faktor, kdy při běžné údržbě ve strojovně dojde k porušení potrubí v celém jejím průměru 10 cm. Únik amoniaku může také být způsoben úmyslně sabotáží či teroristickým útokem.

Pro porovnání metod analýz rizik opět využiji komparaci s bakalářskou prací, tentokrát s autorem bakalářské práce Jiřím Hanákem, který zpracoval práci s názvem „Vyhodnocení dopadu havárie s únikem amoniaku ze zimního stadionu ve Zlíně“. V této práci je použit rizikový kalkulátor Riskan, do kterého je třeba zvolit a následně si ohodnotit aktiva, hrozby a míru zranitelnosti [44]. Autor ve své práci uvádí jako největší hrozbu amoniak a požár. V mé bakalářské práci jsem

pomocí analýzy vyhodnotil jako největší hrozbu únik amoniaku a požár uvnitř budovy. Tyto rizika se shodují s výslednými hrozbami autora práce Hanákem.

Myslím si, že rizikový kalkulátor Riskan má až příliš širokou škálu výsledného rizika a práce s ním je zdlouhavá z důvodu zadávání veškerých parametrů. Z tohoto důvodu jsem si pro svou analýzu rizik nevybral tuto analýzu, ale zvolil jsem multikriteriální analýzu. Dle mého názoru je zvolená analýza v mé práci lepší a důkladnější.

Pro modelaci úniku nebezpečných látek se v současnosti využívají softwarové programy, které obsahují databáze vlastností chemických látek. Některé softwarové programy dokáží pracovat s více proměnnými, jako jsou terén krajiny, či různé klimatické prostředí. Pro svou práci jsem si vybral tři softwarové programy a následně provedl porovnání jejich výstupů.

Vybrané programy pro modelaci úniku amoniaku dle stanoveného scénáře jsou ALOHA, TerEx a RMP*COMP. Pro práci v těchto programech byl vybranou chemickou látkou amoniak. Zvolen byl z důvodu vysokého zraňujícího potenciálu, kdy případný únik způsobí velké škody a v zimním stadionu je s touto látkou zacházeno.

Jako první jsem vybral softwarový program ALOHA, který vznikl ve spolupráci Agentury pro životní prostředí a Národního úřadu pro oceán a atmosféru, který spadá pod Ministerstvo obchodu Spojených států amerických. Je to volně stažitelný program. Výsledkem modelace byla vzdálenost, do které se bude amoniak šířit, koncentrace toxické látky ve vzduchu a určení tří zón podle nebezpečnosti pobytu v nich. Červená zóna je nejnebezpečnější a musí zde proběhnout okamžitá evakuace, protože osoby jsou vystaveny smrtelnému ohrožení. V oranžové zóně nejsou osoby přímo ohrožené na životě, avšak koncentrace v těchto místech je stále životu nebezpečná. Žlutá zóna z těchto

tří představuje nejmenší riziko. Osoby se v této zóně musí řídit pokyny složek Integrovaného záchranného systému. Pro zobrazení výsledků z programu ALOHA jsem použil program MARPLOT, který nám zobrazil únik v Google maps.

Jako druhý program jsem použil TerEx neboli Teroristický Expert od české společnosti T-soft. Největší nevýhoda tohoto programu je, že není volně přístupný.

Třetím programem je RMP*COM. Výstupem z tohoto softwarového programu jsou informace o toxické látce. V našem případě o amoniaku. Program nám též vyhodnotil a zobrazil grafickou podobu ohrožené oblasti.

Z uvedených hodnot modelové situace jsme zjistili, že většina uvedených hodnot je při expozici 60 minut. Látka se podle modelace bude šířit spíše formou prošlehnutí, čili doba expozice, pokud se látka dostane v plné síle do vnějšího prostředí, bude maximálně pár minut ve velmi vysokých koncentracích. Poté se rozptýlí při faktu, že je lehčí vzduchu.

Tabulka 23 - Koncentrace IDLH [40] [42]

Koncentrace IDLH	ALOHA	TerEx
210 mg/m ³	1,6 km	3,4 km
103 mg/m ³	2,2 km	5,1 km

Při porovnání mezi těmito softwarovými programy zjistíme, že je mezi nimi poměrně velká odchylka ve vzdálenostech. Program ALOHA při koncentraci IDLH 210 mg/m³ udává o 47,1 % menší vzdálenost než program TerEx. U koncentrace IDLH 103 mg/m³ je vzdálenost menší o 43,1 %. Je to dáno skutečností, že tyto programy modelují únik vně budovy.

Vzdálenost pro nezbytnou evakuaci by v reálných podmínkách a i za předpokladu, že strojovna zimního stadionu se nachází v suterénu, byla menší. Tyto softwarové programy nedokáží pracovat například s tím, že 100 m od dveří strojovny se nachází železniční val, který by postupování chemické látky výrazně zpomalil. Také neumí počítat například s turbulentním prouděním vzduchu mezi budovami.

Při komparaci softwarových programů ve své práci jsem zjistil, že některé výsledky jsou odlišné. Únik amoniaku probíhá v uzavřených prostorech. TerEx modeluje jako by byl celý únik venku, mimo objekt. Tyto fakta jsem komentoval již výše. Výsledky jsou tedy velmi orientační a jsou tímto faktorem velmi silně ovlivněny, nehledě na odchylku modelovacích nástrojů, která obecně bývá až 25 %.

Všechny tři softwarové programy poskytují potřebné informace v řádech vteřin od zadání potřebných parametrů. Program, který se nejjednodušeji uživatelsky ovládá je TerEx. Poskytuje jednoduché zadávání všech potřebných údajů krok po kroku. Modelace v tomto programu byla rychlá a snadná. U programu ALOHA je zadávání parametrů poněkud složitější na rozdíl od programu RMP*COMP a TerEx. RMP*COMP poskytuje pouze základní orientační výsledky při předem stanovených meteorologických podmínkách. Dále si myslím, že může být pro některé uživatele nevýhodou jazyk těchto programů, který je v tomto případě anglický. Bohužel v současné době zatím tyto programy nepodporují český jazyk. Problémem také může být záměna amerických jednotek za české a naopak. Tím může být konečný výsledek poněkud zkreslený a výsledná data nemusejí být přesná.

Při povětrnostních podmínkách, které v době modelové situace panovaly, by únik amoniaku směřoval na Městský stadion Sletišť, kde se tou dobou nachází mateřské školy na vycházkách. Dále by havárie ohrozila osoby pohybující se v lese

zvaném Lapák a dále by mohlo dojít k ohrožení osob na železniční zastávce Kladno-Rozdělov. Minimální koncentrací amoniaku by byli ohroženi lidé pohybující se v obci Doksy jihozápadně od Kladna.

Svou praktickou část komparuji s bakalářskou prací autora Filipa Fialy, který se zabýval stejnou problematikou v objektu O2 arény. V práci pana Fialy je provedena modelace pomocí softwarových programů TerEx a ALOHA. Rozdílem v obou případech modelace je rozdíl v množství uniklé látky. V své práci pan Fiala počítá s menším množstvím uniklé látky amoniaku, konkrétně 650 kg. Softwarové programy dokáží modelovat situaci úniku amoniaku v otevřeném prostoru. Autor Fiala proto dle mého názoru zvolil modelovou situaci, při které do objektu O2 arény vnikla teroristická skupina, která na zed' strojovny umístila nálož s výbušninou. Po výbuchu došlo k narušení pláště budovy a únik amoniaku se šíří okamžitě vně budovy jakoby k úniku došlo v otevřeném prostoru [45]. Díky této zvolené modelové situaci ve výsledcích byla modelace přesnější než v mém případě, kdy k úniku amoniaku došlo v uzavřeném prostoru strojovny.

V článku nazvaném „Modelace disperze těžkého plynu ve velkém množství ve vnitřním prostoru pomocí CFD model“ je uvedeno, že CFD model je pro modelování těžkých plynů nejvhodnější. Model CFD je matematicko-fyzikální numerické řešení proudění tekutin, které umožňují problematiku proudění řešit v mnohem kratším časovém horizontu a při nižších nákladech. Tento model je však složen z mnoha obtížných rovnic, které vedou ke konečnému výsledku. Model dobře popisuje vliv složitého terénu a překážek na proudění plynu. Model CFD pracuje dobře s únikem látky uvnitř budovy [46].

K vypracování mé bakalářské práce jsem zvolil již výše zmíněné programy z důvodu snazšího přístupu k programům než k modelu CFD.

Díky bakalářské práci jsem zjistil a navrhl možná doporučující opatření. Jedním z navržených doporučení je aktualizace Havarijního plánu zimního stadionu v Kladně dle aktuálního zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií.

Má navržená opatření si myslím, že by mohla vést k zlepšení zabezpečení zimního stadionu před únikem amoniaku a snížení možného ohrožení osob, majetku a životního prostředí i při jiných mimořádných událostech.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla analýza a modelace úniku amoniaku v případě porušení potrubí vedoucího z nádrže na amoniak ve strojovně zimního stadionu v Kladně. Cíl práce jsem splnil.

Na začátku práce jsme se seznámili se zimním stadionem v Kladně, s jeho polohou, kapacitou a především s provozem strojovny.

Analýzou rizik bylo zjištěno, že za nepřijatelné riziko lze považovat únik amoniaku, který může být způsoben úmyslně či neúmyslně lidským faktorem.

Modelace úniku amoniaku byla vytvořena v softwarových programech ALOHA, TerEx a RPM*COMP podle zvoleného scénáře. Následnou komparací jednotlivých výsledků všech programů jsme porovnali hodnoty ohrožení osob toxickou látkou. Zjistili jsme, že některé výsledky programů jsou odlišné i přes zadání stejných vstupních parametrů.

Únik amoniaku ze zimního stadionu sice není tak častá záležitost, nicméně sebou nese obrovská rizika, která si mnoho lidí a troufám si napsat i zaměstnanců zimního stadionu nedokáže představit.

Zimní stadiony jsou v současné době pod určitým dohledem z důvodu obav teroristického útoku. Mnoho stadionů se nachází na kraji či v obytné části měst a při úniku amoniaku je vysoké riziko ohrožení. Starší stadiony jsou vybaveny větším množstvím amoniaku na rozdíl od moderních stadionů jakým je například O2 Aréna v Praze. Moderní stadiony představují tedy pro okolní obyvatele mnohem menší riziko, jelikož už neobsahují velká množství chemických látek a jsou mnohem lépe zabezpečena.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADR	Accord Dangereuses Route
AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CFD	Computational Fluid Dynamics
CLP	Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures
ČR	Česká republika
EPA	Environmental Protection Agency
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines
ES	Evropské společenství
HAU	Havarijní akční úroveň
HPK	Havarijní přípustná koncentrace
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
IDLH	Immediately Dangerous To Life or Health
IZS	Integrovaný záchranný systém

LC50	Lethal Concentration
MV	Ministerstvo vnitra
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health
NPK	Nejvyšší přípustná koncentrace
PEL	Přípustný expoziční limit
PPM	parts per milion
RID	Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuse
RMP*COMP	Risk Management Plane
TerEx	Teroristický expert

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MIKA, Otakar J. a Lubomír POLÍVKA. *Radiační a chemické havárie*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2010. ISBN 978-80-7251-321-5.
- [2] *Zákon č. 224/2015 Sb. Zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií)*
- [3] Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií. *Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i.* [online]. 2004 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.vubp.cz/images/soubory/prevence-zavaznych-havarii/metodiky/vykladovy-slovník-01_07_2010.pdf [4]
- [4] *Nařízení evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES*
- [5] HLAVSA P. a kol. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce*, 2017, sborník příspěvků, ISBN 978-80-553-2857-7.
- [6] *Vyhláška č. 380/2002 Sb. Ministerstva vnitra k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva*

- [7] KRATOCHVÍLOVÁ, Danuše, Danuše KRATOCHVÍLOVÁ ML. a Libor FOLWARCZNY. *Ochrana obyvatelstva. 2.*, aktualiz. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-134-7.
- [8] *Řád chemické služby Hasičského záchranného sboru České republiky*
- [9] *Nářízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, ve znění pozdějších předpisů*
- [10] *Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu* *Název: Zásahy s únikem čpavku (amoniaku) Metodický list číslo 15 L Vydáno dne: 28. prosince 2005 Aktualizace: 2. prosince 2011 Aktualizace: 21. prosince 2016 Stran: 6*
- [11] Znojmo ohrožoval únik čpavku. *TN.cz* [online]. 2007 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://tn.nova.cz/clanek/zpravy/domaci/znojmo-ohrozoval-unik-cpavku.html>
- [12] VYROUBALOVÁ, Martina. Na stadionu v Rosicích praskla trubka pod ledem, unikl toxický čpavek. *IDNES.cz* [online]. 2013 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: https://brno.idnes.cz/unik-cpavku-v-zimnim-stadionu-dke-/brno-zpravy.aspx?c=A130411_111638_brno-zpravy_mav
- [13] HAGER, Mike a Wendy STUECK. Three dead after ammonia leak at Fernie, B.C., arena. *The Globe and Mail* [online]. 2017 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/three-dead-after-ammonia-leak-at-fernie-bc-arena/article36637384/>

- [14] HAGER, Mike. Fatal ammonia leak at Fernie, B.C., arena is the first in Canada. *The Globe and Mail* [online]. 2017 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/three-killed-at-fernie-bc-arena-were-doing-maintenance-work/article36645031/>
- [15] SKŘEHOT, Petr a kol. *Prevence nehod a havárií*, 1. díl: nebezpečné látky a materiály. 2009. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce a T-soft. ISBN 978-80-86973-70-8.
- [16] SKŘEHOT, Petr a kol. *Prevence nehod a havárií*, 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce a T-soft, 2009. ISBN 978-80-86973-73-9.
- [17] HLAVATY, Craig. 41 years ago a fatal ammonia truck disaster claimed the lives of several Houstonians. *Chron* [online]. 2017 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.chron.com/news/houston-texas/houston/article/1976-7443377.php>
- [18] The worst accident in Houston history: The 1976 ammonia truck disaster. *abc13 News* [online]. 2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://abc13.com/news/houstons-worst-accident-happened-41-years-ago-today/1332062/>
- [19] *Směrnice HP-1 Havarijní plán zimního stadionu Kladno*
- [20] *Provozní řád Městského zimního stadionu Kladno*
- [21] SLABOTINSKÝ, Jiří a Stanislav BRÁDKA. *Ochrana osob při chemickém a biologickém nebezpečí*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-866-3493-0.

- [22] AMONIAK ; bezvodý, cisterna automobilová. *Informační systém pro analýzy domino efektů* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.domino-efekty.cz/isde/referencni-analyza-domino-efektu/analyzovana-latka-vinfrastrukture/58/klasifikace-clp/>
- [23] AMONIAK ; bezvodý, C01, čerpadlo. *Informační systém pro analýzy domino efektů* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.domino-efekty.cz/isde/referencni-analyza-domino-efektu/analyzovana-latka-vinfrastrukture/57/preprava/>
- [24] AMONIAK ; bezvodý, C01, čerpadlo. *Informační systém pro analýzy domino efektů* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.domino-efekty.cz/isde/referencni-analyza-domino-efektu/analyzovana-latka-vinfrastrukture/57/pokyny-pro-zasah/>
- [25] ŠENOVSKÝ, Michail, ADAMEC, Vilém, HANUŠKA, Zdeněk. *Integrovaný záchranný systém: Management záchranných prací*. 2. vydání. Ostrava, 2007. ISBN 978-80-7385-007-4.
- [26] SMETANA, Marek, Danuše KRATOCHVÍLOVÁ ML a Danuše KRATOCHVÍLOVÁ. *Havarijní plánování: Varování, evakuace, poplachové plány, povodňové plány*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2989-0.
- [27] KRATOCHVÍLOVÁ, Danuše. *Ochrana obyvatelstva*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-86634-70-1.
- [28] ČAPOUN, Tomáš. *Chemické havárie*. Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. ISBN 978-80-86640-64-8.

- [29] BARTA, Jiří, LUDÍK, Tomáš. 2012. *ALOHA - modelování a simulace (Studijní program pro předmět KRIZOVÉ SCÉNÁŘE)*. Univerzita obrany, 2012, 39 s. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf
- [30] HORÁK, Jan, KUDLÁK, Aleš. 2007. *Pomůcka: pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků program TerEx*. České Budějovice, 2007, 54 s. Dostupné z: <http://docplayer.cz/41525929-Pomucka-pro-vyuzivani-softwaru-pro-rychly-odhad-nasledku-havarii-a-teroristickych-utoku.html>
- [31] RMP*Comp. *United States Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/rmp/rmpcomp>
- [32] SWOT analýza. *ManagementMania* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/swot-analyza>
- [33] MARTÍNEK, Bohumír a kol. *Ochrana člověka za mimořádných událostí: příručka pro učitele základních a středních škol*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2003. ISBN 80-866-4008-6.
- [34] Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals. *United States Environmental Protection Agency* [online]. 2017 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/aegl>
- [35] Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs). *Office of Response and Restoration* [online]. 2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/emergency-response-planning-guidelines-erpgs.html>

- [36] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *Center for Disease Control and Prevention* [online]. 2016 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/default.html>
- [37] BAUDIŠOVÁ, Barbora, Pavel DANIHELKA a Dalibor MICEK. Hodnocení limitů akutní toxicity pro účely analýzy rizik v České republice. *BOZPinfo* [online]. 2009 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/hodnoceni-limitu-akutni-toxicity-pro-ucely-analyzy-rizik-v-ceske-republice>
- [38] Google maps. *Google maps* [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/%C4%8CEZ+zimn%C3%AD+stadion+Kladno/@50.1382294,14.0888431,16z/data=!4m5!3m4!1s0x470bb7c67cadcc75:0x24727974321c69e2!8m2!3d50.1371056!4d14.0930396?hl=cs>
- [39] Počasí pro Kladno. *e-Počasi.cz* [online]. [cit. 2018-04-06]. ISSN 1801-6537 Dostupné z: <http://www.e-pocasi.cz/pocasi-mesto-kladno/>
- [40] ALOHA Software. *United States Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- [41] MARPLOT Software. *United States Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>
- [42] TEREX, software. Verze 3.1.1: Licence pro FBMI ČVUT Kladno.
- [43] RPM Comp US EPA. [cit. 2018-04-15]. Kladno, Česká republika
- [44] HANÁK, Jiří. *Vyhodnocení dopadu havárie s únikem amoniaku ze zimního stadionu ve Zlíně*. Bakalářská práce. Uherské hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, 2013, 65 s.

- [45] FIALA, Filip. *Evakuace obyvatel v případě vzniku mimořádné události spojené s únikem nebezpečné chemické látky na území města – únik amoniaku v objektu O2 arény*. Bakalářská práce. Kladno: České vysoké učení technické, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2016. 60 s.
- [46] DONG, Longxiang, Hongchao ZUO, Liang HU, Bin YANG a Liyang WU. Simulation of heavy gas dispersion in a large indoor space using CFD model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. Lahzou, China: Elsevier, 2016, 2016, (46), 12 [cit. 2018-04-28]. ISSN 0950-4230. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423017300438?via%3>
Dihub

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Grafické vyobrazení míry rizik	49
Obrázek 2 - Potrubí vedoucí z nádrže	50
Obrázek 3 - Nádrž na amoniak	50
Obrázek 4 - Poloha Zimního stadionu	51
Obrázek 5 - Výstup programu ALOHA.....	53
Obrázek 6 - Toxic Threat Zone	54
Obrázek 7 - Hodnota PPM ve vzdálenosti 10 m	56
Obrázek 8 - Hodnota PPM ve vzdálenosti 2000 m	56
Obrázek 9 - Směr úniku amoniaku	58
Obrázek 10 - Koncentrace PPM na atletickém oválu	58
Obrázek 11 - Koncentrace PPM v obci Doksy	59
Obrázek 12 - Výstup z programu TerEx	60
Obrázek 13 - Oblast ohrožení osob	61
Obrázek 14 - Zobrazení úniku na mapě.....	61
Obrázek 15 - Možné přímé ohrožení osob	62
Obrázek 16 - Detail místa události.....	62
Obrázek 17 - Graf nezbytné evakuace osob	63
Obrázek 18 - Výstup RMP*COMP.....	64

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Fyzikální vlastnosti čpavku	21
Tabulka 2 - Identifikace chemické látky	22
Tabulka 3 - Výstražné symboly CLP.....	23
Tabulka 4 - Klasifikace ADR	24
Tabulka 5 - Klasifikace RID.....	24
Tabulka 6 - Bezpečnostní značky	25
Tabulka 7 - Způsob nanášení dekontaminačních kapalin	25
Tabulka 8 - Seznam ochranných pomůcek a prostředků pro likvidaci havárie...27	
Tabulka 9 - PPM.....	42
Tabulka 10 - Doporučené ochranné prostředky	42
Tabulka 11 - Frekvence možného nebezpečí	44
Tabulka 12 - Váhové koeficienty	45
Tabulka 13 - Koeficient ohrožených osob	45
Tabulka 14 - Ekonomické dopady.....	46
Tabulka 15 - Časové období společenských dopadů.....	46
Tabulka 16 - Výsledné stanovení míry rizika	48
Tabulka 17 - Základní údaje o počasí	51
Tabulka 18 - Důležité údaje.....	52
Tabulka 19 - Hodnoty PPM v zónách.....	54
Tabulka 20 - Threat at Point	55
Tabulka 21 - Zóny ohrožení	57
Tabulka 22 - SWOT analýza	66
Tabulka 23 - Koncentrace IDLH	74

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Detail uniku amoniaku ze strojovny

Příloha 2 – Graf průzkumu koncentrace toxické látky do vzdálenosti

Příloha 3 – Graf do jaké vzdálenosti může dojít k výbuchu

Příloha 4 – Graf poškození budov, osoby mimo budovy, poranění střepy

Příloha 5 – Graf časové závislosti koncentrace toxické látky a celkové dávky

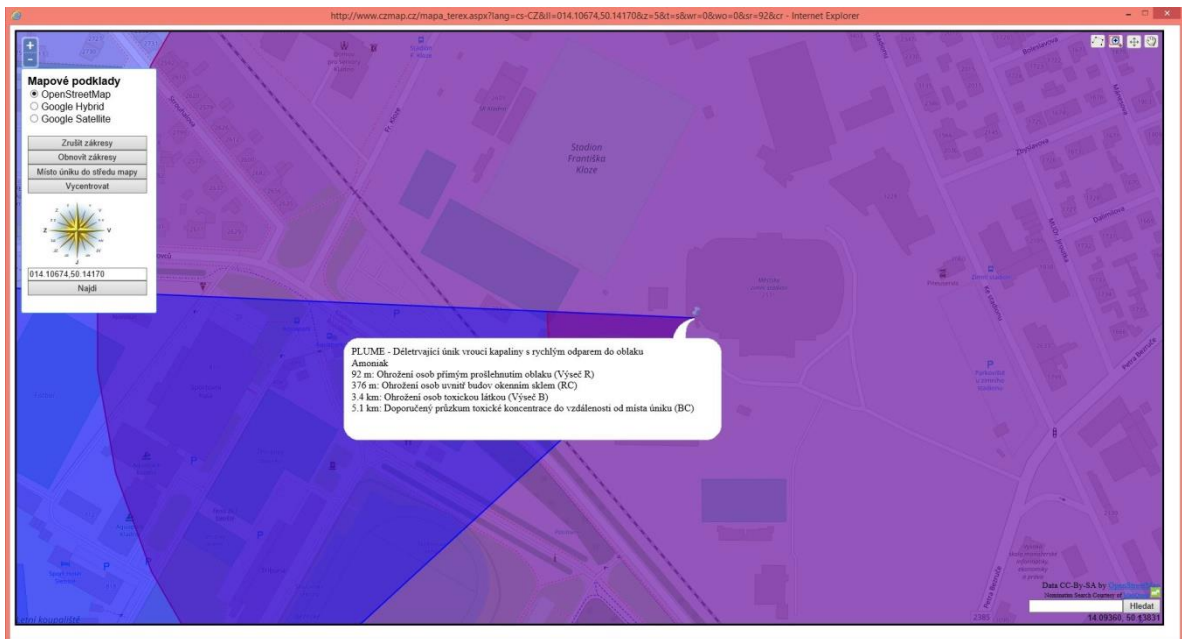
Příloha 6 – Evakuační plán

Příloha 7 - Vysvětlení značek nacházejících se na Zimním stadionu

Příloha 8 – Digitální fotografie ze strojovny

Příloha 9 – Digitální fotografie z proběhlého cvičení

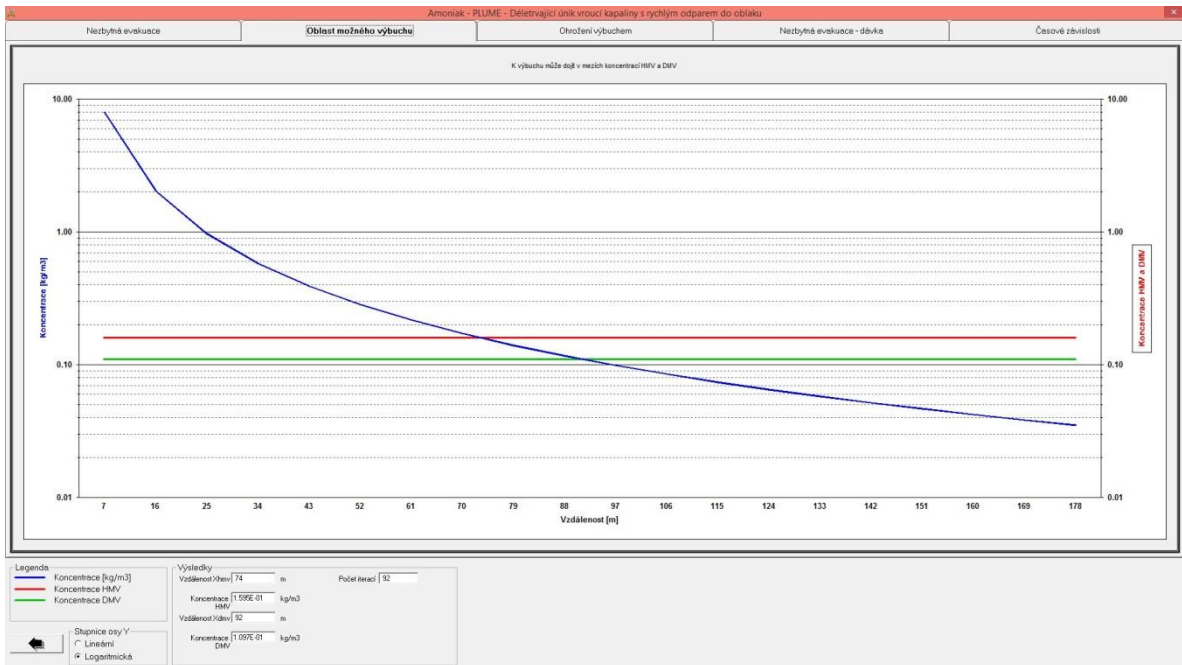
Příloha 1 – Detail uniku amoniaku ze strojovny [42]



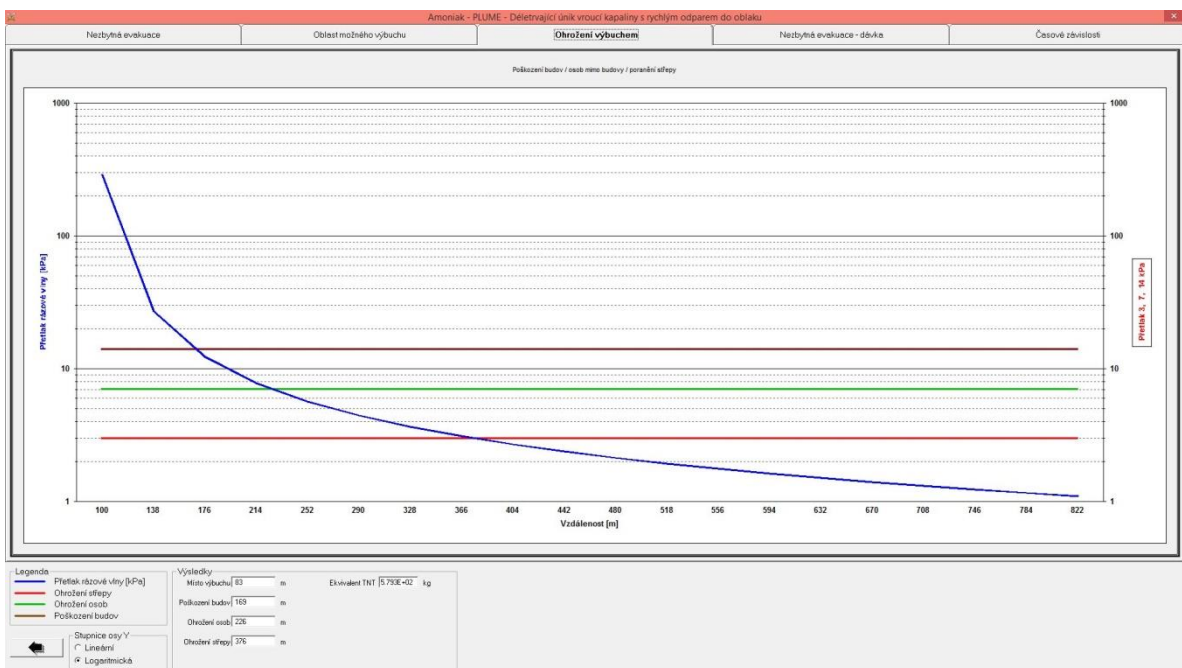
Příloha 2 – Graf průřezu koncentrace toxické látky do vzdálenosti [42]



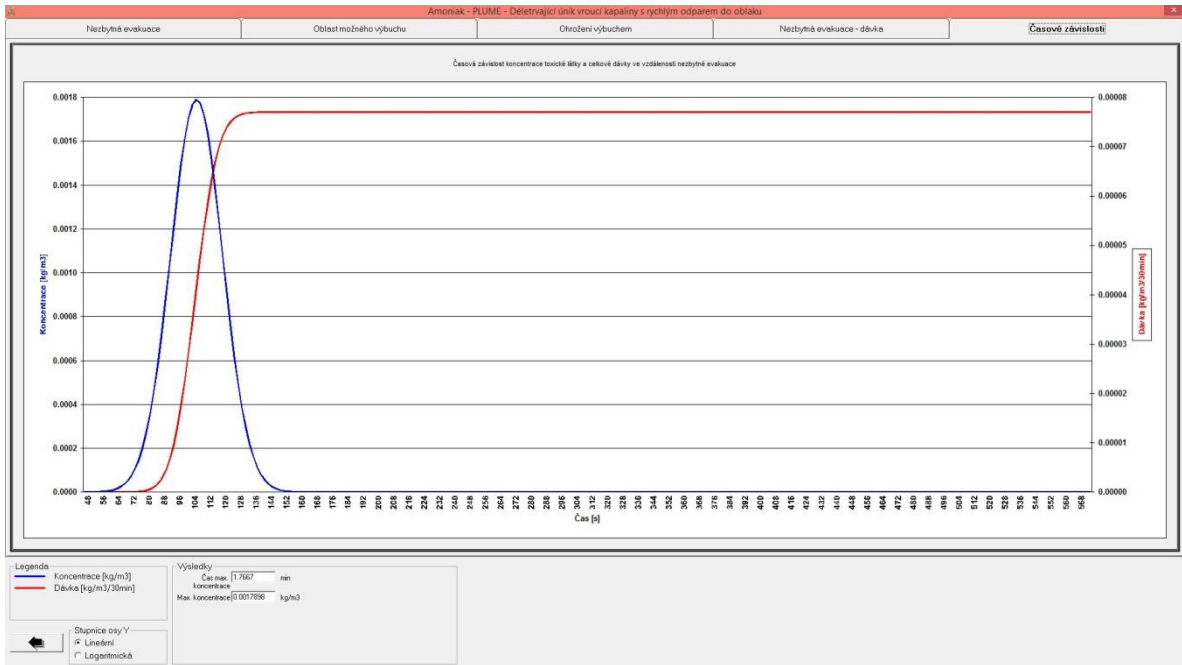
Příloha 3 – Graf do jaké vzdálenosti může dojít k výbuchu [42]



Příloha 4 – Graf poškození budov, osoby mimo budovy, poranění střepy [42]



Příloha 5 – Graf časové závislosti koncentrace toxické látky a celkové dávky [42]



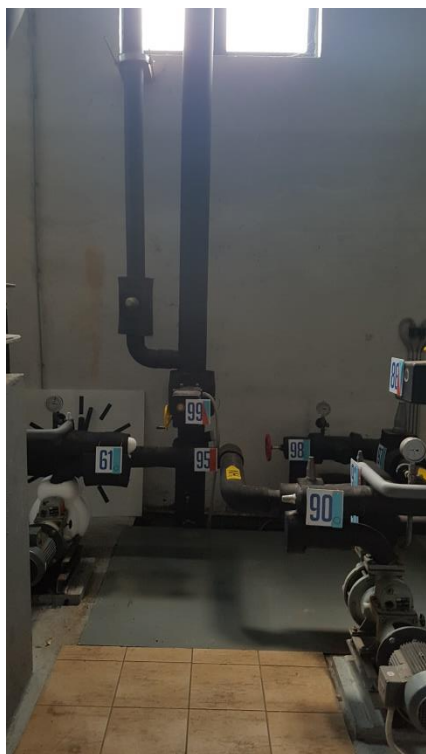
Příloha 6 – Evakuační plán [19]

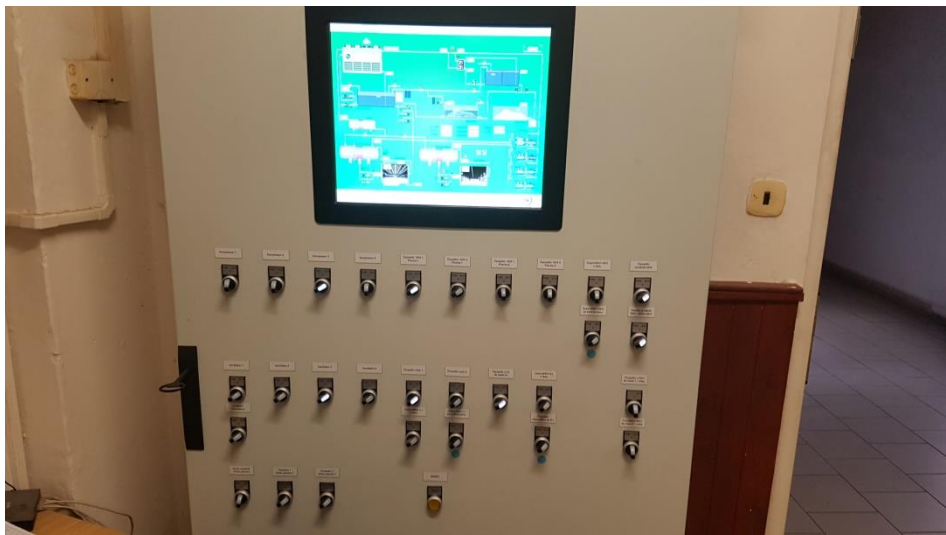


Příloha 7 - Vysvětlení značek nacházejících se na Zimním stadionu [19]

		
VSTUP ZAKAZAN	NEPOVOLANÝM VSTUP ZAKAZAN	PRVNI POMOC
		
MISTO PRO INVALIDY	ZAKAZ KOURENI NEBO 	ZAKAZ KOURENI A MANIPULACE S PLAMENEM V OKRUHU METRU OD
		
POUZIVEJ OCHRANNÉ RUKAVICE	NEBEZPECI URAZU	KOURENI PUVOLENOU POUZE VE VYHRAZENÝCH PROSTORECH
		
PRŮCHOD ZAKAZAN	POZOR ! POD NAPETIM	ZAKAZ MANIPULACE S ELEKTRICKÝM ZARIZENIM
		
HADRANT	NEBEZPECI POZARU	ZAKAZ KOURENI A MANIPULACE S PLAMENEM

Příloha 8 – Digitální fotografie ze strojovny [zdroj vlastní]





Příloha 9 – Digitální fotografie z proběhlého cvičení [zdroj vlastní]





