

Modelování úniku nebezpečné látky vybranými softwarovými nástroji

Aleš Hruška

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Aleš Hruška**
Osobní číslo: **L19558**
Studijní program: **B2825 Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Ochrana obyvatelstva**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Modelování úniku nebezpečné látky vybranými softwarovými nástroji**

Zásady pro vypracování

1. Na základě dostupných zdrojů vypracujte teoretické poznatky a formulujte teoretická východiska k danému tématu.
2. Vypracujte případovou studii u havárie s únikem nebezpečné látky pomocí zvolených softwarových nástrojů a porovnejte jejich výstupy.
3. Na základě vypracované případové studie navrhněte případné změny a opatření ke zlepšení stávajícího stavu v problematice řešení havárie s únikem nebezpečné látky.

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

Seznam doporučené literatury:

1. BLAŽEK, Vladimír, Miroslav KELEMEN a Pavel NEČAS. *Krizové scénáře*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru, 2012, 175 s. ISBN 9788080545383.
2. POLÍVKA, Lubomír, Otakar J. MIKA a Jozef SABOL. *Nebezpečné chemické látky a průmyslové havárie*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2017. ISBN 978-80-7251-467-0.
3. VILÁŠEK, Josef, Miloš FIALA a David VONDRÁŠEK. *Integrovaný záchranný systém ČR na počátku 21. století*. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2477-8.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivan Princ**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 1. prosince 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

V Uherském Hradišti, dne: 13. 5. 2022

Jméno a příjmení studenta: Aleš Hruška

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Téma bakalářské práce se zabývá únikem nebezpečné látky a vyhodnocením dopadů havárie na zimním stadionu v Uherském Ostrohu. Na zimním stadionu je ke chlazení ledové plochy používána nebezpečná látka amoniak. Práce je rozdělena na dvě části, na část teoretickou a část praktickou. Část teoretická se zabývá tématy: havárie, předpisy související s chemickými látkami, softwarovými modelovacími nástroji a v neposlední řadě integrovaným záchranným systémem. V praktické části je zpracování scénáře havárie, modelování softwarovými nástroji, porovnání získaných výstupů a vyhodnocení. Jsou zde použity SW nástroje ALOHA, TeRex a Riskan, které slouží k simulování havárie s únikem nebezpečné látky s následnými dopady na okolí. V závěrečné části jsou popsány podněty ke změnám vedoucím ke zlepšení současného stavu v problematice havárie s únikem nebezpečné látky.

Klíčová slova: amoniak, havárie, integrovaný záchranný systém, modelování, nebezpečné látky, SW nástroj ALOHA, SW nástroj TerEx, SW nástroj Riskan

ABSTRACT

The subject of the Bachelor thesis deals with the release of a dangerous substance and the evaluation of the impacts of the crash at the winter stadium in Uhersky Ostroh. The hazardous substance ammonia is used to cool the ice sheet in the winter stadium. The work is divided into two parts, a theoretic part and a practical part. The theoretical part deals with topics: accidents, regulations related to chemicals, software modeling tools and, last but not least, an integrated rescue system. The practical part is to process the crash scenario, modeling with software tools, comparing the outputs obtained and evaluating them. SW tools ALOHA, TeRex and Riskan are used here to simulate a crash with a dangerous substance leak, with subsequent impacts on the surrounding area. The final section describes the incentives for changes to improve the status quo on the issue of an accident involving a release of a dangerous substance.

Keywords: ammonia, crash, integrated rescue system, modeling, hazardous substances, SW tool ALOHA, SW tool TerEx, Riskan SW Utility

Především bych rád poděkoval své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala. Dále bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Ivanu Princovi za jeho čas, vstřícnost, ochotu a odborné vedení. V neposlední řadě patří velký dík zaměstnanci zimního stadionu v Uher-
ském Ostrohu panu Petrovi Hlůškovi za umožnění přístupu do technické části (strojovny) stadionu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PRÁVNÍ NORMY K HAVÁRIÍM NEBEZPEČNÝCH LÁTEK.....	11
1.1 OZNAČENÍ NEBEZPEČNÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK PŘI PŘEPRAVĚ	12
1.2 ZNAČENÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ	13
1.3 OSTATNÍ INFORMAČNÍ SYSTÉMY SPOJENÉ S PŘEPRAVOU	14
2 NEBEZPEČNÉ LÁTKY	15
2.1 NEBEZPEČNÉ VLASTNOSTI CHEMICKÝCH LÁTEK A SMĚSÍ	15
2.2 AMONIAK	16
2.3 ÚNIKY AMONIAKU NA ÚZEMÍ ČR A VE SVĚTĚ.....	18
3 HAVÁRIE S ÚNIKEM NEBEZPEČNÉ LÁTKY	21
3.1 NEJZÁVAŽNĚJŠÍ RADIAČNÍ A CHEMICKÉ HAVÁRIE	21
3.2 HAVÁRIE V ZAHRANIČÍ.....	23
3.3 HAVÁRIE NA ÚZEMÍ ČR.....	25
4 INTEGROVANÝ ZÁCHRANNÝ SYSTÉM	27
4.1 STRUKTURA A ÚROVNĚ IZS.....	28
4.2 ZÁSAH S ÚNIKEM AMONIAKU	29
5 SOFTWAREVÉ MODELOVACÍ NÁSTROJE	31
5.1 RISKAN	32
5.2 TEREX	32
5.3 SADA CAMEO + ALOHA.....	34
5.4 DALŠÍ SOFTWAREVÉ NÁSTROJE	35
6 CÍL PRÁCE	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
7 ZIMNÍ STADION V UHERSKÉM OSTROHU	38
7.1 SCÉNÁŘ MODELOVÉ SITUACE	41
7.2 SCÉNÁŘ ŘEŠENÍ	42
8 ANALÝZA RIZIK SW NÁSTROJEM RISKAN.....	45
9 MODELOVÁNÍ V SW NÁSTROJI ALOHA.....	47
10 MODELOVÁNÍ V SW NÁSTROJI TEREX	54
11 KOMPARACE SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ.....	57
12 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ SITUACE.....	60
ZÁVĚR	62

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	71
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Námětem bakalářské práce je únik amoniaku ze zimního stadionu v Uherském Ostrohu. Amoniak neboli dle triviálního názvu čpavek, se běžně vyskytuje na Zemi i vnějších planétách sluneční soustavy. Používá se v různých průmyslových odvětvích a je součástí odpadního produktu metabolismu živočichů.

Mezi jedno z mnoha využití vlastností této nebezpečné látky patří chlazení ledové plochy na většině zimních stadionů po celém světě, kde je využívána jako chladivo.

Únik nebezpečné látky na zimním stadionu může být zapříčiněn nespočtem různých faktorů, jako je technická závada, špatná manipulace obsluhy, mimořádná událost (živelné pohromy atd.) a v neposlední řadě teroristický útok. Na zimních stadionech se v době konání sportovních akcí (hokejových utkání, bruslení veřejnosti atd.) a jiných kulturně-společenských akcí soustřeďuje větší počet osob. Vzhledem k tomu musí být na tyto objekty zvýšena pozornost, a to z důvodu bezprostředního ohrožení návštěvníků. Samotné zimní stadiony jsou většinou situovány v centrech měst a obcích s velkou hustotou obyvatelstva, které může být rovněž ohroženo.

V důsledku havárie na chladícím zařízení může dojít k úniku i nepatrného množství čpavku, který, může způsobit havárii se závažnými následky, kdy je ohrožen život a zdraví osob, majetek a životní prostředí. Ze zkušeností je známo, že v případě vzniku jakékoliv mimořádné události se mezi hlavní faktory, které zvýší ničivé následky havárie, řadí neznalost a neinformovanost obyvatelstva. V historii došlo k několika haváriím s únikem nebezpečné látky tohoto typu například na zimních stadionech v Příbrami a v Rosicích u Brna.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRÁVNÍ NORMY K HAVÁRIÍM NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

Nakládání s chemickými látkami řeší jako celek chemická politika EU, která přispívá k omezení pohybu a vstupů perzistentních organických polutantů do životního prostředí. Jedná se o organické látky, které vykazují toxické vlastnosti, jsou persistentní, bio akumulující, u nichž dochází k dálkovému přenosu v ovzduší přesahující hranice státu a mají škodlivý vliv na lidské zdraví a na životní prostředí (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Hlavním právním nástrojem je nařízení:

- Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006 REACH o registraci, hodnocení, povolování a omezení chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky.

Cílem nařízení je zajistit lepší ochranu obyvatelstva a životního prostředí před možnými riziky, které chemické látky představují, a zavést jednotný systém pro všechny chemické látky. Dále požaduje, aby nejnebezpečnější látky byly nahrazovány jinými vhodnými látkami (Polívka, Mika a Sabol, 2017).

Druhým nejdůležitějším předpisem je nařízení:

- Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008 CLP o klasifikaci, označování a balení látek a směsí.

Hlavním účelem nařízení je zajištění vysoké úrovně ochrany lidského zdraví a životního prostředí a volný pohyb látek, směsí a předmětů uvedených v čl. 4 odst. 8 tohoto nařízení (harmonizace kritérií, uložení povinností apod.) (Polívka, Mika a Sabol, 2017).

Mezi další důležitá nařízení Evropského parlamentu a Rady patří:

- Nařízení ES č. 689/2008 o vývozu a dovozu nebezpečných látek.
- Nařízení ES č. 648/2004 o detergentech.
- Nařízení ES č. 440/2008 stanovující zkušební metody pro klasifikaci podle REACH.
- Nařízení ES č. 340/2008 o poplatcích Evropské agentury pro chemické látky podle nařízení REACH.

Základním právním pramenem v České republice, který vychází z příslušných nařízení Evropského parlamentu a Rady je zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsí a o změně některých zákonů – označován tzv. chemický zákon (Česko, 2011).

Zákon upravuje práva a povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob:

- výrobě, klasifikaci, zkoušení nebezpečných vlastností, označování, balení, uvádění na trh, používání, vývoz a dovoz chemických látek a chemických směsí na území ČR a dále,
- klasifikaci, zkoušení nebezpečných vlastností, označování, balení a uvádění na trh chemických směsí, na území ČR, dále upravuje,
- správnou laboratorní praxi,
- působnost správních orgánů při zajišťování ochrany před škodlivými účinky látek a směsí (Česko, 2011).

1.1 Označení nebezpečných chemických látek při přepravě

Cílem je maximálně snížit rizika při přepravě nebezpečných látek na základě čehož byly zavedeny mezinárodní dohody a v souladu s nimi vnitrostátní předpisy. Technické požadavky pro určitý druh přepravy (železniční, silniční, lodní atd.) jsou velmi rozdílné a sjednotit je jedním předpisem je nereálné. Na základě těchto skutečností byly pro jednotlivé druhy přepravy nebezpečných látek zpracovány samostatné předpisy:

- ADR – Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (silniční přeprava).
- RID – Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (železniční přeprava).
- ADN – Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí po vnitrozemských vodních cestách (říční přeprava).
- ICAO ANNEX L 18 – Bezpečná přeprava nebezpečných věcí vzduchem (letecká doprava).
- IMDG Code – Mezinárodní předpis pro námořní přepravu nebezpečných věcí (námořní přeprava).

V České republice je k přepravě nebezpečných chemických látek využívána především silniční a železniční doprava (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

1.2 Značení dopravních prostředků

Dle výše uvedených mezinárodního dohod ADR a RID a našich vnitrostátních předpisů o přepravě nebezpečných věcí po silnici a železnici patří mezi nejvýznamnější označení dopravních prostředků Kemlerův kód a UN kód. Jedná se o výstražnou identifikační tabulku o rozměrech 30 x 40 cm oranžové barvy a vnější okraj je ohraničen černou barvou. Tabulka je rozdělena na dvě poloviny. Horní polovina tabulky obsahuje Kemlerův kód a dolní polovina UN kód (Lacina, Mika a Šebková, 2013).



Obr. 1 – Výstražná tabulka UN kód – benzín (Wikipedie, 2021a).

Kemlerův kód – identifikační číslo nebezpečnosti

Identifikační číslo Kemlerova kódu je umístěno v horní polovině výstražné tabulky. Jde o kombinaci dvou, nebo tří číslic doplněnou v některých případech písmenem „X“. Čísla umožňují rychlé určení nebezpečí v případě havárie nebo požáru. Prvním číslem se značí hlavní nebezpečí a druhé a třetí vedlejší nebezpečí. Je-li před číslem uvedeno písmeno „X“ znamená to, že látka nesmí přijít do kontaktu s vodou z důvodů vyvolání prudké reakce (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Tab. 1 – Význam Kemlerova kódu – upraveno z tabulky (Polívka, Mika a Sabol, 2017).

Číslo	Charakteristika
1	Výbušné látky a předměty
2	Únik plynu tlakem nebo chemickou reakcí
3	Hořlavost kapalin a plynů nebo kapalin se sklonem k samovznícení
4	Hořlavost tuhých látek nebo se sklonem k samovznícení
5	Látky podporující hoření a organické peroxidy
6	Toxické látky nebo infekční látky
7	Radioaktivní látky
8	Žíravé látky
9	Jiné nebezpečné látky a předměty

UN kód – Identifikační číslo látky

Číselný kód je umístěn v dolní polovině výstražné identifikační tabule a určuje nám NL nebo skupiny látek podobných vlastností. Látkám je přidělen vždy čtyřmístný kód, který skupinu látek jednoznačně identifikuje (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

1.3 Ostatní informační systémy spojené s přepravou

Kromě základního identifikačního systému UN využívaného při přepravě NL, existují další informační systémy, které slouží k rychlému posouzení nebezpečí v případě havárie nebo požáru. Mezi jedny z nejpoužívanějších systémů patří systém Diamant a systém Hazchem (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Systém Diamant

Systém je převzat z USA, kde vznikl a je zde nejvíce rozšířen. Umožňuje snadnou orientaci o vlastnostech a nebezpečí látky, ale velkou nevýhodou je, že samotnou látku neidentifikuje (Lacina, Mika a Šebková, 2013).



Obr. 2 – Systém Diamant (Požáry.cz, 2012a).

Systém Hazchem

Systém Hazchem je nejvíce rozšířen ve Velké Británii a stejně jako systém Diamant, samotnou látku neidentifikuje. Systém podává okamžité instrukce o použití vhodných hasebních prostředků, o možnosti snížení nebezpečí při úniku látky, především jejím zředění vodou nebo ohrazením místa úniku s následnou neutralizací uniklé látky. Informuje o potřebných opatřeních pro ochranu nasazených sil a upozorňuje na možnou potřebu evakuace obyvatelstva z ohrožené oblasti (Lacina, Mika a Šebková, 2013).



Obr. 3 – Hazchem kód (Požáry.cz, 2012b).

2 NEBEZPEČNÉ LÁTKY

Nebezpečné látky jsou přírodní nebo syntetické látky a svými chemickými, fyzikálními, toxikologickými a biologickými vlastnostmi mohou samostatně nebo v kombinaci způsobit ohrožení života, zdraví nebo majetku.

Nebezpečné látky lze rozčlenit:

- dle skupenství: pevné, kapalné, plynné,
- dle úpravy pro dopravu, skladování nebo používání na stlačený plyn, rozpuštěný plyn, zkapalněný plyn, koloidní roztok, tavenina, granulát, prášek a písek, biologický odpad, ionizační materiál atd.,
- dle hořlavosti: hořlavé, nehořlavé, lehce zápalné,
- dle explozivního účinku: výbušninu, třaskavinu, trhavinu, rozbuška, detonátor,
- dle chemické reakce: kyselinu, zásadu, oxidační činidlo,
- dle účinku na lidský organismus: dusivé, žíravé, jedovaté, dráždivé, nervově paralytické, prudce jedovaté, infekční, radiační (Blažek, Kelemen a Nečas, 2012).

2.1 Nebezpečné vlastnosti chemických látek a směsí

Mezi nejvýznamnější nebezpečné vlastnosti nebezpečných chemických látek a směsí v případě vzniku havárie patří toxicita, hořlavost a výbušnost. Některé chemické látky mají všechny tři výše uvedené vlastnosti např. amoniak, oxid uhelnatý, kyanovodík atd. (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Toxické látky

Toxické látky se používají ve velké míře k různým účelům a spousta z nich je na našem území skladována a přepravována v zásobnících a cisternách o obsahu desítek až stovek tun. Mezi tyto nejrozšířenější nebezpečné látky patří amoniak, který vedle použití při řadě chemických výrob (např. umělých hnojiv), nachází velké uplatnění jako chladicí medium (zimní stadiony, jatka, mlékárny, potravinářské provozy). Mezi další vysoce toxické látky skladované na našem území patří chlór, sirouhlík, formaldehyd, kyanovodík atd. Při hodnocení toxického účinku na obyvatelstvo hrají při havárii významnou roli vlastnosti látek, které se můžou označit jako „varovné“. Jedná se hlavně o nejnižší koncentrace, které člověk subjektivně cítí bez jakýchkoliv příznaků a rovněž koncentrace látek, kdy se na osobách projevují nebezpečné účinky, a to bez předchozího varování. Vysoce toxické látky mohou vznikat i při hoření věcí každodenní potřeby a nemusí se jednat jen a pouze o oxid uhelnatý.

Například při hoření některého typu umělých vláken se bez přístupu vzduchu může uvolňovat kyanovodík. Při hoření produktů vyrobených z PVC se může za určitých podmínek kromě toxického chlorovodíku uvolňovat prudce jedovatý plyn fosgen. Obě látky kyanovodík i fosgen se nechvalně proslavily za 1. světové války, kdy byly pro svou jedovatost používány k plynovým útokům (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Hořlavé látky

K nejznámějším hořlavým látkám patří různé kategorie motorové nafty, automobilových benzinů, LTO, benzen, toluen atd. Při haváriích patří hoření látek mezi nejvýznamnější ničivé faktory. Teplota vzplanutí značí teplotu při normálním tlaku, při níž páry látky krátce vzplanou, a dále samy nehoří. Podle bodu vzplanutí řadíme látky do čtyř tříd nebezpečnosti (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Výbušné látky

Řada těchto nebezpečných látek ve směsi se vzduchem a v přítomnosti otevřeného ohně vybuchuje. Iniciaci výbuchu může způsobit i jiskra, horký povrch, zapálená cigareta atd. K tomu, aby došlo k výbuchu, musí být dosažena určitá koncentrace plynů nebo par látky v ovzduší. Koncentrace plynů a par, při kterém látky ve směsi se vzduchem vybuchují, nazýváme oblast výbušnosti. Oblast výbušnosti se dělí na dolní a horní hranici výbušnosti. Nejnebezpečnější látky jsou ty, které mají velmi nízkou dolní hranici výbušnosti a řadí se zde běžně využívané plyny např. methan, acetylen, vodík (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

2.2 Amoniak

Amoniak NH_3 (triviálním názvem čpavek) je hořlavý, bezbarvý, toxický plyn lehčí než vzduch s charakteristickým štiplavým, dráždicím a dusivým zápachem a palčivou louchovitou příchutí zásadité povahy. V přírodě čpavek vzniká rozkladem organických zbytků moči a exkrementů. Velké množství se používá v průmyslu a vyrábí se reakcí amonných solí nebo katalytickým slučováním dusíku a vodíku za vysoké teploty a tlaku (Požární řád, 2010).

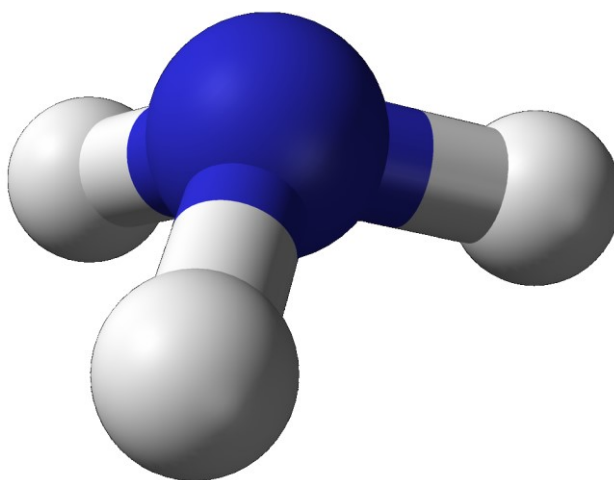
Charakteristika amoniaku

Amonné páry dráždí sliznici a horní cesty dýchací. Při vyšším obsahu par dochází k zarudnutí, silným záchvatům kašle a bolestem žaludku. Při zasažení očí hrozí vážné poškození rohovky. Čpavek je toxický při nadýchání a způsobuje vážné poškození kůže, kdy vznikají omrzliny a popáleniny II. stupně. Dále je možný výskyt křečí působením amoniaku na centrální nervovou soustavu a možné poškození ledvin.

Ve směsi se vzduchem může způsobit výbuch. Čichem je zjistitelný již při objemové koncentraci 0,0005 %. Vysoké koncentrace nad 0,2 % mohou vést k poškození plic a ke smrti. Amonné sloučeniny by neměly přijít do kontaktu se zásadami, protože se mohou uvolnit nebezpečné dávky čpavku. Voda i minerální oleje čpavek velmi dobře pohlcují. Nebezpečně reaguje s kyselinami, amidy, halogeny, chlornany a dalšími silnými oxidovadly. Amoniak nerozrušuje litinu ani ocel, porušuje však pozinkované plechy, slitiny hliníku a způsobuje korozi mědi a jejich slitin, vyjma fosforu a bronzu. V České republice platí přípustný expoziční limit (PEL) 14 mg/m³ a nejvyšší přístupná koncentrace – pracovní (NPK-P) 36 mg/m³, při emisích do ovzduší nad 10 000 kg ročně platí povinnost hlášení do Integrovaného registru znečišťování (Havarijní plán objektu, 2007).

Využití amoniaku

Klíčové použití amoniaku je ve výrobě kyseliny dusičné, průmyslových hnojiv, výbušnin, polymerů, farmaceutických výrobků, kaučuku, tenzidů a některých pesticidů. Používá se v petrochemickém průmyslu a v galvanickém pokovování, kde se přidává do některých lázní. Rovněž se může použít přímo jako hnojivo ve formě vodného roztoku, kterým se provádí zavlažování. Vykazuje fungicidní vlastnosti a využívá se v ovocnářství pro hubení a omezení růstu fungi (houby) na ovoci. Amoniak je využíván i ve velkých průmyslových provozech jako chladivo různých chladících technologií (zimní stadiony, zpracování potravin, jatka, mlékárny atd.). V malé míře se využívá ve formě chloraminu k desinfekci vody (Integrovaný registr znečišťování).



Obr. 4 – Model molekuly amoniaku (Wikipedie, 2021b).

Tab. 2 – Vlastnosti – upraveno z tabulky (Bojový řád jednotek požární ochrany, 2018).

Identifikace a fyzikálně chemické vlastnosti	Amoniak (Čpavek)
Chemický vzorec	NH ₃
Číslo CAS	7664-41-7
Kemlerův kód	268
UN číslo kód	1005, popř. 2073, 2672, 3318, 1043
Objemový vztah mezi kapalinou a plynem	z 1 litru kapalného čpavku vznikne cca 1000 litrů plynu
Hustota	610 kg/m ³ (kapalina), 682 kg/m ³ při bodu varu
Relativní hustota par	0,6 (vzduch)
Přepočítávací faktor z mg/m ³ na ppm za normálních podmínek	1,438 (násobíme jím hodnotu v mg/m ³)
Nejvyšší přípustná koncentrace v ovzduší pracovním prostředí NPK-P	36 mg.m ⁻³ (52 ppm)
Nejvyšší přípustný expoziční limit PEL	14 mg.m ⁻³ (20 ppm)
Teplota vznícení	630 °C
Rozpustnost ve vodě (hmotnostní procenta)	47 % při 0 °C, 31 % při 25 °C, 18 % při 50 °C
Bod tání	-77,6 °C
Bod varu	-33,4 °C
Hranice výbušnosti	15-30 %
Začlenění dle ADR třída skupina	2 2TC

2.3 Úniky amoniaku na území ČR a ve světě

V České republice není únik čpavku vůbec neobvyklou událostí, a to vzhledem k velkému množství zimních stadionů, které amoniak využívají jako chladicí medium.

Zimní stadion v Rosicích u Brna

Dne 11. dubna 2013 tři minuty po desáté hodině dopoledne přijalo na tísňovou linku OPIS HZS Jihomoravského kraje oznámení, že došlo k úniku čpavku v areálu zimního stadionu v Rosicích. Do tří minut od oznámení se na místo dostavila jednotky HZS ze stanice Rosice a následně posilové jednotky se speciální technikou ze stanic Lidická a Líšeň. Na místě bylo zjištěno, že amoniak uniká prasklou trubkou pod ledovou plochou. Na zimním stadionu provádělo v tuto dobu osm pracovníků rekonstrukci ledové plochy. Pracovníci zaznamenali únik čpavku a okamžitě uzavřeli technologii, aby zabránili dalšímu úniku. Následně kropili místo úniku vodou. Hasiči všechny pracovníky okamžitě přiměli opustit halu a pokračovali ve zkrápění místa úniku. Nikdo z osmi mužů nejevil známky zranění a nepožadoval ošetření. (Požáry.cz, 2013).



Obr. 5 – Na zimním stadionu v Rosicích unikl čpavek (Požáry.cz, 2013).

Zimní stadion Příbram

Dne 9. května 2018 krátce před osmou hodinou ranní byl na tísňovou linku středočeských hasičů nahlášen únik čpavku ze strojovny chlazení na zimním stadionu v Příbrami. Únik nebezpečné látky amoniaku způsobila závada na ventilu jednoho z čerpadel. Ihned po oznámení byly na místo vyslány profesionální jednotky Hasičského záchranného sboru z Příbrami a Dobříše, včetně speciálního protiplynového automobilu a dekontaminačního přívěsu. Na místo byla dále vyžádána Policie České republiky a zdravotnická záchranná služba. Po příjezdu jednotek na místo naměřil velitel zásahu u vchodu do areálu zimního stadionu zvýšenou koncentraci čpavku. Z tohoto důvodu byl velitelem zásahu vyhlášen druhý stupeň poplachu a povolány posily, a dále nechal dokončit evakuaci osob a stanovil režimová opatření s ohledem na pohyb osob uvnitř a v okolí objektu. Velitel zásahu spolupracoval s vodoprávním úřadem, provozovatelem zimního stadionu a o celé události byl informován příbramský starosta, který se na místo dostavil osobně. V pět hodin odpoledne bylo místo zásahu předáno zástupci provozovatele a jednotky Hasičského záchranného sboru se začaly vracet zpět na své základny (HZS Středočeského kraje, © 2021).



Obr. 6 – Havárie ZS Příbram (HZS Středočeského kraje, © 2021).

Zimní stadion Fernie v Kanadě

Dne 18. října 2017 došlo na zimním stadionu Fernie Memorial Arena v Kanadě k úniku amoniaku, který si vyžádal tři lidské oběti. Tři osoby zemřely následkem vystavení úniku amoniaku. V době úniku se na zimním stadionu nikdo nenacházel, proto nedošlo k většímu počtu úmrtí. K úniku došlo při provádění údržbě chladicího zařízení. Bylo evakuováno několik obytných bloků obklopujících arénu, včetně domova pro seniory (Hager, 2017).



Obr. 7 – Fernie Memorial Arena (CBC, 2018).

3 HAVÁRIE S ÚNIKEM NEBEZPEČNÉ LÁTKY

Jde o mimořádnou událost, která je zcela nebo částečně neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost. Havárie vzniká nebo vznik bezprostředně hrozí v objektech nebo zařízeních, ve kterých je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována. Následky havárie vedou k bezprostřednímu nebo následnému závažnému poškození nebo ohrožení života a zdraví osob, hospodářských zvířat a životního prostředí nebo k újmě na majetku, která přesahuje stanovené limity.

Podle charakteru vzniklých nebezpečných látek se rozlišují tyto druhy havárií:

- **Chemické havárie** – havarijní únik, rozlití, odpaření průmyslových škodlivin do ovzduší, vody a půdy.
- **Radiační havárie** – únik radioaktivních látek a ionizujícího záření do ovzduší, vody a půdy.
- **Ropné havárie** – havarijní únik ropných produktů při zpracování ropy, ale i samotné suroviny do ovzduší, vody a půdy (Kroupa a Říha, 2010).

3.1 Nejzávažnější radiační a chemické havárie

V této části práce jsou stručně uvedeny nejznámější chemické a radiační havárie, ke kterým došlo v minulosti ve světě:

Havárie v Italském Sevesu

Severně od Milána se nachází městečko Seveso, kde sídlí Švýcarská firma Hoffmann-La Roche, která v továrně Icmesso vyráběla pesticid značeny TCP (Trichloropropane). Dne 10. července 1976 došlo v továrně k porušení chemického reaktoru, při němž unikly do ovzduší plyny TCDD (tetrachlordibenzodioxin), známého pod triviálním názvem dioxin. Následně se vytvořil oblak o šířce 700 metrů a průměru 5 km. Z důvodů zamlčování informací došlo teprve po dvou týdnech k evakuaci obyvatelstvo v okruhu 4 km od továrny. Následky si vyžádaly utracení tisíce kusů dobytka a do nemocnic bylo převezeno kolem 600 obyvatel. Více než 1 000 hektarů polí bylo zamořeno vysokou koncentrací TCDD. Tato havárie je označována „chemickou Hirošimou“ (Kroupa a Říha, 2010).

Havárie v Indickém Bhopálu

Jedná se o nejrozsáhlejší chemickou havárii 20. století, ke které došlo během noci ze dne 2. na 3. prosince 1984 v chemičce na výrobu pesticidů v Indickém Bhopálu.

Havárie byla zapříčiněna lidskou chybou, při které vnikla voda do zásobníku s uskladněným asi 40 m³ methylizokyanátu, a tím byla iniciovaná silná exotermní reakce. Teplo způsobilo prudké zvýšení tlaku v zásobníku, což zapříčinilo prasknutí bezpečnostního ventilu a betonového opouzdrění. Odhaduje se, že během hodiny uniklo v rozmezí mezi 20–30 tunami methylizokyanátu. Zasažena byla 1/3 z 800 000 obyvatel Bhopálu, z toho bylo 100 000 osob zasažených zdravotně ošetřeno, z toho 50 000 osob vyžadovalo hospitalizaci a zhruba 2 500 osob zemřelo po zasažení. Dále bylo zasaženo 7 000 zvířat, z nichž 1 000 kusů uhynulo. Světová zdravotnická organizace uvádí větší následky a to, že bylo zasaženo 200 000 osob a zemřelo 8 000 lidí. Lidé na následky havárie umírají dodnes (Mašek, Mika a Zeman, 2006).

Havárie v Ukrajinském Černobyli

Dne 26. dubna 1986 v 01:23 hod. po půlnoci došlo na 4. reaktorovém bloku jaderné elektrárny Černobyl k závažné radiační havárii na varném kanálovém reaktoru typu RBMK-1000. Havárie byla zapříčiněna vědomě odbornou obsluhou, a to při experimentálním ověřování možnosti využití zbytkové tepelné energie po odstavení reaktoru. Obsluha osudného 4. bloku hrubě porušila bezpečnost práce a předpisy jaderné bezpečnosti a v rozporu se všemi bezpečnostními zásadami vyřadila z provozu většinu bezpečnostních systémů, které by jinak havárii automaticky zabránily. Dle oficiálních zpráv zahynulo při záchranných pracích 31 osob a 237 záchranářů onemocnělo na akutní nemoc z ozáření. Dále bylo vysokými dávkami ozářeno několik tisíc pracovníků podílejících se na likvidačních pracích. Nikdo z obyvatel žijících v okolí elektrárny neobdržel dávky, které by zapříčinily nemoc z ozáření. Následně bylo z okolí jaderné elektrárny evakuováno celkem 100 000 obyvatel (Mašek, Mika a Zeman, 2006).

Havárie v Toulouse

K havárii došlo v dopoledních hodinách dne 21. září 2001 ve výrobním závodu AZF společnosti Grande Paroisse Company, TotalFinaElf Group nacházející se na předměstí francouzského města Toulouse. Při havárii došlo k výbuchu velkého množství skladovaného dusičnanu amonného, který je významnou surovinou pro výrobu hnojiv. Výbuch byl tak silný, že vytvořil kráter hluboký 10 metrů a široký 50 metrů. Následkem výbuchu unikly do ovzduší jedovaté plyny, na což muselo být obyvatelstvo z ohrožených oblastí evakuováno. Exploze byla tak silná, že rozbila skleněné výplně oken do vzdálenosti třech kilometrů od místa výbuchu. Do 13 minut od výbuchu se na místo dostavil první záchranný tým a do 20 minut byl spuštěn poplachový plán.

Při havárii bylo ošetřeno 300 osob, hospitalizováno 862 pacientů a ztráty na životech se uvádějí v rozsahu 25 až 30 osob. Událost byla vyšetřována státní vyšetřovací komisí, ale příčina nebyla dodnes jednoznačně zjištěna (Lacina, Mika a Šebková, 2013).

Havárie ve Fukušimě Dajiči

V pátek 11. března 2011 v 14:46 hod. došlo na východě Japonska k velkému zemětřesení o síle 9,0 stupně Richterovy škály. Následkem zemětřesení se vytvořila 15. metrová vlna tsunami, která zasáhla jadernou elektrárnu Fukušima I společnosti TEPCO v Japonském městě Dajiči a vyřadila napájení a chlazení tří reaktorů. Během tří dnů po havárii se všechna tři jádra z velké části roztavila. Následně 4. až 6. dne po nehodě, která byla na mezinárodní stupnici INES ohodnocena číslem 7, dochází k vysokým radioaktivním únikům. Jaderná havárie si nevyžádala ztráty na životech, nedošlo nemoci z ozáření, pouze bylo preventivně evakuováno více než 100 000 lidí (World Nuclear Association, 2021).

3.2 Havárie v zahraničí

Níže je uvedeno několik málo příkladů havárií v zahraničí, které nejsou tak známé a nemají takové ničivé účinky a následky, jak výše uvedené příklady, ale jsou nedílnou součástí každodenního života.

Havárie v Houstonu

Dne 2. září 2017 se z pátku na sobotu nad chemickým závodem francouzského koncernu firmy Arkema v texaském Houstonu objevil hustý černý kouř a mohutné oranžové plameny. Již ve čtvrtek v areálu továrny došlo k několika výbuchům, a následně zde vypukl požár. V areálu firmy se nachází uskladněných cca 227 000 kilogramů kapalného organického peroxidu uskladněného v několika tancích, které jsou bez chlazení nestabilní. Samotný chemický závod koncernu Arkema se nachází v Crosby, cca 40 kilometrů severovýchodně od města Houstonu. Zástupci firmy Arkema uvedli, že z důvodů povodně způsobené bouří Harvey, která zasáhla část území státu Texas, byly zaplaveny záložní generátory. Z důvodů zaplavení generátorů bylo z provozu vyřazeno chladicí zařízení, které brání organickým peroxidům, aby vzplály. Závod vyrábí organické peroxidy, které jsou vysoce hořlavé a výbušné látky, často reaktivní a velmi těkavé. Všichni zaměstnanci závodu byli odvoláni a obyvatelé v okruhu 2,5 kilometru s předstihem evakuováni (Novinky.cz, 2017a).



Obr. 8 – Černý kouř a plameny nad chemičkou v Houstonu (Novinky.cz, 2017a).

Výbuch chemičky v Německu

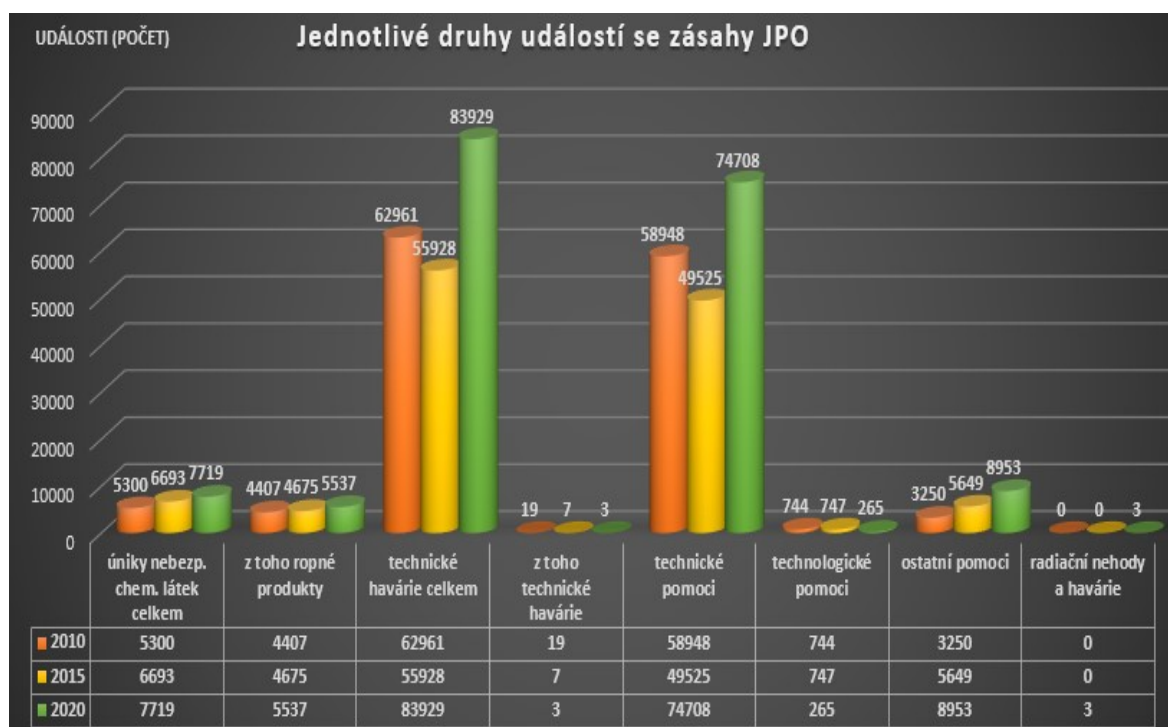
K explozi v chemičce společnosti BASF nacházející se ve městě Ludwigshafen v německé spolkové zemi Porýní-Falc došlo kolem 11:30 hod. dne 17. října 2016. V továrně se vyrábí celá škála chemických produktů od plastů přes nátěrové hmoty až po nejrůznější produkty ze zemního plynu. Při havárii přišli dva lidé o život, další dva jsou pohřešováni a nejméně šest bylo zraněno při explozi. Možnou příčinou exploze může být vznícení filtru v zařízení na výrobu aditiv do plastů. Samotná společnost BASF zatím možnou příčinu nijak nekomentovala, pouze vyzvala obyvatele z okolí chemičky, aby pokud možno nevycházeli ven a nevětrali (Novinky.cz, 2016).



Obr. 9 – Požár v německé chemičce (Novinky.cz, 2016).

3.3 Havárie na území ČR

Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR vydává každých rok statistickou ročenku. Dokument obsahuje statistiku činností jednotek požární ochrany v ČR. Dále jsou zde uvedeny kapitoly jako prevence, preventivní výchovná činnost, psychologická služba, ekonomický a personální ukazatel apod. (HZS ČR, © 2021).



Obr. 10 – Statistika havárií v ČR – upraveno z tabulek (HZS ČR, © 2021).

V areálu na Sokolovsku unikl stlačený kyslík

Dne 22. března 2017 v areálu Sokolovské uhelné u Vintířova, začal pozdě večer unikat z tlakové nádrže o objemu 3 000 litrů stlačený kyslík. Hrozilo nebezpečí výbuchu, pokud by přišel stlačený kyslík do kontaktu například s mastnotou. Unikající kyslík ochlazoval okolí a hrozilo nebezpečí exploze, poněvadž v blízkosti se nacházelo olejové hospodářství. Hasiči v první fázi provedli evakuaci zaměstnanců a vypnuli přívody energie. Dále kolem nádrže umístili vodní deflektory, které vytvořily vodní stěnu, která bránila dalšímu šíření. Z důvodů hrozícího nebezpečí byl kyslík ponechán kontrolovaně unikat. Po několika hodinách umožnil stav tlakové nádrže uzavření všech ventilů (Novinky.cz, 2017b).



Obr. 11 – Unikající kapalný kyslík na Sokolovsku (Novinky.cz, 2017b).

Požáru Severochemy v Liberci

Na operační středisko byl dne 30. května 2017 v 12:32 hod. nahlášen požár skladu hořlavých kapalin a části výroby v Severochemě v Liberci. Oheň zasáhl jen část technologie firmy, která je výrobcem podpalovače PE-PO. Při požáru záchranáři odvezli jednu osobu s lehkými popáleninami, která se nadýchala kouře. Škoda po požáru se vyšplhala na sto miliónů korun (Novinky.cz, 2017c).



Obr. 12 – V Liberci vzplála část areálu podniku Severochemy (Novinky.cz, 2017c).

4 INTEGROVANÝ ZÁCHRANNÝ SYSTÉM

Česká republika od své samostatnosti neměla až do konce minulého století legislativu, kde by byla přesně definována úloha státu, samosprávy, soukromého sektoru a práva a povinnosti fyzických a právnických osob při hrozbě vzniku nebo po vzniku mimořádných situací spojených s ohrožením života, majetku životního prostředí, vnitřní bezpečnosti i ohrožení suverenity státu. Zlomový byl rok 1997, kdy Moravu zasáhly povodně. Na základě této události, která měla velký vliv na vznik nové legislativy, a to nejen zákona č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému, ale i dalších souvisejících zákonů s danou problematikou. Zde se poprvé objevuje název integrovaný záchranný systém. Zákon stanovuje základní pojmy, složky integrovaného záchranného systému a jejich působnost, rovněž stanoví působnosti a pravomoci státních orgánů, orgánů samosprávy, práva a povinnosti fyzických a právnických osob při přípravě na MÚ, při záchranných a likvidačních pracích a při ochraně obyvatelstva.

Samotnou koncepci je třeba chápat, jako koordinovaný postup všech složek IZS při přípravě na MÚ a při provádění záchranných a likvidačních prací. V zákoně o IZS se setkáváme s těmito základními pojmy:

- **Mimořádná událost** – škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a rovněž havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek, životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.
- **Záchranné práce** – činnosti k odvrácení nebo omezení bezprostředního působení rizik vzniklých mimořádnou událostí, zejména ve vztahu k ohrožení života, zdraví, majetku nebo životního prostředí a vedoucí k přerušení jejich příčin.
- **Likvidační práce** – veškeré činnosti k odstranění následků způsobených MÚ.
- **Ochrana obyvatelstva** – plnění úkolů civilní ochrany, a to zejména varování, evakuace, ukrytí a nouzové přežití obyvatelstva a další opatření k zabezpečení ochrany jeho života, zdraví a majetku.
- **Věcnou pomoc** – poskytnutí věcných prostředků při provádění záchranných a likvidačních prací a při cvičení na výzvu velitele zásahu, hejtmána kraje nebo starosty obce. Věcnou pomocí se rozumí též pomoc poskytnutá dobrovolně bez výzvy, ale se souhlasem nebo s vědomím velitele zásahu, hejtmána kraje nebo starosty obce (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014).

- **Osobní pomoc** – činnost nebo služba při provádění záchranných a likvidačních prací a při cvičení na výzvu velitele zásahu, hejtmana kraje nebo starosty obce. Osobní pomocí se rozumí i pomoc poskytnutá dobrovolně bez výzvy, ale se souhlasem nebo s vědomím velitele zásahu, hejtmana kraje nebo starosty obce.

Integrovaný záchranný systém se použije v přípravě na mimořádné události a při potřebě provádět současně záchranné a likvidační práce dvěma a více složkami IZS. Účastní se na přípravě na mimořádné události, záchrane a likvidaci včetně dalších úkolů, jako je varování, evakuace, ukrytí a nouzové přežití, a tím z hlediska jeho působnosti překrývá celý rozsah ochrany obyvatelstva v užším smyslu (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014).

4.1 Struktura a úrovně IZS

IZS je v současnosti právně vymezený, otevřený systém koordinace a spolupráce. Zákon přesně definuje základní a ostatní složky integrovaného záchranného systému, které jsou určeny k likvidaci mimořádných událostí, přírodních a antropogenních katastrof. Základní složky IZS fungují v nepřetržitém provozu a ostatní složky integrovaného záchranného systému provádějí svoji činnost na požádání.

Základní složky

- Hasičský záchranný sbor ČR.
- Jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje jednotkami požární ochrany.
- Poskytovatelé zdravotnické záchranné služby.
- Policie ČR.

Základní složky IZS na základě zvláštních předpisů jsou povinny a schopny rychle a nepřetržitě zasahovat, kdekoliv na území našeho státu.

Ostatní složky:

- Vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil.
- Ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory.
- Ostatní záchranné sbory.
- Orgány ochrany veřejného zdraví.

- Havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby.
- Zařízení civilní ochrany.
- Neziskové organizace a sdružení občanů, která lze využít k záchranným a likvidačním pracím (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014).

Výše uvedené složky na vyžádání poskytují pomoc při záchranných a likvidačních pracích. Poskytují plánovanou pomoc na vyžádání, která je zahrnuta v poplachovém plánu IZS a jsou povolávány podle konkrétní mimořádné události.

Zásah integrovaného záchranného systému znamená, že se na místě mimořádné události nacházejí nejméně dvě složky IZS a spolupracují při řešení vzniklé situace. Řízení záchranných a likvidačních prací závisí hlavně na druhu a rozsahu mimořádné události a rovněž na počtu a druhu zasahujících složek. Obecně lze rozdělit způsob řízení IZS na tři úrovně:

- **Taktická úroveň** – velitelem zásahu, pokud zvláštní předpis nestanoví jinak, je velitel jednotky požární ochrany, který zodpovídá za činnost související se záchrannými, likvidačními pracemi, a dále koordinuje činnost složek IZS na místě zásahu.
- **Operační úroveň** – řízení obecně probíhá na úrovni operačních středisek základních složek útvarů, kraje a ministerstva vnitra. Krajská operační a informační střediska (KOPIS) mají vůči operačním střediskům koordinační roli, ovládají systém varování a vyzkoumávání obyvatelstva a rovněž zajišťují obsluhu tísňových linek 150, 155, 158 a 112.
- **Strategická úroveň** – koordinace záchranných a likvidačních prací, při kterých je vyžadována prostřednictvím velitele zásahu přímá účast starosty obecního úřadu s rozšířenou působností, hejtmána kraje nebo ministerstva vnitra. K této činnosti je využíván jako pracovní orgán krizový štáb (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014).

4.2 Zásah s únikem amoniaku

V případě vzniku mimořádné události a havárie s únikem amoniaku budou mezi prvními na místě zasahovat nejbližší JPO z okolí. Jednotky požární ochrany se budou řídit taktickým postupem zásahu dle Bojového řádu jednotek požární ochrany a metodického listu číslo 15 L – únik amoniaku (čpavku). List obsahuje charakteristiku čpavku, úkoly a postupy činností při zásahu s přítomností nebezpečné látky.

Závěr patří očekávaným zvláštnostem (možné komplikace při úniku čpavku). Obsahem metodického listu, konkrétně v části charakteristika jsou popsány fyzikálně-chemické vlastnosti amoniaku a poskytnutí první pomoci (Bojový řád jednotek požární ochrany, 2018).

První pomoc při zasažení čpavkem v jednotlivých bodech:

- vyvést postiženého ze zasaženého místa a zajistit přívod čerstvého vzduchu.
- uložit postiženého do stabilizované polohy a zabránit prochladnutí,
- v případě potřeby zahájit podporu dýchání; v žádném případě neprovádět dýchání z úst do úst z důvodu možnosti intoxikace zachránce,
- při potřísnění kapalnou frakcí zasažený oděv svléci; oděv neodstraňovat, pokud přiléhá ke kůži,
- vodou oplachovat potřísněná místa; zasáhne-li látka oči, musíme je minimálně 15 minut vymývat; dojde-li k potřísnění zkapalněným amoniakem ošetřit omrzlé části kůže, pokud je to možné, vlažnou vodou, omrzlá místa na těle v žádném případě netřít,
- následně postiženou osobu neprodleně předat k lékařskému ošetření k provedení dalších zdravotních úkonů (Bojový řád jednotek požární ochrany, 2018).



Obr. 13 – Hasiči cvičí zásah při úniku čpavku (Český rozhlas, 2015).

5 SOFTWAREVÉ MODELOVACÍ NÁSTROJE

V současné době existuje většina modelů v softwarové podobě, které umožňují zpracování velmi kvalitních prognóz havarijních dopadů po vzniklé mimořádné události. Všechny programové aplikace jsou postaveny na základních typech modelů úniků a rozptylových modelů, resp. na jejich fyzikálních rovnicích. Za pomoci výpočetní techniky, můžeme v praxi výrazně rozšířit využití daného modelu, a to na základě zkušeností získaných pozorováním, které jsou přeneseny do příslušných algoritmů. Stejně tak ale nemusí být způsob zpracování algoritmů a jejich provázanost správná a uživatelské rozhraní přehledné. V takových případech může dojít k zdánlivě neočekávané situaci, kdy jednotlivé softwarové nástroje generují za stejných podmínek odlišné výstupní hodnoty.

Jednotlivé modely lze rozdělit podle zkušeností s využíváním:

- **Preferované modely** – snadno dostupné a nejvíce využívané v praxi, ale mají řadu omezení a nepřesností.
- **Doporučené modely** – modely schopné do výpočtu zahrnout další řadu vlivů a z tohoto důvodu jsou výstupy přesnější. Nevýhodou je však složité uživatelské rozhraní a pořizovací cena.

Dělení softwarových nástrojů obecně:

- **Jednoduché modely**
- **Screeningové modely** – nevyžadují množství vstupních dat, poskytují konzervativní výsledky – mírně nadhodnocují, a to z důvodů rychlé aplikace v terénu, kdy s ohledem na časové dispozice a možnosti uživatele není možné získat přesná vstupní data. Musí se tedy spokojit pouze s odhady rychlosti větru, vlhkosti, stability atmosféry apod.
- **Pokročilé modely** – požadují výkonné počítače, externí digitální pracovní stanice, a to z důvodů, že vyžadují množství meteorologických dat a dat o koncentraci emisí. Tyto získávají ze sítě externích stanic rozmístěných nad inkriminovanou oblastí. Modely rovněž vyžadují informace o terénu, rozmístění překážek a jejich velikost. Do zástupců tohoto typu modelů lze zařadit ISC3, ALOHA, AERMOD, SAVE II, ADMS (Skřehot a Bumba, 2009).

- **Specializované modely** – používané pro předpověď rozptylu zvláštních materiálů nebo nebezpečných nákladů, jako jsou bojové chemické látky či biologické zbraně. Vyžadují hodnoty spousty termodynamických veličin a podrobná meteorologická data. Zástupci těchto modelů jsou SLAB či DEGADIS (Skřehot a Bumba, 2009).

5.1 RISKAN

Software určený hlavně jako podpůrný nástroj k analýze rizik a k vyhodnocení havárie číselně. Stanovuje priority, které je potřeba respektovat a usnadňuje výpočty rizikové závažnosti. Je velkým přínosem pro pracovníky, kteří se stanovením rizik profesionálně zabývají a mají mnoho zkušeností. Software je určen pro individuální i týmové použití a nevyžaduje přesné číselné údaje. Dále umožňuje přizpůsobit profily specifických podmínek, odpovídající prostředí dané organizace. Jednotlivá rizika jsou roztržena dle stanovených kritérií na nízká, střední a vysoká.

Rychlé vyhodnocení rizik kalkulátorem RISKAN zahrnuje:

- identifikace aktiv a jejich ohodnocení,
- identifikace hrozeb a ohodnocení jejich pravděpodobnosti,
- ohodnocení zranitelností aktiv jednotlivými hrozbami,
- výpočet výsledného rizika pro každou relevantní dvojici aktivum-hrozba,
- roztržení výsledných rizik na nízká, střední a vysoká dle stanovených kritérií.

Zpracování analýzy rizik s použitím SW Riskan umožní urychlit celý proces, připravit přehledné výstupy a závěry pro rozhodování o dalším postupu ze strany vedení organizace i bezpečnostních specialistů. Zároveň tento postup usnadní opakování analýzy při změně podmínek analyzovaného prostředí nebo jeho bezpečnosti a celý postup urychluje. Výstupy je možno převést do tabulek pomocí programu Microsoft Office Excel a průběžně s nimi pracovat (Drozdek a Jelšovská, 2013).

5.2 TEREK

Softwarový nástroj známý pod názvem „teroristický expert“, který je určen prioritně pro rychlý odhad následků havárií, teroristických nebo vojenských útoků. TeRex je určen především k operativnímu použití složkami IZS jak přímo na místě zásahu, tak i v řídicím středisku. Jde o software s návazností na GIS, takže výsledek je možno zobrazit přímo v mapách. Hlavním účelem programu je určení rozsahu ohrožení a následné realizaci opatření ochrany obyvatel.

Rovněž je vhodný pro analýzu rizik při územním plánování, navrhování zástavby v okolí komunikací a výrobních závodů, pojišťovnictví apod. Program TerEx poskytuje výsledky i při nedostatku přesných vstupních informací. Předpověď následků je založena na konzervativní prognóze, což znamená, že výsledek odpovídá nejhorší možné variantě. Základem práce s programem TeRex je vypracování scénáře mimořádné události tzn. kromě látky a modelu zadat vstupní údaje (Skřehot a Bumba, 2009).

Vstupní údaje:

- Celkové množství uniklé látky.
- Střední rychlost větru v přízemní vrstvě.
- Teplota vzduchu.
- Typ převažujícího povrchu v prostoru potenciálního šíření oblaku.
- Oblačná pokrývka v procentech.
- Doba vzniku a průběh havárie.

Základní modely:

- **PUFF** – Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.
- **JET FIRE** – Déletrvající masivní únik plynu se zahořením.
- **PLUME** – Déletrvající únik plynu do oblaku.
- **PLUME** – Déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.
- **PLUME** – Pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku.
- **POOL FIRE** – Hoření louže kapaliny nebo vroucí kapaliny.
- **BLEVE** – Ohrožení nádrže plošným požárem.
- **PUFF** – Jednorázový únik plynu do oblaku.
- **EXPLOSIVE** – Nástražný výbušný systém.
- **SPREAD** – Šíření prachových částic.
- **SPREAD EXPLOSIVE** – Šíření prachových částic explozí.
- **DEGAS** – šíření těžkých plynů (T-soft, © 2017).

5.3 Sada CAMEO + ALOHA

Jedná se o softwarovou sadu čtyř základních aplikací používaných k plánování a reakci na chemické mimořádné události. Je to jeden z mála nástrojů vyvinutých Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států (EPA US) a Národním úřadem pro oceán a atmosféru (NOAA). Sada CAMEO byla vytvořena z důvodů zjištění NOAA, že reakce na mimořádné události byly omezovány nedostatkem spolehlivých informací o nebezpečných látkách. Dalším důvodem bylo, že chyběl nástroj pro ukládání a používání informací, které jsou zásadní pro nouzové plánování.

Softwarová sada CAMEO obsahuje:

- **CAMEO Data Manager** – aplikace obsahující sedm modulů pro správu dat.
- **CAMEO Chemicals** – chemická databáze s informacemi o chemikáliích.
- **MARPLOT** – mapový nástroj, umožňující přenést grafický výstup ALOHA.
- **ALOHA** – model rozptylu vzduchu pro hodnocení úniků nebezpečných chemických par (EPA, 2020).

Nástroj ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) je považován za komplexní prostředek zaměřený na řešení specifických problémů spojených s rozptylem látek na krátké vzdálenosti a patří mezi pokročilé modely. Software od prvopočátku jeho vzniku hodnotí uživatelé kladně, protože SW nástroj ALOHA požaduje vstupní data, která jsou snadno dostupná nebo je lze snadno odhadnout na základě znalostí o průběhu a charakteru události. Tyto závěry lze potvrdit i na základě zkušeností získaných při využití tohoto nástroje při řešení nejrůznějších analýz rizik. Program má přívětivé uživatelské rozhraní, dobře zpracovanou uživatelskou příručku a lze i dobře hodnotit kvalitu získaných výstupů. To můžou potvrdit vypracované výsledky pro událost Bhópálu, kde SW nástroj ALOHA poskytla nejpřesnější a nejobsáhlejší výsledky. Na základě těchto skutečností jsou pro hodnocení výsledků z modelování rozptylu toxických plynů použity výstupy z SW nástroje ALOHA jako referenční hodnoty. Jistou nevýhodou tohoto nástroje z uživatelského hlediska je pouze to, že volně dostupná verze neumožňuje provádět export grafických výstupů do mapového podkladu a nelze výstup ukládat ve formátu JPG (Skřehot a Bumba, 2009).

5.4 Další softwarové nástroje

V této kapitole jsou uvedeny některé příklady dalších softwarových nástrojů, které se využívají při řešení mimořádných událostí a krizových situací.

WHAZAN

Jedná se o software vyvinutý společností DNV Technica ve spolupráci se Světovou bankou. Program slouží k rychlému vyhodnocení a predikci následků úniku plynů a kapalin pomocí 17 modelů. SW nástroj rovněž umožňuje simulaci úniku látek potrubím i otvorem, a lze modelovat i dvoufázový výtok. Dále nabízí modely pro tvorbu kaluže, vypařování z kaluže, rozptylu těžkých a lehkých plynů v atmosféře, šíření plynů uvnitř budov a rovněž modely pro explozi mraku par, výbuch typu ohnivá koule, požár kaluže a tryskový požár (Ovčáčík, 2015).

PHAST

Softwarový nástroj vyvinutý společností DNV Software, který umožňuje modelování úniku NL, jejich následného šíření v prostředí, dopadů požáru a explozí látek. Program je primárně určen k využití v průmyslu a poskytuje rychlé a přesné výsledky, které lze znázornit v grafické nebo tabelární podobě (Ovčáčík, 2015).

NBC-Analysis (CBRN-Analysis)

Software, který vyvinula společnost Bruhn Newtech, a je používán k řešení MÚ s přítomností biologických, chemických nebo radioaktivních látek. Program předvídá následky těchto hrozeb a varuje obyvatele a jednotky v zasažené oblasti. SW je určen hlavně k použití v armádách. Program lze použít při teroristických útocích, při použití zbraní hromadného ničení, technologických a jiných haváriích s únikem radioaktivních, biologických a chemických látek. Vstupní data je možno vložit ručně nebo automaticky ze senzorů. Následně SW vypočítává rizikové zóny, které zobrazí na mapě nebo v GIS (Ovčáčík, 2015).

Dílčí závěr

Byla zpracována teoretická část, která pojednávala o největších haváriích (českých i zahraničních) a o haváriích úniku nebezpečné látky amoniaku na ZS. Byly zde zmíněny právní předpisy vztahující se k nakládání a označování nebezpečných látek, a to zejména nařízení Evropského parlamentu a Rady CLP, nařízení REACH a chemický zákon. Rovněž byly zmíněny nebezpečné látky a konkrétně amoniak. Poslední dvě kapitoly pojednávají o IZS jako prostředku pro řešení a likvidaci havárií a o použitých softwarových nástrojích.

6 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je na základě zpracované případové studie havárie s únikem amoniaku na zimním stadionu v Uherském Ostrohu, pomocí vybraných softwarových nástrojů, navrhnout opatření ke zlepšení současného stavu na ZS v Uherském Ostrohu v problematice řešení havárii s únikem nebezpečné látky.

Ke splnění hlavního cíle, byly stanoveny následující cíle:

- Zpracovat teoretickou část v kontextu s modelováním havárie s únikem nebezpečné látky.
- Zpracovat případovou studii na únik amoniaku.
- Provést multikriteriální analýzu rizik SW nástrojem Riskan.
- Provést modelaci havárie úniku nebezpečné látky softwarovými nástroji TerEx a ALOHA.
- Provést srovnání SW nástrojů ALOHA a TerEx.
- Provést komparaci výsledků výstupů softwarových nástrojů ALOHA a TerEx.

Použité metody ke splnění cílů práce:

- **Modelování** neboli simulace pochází z latinského slova „modulus“ (míra, rytmus, veličina) a „modus“ (kopie, obraz). Je to metoda, která se využívá v odborné a vědecké praxi v mnoha odvětvích lidské činnosti. V podstatě se jedná o zjednodušený obraz skutečnosti. Při zpracování práce se využívá softwarových nástrojů k simulaci úniku nebezpečné látky, kterou je amoniak.
- **Komparace** vznikla z latinského slova „comparare“ (srovnávat). Je a lze ji použít při získávání poznatků, ale rovněž i při jejich zpracování. V této práci je využita ke srovnání získaných výstupních hodnot z předchozích použitých metod (modelování), a na základě zjištěných skutečností jsou vyvozeny závěry o vlastnostech objektů nebo procesů.
- **Analýza rizik** je použita matice rizik, která je jednou z metod určení možné míry rizik. Vychází z parametrů hodnota a zranitelnost aktiv a pravděpodobnosti uplatnění hrozby.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ZIMNÍ STADION V UHERSKÉM OSTROHU

Zimní stadion je situován ve středu města Uherský Ostroh v nadmořské výšce 178 m n. m. odkaz na obrázku č. 14. V těsné blízkosti zimního stadionu se nachází základní a mateřská škola, dětský domov, dům pro seniory, dům s chráněnými byty, podnik na zpracování dřeva fy. Dyas.EU a.s. a v přilehlém okolí výstavba rodinných domů a ostatních prostor.

Tab. 3 – Základní informace o zimním stadionu (Vlastní).

Adresa	Školní 867, 687 24 Uherský Ostroh
Provozovatel	HOKEJ Uherský Ostroh z. s.
Vlastník	Město Uherský Ostroh
Vedoucí zimního stadionu	Bronislav Zápařka
Kontakt	hokejuhostroh@seznam.cz
GPS souřadnice objektu	48.98583N, 17.397414E
Množství chladiva	6000 kg
Kapacita hlediště	1000



Obr. 14 – Zimní stadion Uherský Ostroh (Vlastní).

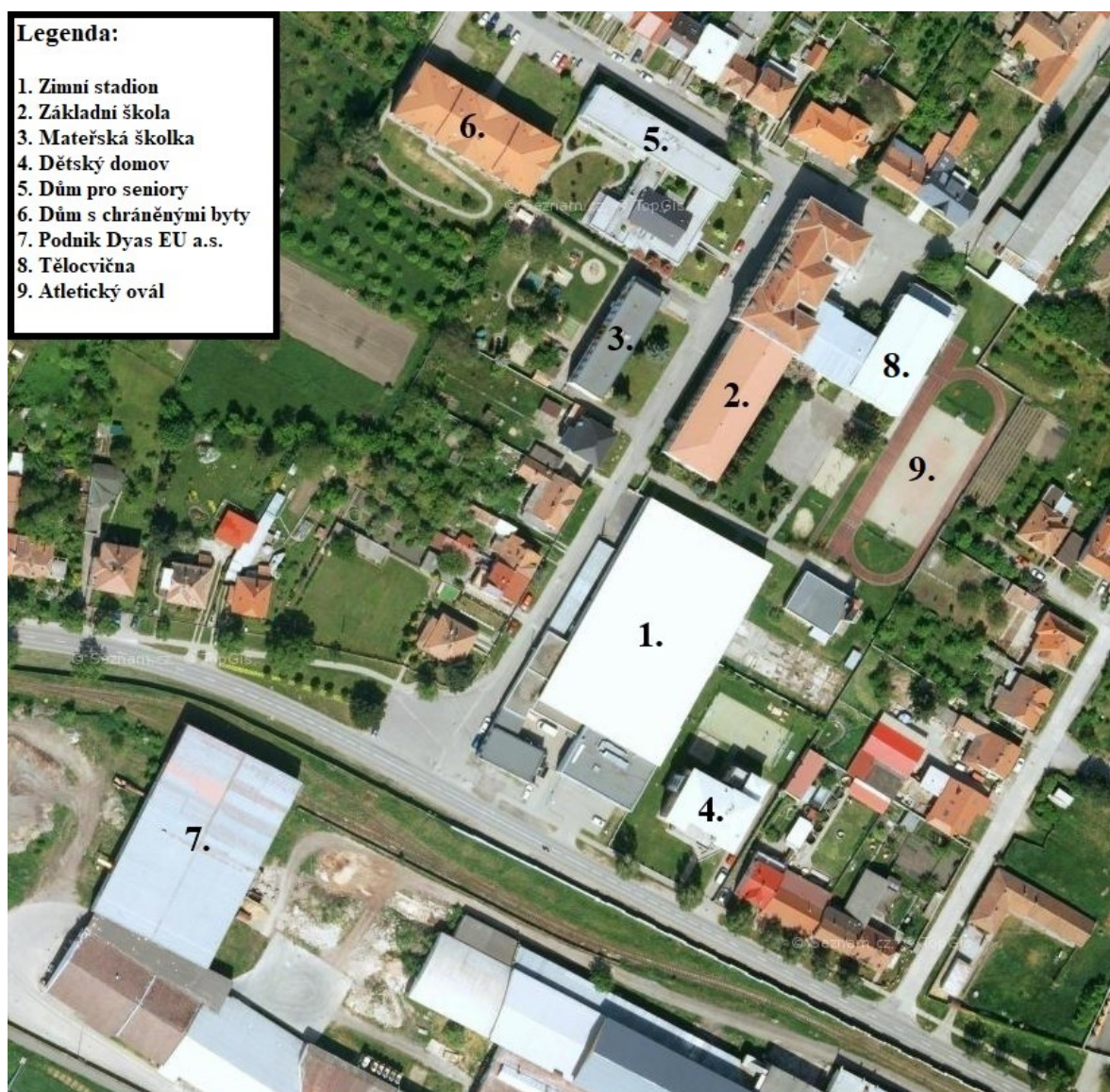
Stručná historie zimního stadionu

V letech 1922 až 1923 začali studenti obchodní akademie připravovat založení nového hokejového klubu v Uherském Ostrohu. Začalo se hrát a bruslit dle možných podmínek na řece Moravě, na rybnících Okasovo, Černovo a Radovo v Uherském Ostrohu. Od roku 1945 se zimní aktivity přesunuly na hřiště u školy (nynější zimní stadion). Následně v roce 1950 byla zpracována první projektová dokumentace výstavby umělé ledové plochy. Byly vybudovány šatna a vytápění, které v roce 1959 kompletně vyhořely i s veškerým vybavením. V období let 1960 až 1962 byly postaveny na zimním stadionu nové zděné šatny.

V roce 1965 byla zbudována betonová plocha s osvětlením. V letech 1973 až 1977 proběhla výstavba umělé ledové plochy. V roce 2001 provedena rekonstrukce strojovny chlazení a nové umělé plochy v celkové výši nákladů 6,5 mil. korun. V roce 2003 byly postaveny nové šatny a následně v roce 2005 bylo zrealizováno zastřešení ledové plochy včetně nové tribuny. V období 2006 až 2008 proběhlo dokončení opláštění zimního stadionu, vybudování nové rolbovny, zázemí strojníků a ledařů, ošetrovny a prodejny hokejových potřeb (HOKEJ Uherský Ostroh, © 2018).

Geografické umístění zimního stadionu

Níže na obrázku jsou číselně označeny nejohroženější objekty, včetně zimního stadionu v Uherském Ostrohu nacházející se v jeho těsné blízkosti.



Obr. 15 – Geografické rozmístění objektů – upraveno z map (Mapy.cz, 2018).

Systém chlazení

Zimní stadion v Uherském Ostrohu využívá přímý systém chlazení ledové plochy s vypařovací teplotou $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vysokotlakou regulací přepouštění chladiva. Chladicí zařízení pracuje s parním oběhem chladiva, průmyslové označení R717 čpavek NH_3 s poloautomatickým provozem a pod odborným dohledem. Při provozu musí být sledovány důležité provozní stavy a překročení předurčených pracovních podmínek je signalizováno, respektive vede k zastavení chladicího zařízení. Chladicí zařízení musí být obsluhováno a kontrolováno odbornou nebo zacvičenou obsluhou. Rozměr ledové plochy je $29,23\text{ m} \times 59,29\text{ m}$. Pod ledovou plochou je zabetonováno ocelové potrubí (tzv. vlásčnice) kudy proudí kapalný amoniak. Ve strojovně zimního stadionu se nachází kovový tlakový zásobník na $6\ 000\text{ kg}$ čpavku. Chladicí výkon zajišťuje kompresorové soustrojí 1ks 4 VN 150 A, 960 ot./min. a 1ks 4 VN 150 A, 720 ot./min. (Janecký, 2000).



Obr. 16 – Kompresorové soustrojí (Vlastní).



Obr. 17 – Kovová tlaková nádoba s chladivem (Vlastní).

7.1 Scénář modelové situace

Dne 11. listopadu 2021 v 07:00 hod., došlo v prostorách strojovny na zimním stadionu v Uherském Ostrohu k úniku amoniaku z poškozeného potrubí vedoucího k tlakovému zásobníku na uskladnění amoniaku. K úniku do vnějšího prostředí došlo otevřenými vraty do strojovny vedoucími na ulici Sokolovská. V době úniku se na zimním stadionu nikdo jiný kromě obsluhy strojovny nenacházel. Kovový tlakový zásobník má tvar válce o rozměrech 1,5 m × 5,4 m a objemu 9,5 m³, což odpovídá množství 6 000 kg amoniaku. Zásobník je plně naplněn nebezpečnou látkou. Příčinou poškození potrubí byla nesprávná manipulace pracovníků zimního stadionu s těžkým břemenem při úklidu strojovny, kdy došlo k trhlině na potrubí o průměru 10 cm. Při nehodě došlo k úniku 300 kg amoniaku s rychlým odparem plynu do oblaku.

Tab. 4 – Základní údaje o počasí (Kaplan, 2021).

Základní meteorologické údaje v okamžiku vzniku havárie	
Teplota vzduchu	6 °C
Rychlost větru	2,2 m/s
Směr větru	Severní (360°)
Relativní vlhkost vzduchu	75 %
Pokrytí oblohy oblačností	0 %
Třída stability atmosféry	E
Inverze	Stav bez inverze

Tab. 5 – Důležité údaje (Vlastní).

Základní informace	Hodnoty
Nadmořská výška	178 m n. m.
Místo události	ZS Uh. Ostroh
GPS souřadnice	48.9858N, 17.3974E
Charakter zasaženého prostředí	Obydlená krajina
Objem nádrže	9,5 m ³
Tvar nádrže	Válec
Množství amoniaku	6000 kg
Velikost otvoru úniku	0,1 m

7.2 Scénář řešení

Tab. 6 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).

Pořadí	Název činnosti/opatření	Charakteristika činnosti/opatření	Provádí	Poznámka	
1	Přijetí hlášení	Dne 11. listopadu 2021 v 07:05 hod., bylo přijato hlášení o úniku NL – amoniaku, ke kterému došlo v prostorách strojovny na zimním stadionu v Uherském Ostrohu, ul. Sokolovská 867. K úniku do vnějšího prostředí došlo otevřenými vraty do strojovny ZS.	Operační informační středisko HZS Zlínského kraje	Událost oznámil zaměstnanec ZS	
2	Aktivace zasahujících jednotek	Aktivace zasahující jednotky v rámci vyhlášení I. stupně poplachu dle požárního poplachového plánu Zlínského kraje	Operační informační středisko HZS Zlínského kraje	PČR PS Uh. Ostroh, ZZS Zlínského kraje, MP Uh. Ostroh, JPO Veselí nad Moravou, JPO Uh. Ostroh, JPO Uh. Hradiště	
3	a	Zhodnocení situace v místě havárie	Došlo k úniku NL – amoniaku při poškození potrubí ve strojovně zimního stadionu v Uh. Ostrohu. Teplota vzduchu je 6 °C, severní vítr o rychlosti 2,2 m/s, relativní vlhkost vzduchu 75 %, stabilita atmosféry D, nadmořská výška 178 m n. m. Vyhlášení III. stupeň poplachu.	První zasahující jednotka na místě zásahu dle požárního poplachového plánu Zlínského kraje	JPO Uh. Hradiště

Tab. 7 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).

Pořadí		Název činnosti/opatření	Charakteristika činnosti/opatření	Provádí	Poznámka
3	b	Zamezení šíření nebezpečné látky	Jednotka se převlékne do ochranných protichemických obleků a snaží se utěsnit místo úniku, použitím těsnících vaků, klínů, tmelů a dalších prostředků, utěsnění kanálových vpustí a vstupů do níže položených prostor, dle možnosti provádí odvětrání zasažených prostor.	První zasahující jednotka na místě zásahu dle požárního poplachového plánu Zlínského kraje	Čas zastavení úniku amoniaku je 07:20 hod.
3	c	Průzkum aktuální situace v místě havárie	Předání zjištěných informací o havárii na operační středisko Zlínského kraje za účelem vyhodnocení možného šíření uniklé nebezpečné látky (amoniaku).	První zasahující jednotka na místě zásahu dle požárního poplachového plánu Zlínského kraje	Pokud je na místě víc jednotek, velí jednotka s právem přednostního velení.
4		Předání informace o havárii	Na základě výsledků průzkumu a následného zhodnocení situace jsou předány informace o havárii ostatním dotčeným subjektům. Vyhlášení III. stupně poplachu.	Operační informační středisko HZS Zlínského kraje	
5		Varování obyvatelstva v okolí havárie	Varování obyvatelstva zasaženého havárií a okolí havárie.	Operační informační středisko HZS Zlínského kraje	
6		Řešení vzniklé havárie	Soubor opatření vedoucí k zmírnění a likvidaci následků a dopadů havárie.	Všichni účastníci havárie	

Tab. 8 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).

Pořadí	Název činnosti/opatření	Charakteristika činnosti/opatření	Provádí	Poznámka
7	Vypočítání a vyhodnocení šíření oblaku	Ze získaných informací byla situace vyhodnocena a byla přijata nezbytná bezpečnostní opatření. Pro vyhodnocení byl použit SW nástroj ALOHA.	Operační informační středisko HZS Zlínského kraje	
8	Ukončení řešení havárie	Ukončení činností přímo souvisejících s řešením havárie.	Zasahující jednotky požární ochrany	
9	Obnovení postiženého území	Obnovení postiženého (poškozeného) území následky havárie.	Dotčené subjekty	

Stupně poplachu IZS

Jednotlivé stupně poplachu jsou definovány ve Vyhlášce MV č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení IZS. Potřebný stupeň poplachu vyhláší vždy velitel zásahu nebo operační a informační středisko dle konkrétní situace na místě zásahu.

První stupeň poplachu je vyhlášen v případě, že mimořádná událost ohrožuje jednotlivé osoby, jednotlivý objekt nebo území do 500 m².

Druhý stupeň poplachu je vyhlášen v případě, že mimořádná událost ohrožuje nejvýše 100 osob, více jak jeden objekt nebo plochu území do 10 000 m².

Třetí stupeň poplachu je vyhlášen v případě, že mimořádná událost ohrožuje více jak 100 a nejvýše 1000 osob, část obce nebo areálu podniku nebo plochu území do 1 km².

Zvláštní stupeň poplachu je vyhlášen v případě, že mimořádná událost ohrožuje více jak 1000 osob, celé obce nebo plochy území nad 1 km² (Bezpečnost.Praha.eu, © 2022).

8 ANALÝZA RIZIK SW NÁSTROJEM RISKAN

V softwarovém nástroji Riskan byla nejprve určena ohrožená aktiva, která vyplývají z geografické polohy zimního stadionu, jak je uvedeno výše na obrázku č. 15. Jedná se o objekty v těsné blízkosti zimního stadionu a objekty nacházející se po směru poryvu větru, které mohou být v případě vzniku havárie zasaženy. V těchto objektech se mohou nacházet v době havárie osoby, které mohou být ohroženy na životě a zdraví. Poté byly určeny reálné hrozby, které by mohly v případě vzniku havárie s únikem amoniaku na zimním stadionu nastat. Jednotlivé hrozby, byly ohodnoceny dle pravděpodobnosti jejich možného vzniku. Níže jsou zobrazeny použité číselníky v softwarovém nástroji Riskan:

Tab. 9 – SW Riskan hodnocení aktiv, hrozeb a zranitelnosti (Vlastní).

HODNOTA AKTIVA		PRAVDĚPODOBNOST HROZBY	
0	Zanedbatelná	0	Žádná
1	Velmi nízká	1	Zanedbatelná
2	Nízká	2	Nízká
3	Střední	3	Střední
4	Vysoká	4	Vysoká
5	Velmi vysoká	5	Velmi vysoká
		6	Jistá

ZRANITELNOST AKTIVA	
0	Žádná
1	Nízká
2	Střední
3	Vysoká

Softwarový nástroj Riskan na základě součinu aktiv, pravděpodobnosti uplatnění hrozby a zranitelnosti aktiv číselně vyhodnotí výsledná rizika. Jednotlivá výsledná rizika jsou od sebe odlišena barevně. Červená barva označuje velmi vysoké riziko s maximální možnou hodnotou 90, žlutá barva představuje střední riziko s maximální hodnotou 59 a nízké riziko je označeno zelenou barvou s nejvyšší hodnotou výsledného rizika 29.

Tab. 10 – SW Riskan hodnoty výsledných rizik (Vlastní).

VÝSLEDNÉ RIZIKO		MAXIMÁLNÍ MOŽNÉ RIZIKO
Nízké	0–29	90
Střední	30–59	
Vysoké	60–90	

Hrozby		Pravděpodobnost		Aktiva																									
		HROZBY - CELKEM	5	velmi vysoká	AKTIVA - CELKEM	1	1.1	1.2	2	2.1	2.2	2.3	3	3.1	3.2	3.3	4	4.1	4.2	4.3	4.4	5	5.1	5.2	6	6.1	6.2	6.3	
HROZBY - CELKEM		5	velmi vysoká	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	10	10	75	24	60	75	60	30	30	10	10	75	75	40	75
1	Amoniak	5	velmi vysoká	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	10	10	75	24	60	75	60	30	30	10	10	75	75	40	75
1.1	Tlaková vlna	4	vysoká	60	40	40	40	60	40	40	60	60	60	0	0	60	24	32	60	60	12	12	0	0	60	60	32	60	
1.2	Dusivý oblak plynu	5	velmi vysoká	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	10	10	75	15	60	75	50	30	30	10	75	75	40	75	
1.3	Nebezpečná koncentrace plynu	5	velmi vysoká	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	10	10	50	15	40	50	50	30	30	10	75	75	40	75	
1.4	Ohrožení výbuchem	5	velmi vysoká	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	0	0	75	15	40	75	50	15	15	0	75	75	40	75	
1.5	Požár	3	střední	45	30	30	15	30	30	30	30	45	45	0	0	30	0	0	30	30	0	0	0	0	45	45	24	45	
2	Ostatní	3	střední	20	0	0	0	20	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	12	15	
2.1	Dopravní nehoda	3	střední	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	12	15	
2.2	Jiná nebezpečí spojená s únikem	2	nízká	20	0	0	0	20	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	

Obr. 18 – Výsledky SW nástroj Riskan (Vlastní).

Vyhodnocení analýzy:

Na obrázku výše jsou SW nástrojem Riskan vyznačeny největší možné hrozby v důsledku vzniku havárie, mezi které patří: dusivý oblak, nebezpečná koncentrace plynu, ohrožení výbuchem a tlaková vlna, a to zejména pro osoby nacházející se ve školách (ZŠ, MŠ), na sportovištích (ZS, tělocvična, atletický ovál), v dětském domově, v domově pro seniory, v restauraci Na Zimáku a v okolních rodinných domech. Majitelé a zodpovědné osoby těchto vyjmenovaných objektů by měli být o možném riziku (nebezpečí) dostatečně informováni, proškoleni, a měla by být provedena největší opatření v případě vzniku mimořádné události (havárie). Je zřejmé, že při takovém množství amoniaku (6 000 kg), který se na zimním stadionu v Uherském Ostrohu nachází, hrozí lidem žijícím a pracujícím v jeho blízkosti velké nebezpečí. Nebezpečí také hrozí objektům a osobám nacházejícím se ve směru poryvu větru, poněvadž šíření dusivého oblaku je značně ovlivněno momentálními meteorologickými podmínkami v době havárie, a to především rychlostí a směrem větru. Zbylá uvedená aktiva jsou rovněž ohrožena, ale ne v takové míře.

9 MODELOVÁNÍ V SW NÁSTROJI ALOHA

Vstupní údaje jsou v softwarovém nástroji ALOHA zadávány v jednotlivých bodech menu SW nástroje a musí být zadána všechna požadovaná data, kterými jsou:

- **SITE DATA:** základní data, lokalizace místa úniku amoniaku (čas, datum, nadmořská výška, GPS souřadnice).
- **CHEMICAL DATA:** chemická data, zadána konkrétní nebezpečná látka program vygeneruje molekulární hmotnost látky, bod varu, hodnotu IDLH - maximální koncentraci nebezpečné látky, která po expozici organismu v délce trvání 30 minut jej nijak neohrozí a rovněž stanoví jednotlivé zóny ohrožení pro koncentraci nebezpečné látky v ovzduší (Acute Exposure Guideline Levels) po dobu 60 minut s hodnotami: žlutá barva zóna doporučeného průzkumu AEGL-1: 30 ppm, barva oranžová zóna ohrožení AEGL-2: 160 ppm a červená znázorňuje nebezpečnou zóna AEGL-3: 1100 ppm. (jednotka ppm – parts per million označuje koncentraci, jejíž hodnota vyjadřuje počet částic dispergované, či rozpouštěné látky ku milionu částic látky dispergující).
- **ATMOSPHERIC DATA:** meteorologická data (rychlost a směr větru, teplota vzduchu, oblačnost).
- **SOURCE STRENGTH:** rozměry zásobníku, množství látky v zásobníku, teplota v zásobníku, následně stanovena hodnota tzv. „Circular Opening Diameter“ velikost otvoru, jímž amoniak uniká.

Vstupní údaje pro práci v softwarovém nástroji ALOHA:

Základní data:

- místo: ulice Školní 867, Uherský Ostroh, Česká republika
- datum: 11. 11. 2021 čas: 07:00 hod. časové pásmo (GMT): -2
- GPS souřadnice: 48.98583N, 17.397414E

Chemická data:

- amoniak (NH₃) Číslo CAS: 7664-41-7
- okolní bod varu: -33,8 °C tlak páry při okolní teplotě: větší než 1 atm

Meteorologická data:

- směr větru: 360° (sever) rychlost větru: 2,2 m/s
- výška měření: 3 m typ povrchu: město/les
- oblačnost: 5 z 10 teplota vzduchu: 6 °C
- třída stability atmosféry: E inverze: neprobíhá
- relativní vlhkost vzduchu: 75 %

Data o zdroji:

- únik z otvoru v horizontální válcové nádrži
- doba úniku: 1 minuta
- hořlavá chemikálie unikající z nádrže (nehořící)
- průměr nádrže: 1,555 m délka nádrže: 5 m objem nádrže: 9,5 m³
- teplota kapaliny: 6 °C hmotnost kapaliny v nádrži: 300 kg
- nádrž je plná ze 4 % průměr otvoru: 10 cm
- otvor je 0 metrů od dna nádrže
- poznámka: RAILCAR předpovídá, že se vytvoří stacionární mrak nebo „mlžný bazén“
- tok nebezpečné látky: 5 kg/s
- chemická látka unikla jako směs plynu a aerosolu

Data k vymezení zón:

- červená zóna: AEGL-3 oranžová zóna: AEGL-2 žlutá zóna: AEGL-1

Originální zadání dat do SW nástroje ALOHA:**SITE DATA:**

- Location: ZIMNI STADION UHERSKY OSTROH, CZECH REPUBLIC
- Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
- Time: November 11, 2021 0700 hours DST (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: -33.8° 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: 2.2 meters/second from 360° true at 3 meters
- Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
- Air Temperature: 6° C Stability Class: E
- No Inversion Height Relative Humidity: 75%

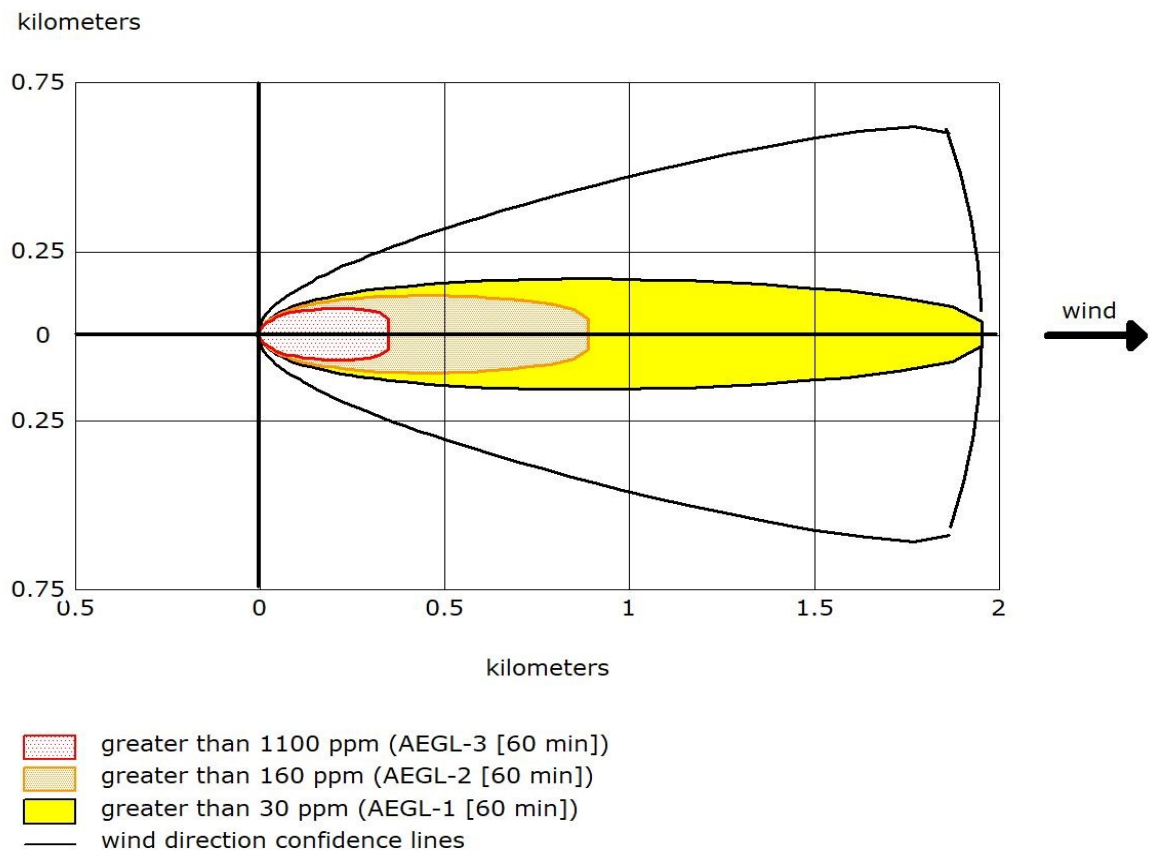
SOURCE STRENGTH:

- Leak from hole in horizontal cylindrical tank
- Flammable chemical escaping from tank (not burning)
- Tank Diameter: 1.555 meters Tank Length: 5 meters
- Tank Volume: 9.50 cubic meters
- Tank contains liquid Internal Temperature: 6° C
- Chemical Mass in Tank: 300 kilograms
- Tank is 4% full
- Circular Opening Diameter: 10 centimeters
- Opening is 0 meters from tank bottom
- Note: RAILCAR predicts a stationary cloud or 'mist pool' will form.
- Model Run: traditional ALOHA tank

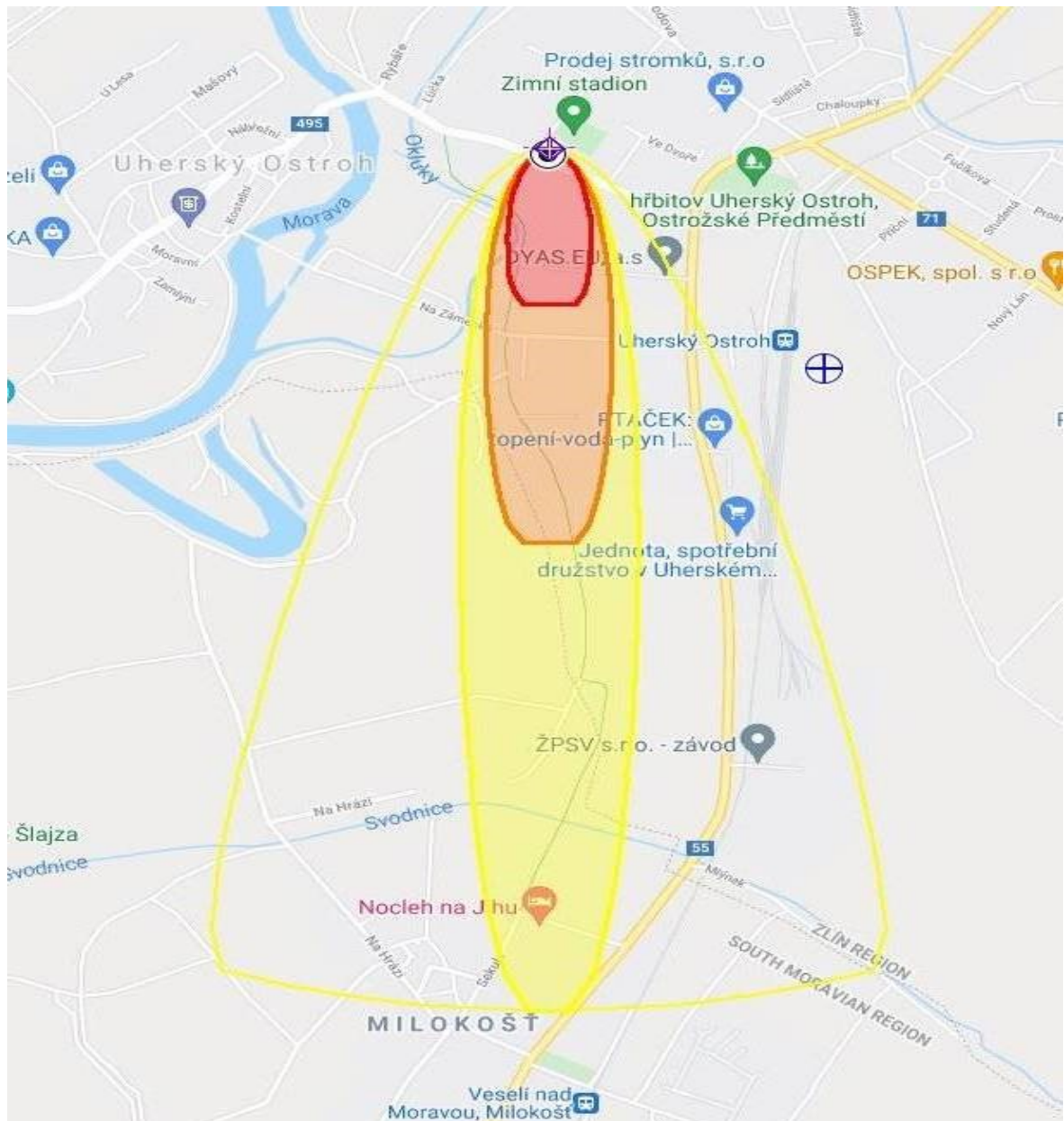
- Release Duration: 1 minute
- Max Average Sustained Release Rate: 5 kilograms/sec
- (Averaged over a minute or more)
- Total Amount Released: 300 kilograms
- Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

- Model Run: Heavy Gas
- Red: 352 meters --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
- Orange: 892 meters --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
- Yellow: 2.0 kilometres --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])



Obr. 19 – Grafické znázornění nebezpečných zón SW nástroj ALOHA (Vlastní).



Obr. 20 – Zasažené objekty SW nástroj ALOHA (Vlastní).

Výsledek modelování:

Po zadání veškerých požadovaných vstupních informací provede SW nástroj ALOHA samotnou simulaci havárie s únikem nebezpečné látky. Amoniak z poškozeného potrubí vedoucího k tlakovému zásobníku začal otvorem o průměru 10 cm unikat v 07:00 hod. a únik byl zastaven obsluhou zimního stadionu v čase 07:01 hod. Při maximální průměrné rychlosti trvalého uvolňování 5 kg/s, došlo k úniku 300 kilogramů amoniaku. Softwarovým nástrojem ALOHA byly vymezeny jednotlivé nebezpečné zóny od místa úniku následovně:

- nebezpečná zóna (červená barva AEGL-3) a nejvyšší koncentrace v ovzduší **1 100 ppm** bude dosahovat do maximální vzdálenosti **352 m**,

- zóna ohrožení (oranžová barva AEGL-2) a koncentrace v ovzduší **160 ppm** byla naměřena do vzdálenosti **892 m**,
- zóna doporučeného průzkumu (žlutá barva AEGL-1) a nejnižší koncentrace amoniaku v ovzduší **30 ppm** bude zasahovat do vzdálenosti **2 km**.

Mimo hlavní scénář havárie s únikem nebezpečné látky (amoniaku) jsou vypracovány další dvě možné varianty havárie:

- únik 1 800 kg amoniaku, uvedené množství by se mělo na zimním stadionu nacházet po jeho celkové rekonstrukci, která se uskuteční tento rok tj. 2022,
- únik 6 000 kg amoniaku, jedná se o množství, které se v současné době nachází na ZS v Uh. Ostrohu.

Výstupní data všech navrhovaných simulací jsou zanesena v tabulce níže.

Tab. 11 – Výsledky SW nástroje ALOHA (Vlastní).

Uniklé množství amoniaku	Nebezpečná zóna	Zóna ohrožení	Zóna doporučeného průzkumu
300 kg	352 m	892 m	2 000 m
1 800 kg	625 m	1 400 m	3 100 m
6 000 kg	971 m	2 100 m	4 400 m

Ohrožené objekty:

Provedená simulace dle hlavního scénáře nám vytyčila jednotlivé nebezpečné zóny ohrožení, ve kterých se nachází zasažené objekty (rodinné domy, podniky, jiné objekty atd.). Jedná se především o objekty nacházející se v červené zóně do vzdálenosti 352 metrů (nebezpečná zóna – nutno provést plošnou evakuaci) a oranžové zóně do vzdálenosti 892 metrů (zóna ohrožení).

Podniky v Uh. Ostrohu:

- **DYAS.EU, a.s.** Veselská 384, Uherský Ostroh (cca 200 osob),
- **XAVEROV, a.s.** Veselská 88, Uherský Ostroh (cca 20 osob),
- **EUROTEC, k. s.** Na Zámecké 725, Uherský Ostroh (cca 800 osob),

- **Pěstitelská pálenice Skřivánek**, Na Zámecká 196, Uherský Ostroh – v době havárie mimo provoz.

Ulice a sportoviště v Uh. Ostrohu:

- Sokolovská,
- Veselská,
- Na Zámecké,
- cyklostezka Uherský Ostroh – Veselí nad Moravou,
- Areál tenisových kurtů, Na Zámecké 831, Uherský Ostroh – v době havárie mimo provoz.

Ulice ve Veselí nad Moravou:

- V Zahradách – 2x rodinné domy (cca 8 osob),
- Ostrožská – 12x rodinný dům (cca 48 osob),
- Sekule – 15x rodinný dům (cca 60 osob),
- Cyklonocleh, Sekule 329, Veselí nad Moravou – v době úniku uzavřeno,
- Nocleh na Jihu, V Zahradách 328, Veselí nad Moravou – v době úniku uzavřeno.

Po sečtení je ohroženo havárii s únikem amoniaku celkem 1 136 osob. V nebezpečné zóně se nachází objekt firmy DYAS.EU, a.s. Veselská 384, Uherský Ostroh (cca 200 osob), kde je potřeba provést plošnou evakuaci.

Poznámka:

Modelace je provedena zadáním konstantních a neměnných hodnot (dat) a nepočítá s možností, že může v průběhu havárie dojít k náhlé změně směru a rychlosti větru, a tím i ke změně velikosti zasažené plochy a směru šíření nebezpečné látky. Na základě těchto skutečností by mohly být amoniakem ohroženy osoby i v jiných objektech, než které jsou znázorněny SW nástrojem ALOHA (nebezpečná zóna a zóna ohrožení).

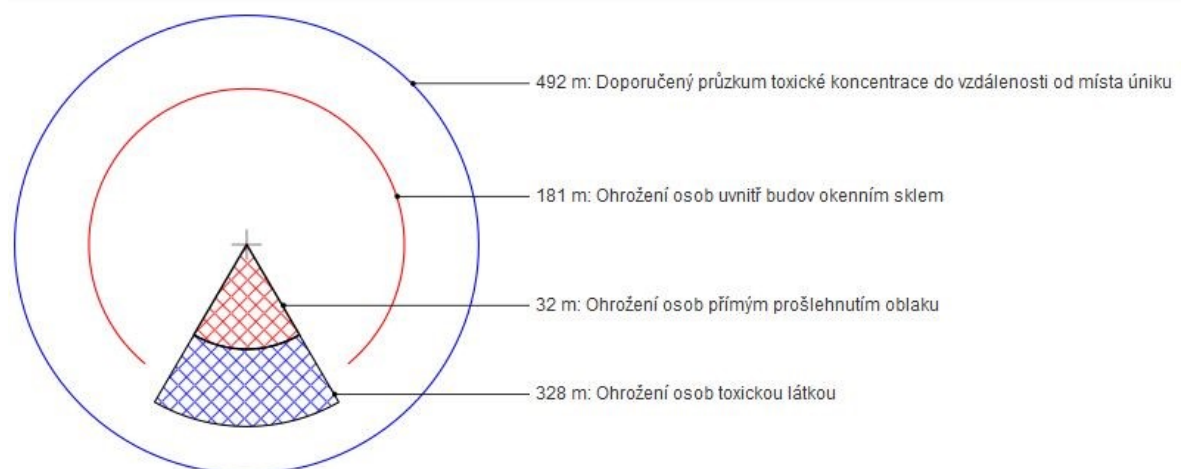
10 MODELOVÁNÍ V SW NÁSTROJI TEREX

V softwarovém nástroji byla modelována havárie s únikem amoniaku modelem PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku. Vstupní data simulace:

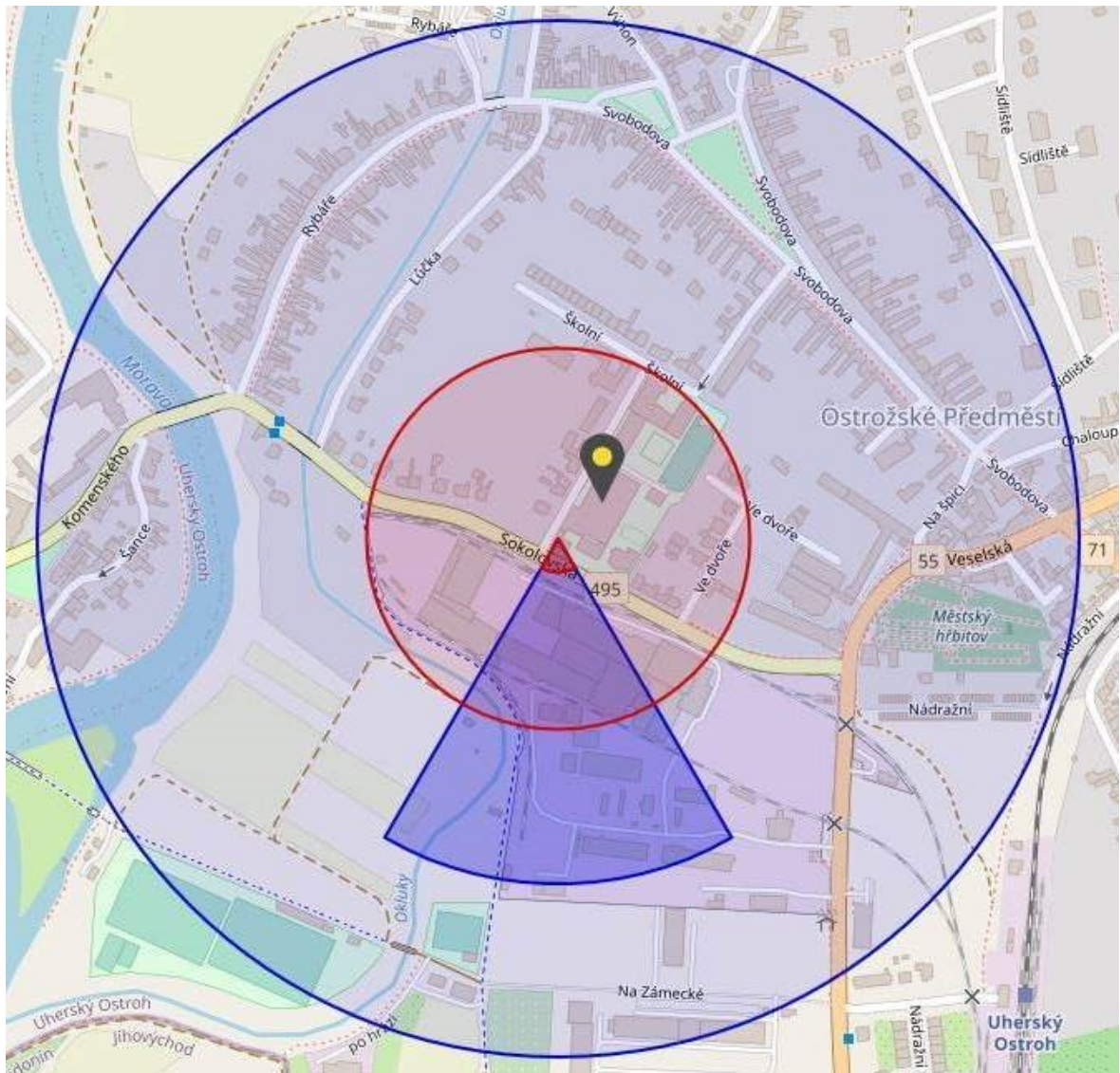
- Látka: amoniak (NH_3).
- Celkové množství: 300 kg.
- Rychlost větru v přízemní vrstvě: 2,2 m/s.
- Směr větru: Severní (360°).
- Pokrytí oblohy oblaky: 0 %.
- Doba vzniku a průběhu havárie: Den – zima.
- Typ atmosférické stálosti: Konvekce.
- Typ povrchu ve směru šíření látky: Obytná krajina.

Výsledky modelování SW nástrojem TerEx:

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	328 m [Koncentrace: 208,78 mg/m ³]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	492 m [Koncentrace: 70,2 mg/m ³]
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	32 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	104 m
Závažné poškození budov	74 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	181 m



Obr. 21 – Ohrožení osob toxickou látkou – únik NH_3 SW nástroj TerEx (Vlastní).



Obr. 22 – Zasažené objekty SW nástroj TerEx (Vlastní).

Výsledek modelování:

Softwarový nástroj TerEx při vložení všech vstupních dat vymodeloval havárii s únikem nebezpečné látky následovně:

- zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku do vzdálenosti **32 metrů** (červená kruhová výseč),
- zóna ohrožení osob toxickou látkou do vzdálenosti **328 metrů** po směru větru, zde je nezbytné provést evakuaci osob v objektech, které nebyly toxickou látkou (amoniak) doposud zasaženy. (modrá kruhová výseč),
- doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti **492 metrů** od místa úniku (modrý kruh).

Mimo hlavního scénáře havárie úniku nebezpečné látky jsou vypracovány další dvě varianty, a to únik 1 800 kg (množství po celkové rekonstrukci zimního stadionu) a 6 000 kg (současné množství na ZS) amoniaku.

Tab. 12 – Výsledky SW nástroj TerEx (Vlastní).

Uniklé množství amoniaku	Ohrožení osob toxickou látkou	Doporučeného průzkumu
300 kg	328 m	492 m
1 800 kg	638 m	957 m
6 000 kg	996 m	1 494 m

Ohrožené objekty:

Provedená simulace nám vytyčila zónu zraňujícího zamoření, ve které se nachází zasažené objekty (rodinné domy, podniky, jiné objekty atd.) a pomohla odhadnout, kolik se zde může nacházet přibližně osob. Bude se jednat především o objekty nacházející se v modré kruhové zóně. Jedná se o následující objekty:

Podniky:

- **DYAS.EU, a.s.** Veselská 384, Uherský Ostroh (cca 200 osob).

Ulice v Uh. Ostrohu:

- Sokolovská,
- Cyklostezka Uherský Ostroh – Veselí nad Moravou.

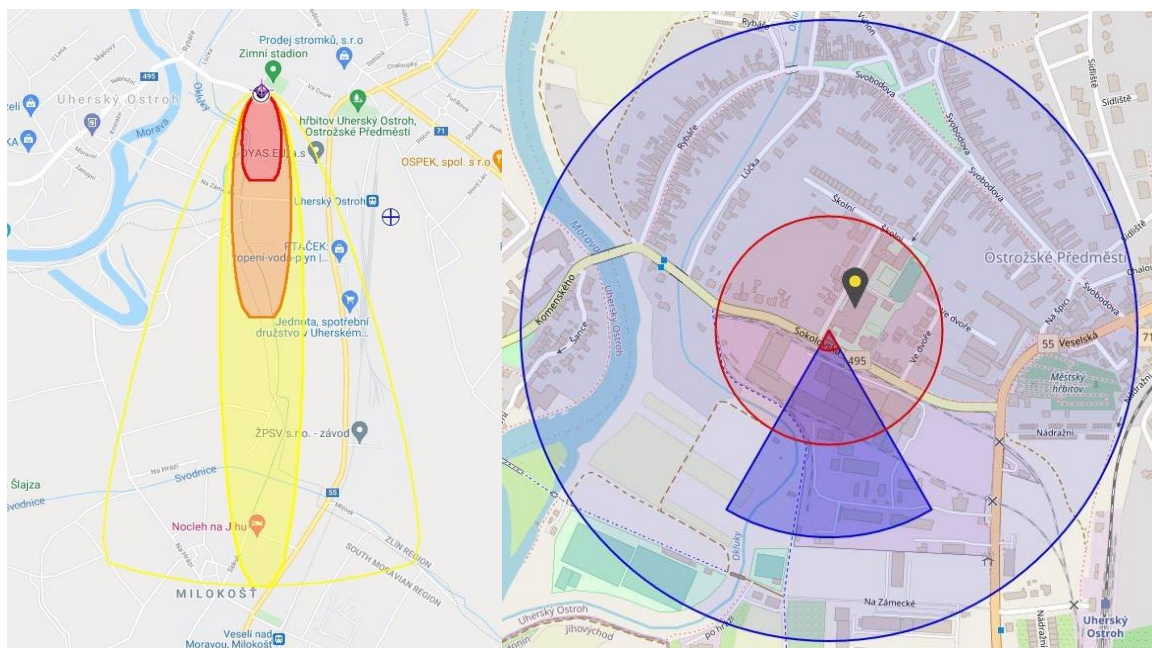
Po konečném sečtení je havárií s únikem amoniaku ohroženo celkem 200 osob. V nebezpečné zóně se nachází objekt firmy **DYAS.EU, a.s.** Veselská 384, Uherský Ostroh (cca 200 osob), kde je nutné provést plošnou evakuaci.

Poznámka:

Modelace je provedena zadáním konstantních a neměnných hodnot. Při vyhodnocení modelace je třeba opět počítat i s možností, že může dojít v průběhu havárie s únikem amoniaku k náhlé změně směru a rychlosti větru a můžou být ohroženy osoby i v jiných objektech, než které jsou znázorněny v modré kruhové výseči, a tím změnit konečné výsledky celé simulace provedené SW nástrojem TerEx.

11 KOMPARACE SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ

Funkce softwarových nástrojů ALOHA a TerEx jsou z větší části autentické. Mezi největší rozdíl těchto programů patří jejich původ. ALOHA je SW nástroj vytvořen v USA, na což SW nástroj TerEx vznikl u nás. Další odlišností softwarových nástrojů je množství zadávaných vstupních informací. V softwarovém nástroji TerEx jsou zadávány jen základní údaje, mezi které patří: látka, celkové množství, rychlost větru, pokrytí oblohy oblaky, doba vzniku a průběhu havárie, typ atmosférické stálosti, typ povrchu ve směru šíření látky. V případě, že některý z těchto uvedených údajů nezadáme, nic se neděje a SW nástroj TerEx i přesto provede zadanou simulaci. Softwarový nástroj TerEx je velmi přehledný, programové rozhraní je v češtině a samotná práce s ním je velmi jednoduchá a zvládne ji i úplný začátečník. Naopak softwarový nástroj ALOHA je mnohem složitější, rozhraní je v angličtině a je zde nutno před samotnou simulací rovněž vyplnit nespočet vstupních dat. Pokud nejsou zadány všechny požadované informace, software na tuto skutečnost uživatele upozorní a zadanou situaci neprovede. Softwarový nástroj ALOHA je vybaven možností automatického zadání meteorologických údajů, a to jen v případě, že se v blízkosti havárie nachází meteorologická stanice, čímž ušetříme spoustu času. Při samotném modelování může dojít k situaci, že i když jsou zadána velmi přesná vstupní data, výsledky získané softwarovými nástroji ALOHA i TerEx jsou nepřesné. Nepřesnost je zapříčiněna tím, že únik nebezpečné látky, v našem případě se jedná o amoniak, je simulován v uzavřeném prostoru a samotné možnosti těchto softwarových nástrojů jsou v tomto případě značně omezeny. Z tohoto důvodu se v daném scénáři události předpokládá, že při úniku amoniaku se tento dostal do vnějšího prostředí například otevřenými vraty nebo oknem ve strojovně zimního stadionu. Mezi poslední odlišnosti těchto SW nástrojů je vyznačení jednotlivých zón ohrožení. Softwarový nástroj TerEx vymeze zóny dvě a SW nástroj ALOHA zóny tři. Softwarový nástroj TerEx vyznačí zónu ohrožení toxickou látkou. Jedná se o zónu, kde je nutno provést evakuaci a dále zónu doporučeného průzkumu toxické koncentrace. Na rozdíl od SW nástroje ALOHA, který vymezuje jednotlivé zóny ohrožení barevně. Nebezpečnou zónu barvou červenou, zónu ohrožení toxickou látkou barvou oranžovou a zónu doporučeného průzkumu barvou žlutou. Poslední odlišností je grafické znázornění (tvar) jednotlivých zón ohrožení. Softwarový nástroj ALOHA modeluje kruhové výseče a SW nástroj TerEx zónu ohrožení toxickou látkou kruhovou výsečí a zónu doporučeného průzkumu ve tvaru kruhu.



Obr. 23 – Porovnání modelů SW nástrojů ALOHA a TerEx (Vlastní).

Srovnání výstupních hodnot:

Porovnání simulace softwarových nástrojů ALOHA a TerEx hlavního scénáře havárie s únikem 300kg nebezpečné látky (amoniaku) vstupními vraty ze strojovny zimního stadionu v Uherském Ostrohu do ovzduší tabulka níže.

Tab. 13 – Porovnání výsledků hlavního scénáře (Vlastní).

Uniklé množství amoniaku	Ohrožení osob toxickou látkou		Doporučený průzkum		Ohrožené osoby	
	ALOHA	TerEx	ALOHA	TerEx	ALOHA	TerEx
300 kg	352-892 m	328 m	2 000 m	492 m	1 136 osob	200 osob

Výsledné hodnoty ohrožení osob toxickou látkou jsou velmi podobné a jsou mezi nimi pouze nepatrné rozdíly. Naproti tomu zóny doporučeného průzkumu jsou od sebe o dost odlišné. Rovněž hodnoty počtu ohrožených osob se značně liší, to je dáno zejména tím, že při modelaci softwarovým nástrojem ALOHA byla zasažena firma Eurotec k. s. Na Zámecké 725, Uherský Ostroh, kde je zaměstnáno cca 800 osob (zaměstnanců).

Tab. 14 – Porovnání všech scénářů (Vlastní).

Uniklé množství amoniaku	Ohrožení osob toxickou látkou		Doporučeného průzkumu	
	ALOHA	TerEx	ALOHA	TerEx
300 kg	352-892 m	328 m	2 000 m	492 m
1 800 kg	625-1 400 m	638 m	3 100 m	957 m
6 000 kg	971-2 100 m	996 m	4 400 m	1 494 m

Provedené opatření:

- záchrana a evakuace osob nacházejících se v nebezpečné zóně,
- dekontaminace zachráněných osob v místech mimo zasaženou oblast,
- uzavření ohroženého prostoru vzniklého havárií a zajištění objízdných tras,
- včasné a spolehlivé varování dotčeného obyvatelstva v nebezpečné zóně nebo v možných ohrožených oblastech v důsledku šíření amoniaku,
- osoby, které se nacházejí na volném prostranství v nebezpečné zóně organizovat ukrytí,
- okamžité předání výsledku havárie nadřízeným orgánům a subjektům dotčených vzniklou havárií,
- provést opatření k zamezení dalšího úniku čpavku,
- zamezit další kontaminaci okolí (např. vodního zdroje, kanalizace apod.),
- kontaminované prostory odvětrávat,
- neustále monitorovat vývoje situace šíření amoniaku,
- provést likvidaci NL, na kapalný NH₃ nastříkat vodu, voda způsobuje odpařování, místo úniku nebo louži kapalného amoniaku pokrýt polyethylenovou fólií nebo sorbentem (Řepka, 2021).

12 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ SITUACE

V případě návrhů na zlepšení stávající situace na zimním stadionu v Uh. Ostrohu je celá řada a na prvním místě je preventivní činnost, a to z důvodu, že mezi možné hlavní příčiny havárie patří selhání lidského faktoru. Lidský faktor je velmi problematický a můžeme s určitostí říci, že jej nelze nikdy 100 % vyloučit. Samotná obsluha strojovny musí být odborně a zdravotně způsobilá a minimálně jednou ročně řádně proškolená. Obsluha musí zajišťovat činnost kompresorového soustrojí, které musí pravidelně kontrolovat dle stanovených předpisů výrobce. Rovněž musí provádět kontrolu ucpávek čerpadel na amoniak i vodu. Další důležitou činností obsluhy je kontrola hladiny čpavku v tlakovém zásobníku a funkčnost elektronických zařízení. Obsluha tlakové nádrže je povinna provádět jednou za měsíc kontrolu funkčnosti pojistného ventilu na tlakové nádobě, jednou za tři měsíce provést nulování tlakoměru

a jednou za půl roku provést odkalení při pracovním tlaku v nádobě. Veškeré zjištěné problémy, závady a opravy musí být obsluhou zapsány v deníku strojovny ZS. Dalším opatřením je provádět povinné revize elektroinstalace a tlakové nádoby na čpavek. Kontrola tlakové nádoby se provádí minimálně jednou za dva roky.

Dalším důležitým preventivním opatřením je informovanost obyvatel žijících nebo pracujících v okolí zimního stadionu, aby v případě havárie s únikem amoniaku věděli, jak se mají v dané situaci správně zachovat. Je nutné, aby byly zdokonaleny nácviky evakuace ve vzdělávacích zařízeních, mezi které patří mateřská a základní škola a jiných zařízení (dům pro seniory, dům s chráněnými byty a dětský domov). Je nezbytné, aby byly veškeré únikové východy v těchto objektech průchozí. Co se týče opatření pro osoby bydlící v okolních domech, lze doporučit, aby měly v domácnosti alespoň pár základních prvků improvizované ochrany. Dále by mělo být ze strany obce nebo města alespoň jednou za rok zajištěna například přednáška, školení nebo seminář s cílem obyvatele dostatečně informovat a poučit o chování při vzniku MÚ. Samotná komunikace s místním obyvatelstvem, především pak v blízkém a ohroženém okolí ZS, je velmi významná a důležitá.

Mezi další návrhy patří technické řešení samotného chlazení ZS, kterých může být hned několik. Zde budou uvedeny dvě z nich. První technické řešení je, že ledová plocha je tvořena železobetonovou deskou, ve které je uloženo plastové potrubí. Potrubím protéká chladná teplotonosná látka, která odebírá teplo z okolí. Tímto je ledová plocha ochlazována na teplotu až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro chlazení ledové plochy je použita kapalina na bázi mravenčanu draselného o koncentraci 30 %.

K chlazení kondenzátorů je použita kapalina etylenglykol o koncentraci 35 %. Zdroj chladu je umístěn ve strojovně chlazení, které pracuje s chladivem R513a, a jedná se o nepřímé chlazení ledové plochy. Celá technologie chlazení je sestavena z pěti modulů: kompresorového, hydraulického, modulu tepelného čerpadla, modulu sněžné jámy a odpařovacího chladiče. Hlavní výhodou této technologie oproti dosavadní, která využívá k chlazení čpavku je, že pracuje s látkami, které jsou nehořlavé, nevýbušné a netoxické. Tímto technickým řešením by byla vyloučena veškerá rizika vzniku havárie s únikem nebezpečné látky a ohrožení osob. Jedinou nevýhodou této technologie je značná energetická náročnost systému chlazení.

Druhým technickým řešením je nové chladicí zařízení pracující se sníženým množstvím chladiva R717 (amoniak) ze stávajících 6 000 kg na 1 800 kg v uzavřeném okruhu. Nové chladicí zařízení je umístěno ve stávajícím objektu strojovny chlazení, ze které je technicky dožívající chladicí zařízení demontováno a nahrazeno energeticky účinnějším zařízením, umožňující automatický provoz s občasným odborným dohledem. Na stávající chladicí desku kluziště je nadbetonována nová chladicí deska s tím, že je možné použít stávající mantinely a ledová plocha se zmenší na délku i šířku o 0,5 metru na nové rozměry 28,65 m × 59,05 m. Vlastní nové chladicí zařízení je tvořeno dvojicí pístových kompresorů s automatickou regulací výkonu, které zajišťují chlazení ledové plochy okruhem přímého chlazení napojeného na nové trubní vlásenky zalité v ledové ploše kluziště. Kondenzační stranu tvoří nový odpařovací kondenzátor, včetně nového vodního hospodářství se stávající úpravnou doplňkové vody. Výhodou tohoto technického řešení je snížení množství nebezpečné látky (amoniak) a malá energetická náročnost systému chlazení. Nevýhodou je použití stávajícího chladicího média R717, což je čpavek, který může v případě havárie spojené i s nepatrným únikem opětovně ohrozit život a zdraví osob nacházejících se na ZS a obyvatel žijících nebo pracujících v okolí zimního stadionu.

ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na problematiku havárie s únikem amoniaku spojené s provozem chladičného zařízení vyskytujících se na zimních stadionech. Přestože na ZS v České republice nedochází k haváriím s únikem této nebezpečné látky často, je každoročně zaznamenáno několik málo případů. Musíme si uvědomit, že únik amoniaku s sebou nese značná rizika, která si spousta lidí, i samotných zaměstnanců ZS nedokážou vůbec představit. Je proto třeba se této konkrétní problematice věnovat, poněvadž prevence, připravenost a informovanost obyvatelstva o možných vzniklých rizicích je velmi důležité a může zachránit nespočet životů. Samotné technologie chlazení ledových ploch u nás, i v zahraničí již využívá technologie nepřímého chlazení, kdy je použito nehořlavé, nevýbušné a netoxické chladicí médium, čímž je ohrožení úplně vyloučeno. V současné době je ale ještě mnoho ZS, a to i u nás, které využívají k chlazení ledové plochy čpavku, z důvodu menší energetické náročnosti a tím pádem menším finančním nákladům na provoz zimního stadionu. Je třeba si, ale uvědomit, že ušetřené finanční prostředky se v žádném případě nevyrovnají lidskému zdraví a životu, který může být reálně únikem amoniaku ohrožen.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá softwarovými nástroji ALOHA, TerEx, Riskan a dalšími podobnými programy. Dále jsou zde zmíněny právní normy ve vztahu se zásadami pro klasifikaci a označování nebezpečných látek a směsí nařízení REACH, nařízení CLP, které jsou implementovány do zákona č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsí. Vzhledem k neustálému technickému vývoji můžeme předpokládat, že bude neustále docházet ke změnám a novelizacím těchto právních norem.

V praktické části práce byla modelována havárie s únikem 300 kg amoniaku na ZS v Uherském Ostrohu, ke které došlo v důsledku poškození potrubí vedoucího k tlakovému zásobníku na NH_3 způsobené špatnou manipulací obsluhy s těžkým břemenem. Na základě těchto skutečností byla zpracována případová studie havárie s únikem amoniaku, provedena analýza rizik SW nástrojem Riskan a její simulace a vyhodnocení za pomoci softwarových nástrojů ALOHA a TerEx. Následně bylo provedeno porovnání získaných výstupních dat z uvedených softwarových nástrojů a jejich vyhodnocení. Softwarový nástroj Riskan ulehčil vyhodnotit analýzu možných rizik na základě aktiv, které se nacházejí v bezprostřední blízkosti ZS a možných vzniklých hrozeb vztahujících se k havárii úniku nebezpečné látky. Za pomoci této analýzy byly vyhodnoceny největší hrozby, kterými jsou: dusivý oblak, nebezpečná koncentrace plynu, ohrožení výbuchem a tlaková vlna.

Z výsledných dat je zřejmé, že NL amoniak představuje značné nebezpečí, a to i při relativně malém úniku. Největší ohrožení čpavkem hrozí především zaměstnancům a návštěvníkům ZS, ale ohroženo je i obyvatelstvo žijící a pracující v bezprostřední blízkosti zimního stadionu. Je zajímavé, že limitní množství amoniaku pro zařazení objektu nebo zařízení do příslušné skupiny dle zákona č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami, stanoví na hodnotu až 50 tun amoniaku pro skupinu A, a 200 tun pro skupinu B.

Hlavním cílem bylo na základě získaných informací navrhnout změny a opatření ke zlepšení stávajícího stavu v problematice řešení havárii s únikem čpavku na zimním stadionu. Mezi nejzásadnější a nejvýznamnější změnou byla v práci navržena nová technologie chlazení, a to nepřímé chlazení ledové plochy, které využívá látky mravenčan draselný a etylenglykol. Obě kapaliny jsou nehořlavé, nevýbušné a netoxické a v případě havárie s únikem těchto látek by nebyl nikdo ohrožen na životě a zdraví. V neposlední řadě je to informovanost a připravenost obyvatelstva bydlicího v okolí ZS o základních zásadách ochrany a způsobech jednání a chování v případě havárie. Závěrem lze konstatovat, že cíl bakalářské práce byl splněn.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní:

BARTLOVÁ, Ivana, 2008. *Prevence a připravenost na závažné havárie*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-049-4.

BLAŽEK, Vladimír, Miroslav KELEMEN a Pavel NEČAS, 2012. *Krizové scénáře*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru. ISBN 9788080545383.

Bojový řád jednotek požární ochrany, 2018. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-197-2.

Havarijní plán objektu: Zimní stadion Uherský Ostroh, 2007. Uherský Ostroh.

KROUPA, Miroslav a Milan ŘÍHA, 2010. *Průmyslové havárie*. 2. vyd. Praha: Armex. Skripta pro střední a vyšší odborné školy. ISBN 978-80-86795-87-4.

LACINA, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ, 2013. *Nebezpečné chemické látky a směsi*. Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí. Recetox. ISBN 978-80-210-6475-1.

MAŠEK, Ivan, Otakar J. MIKA a Miloš ZEMAN, 2006. *Prevence závažných průmyslových havárií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. ISBN 80-214-3336-1.

POLÍVKA, Lubomír, Otakar J. MIKA a Jozef SABOL, 2017. *Nebezpečné chemické látky a průmyslové havárie*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze. ISBN 978-80-7251-467-0.

Požární řád: Skladování čpavku, 2010. Česko.

PROCHÁZKOVÁ, Dana, 2008. *Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody*. Praha: Vydavatelství PA ČR. ISBN 978-80-7251-275-1.

ŘEPKA, Tomáš, 2021. *Modelování havárie s únikem nebezpečné látky*. Uherské Hradiště. Bakalářská práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Ivan Princ.

SKŘEHOT, Petr a Jan BUMBA, 2009. *Prevence nehod a havárií*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce. ISBN 978-80-86973-73-9.

VILÁŠEK, Josef, Miloš FIALA a David VONDRÁŠEK, 2014. *Integrovaný záchranný systém ČR na počátku 21. století*. Praha: Karolinum. ISBN 978-802-4624-778.

Internetové:

BARTA, Jiří a Tomáš LUDÍK, 2012. *TerEx - modelování a simulace: Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNÁŘE* [online]. Universita obrany. Universita obrany [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_TerEx.pdf

Bezpečnost.Praha.eu: Stupně poplachu IZS, © 2022. *Bezpečnost.Praha.eu: Stupně poplachu IZS* [online]. Česko: Magistrát HMP [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://bezpecnost.praha.eu/clanky/stupne-poplachu-izs>

CBC: Fernie Memorial Arena worker deaths caused by aging equipment failure, poor decisions: report, 2018. *CBC: Fernie Memorial Arena worker deaths caused by aging equipment failure, poor decisions: report* [online]. Kanada [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: https://i.cbc.ca/1.4424536.1512060094!/cpImage/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/original_1180/fernie-leak-20171117.jpg

ČESKO, 2000. Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: *239/2000*. Praha: Ministerstvo vnitra, ročník 2000, částka 73, číslo 239. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>

ČESKO, 2011. Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: *350/2011*. Praha, ročník 2011, částka 122, číslo 350. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=23348>

Český rozhlas: Hasiči cvičí zásah při úniku čpavku, 2015. *Český rozhlas: R Pardubice* [online]. Česko: HZS Pardubického kraje [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: https://vltava.rozhlas.cz/sites/default/files/styles/cro_16x9_tablet/public/images/03372210.jpeg?itok=W9xJOMXD

DROZDEK, Marek a Katarína JELŠOVSKÁ, 2013. *Informační podpora krizového řízení* [online]. Opava [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://www.slu.cz/file/cul/9e82bfba-d9d4-41f4-84c4-6a156c0fd371>

EPA: What is the CAMEO software suite? 2020. *EPA: What is the CAMEO software suite?* [online]. Washington [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/what-cameo-software-suite>

HAGER, Mike, 2017. THE GLOBE AND MAIL: Three dead after ammonia leak at Fernie, B.C., arena. *THE GLOBE AND MAIL: Three dead after ammonia leak at Fernie, B.C., arena*

[online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/three-dead-after-ammonia-leak-at-fernie-bc-arena/article36637384/>

HOKEJ Uherský Ostroh: Historie zimního stadionu, © 2018. *HOKEJ Uherský Ostroh: Zimní stadion* [online]. Česká republika [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: <https://www.hokej-ostroh.cz/zimni-stadion/historie-zimniho-stadionu>

HZS ČR: *Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR* [online], © 2021. Česká republika: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2010, 2015, 2020 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/rocenka-2020-pdf.aspx>

HZS Moravskoslezského kraje: Nebezpečné látky, © 2021. *Hasičský záchranný sbor ČR: Nebezpečné látky* [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/nebezpecne-latky.aspx>

HZS Středočeského kraje: Únik čpavku na zimním stadionu v Příbrami likvidovali hasiči v protichemických oblecích, © 2021. *HZS Středočeského kraje: Únik čpavku na zimním stadionu v Příbrami likvidovali hasiči v protichemických oblecích* [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/unik-cpavku-na-zimnim-stadionu-v-pribrami-likvidovali-hasici-v-protichemicky-oblecich.aspx>

Integrovaný registr znečišťování: Látky v IRZ. *Integrovaný registr znečišťování: Látky v IRZ* [online]. Česká republika: Ministerstvo životního prostředí [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Amoniak_Karta_latky_11012019.pdf

Integrovaný registr znečišťování: Látky v IRZ. *Integrovaný registr znečišťování: Látky v IRZ* [online]. Česká republika: Ministerstvo životního prostředí [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Amoniak_Karta_latky_11012019.pdf

KAPLAN, Pavel, © 2021. IN-POČASÍ: Uherský Ostroh. *IN-POČASÍ: Uherský Ostroh* [online]. Česká republika: InMeteo [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/uhersky_ostroh/?historie=2021-11-11

Mapy.cz: Uherský Ostroh, 2018. *Mapy.cz: Uherský Ostroh* [online]. Česko [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka-2018?x=17.3984317&y=48.9853334&z=18&q=uhersk%C3%BD%20ostroh&source=muni&id=3338&ds=2>

Novinky.cz: Nad texaskou chemičkou se objevily černý kouř a plameny, 2017a. *Novinky: Nad texaskou chemičkou se objevily černý kouř a plameny* [online]. Houston [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/zahranicni/amerika/clanek/nad-texaskou-chemickou-se-objevily-cerny-kour-a-plameny-40044440>

Novinky.cz: Německou chemičkou otrásl výbuch, dva mrtví, 2016. *Novinky.cz: Německou chemičkou otrásl výbuch, dva mrtví* [online]. Ludwigshafen [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/zahranicni/evropa/clanek/nemeckou-chemickou-otrasl-vybuch-dva-mrtvi-40011797>

Novinky.cz: Po požáru Severochemy v Liberci zůstaly škody za sto miliónů, 2017c. *Novinky.cz: Po požáru Severochemy v Liberci zůstaly škody za sto miliónů* [online]. Česká republika [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/krimi/clanek/po-pozaru-severochemy-v-liberci-zustaly-skody-za-sto-milionu-40035270>

Novinky.cz: V areálu na Sokolovsku unikál stlačený kyslík, v okolí udeřil hluboký mráz, 2017b. *Novinky.cz: V areálu na Sokolovsku unikál stlačený kyslík, v okolí udeřil hluboký mráz* [online]. Česká republika [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/krimi/clanek/v-arealu-na-sokolovsku-unikal-stlaceny-kyslik-v-okoli-uderil-hluboky-mraz-40028202>

OVČÁČÍK, Radek, 2015. Ochrana & Bezpečnost – 2014-2015: Přehled a možnosti informačních systémů pro modelování krizových situací. OVČÁČÍK, Radek. *Ochrana & Bezpečnost – 2014-2015: Přehled a možnosti informačních systémů pro modelování krizových situací* [online]. Česko: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986, 1-17 [cit. 2022-03-03]. ISSN 1805-5656. Dostupné z: http://ochab.ezin.cz/O-a-B_2014-2015_B/2014-2015_B_08_ovcacik.pdf

Požáry.cz: Hazchem a Diamant – označování nebezpečných látek při silniční přepravě, 2012b. *Požáry.cz: Hazchem a Diamant – označování nebezpečných látek při silniční přepravě* [online]. Česká republika [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/4/f/4f08c2b532da0/obr4f08c5717bb51.750.jpg>

Požáry.cz: Hazchem a Diamant – označování nebezpečných látek při silniční přepravě, 2012a. *Požáry.cz: Hazchem a Diamant – označování nebezpečných látek při silniční přepravě* [online]. Česká republika [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/4/f/4f08c2b532da0/obr4f08c2deea625.750.jpg>

Požáry.cz: Na zimním stadionu v Rosicích unikl čpavek z prasklého potrubí, zaměstnanci byli evakuováni, 2013. *Požáry.cz: Na zimním stadionu v Rosicích unikl čpavek z prasklého potrubí, zaměstnanci byli evakuováni* [online]. Česko [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/64245-na-zimnim-stadionu-v-rosicich-unikl-cpavek-z-praskleho-potrubu-zamestnanci-byli-evakuovani/>

T-soft: TERoristický EXpert, © 2017. *T-soft: TERoristický EXpert* [online]. Česká republika [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.tsoft.cz/teroristicky-expert/>

Wikipedie: Amoniak, 2021b. *Wikipedie: Amoniak* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Ammonia-3D-balls-A.png>

Wikipedie: UN kód, 2021a. *Wikipedia: the free encyclopaedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/UN_k%C3%B3d

World Nuclear Association: Fukushima Daiichi Accident, 2021. *World Nuclear Association: Fukushima Daiichi Accident* [online]. Velká Británie [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADR	Accord Dangereuses Route
AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
ATMOSPHERIC DATA	Meteorologická data
CLP	Classification, labelling and packaging
EPA	Environmental Protection Agency
ES	Evropský parlament a Rada
EU	Evropská unie
GIS	Geografický informační systém
GPS	Global Positioning System
HZS	Hasičský záchranný sbor
CHEMICAL DATA	Chemická data
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health
INES	The International Nuclear Event Scale
IZS	Integrovaný záchranný systém
JPO	Jednotka požární ochrany
LTO	Lehké topné oleje
MÚ	Mimořádná událost
NL	Nebezpečná látka
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
SITE DATA	Základní data
SW	Software
ZS	Zimní stadion

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Výstražná tabulka UN kód – benzín (Wikipedie, 2021a).....	13
Obr. 2 – Systém Diamant (Požáry.cz, 2012a).....	14
Obr. 3 – Hazchem kód (Požáry.cz, 2012b).....	14
Obr. 4 – Model molekuly amoniaku (Wikipedie, 2021b).....	17
Obr. 5 – Na zimním stadionu v Rosicích unikl čpavek (Požáry.cz, 2013).....	19
Obr. 6 – Havárie ZS Příbram (HZS Středočeského kraje, © 2021).	20
Obr. 7 – Fernie Memorial Arena (CBC, 2018).....	20
Obr. 8 – Černý kouř a plameny nad chemičkou v Houstonu (Novinky.cz, 2017a).....	24
Obr. 9 – Požár v německé chemičce (Novinky.cz, 2016).....	24
Obr. 10 – Statistika havárií v ČR – upraveno z tabulek (HZS ČR, © 2021).....	25
Obr. 11 – Unikající kapalný kyslík na Sokolovsku (Novinky.cz, 2017b).....	26
Obr. 12 – V Liberci vzplála část areálu podniku Severochemy (Novinky.cz, 2017c).	26
Obr. 13 – Hasiči cvičí zásah při úniku čpavku (Český rozhlas, 2015).	30
Obr. 14 – Zimní stadion Uherský Ostroh (Vlastní).	38
Obr. 15 – Geografické rozmístění objektů – upraveno z map (Mapy.cz, 2018).	39
Obr. 16 – Kompresorové soustrojí (Vlastní).	40
Obr. 17 – Kovová tlaková nádoba s chladičem (Vlastní).....	40
Obr. 18 – Výsledky SW nástroj Riskan (Vlastní).....	46
Obr. 19 – Grafické znázornění nebezpečných zón SW nástroj ALOHA (Vlastní).	50
Obr. 20 – Zasažené objekty SW nástroj ALOHA (Vlastní).	51
Obr. 21 – Ohrožení osob toxickou látkou – únik NH ₃ SW nástroj TerEx (Vlastní).	54
Obr. 22 – Zasažené objekty SW nástroj TerEx (Vlastní).	55
Obr. 23 – Porovnání modelů SW nástrojů ALOHA a TerEx (Vlastní).....	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Význam Kemlerova kódu – upraveno z tabulky (Polívka, Mika a Sabol, 2017)..	13
Tab. 2 – Vlastnosti – upraveno z tabulky (Bojový řád jednotek požární ochrany, 2018)..	18
Tab. 3 – Základní informace o zimním stadionu (Vlastní).....	38
Tab. 4 – Základní údaje o počasí (Kaplan, 2021).....	41
Tab. 5 – Důležité údaje (Vlastní).....	41
Tab. 6 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).	42
Tab. 7 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).	43
Tab. 8 – Scénář řešení (Barta a Ludík, 2012).	44
Tab. 9 – SW Riskan hodnocení aktiv, hrozeb a zranitelnosti (Vlastní).....	45
Tab. 10 – SW Riskan hodnoty výsledných rizik (Vlastní).	45
Tab. 11 – Výsledky SW nástroje ALOHA (Vlastní).....	52
Tab. 12 – Výsledky SW nástroj TerEx (Vlastní).....	56
Tab. 13 – Porovnání výsledků hlavního scénáře (Vlastní).	58
Tab. 14 – Porovnání všech scénářů (Vlastní).	59

SEZNAM PŘÍLOH

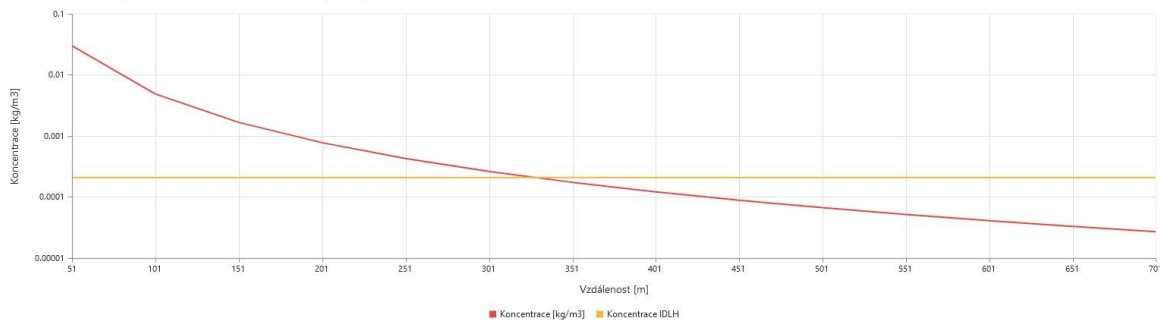
Příloha P I: Výstupní data SW nástroj TerEx

Příloha P II: Výstupní data SW nástroj ALOHA

PŘÍLOHA P I: VÝSTUPNÍ DATA TEREX

Doporučený průzkum

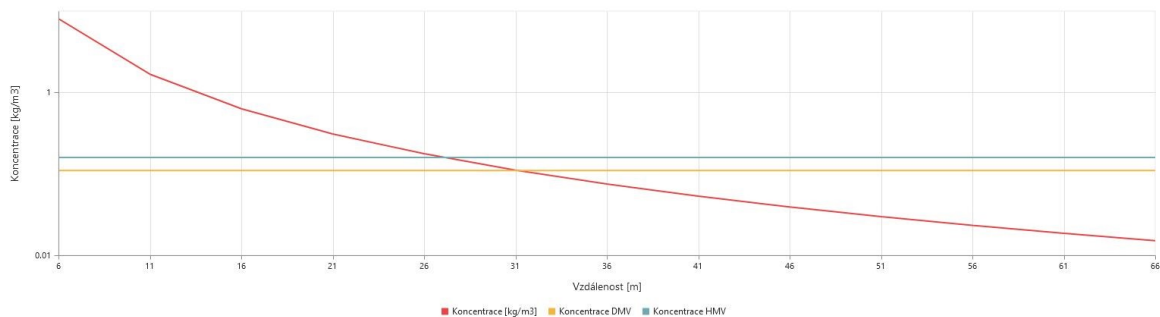
Průzkum toxické koncentrace doporučen do vzdálenosti, ve které koncentrace látky klesne pod hodnotu IDLH



Doporučený průzkum – závislost dávky NL na vzdálenosti

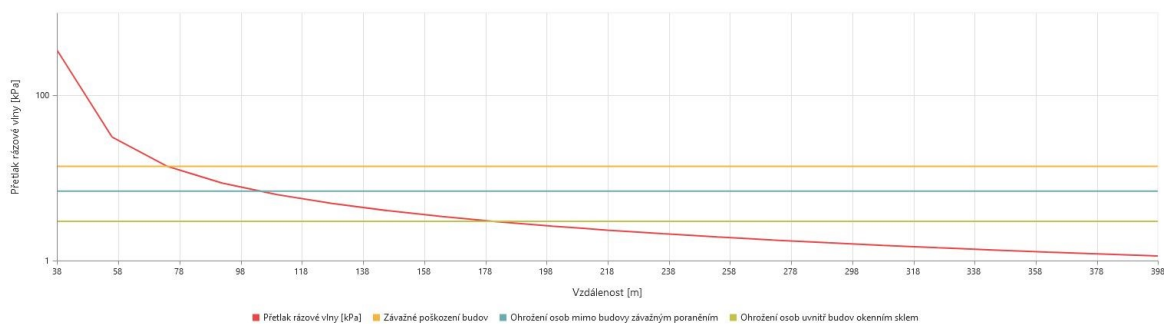
Oblast možného výbuchu

K výbuchu může dojít v mezích koncentrací HMV a DMV



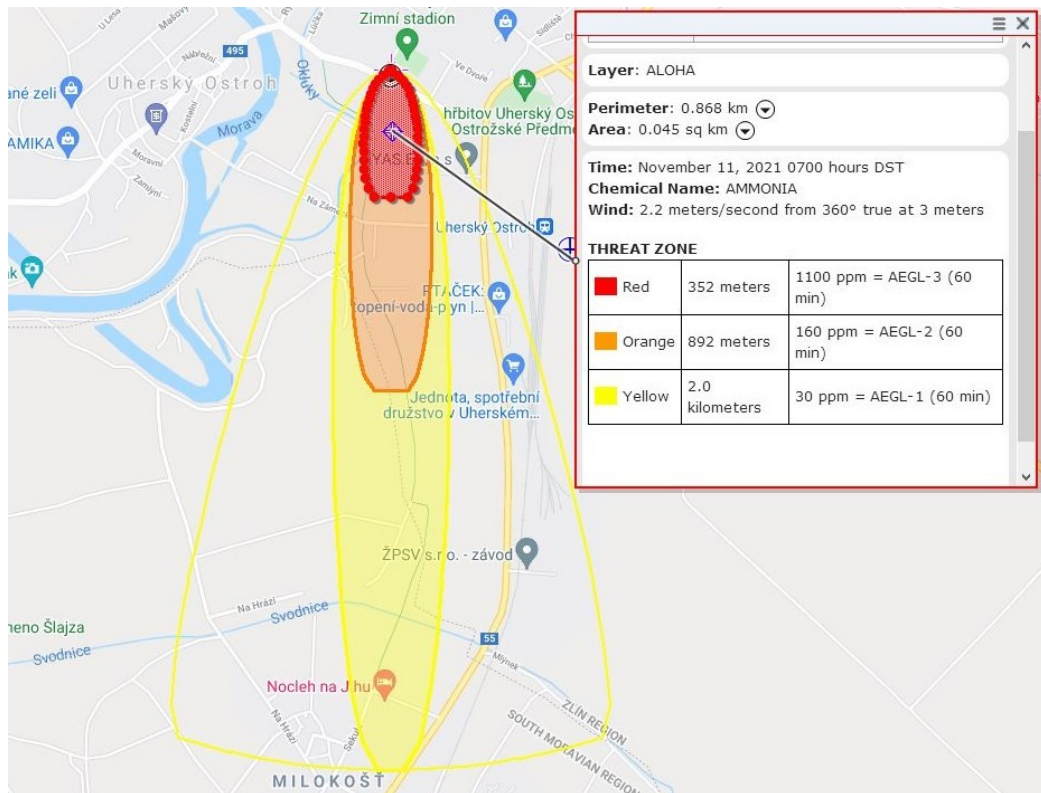
Oblast možného výbuchu

Ohrožení výbuchem

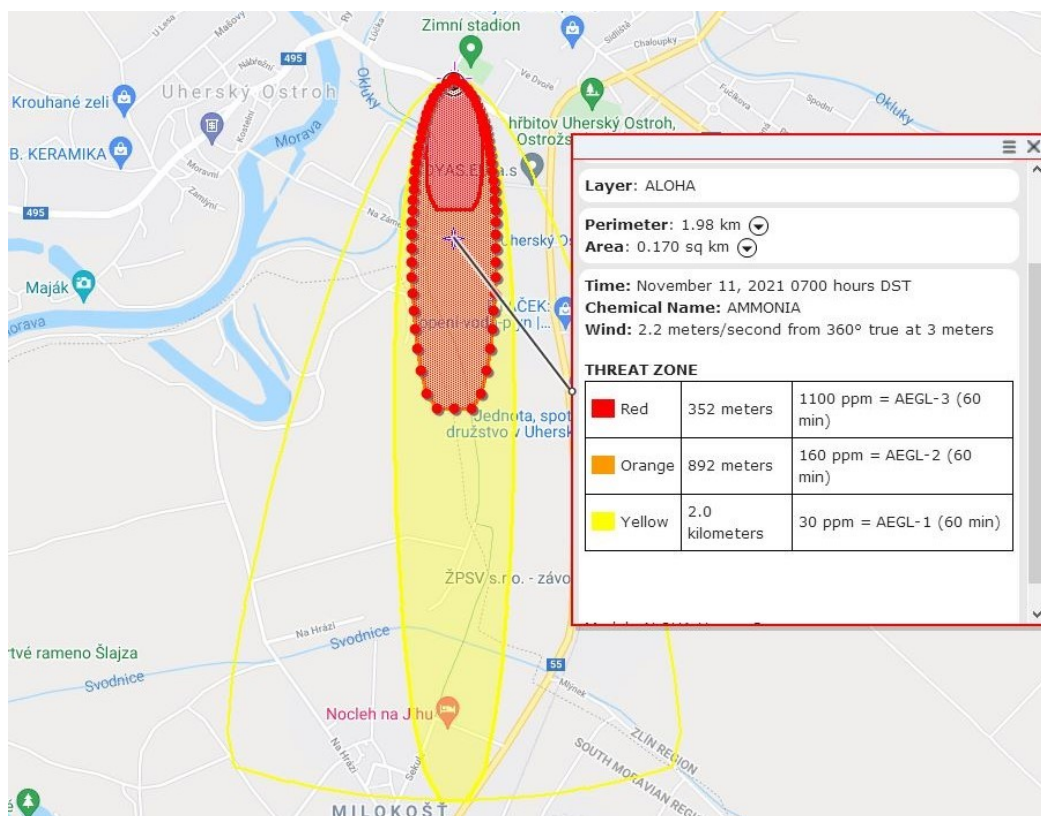


Ohrožení výbuchem

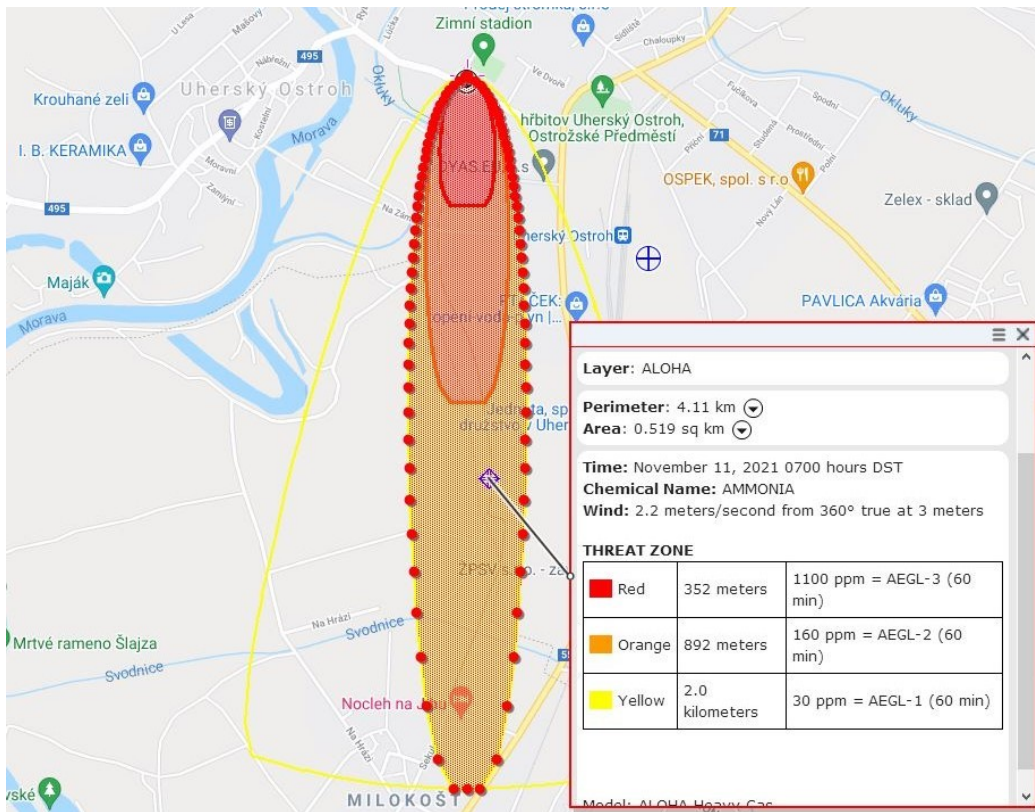
PŘÍLOHA P II: VÝSTUPNÍ DATA ALOHA



Nebezpečná zóna (červená barva AEGL-3)



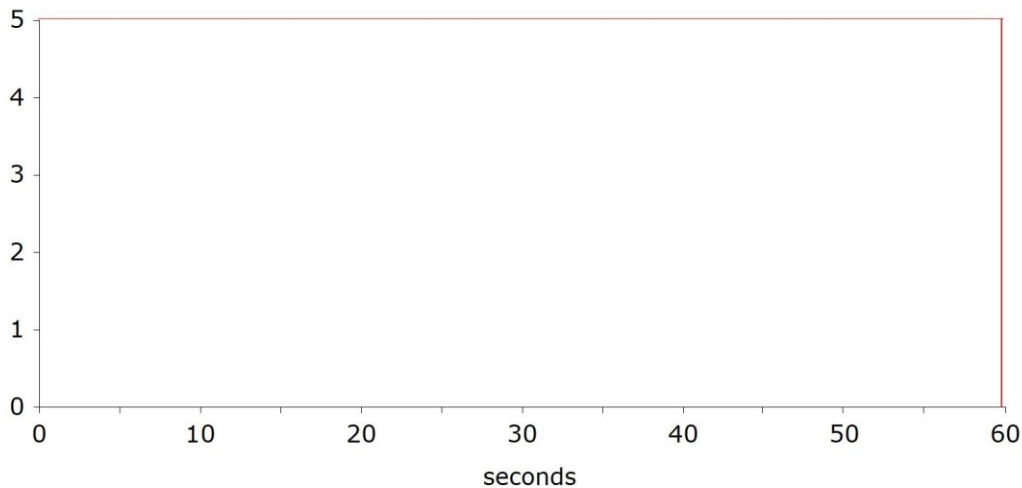
Zóna ohrožení (oranžová barva AEGL-2)



Zóna doporučeného průzkumu (žlutá barva AEGL-1)

ALOHA 5.4.7 - [Source Strength (Release Rate)]
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

kilograms/second



Doba a množství úniku amoniaku při havárii

