

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2020

**ELIŠKA
LAPKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Problematika podlimitních zařízení na Rakovnicku

Sub-limit Institutions Issues in Rakovník

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: plk. RNDr. Tomáš Holec

Bc. Eliška Lapková

Kladno, květen 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lapková** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **434118**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Problematika podlimitních zařízení na Rakovnicku

Název diplomové práce anglicky:

Sub-limit Institutions Issues in Rakovník

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude identifikace podlimitních zařízení na Rakovnicku se zaměřením na modelování úniku nebezpečných chemických látek z vybraných objektů, které by s největší pravděpodobností mohly ohrozit nejbližší okolí. V teoretické části budou obecně charakterizovány vybrané chemické látky zejména amoniak. Dále zde budou popsány softwarové nástroje využívané pro modelaci úniku nebezpečných chemických látek. Praktická část se bude zabývat modelací možných úniků nebezpečných chemických látek s využitím specializovaných softwarových programů Aloha a TerEx. Budou zde určeny ohrožené oblasti a zhodnotí se možné následky simulované havárie. Výstupem bude přehled nejnebezpečnějších objektů a návrhy havarijních karet těchto objektů. Dále také komparace výsledků modelování úniků nebezpečných chemických látek různými softwarovými nástroji.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČAPOUN, Tomáš a kol., Chemické havárie, Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009, ISBN 978-80-86640-64-8
- [2] BARTLOVÁ, Ivana, Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003, ISBN 80-866-3430-2
- [3] ŠENOVSÝ, Michail, Nebezpečné látky II., ed. 2., aktualiz., V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství), ISBN 978-80-7385-000-5
- [4] BARTLOVÁ, Ivana, Prevence a připravenost na závažné havárie, ed. 2., V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2017. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství), ISBN 978-80-7385-184-2

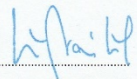
Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:


RNDr. Tomáš Holec

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.09.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2021**


prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry


prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Problematika podlimitních zařízení na Rakovnicku vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Kladně dne 21.05.2020

.....
podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat plk. RNDr. Tomáš Holcovi za odborné vedení, cenné rady a poskytování podkladů. Také bych chtěla velmi poděkovat pracovníkům HZS Rakovník, obzvláště pak Ing. Zuzaně Strouhalové za odbornou konzultaci a poskytnutí materiálů pro zpracování mé diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou podlimitních zařízení na Rakovnicku a následně modelací úniků nebezpečných chemických látek z vybraných objektů, které by s největší pravděpodobností mohly ohrozit nejbližší okolí. Teoretická část je zaměřena na charakterizaci vybraných chemických látek, shrnutí právních předpisů, které souvisí s touto problematikou a popis softwarových nástrojů využitých pro modelaci úniku nebezpečných chemických látek.

V praktické části jsou identifikovány podlimitní zdroje rizik a je zde provedena analýza rizik stanovená dle pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017. Po analyzování nejnebezpečnějšího objektu je namodelován zvolený scénář s pomocí programů ALOHA a TerEx se zaměřením na ohrožené oblasti. Výsledky modelace jsou zobrazeny v grafických a mapových výstupech. Pro tento objekt jsou také navrženy havarijní karty pro různé limitní koncentrace. Stanovené hypotézy jsou v diskuzi rozebrány a poté vyvráceny nebo potvrzeny.

Přínosem práce je identifikace podlimitních zařízení na Rakovnicku a shrnutí postupu analýzy rizik dle pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017. Pro zařízení, které vykazuje nejvyšší úroveň rizika, je provedena modelace úniku s různými limitními koncentracemi a jsou pro něj vytvořeny různé návrhy havarijních karet.

Klíčová slova

Nebezpečná chemická látka; podlimitní zdroje rizika; modelace; ALOHA; TerEx.

Abstract

The thesis deals with the issue of sub-limit buildings in the Rakovnicko region and subsequently modeling the release of hazardous chemicals from selected objects that could most likely endanger the immediate surroundings. The theoretical part is focused on the characterization of selected chemicals, a summary of legislation related to this issue, and a description of software tools used to model the release of hazardous chemicals.

In the practical part, sub-limit sources of risks are identified, and a risk analysis is conducted according to the instruction of GŘ HZS ČR č. 35/2017. After analyzing the most dangerous object, a selected scenario is modeled with the help of ALOHA and TerEx, focusing on vulnerable areas. The results of the modeling are displayed in graphical and map outputs. Emergency cards for various limit concentrations are also designed for this object. The established hypotheses are discussed and then rejected or confirmed.

The contribution of the work is the identification of sub-limit buildings in the Rakovnicko region and a summary of the risk analysis procedure according to the instruction of the GŘ HZS ČR č. 35/2017. For building with the highest level of risk, leak modeling with different limit concentrations is performed and different emergency card designs are created for it.

Keywords

Dangerous chemical; sub-limit sources of risk; modeling; ALOHA; TerEx.

Obsah

1	Úvod	12
2	Teoretická část	13
2.1	Evropská legislativa nebezpečných chemických látek.....	13
2.2	Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií.....	16
2.2.1	Stanovení působnosti zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií	18
2.2.2	Zařazení objektu do skupiny B	19
2.2.3	Zařazení objektu do skupiny A.....	22
2.2.4	Nezařazené zdroje rizika.....	23
2.3	Pokyn GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty	24
2.3.1	Analýza rizik.....	27
2.3.2	Obsah havarijní karty	34
2.4	Charakteristika nebezpečných chemických látek.....	35
2.4.1	Klasifikace nebezpečnosti chemických látek.....	36
2.4.2	Vlastnosti nebezpečných chemických látek.....	37
2.5	Vybrané nebezpečné chemické látky.....	40
2.5.1	Amoniak	41
2.5.2	Chlor.....	42
2.5.3	LPG.....	43
2.6	Havárie s únikem nebezpečné chemické látky	43
2.6.1	Příčiny vedoucí k chemickým haváriím	44
2.6.2	Důvody vzniku závažné havárie dle eMARS.....	45
2.6.3	Alternativní (malé) úniky nebezpečných chemických látek.....	46

2.6.4	Dopad chemických havárií	49
2.6.5	Příklady chemických havárií	49
2.6.6	Statistika havárií s únikem nebezpečných chemických látek v ČR (2008–2018).....	53
2.7	Softwarové nástroje	54
2.7.1	Popis programu ALOHA	55
2.7.2	Popis programu TerEx.....	57
3	Cíl práce a hypotézy	59
4	Metodika	61
4.1	Sběr dat.....	61
4.2	Výpočty úrovně rizik pro podlimitní objekty	61
4.3	Modelování.....	63
4.4	Postup modelace v programu ALOHA.....	64
4.4.1	Stanovení vstupních parametrů.....	64
4.4.2	Stanovení výpočtu zón	68
4.4.3	Vyhodnocení modelací při různých koncentracích	68
4.5	Postup modelace v programu TerEX.....	71
5	Výsledky.....	73
5.1	Charakteristika Rakovnícka	73
5.2	Analýza zdrojů podlimitních zařízení na Rakovnícku	74
5.2.1	Tradiční pivovar v Rakovníku, a.s.....	75
5.2.2	Heineken ČR, a.s. pivovar Krušovice.....	78
5.2.3	Klíčavská přehrada – Středočeské vodovody a.s. Dálkovod, výroba vody	80

5.2.4	Čerpací stanice MEKA ITALY	81
5.2.5	Čerpací stanice Robin OIL, s.r.o.	82
5.2.6	Čerpací stanice PRIMAGAS, s.r.o.	83
5.2.7	Čerpací stanice UNIPETROL RPA, s.r.o.	84
5.3	Analýza rizik podlimitních zařízení na Rakovnicku	85
5.3.1	Vyhodnocení analýzy	86
5.3.2	Výpočet zóny ohrožení pro vybrané objekty	87
5.4	Modelování úniku amoniaku v pivovaru Bakalář	91
5.4.1	Analýza meteorologických podmínek	92
5.4.2	Zadávání vstupních hodnot do programu ALOHA	93
5.4.3	Zadávání vstupních hodnot do programu TerEx	94
5.5	Modelace úniku amoniaku v softwarovém programu TerEx	94
5.5.1	Zadané vstupní hodnoty	94
5.5.2	Výstupní hodnoty	95
5.6	Modelace v softwarovém programu ALOHA	97
5.6.1	Zadané vstupní hodnoty	97
5.6.2	Výstupní hodnoty	97
5.6.3	Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací AEGLs	98
5.6.4	Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací z programu TerEx	99
5.6.5	Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací HPK	101
5.6.6	Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací HAU	102
5.7	Komparace výsledků modelace v programu ALOHA a TerEx	103
5.8	Návrh havarijních karet	104

5.8.1	Návrh havarijní karty pro provozovatele.....	104
5.8.2	Návrh havarijní karty pro složky IZS.....	106
5.8.3	Návrh mapové části havarijních karet	109
6	Diskuze	112
7	Závěr	126
8	Seznam použitých zkratk.....	128
9	Seznam použité literatury.....	130
10	Seznam použitých obrázků	136
11	Seznamu použitých tabulek	137
12	Seznam Příloh	139

1 ÚVOD

Současný chemický průmysl se neustále rozrůstá a vytváří velkou škálu produktů, které lidem pomáhají v mnoha aspektech jejich života. Některé výrobky si může koupit přímo spotřebitel, velké množství se ale používá jako meziproduct k dalšímu zpracování. Výroba, skladování nebo přeprava je však spojena vždy s určitými riziky, na které se zaměřujeme v rámci chemické bezpečnosti.

I přesto, že je v chemických továrnách kladen velký důraz na bezpečnost provozu, může dojít v důsledku lidské chyby nebo závady na zařízeních k závažné havárii spolu s únikem nebezpečné chemické látky do okolí. V takovém případě může dojít k ohrožení života a zdraví zaměstnanců nebo obyvatel nacházejících se v okolí areálu, kde byla látka uskladněna. Předcházení a připravenost na takovou mimořádnou událost je klíčová, a proto je důležitým prvkem prevence závažných havárií.

V diplomové práci je uvedena charakteristika právních předpisů týkajících se prevence závažných havárií a jsou zde popsány významné chemické havárie a jejich dopady. Teoretická část diplomové práce se zabývá popisem vlastností nebezpečných chemických látek a popisem softwarových nástrojů určených pro modelaci úniku nebezpečných chemických látek z objektu. V praktické části diplomové práce je provedena analýza rizik a vybrán objekt, který představuje nejvyšší úroveň rizika z hlediska chemické bezpečnosti. Pro tento objekt je zvolen scénář úniku nebezpečné chemické látky, který je namodelován v programech ALOHA a TerEx a jsou pro něj vyhotoveny návrhy havarijních karet.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Evropská legislativa nebezpečných chemických látek

Seveso I

Mnoho závažných havárií v rafinérském nebo chemickém průmyslu po celé Evropě v letech 1960 až 1970 zapříčinilo vznik obav o bezpečný provoz v průmyslových továrnách, obzvláště pokud se jednalo o provozovny, které by mohly představovat velké riziko pro obyvatelstvo, nacházející se v blízkosti. V reakci na závažnou havárii v červenci 1976, kdy došlo k výbuchu v chemické továrně na výrobu pesticidů a herbicidů v Sevesu v Itálii, byla přijata směrnice rady 82/501/EEC (známá též jako směrnice Seveso I). Tato směrnice vznikla za účelem prevence a kontroly při podobných haváriích a mimo jiné určovala [1]:

- Vypracování bezpečnostní zprávy s podrobnostmi o tom, jak bude závažné havárii předcházeno a jak bude kontrolována;
- posouzení rizika možných závažných havárií, jejich pravděpodobných důsledků a frekvence výskytu;
- vypracování vnitřních havarijních plánů;
- vypracování vnějších havarijních plánů odpovědnými úřady zodpovědnými za tyto záležitosti.

V prosinci 1984 došlo k výbuchu továrny na pesticidy v Bhopalu v Indii, který způsobil smrt více než 2 500 lidí. Ačkoliv se tato nehoda nachází mimo Evropu, a tudíž se její následky na životní prostředí musí teprve určit, předpokládá se určitý vliv, který vedl ke změně směrnice Seveso I. Mezitím v roce 1986 nastala exploze v chemické továrně v Basileji ve Švýcarsku, kde hasící voda, která byla

kontaminovaná pesticidy a dalšími chemikáliemi, způsobila masivní znečištění Rýna a smrt půl milionu ryb [3].

Na podnět těchto událostí byly dvě změny v směrnici Seveso I, konkrétně směrnice 87/216/EEC a směrnice 88/610/EEC. Oba pozměňovací návrhy rozšiřují působnost původní směrnice zejména v oblasti skladování nebezpečných látek [1] [2].

Seveso II

Dne 9. prosince 1996 byla směrnice Seveso I konečně podrobena základnímu přezkoumání Evropskou komisí a byla vydána nová směrnice (96/82/ES), která nahradila dřívější směrnici Seveso I. Tato směrnice (pod názvem Seveso II) vstoupila v platnost mezi členské státy v roce 1999. Tato směrnice byla přijata Norskem, Islandem, Švýcarskem a zeměmi, které měli v úmyslu do evropské unie vstoupit. Na základně zkušeností s předchozí směrnicí je více propracovaná a má rozšířenější obsah. Jsou zde vypsány nové požadavky týkající se systémů řízení bezpečnosti, nouzového plánování, územního plánování a ustanovení inspekcí, které provádějí členské státy. Směrnice si klade dva hlavní cíle. Prvním cílem je předcházet závažným haváriím spojenými s nebezpečnými látkami a druhým cílem je omezit následky nehod, které i přesto nastanou a ohrožují životní prostředí a obyvatele. Hlavními rozdíly, které se směrnice Seveso II liší od té původní je rozsah působnosti Seveso II, který byl rozšířen a zjednodušen a zaměřil se na přítomnost nebezpečných chemických látek, které přesahují určitou prahovou hodnotu danou pro skladování v zařízeních. Zatímco Seveso I bylo zaměřené na nebezpečné látky ve spojitosti s průmyslovou činností a oddělené skladování těchto látek. Pozměněnou směrnicí lze chápat tak, že stanovuje tři úrovně přiměřených kontrol, které jsou závislé na množství nebezpečné substance. Čím větší množství, tím více kontrol. Z toho také vyplývá, že na

společnosti, které skladují množství nebezpečné chemické látky v nižším, než jsou prahové hodnoty uvedené ve směrnici, se tyto právní předpisy nevztahují. Ovšem na společnosti, které skladují vyšší množství nebezpečné chemické látky, která je nad úrovní dolní prahové hodnoty, se legislativa vztahuje s volnějším požadavky. Na společnosti, které drží množství nebezpečných chemických látek nad horní prahovou hodnotou obsaženou ve směrnici, se budou vztahovat všechny požadavky, které jsou ve směrnici uvedené [3].

Další změnou jsou opatření, která mají provozovatelé zařízení přijmout, aby se zabránilo závažným haváriím anebo se alespoň omezily jejich následky. Tyto změny zahrnuje dokument pod názvem: „Zásady prevence závažných havárií“. Záměrem je zdůraznit zavedení systémů řízení bezpečnosti jakožto důležitých prvků pro podporu kvalitní úrovně ochrany [3].

Zvýšený důraz na opatření slouží k minimalizaci dopadů závažných havárií na životní prostředí spolu s havarijní připraveností, územním plánováním a identifikací možných domino efektů. Pro dosažení jednotné úrovně ochrany v celé Evropské unii jsou členské státy povinny zajistit, aby příslušné orgány kontrolovaly bezpečnostní zprávy a zejména jsou povinny zorganizovat systém kontrol. Účelem směrnice je tak předcházení závažným haváriím a sjednocení postupu a úsilí v této oblasti v rámci celé evropské unie. Seveso II také souvisí s novými právními předpisy Evropské unie o ochraně bezpečnosti a zdraví pracovníků [1].

Bez ohledu na výše uvedené srovnání se starší směrnici je důležité, že v působnosti Seveso II byly vyloučeny oblasti jako je jaderná bezpečnost, přeprava nebezpečných látek, dočasné skladování mimo zařízení a přeprava nebezpečných látek pomocí potrubního systému. Ve světle dalších závažných průmyslových havárií (mimo jiné Toulouse, Baia Mare) byla směrnice Seveso II

také rozšířena směrnicí 2003/105/ES a to tak, aby zahrnovala rizika ohledně skladování a zpracování látek při těžbě, při nakládání s pyrotechnickými a výbušnými látkami a při skladování dusičnanu amonného a jiných hnojiv na bázi dusičnanu amonného [3] [1].

Seveso III

Směrnice Seveso III 2012/18/EU byla přijata dne 4. července 2012 a vstoupila v platnost dne 13. srpna 2012. Hlavní změny ve srovnání se směrnicí Seveso II jsou [4]:

- Technické aktualizace, které zohledňují změny v evropském klasifikování chemických látek. Evropský systém klasifikace, balení a označování (CPL) nebezpečných látek byl nahrazen globálně harmonizovaným systémem (GHS),
- lepší přístup občanů k informacím o možných rizicích způsobených společnostmi, které se nacházejí v jejich okolí. Cílem je zlepšit úroveň informací poskytnuté veřejnosti,
- přísnější normy pro inspekce v zařízeních, aby byla zajištěna efektivní implementace bezpečnostních pravidel.

Nicméně míra změny, kterou tato nová právní úprava přinesla, je však mnohem menší, než byl přechod z původní směrnice Seveso I na právní předpisy Seveso II [4].

2.2 Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií

Zákon 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona

č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů (zákon o prevenci závažných havárií), zpracovává příslušný předpis Evropské unie (směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU) a stanovuje systém prevence pro objekty, ve kterých se nebezpečná látka nachází. Je zde snaha snížit pravděpodobnost vzniku havárie, případně alespoň omezit její následky na životy a zdraví lidí, zvířat, životní prostředí či majetek. Stanovuje také povinnosti právnické a podnikající fyzické osoby, které jsou uživateli nebo provozovateli objektu, ve kterém je nebezpečná látka umístěna. Jsou zde také určeny limity pro nebezpečné chemické látky a chemické směsi, které slouží pro zařazení objektů do skupiny A nebo B. V neposlední řadě ještě upřesňuje působnost orgánů veřejné správy vzhledem k prevenci závažných havárií a určuje výkon státní správy v oblasti prevence závažných havárií. Hlavním gestorem je ministerstvo životního prostředí a druhým gestorem je ministerstvo vnitra [5].

K tomuto zákonu se váže několik důležitých ostatních právních předpisů. Zde uvádím některé stěžejní [5]:

- Vyhláška 225/2015 Sb., o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo do skupiny B [6].
- Vyhláška 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a o jeho struktuře [7].
- Vyhláška 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku [8].

2.2.1 Stanovení působnosti zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií

V první řadě se musí určit, zda objekt bude spadat pod působnost zákona o prevenci závažných havárií. Dle přílohy č. 1 k zákonu č. 224/2015 Sb., o PZH, se provede součet poměrných množství nebezpečných látek, které se nacházejí v objektu. Do vzorce pro sčítání použijeme kvalifikační množství pro skupinu A [5].

Pokud nám výsledek vyjde N menší než jedna, objekt nebude zařazen do působnosti tohoto zákona. Povinností provozovatele je však zpracovat protokol o nezařazení. Jestli nám výsledek vyjde N roven nebo větší než 1, objekt bude zařazen do působnosti zákona [5].

Další částí výpočtu je určení, zda objekt, který je v působnosti zákona o PZH, bude zařazen do skupiny A nebo B. Zopakujeme výpočet poměrného množství, ale tentokrát budeme dosazovat kvalifikační množství pro skupinu B. Pokud nám výsledná hodnota N vyjde menší než 1, bude objekt zařazen do skupiny A. v opačném případě (N je větší nebo rovno 1) bude objekt zařazen do skupiny B [5].

Algoritmus pro sčítání poměrného množství nebezpečných látek kde [5]:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_i}$$

q_i – množství nebezpečné látky v objektu;

Q_i – množství uvedené ve sloupci 2 (pro skupinu A) nebo sloupci 3 (pro skupinu B) tabulky I nebo II;

n – počet nebezpečných látek;

N – ukazatel vyjadřující součet poměrných množství. [5]

2.2.2 Zařazení objektu do skupiny B

Objekt zařazený do skupiny B zpracovává [5]:

- Seznam nebezpečných látek;
- Návrh na zařazení objektu do skupiny B;
- Posouzení rizik závažné havárie;
- Bezpečnostní zprávu (nyní jako posudek);
- Vnitřní havarijní plán;
- Plán fyzické ochrany;
- Podklady pro stanovení zóny havarijního plánování a zpracování vnějšího havarijního plánu [5].

Bezpečnostní zpráva, kterou je provozovatel objektu zařazeného do skupiny B povinen zpracovávat, obsahuje základní informace o objektu a jeho technický popis. Jsou zde informace o složkách životního prostředí v okolí objektu, posouzení rizik závažné havárie, popis zásad, cílů a politiky prevence závažné havárie, popis systému řízení bezpečnosti, popis preventivních opatření k omezení vzniku následků závažné havárie a závěrečné shrnutí s jmenovitě uvedenými právníckými a fyzickými osobami, které se podíleli na vypracování bezpečnostní zprávy. Návrh bezpečnostní zprávy je předložen krajskému úřadu do 9 měsíců od správního rozhodnutí a provozovatel je povinen zajistit zprávu o

posouzení bezpečnostní zprávy, kterou musí schválit krajský úřad, a to nejpozději do pěti let. Musí také dojít k prokazatelnému seznámení zaměstnanců a jiných osob s bezpečnostní zprávou a také k zpracování posudku návrhu bezpečnostní dokumentace [5] [7].

Plán fyzické ochrany se stejně jako u provozovatele zařazeného do skupiny A odevzdává krajskému úřadu a policii české republiky a obsahuje stejná bezpečnostní opatření [6].

Dále se musí pro objekty zařazené do skupiny B zpracovávat vnitřní havarijní plán. Ten se skládá z informativní části, operativní části, z plánů konkrétních činností a z grafické části. Jsou zde uvedeny možné scénáře havárie, scénáře pro odezvu, řízení odezvy a možné havárie. Popisují se zde možné následky závažné havárie a činnosti nutné ke zmírnění jejich následků. Je zde uveden přehled ochranných zásahových prostředků, kterými provozovatel disponuje a způsob vyrozumění dotčených orgánů a varování ohrožených osob. Dále obsahuje opatření pro výcvik a plán havarijních cvičení a opatření k podpoře zmírnění následků závažné havárie mimo objekt, kde se zohledňuje hlavně dopravní a technická infrastruktura a významné krajinné prvky, zvláště chráněná území. V neposlední řadě je zde také uveden přehled sil a prostředků složek integrovaného záchranného systému a dalších subjektů podílejících se na řešení závažné havárie [5].

Oproti provozovatelům, jejichž objekt byl zařazen do skupiny A, musí provozovatelé objektů zařazených do skupiny B navíc zpracovávat i podklady pro stanovení zóny havarijního plánování a vnější havarijní plán. Krajský úřad stanovuje zónu havarijního plánování dle vyhlášky č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a o jeho struktuře. Pokud ZHP

překračuje hranici dalšího kraje, požádá dotčený krajský úřad o spolupráci při vymezení. Vnější havarijný plán se skládá z části informační, operativní části a z plánů konkrétních činností [6].

V informační části se identifikuje provozovatel, popíše se určený objekt a určí se zdroje rizika. Charakterizuje se území, kde se nachází zóna havarijního plánování (geograficky, klimaticky, hydrogeologicky), a popíše se zde infrastruktura. Kromě infrastruktury jsou zde uvedeny objekty, v nichž lze předpokládat výskyt většího počtu osob (např. školy, nemocnice, nákupní centra, sportovní areály). V této části plánu je také vymezena zóna havarijního plánování a přehled počtu osob, které se v této zóně nacházejí. Zpracuje se zde posouzení rizik a popis jejich dopadů s ohledem na domino efekt. Dále obsahuje přehled základních informací o působení nebezpečné látky na lidský organismus a návod na poskytnutí první pomoci při zasažení nebezpečnou chemickou látkou [6].

V operativní části jsou vypsané úkoly při havárii pro příslušné správní úřady, složky integrovaného záchranného systému a pro právní nebo fyzické osoby. Jsou zde způsoby koordinace řešení závažné havárie a zabezpečení informačních toků při řízení záchranných a likvidačních prací. V neposlední řadě jsou zde řešeny zásady činnosti při rozšíření dopadů havárie mimo zónu havarijního plánování a systém napojení a spolupráce dotčených správních úřadů [6].

Plány konkrétních činností obsahují úkoly v průběhu celé závažné havárie. V první řadě vyrozumění příslušných správních orgánů a varování osob, jejich ukrytí a evakuace spolu s individuální ochranou, dekontaminace osob i techniky, monitorování situace, záchranné a likvidační práce, popřípadě regulace pohybu osob nebo vozidel. K plánům konkrétních činností také patří traumatologický plán při postižení velkého počtu osob nebo také veterinární opatření. Jsou zde

uvedena opatření při hromadném úmrtí osob, opatření na minimalizaci dopadů na kvalitu životního prostředí a také způsob komunikace s veřejností pomocí hromadných informačních prostředků. Jako poslední bod můžeme zmínit například nakládání s odpady vzniklými při závažné havárii [5] [6].

2.2.3 Zařazení objektu do skupiny A

Krajský úřad vydává správní rozhodnutí, které určuje, zda bude objekt zařazen do skupiny A nebo B. Vše určuje s ohledem na nebezpečí vzniku dominoefektu. Provozovatelé objektu A jsou povinni zpracovávat bezpečnostní dokumentaci, která obsahuje souhrn základních informací o objektu a o nebezpečných chemických látkách, které se v objektu nacházejí. Je zde posouzení rizik závažné havárie, které se skládá z identifikace zdrojů rizika, analýzy a hodnocení rizik. Nachází se zde stanovení prevence závažných havárií a popis systému řízení bezpečnosti. Obecně řečeno se jedná o souhrnný systém skládající se z různých preventivních a reaktivních opatření, která mají v první řadě zabránit vzniku závažné havárie, případně dopomoci k tomu, aby její průběh byl zvládnutelný a kontrolovaný s minimálními následky [5] [8].

Provozovatel objektu zařazeného do skupiny A zpracovává [5]:

- Seznam nebezpečných látek;
- Návrh na zařazení objektu do skupiny A;
- Posouzení rizik závažné havárie;
- Bezpečnostní program (nyní jako posudek);
- Plán fyzické ochrany.

Návrh bezpečnostního programu je předložen provozovateli objektu do 6 měsíců od správního rozhodnutí krajského úřadu. Jednou za pět let je nutné zařídit přezkoumání bezpečnostního programu a pořízení zápisu. Musí také dojít k prokazatelnému seznámení zaměstnanců a jiných osob, kterých by se to mohlo týkat, s bezpečnostním programem a zpracování posudku návrhu bezpečnostní dokumentace, což zajišťuje příslušný krajský úřad spolu s dotčenými orgány (HZS kraje, ČIŽP, KHS aj.) a obcemi (veřejnost) [5] [6].

Plán fyzické ochrany zahrnuje bezpečnostní opatření pro případný útok na objekt. Do této části spadají režimová opatření (vstup do areálu), fyzická ostraha a technické prostředky (kamerový systém). Tento plán se zasílá krajskému úřadu a policii České republiky [5] [6].

2.2.4 Nezařazené zdroje rizika

Zdroje rizika, které skladují nižší množství NCHL, než je uvedené v zákoně č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, musí zpracovávat protokol o nezařazení. To je dokument, který zpracovává uživatel objektu, ve kterém se nebezpečná chemická látka nachází v množství menším, než je množství uvedené v příloze č. 1 k zákonu o PZH v sloupci 2 tabulky I nebo II a zároveň součet poměrných množství nebezpečných látek, nacházející se v objektu, dle určeného vzorce je menší než 1. Pokud množství látky přesáhne 2 % kvalifikačního množství pro skupinu A, je uživatel objektu povinen předložit protokol příslušnému krajskému úřadu. V opačném případě protokol uživatel pouze uschová pro případnou kontrolu. Aktualizace protokolu o nezařazení je vypracován při změně nebezpečné látky nebo množství o 10 % a musí se tak učinit do jednoho měsíce od změny [5].

Protokol o nezařazení obsahuje shrnutí identifikačních údajů objektu i jeho uživatele, seznam nebezpečných chemických látek, kde se vypíše druh,

množství, klasifikace a fyzikální forma nebezpečných látek, dále popis výpočtu poměrných množství nebezpečných látek a v neposlední řadě také místo, datum a podpis fyzické osoby, která je oprávněna jednat za uživatele objektu [5].

2.3 Pokyn GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty

Pokud je množství nebezpečných chemických látek umístěných v objektech menší, než jsou uvedeny limity v příloze 1. k zákonu o prevenci závažných havárií, mluvíme o nezařazených neboli podlimitních zdrojích rizika [9].

Mezi tyto objekty se zpravidla řadí provozovny využívající amoniak jako chladicí médium – kam patří: zimní stadiony; masokombináty; pivovary nebo mlékárny. Podobná zařízení, které spadají pod tuto oblast jsou například chemické úpravny vod nebo bazény, kde se využívá chlor nebo čerpací stanice pohonných hmot, které využívají LPG. Většina těchto objektů se nachází v těsné blízkosti obytné zástavby a nebezpečné chemické látky, ač v malém množství, představují při úniku velké nebezpečí [9].

Povinností provozovatelů těchto objektů bylo do roku 2017 pouze vypracování protokolu o nezařazení, což byly jediné informace o nezařazených zdrojích rizika na určitém území, které byly k dispozici. Legislativa neobsahovala žádnou povinnost zpracování posouzení rizik ani stanovení zásad politiky prevence závažných havárií. Chyběl jednotný systém zpracování nezařazených zdrojů rizik do bezpečnostní dokumentace kraje [9].

Dne 14. září 2017 byl vydán pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru České republiky, který stanovil minimální požadavky na

posuzování rizika závažné havárie a zpracování dokumentace pro stanovenou zónu ohrožení u objektů s podlimitním množstvím nebezpečné látky [9].

Tento pokyn udává jednotnou metodiku minimálního přístupu k podlimitním objektům a ke zpracování havarijních karet. Toto se týká i objektů zařazených do skupiny A, jelikož tito provozovatelé nemají za povinnost zpracovat havarijní dokumentaci, popisující dopady závažné havárie mimo objekty, ve kterých se nebezpečné chemické látky skladují [9].

Tento pokyn stanovuje [9]:

- postup posuzování rizik vzniku závažné havárie;
- způsob stanovení zóny ohrožení;
- způsob zpracování havarijních karet podlimitního objektu.

Hasičský záchranný sbor kraje nejprve určí podlimitní objekty, pro které bude vypracovávat havarijní kartu, na základě posuzování rizik. To se skládá z identifikace zdrojů rizik, stanovení zóny ohrožení, analýzy rizik a hodnocení rizik [9].

Identifikace zdrojů rizik se provádí vždy u objektů zařazených do skupiny A dle zákona o PZH a u objektů, které nebyli zařazené do žádné skupiny, ale jsou v něm umístěné některé nebezpečné látky v určitém množství. Jedná se o bezvodý amoniak v množství větším než 1 tuna, chlor ve větším množství než 400 kg, či zkapalněný LPG nebo CNG v množství větším než 1 tuna [9].

Tabulka 1 - Množství nebezpečných chemických látek v objektech pro identifikaci zdrojů rizik [9]

Uskladněné látky	Množství (tuny)
bezvodý amoniak	> 1
chlor	> 0,4
zkapalněné LPG, CNG	> 1

Zóna ohrožení se zde stanovuje v závislosti na množství nebezpečné chemické látky a využívají se zde principy z vyhlášky č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a o jeho struktuře. Výchozí bodem je konkrétní umístění nebezpečné látky v objektu. Pro stanovení výchozí hranice potřebujeme znát efektivní množství nebezpečné látky, které se získává vynásobením maximálního množství nebezpečné látky a modifikačního faktoru. Díky tomu pak získáme parametr (L) zóny ohrožení, který musí být minimálně 100 m. HZS kraje využívá pro toto stanovení softwarový nástroj OPTIZON [9].

Pro podlimitní objekty, které představují významné riziko při vzniku závažné havárie, se provede analýza rizik, která zohledňuje pravděpodobnost vzniku mimořádné události spolu s jejími možnými dopady. Výsledkem je pak určení úrovně rizika, který poté slouží v hodnocení rizik jako ukazatel, zda se pro tento objekt bude zpracovávat havarijní karta. Objekty se dle úrovně rizika dělí na tři kategorie [9]:

- podlimitní objekty s nízkým rizikem (úroveň rizika je menší než 10) – zpracování havarijní karty není vyžadováno;
- podlimitní objekty se zvýšeným rizikem (úroveň rizika je mezi 10 a 15) – zpracování havarijní karty je na uvážení HZS kraje;

- podlimitní objekt s významným rizikem (úroveň rizika je větší než 15)
 - zpracování havarijní karty je vyžadováno vždy.

Samotná havarijní karta se skládá z textové a grafické části a listinná podoba může mít maximální rozsah 2 listů formátu A4. Zpracovává ji oddělení ochrany obyvatelstva a krizového řízení HZS kraje v součinnosti se složkami IZS a provozovatelem podlimitního objektu. Finální dokument skladuje HZS kraje v rámci havarijního plánování. Aktualizování havarijních karet je prováděno dle potřeby. Pokud však nastane změna, která by v případě závažné havárie měla stěžejní dopad na řešení mimořádné situace, provádí se aktualizace bezodkladně [9].

2.3.1 Analýza rizik

Při posuzování rizik podlimitních zdrojů rizika se využívá metodologie analýzy rizik na úrovni kraje nebo obce s rozšířenou působností. Pro vypočítání míry rizika jsou využité vzorce (1) a následně pro vypočítání hodnoty N vzorec (2) [9]:

$$R = F \times N, \quad (1)$$

$$N = (K_O \times VK_O) + (K_{\text{ŽP}} \times VK_{\text{ŽP}}) + (K_E \times VK_E) + (K_S \times VK_S), \quad (2)$$

kde:

- F je frekvence četnosti výskytu daného nebezpečí;
- N je souhrnný dopad nepříznivých účinků dané události nebo jevu;
- K_O je koeficient dopadu na životy a zdraví osob;
- $K_{\text{ŽP}}$ je koeficient dopadu na životní prostředí;

- K_E je koeficient ekonomických dopadů;
- K_S je koeficient společenských dopadů;
- VK_O , $VK_{\text{ŽP}}$, VK_E a VK_S jsou váhové koeficienty.

Koeficient četnosti (F) se odečítá z tabulky č. 2 vzhledem k možnému vzniku nebezpečí za určitý časový úsek).

Tabulka 2 - Určení četnosti vzniku nebezpečné havárie [9]

Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F
1 x za několik desetiletí (2 - 3 desetiletí), Objekty nakládající s NL v průmyslových areálech Sídlí zde více společností	6
1 x za více desetiletí (4 - 9 desetiletí) Objekty nakládající s N mimo průmyslové areály (Patří sem např. zimní stadiony a bazény)	5
1 x za 100 let Objekty nakládající s hořlavými či výbušnými látkami skladovanými v zemi mimo průmyslové areály	4

Váhové koeficienty (VK_O , $VK_{\text{ŽP}}$, VK_E , VK_S) vyjadřují míru dopadu v závislosti na významu jednotlivých oblastí chráněných zájmů. Jak lze vidět v tabulce číslo 3, největším chráněným zájmem jsou životy a zdraví osob, a proto má tento koeficient vůči ostatním největší váhu [9].

Tabulka 3 - Dílčí váhové koeficienty dopadů pro určení následků [9]

Chráněný zájem	Váhový koeficient	
	označení	hodnota
Životy a zdraví osob	VK_O	0,4
Životní prostředí	$VK_{\check{Z}P}$	0,2
Ekonomika (majetek)	VK_E	0,2
Společenská stabilita	VK_S	0,2

Koeficient dopadů na životy a zdraví osob (VK_O) se stanovuje jako součet dvou dílčích koeficientů VK_{O1} (smrtné dopady) a VK_{O2} (ohrožení osob) lomených dvěma (3) [9]:

$$K_O = \frac{K_{O1} + K_{O2}}{2}. \quad (3)$$

Kde K_{O1} a K_{O2} se nejprve vypočítá podle vzorce pro stanovení počtu ohrožených osob (P_{O1} a P_{O2}) a ty se následně odečtou z tabulek č. 4 a č. 5, které jsou uvedeny níže [9].

Tabulka 4 - Výňatek ze stanovení koeficientu smrtelných dopadů (K_{O1}) [9]

Smrtné dopady (P_{O1})	K_{O1}
bez úmrtí	0
1–2 mrtvých	1
3–5 mrtvých	2
6–10 mrtvých	3
11–15 mrtvých	4

Tabulka 5 - Výňatek ze stanovení koeficientu ohrožení osob (K_{O2}) [9]

Ohrožení osob (P_{O2})	K_{O2}
bez ohrožení osob	0
1–10 ohrožených osob	1
21–50 ohrožených osob	2
51–100 ohrožených osob	3
101–500 ohrožených osob	4

Pro výpočet počtu ohrožených osob a smrtelných dopadů je potřeba nejdříve vypočítat předkládané počty. Pro ty lze použít vzorec (4) [9]:

$$P_{O_{1/2}} = Q_{O_{1/2}} \times \left(\frac{PO}{X} + PN \times Y + PZ \right), \quad (4)$$

kde:

- P_{O1} předpokládaný počet smrtelných dopadů;
- P_{O2} je předpokládaný počet ohrožených osob;
- $Q_{1/2}$ je koeficient zmírnění následků (Q_1 se odečte dle tabulky č. X a Q_2 má jedinečnou hodnotu 0,163);
- PO je rovnu počtu osob trvale žijících v ohroženém území a počtu osob ve významných objektech (školy, sociální a zdravotní zařízení, sportoviště aj.);
- X je koeficient s hodnotou 6 (vyjadřuje rozptyl nebezpečné látky ve výseči o úhlu 60°);
- PN je maximální kapacita objektu pro návštěvníky;

- Y je koeficient vyjadřující pravděpodobnost dosažení maximální kapacity návštěvníků v objektu a typ technologie chlazení v případě zimních stadionů (viz tabulka č. X);
- PZ je počet zaměstnanců běžně přítomných v objektu.

Pro zjištění hodnoty Q_1 se využije tabulka č. 6, kde se musí určit nebezpečná látka, která se v objektu nachází a kvůli níž může dojít k závažné havárii [9].

Tabulka 6 - Odečet koeficientu zmírnění následků [9]

Nebezpečná látka	Koeficient zmírnění následků Q_1
hořlavé kapaliny a plyny s výjimkou hořlavých plynů pod tlakem (např. benzín, nafta)	0,168
hořlavé plyny pod tlakem a/nebo zkapalněné (např. tlakové láhve LPG, CNG, acetylénu, vodíku)	0,0168
výbušné látky (např. kyselina pikrová, oxid chloričitý, nitrocelulóza)	0,168
toxické kapaliny (např. benzen, methanol)	0,0084
toxické plyny s výjimkou zkapalněných chladem (např. oxid uhelnatý, amoniak, chlor, oxid siřičitý)	0,0168
toxické plyny zkapalněné chladem (např. chlor, amoniak, etylenoxid)	0,0084

Hodnotu koeficientu Y zjistíme z tabulky č. 7 a určuje nám maximální návštěvní kapacitu a v případě zimních stadionů pak typ chlazení [9].

Tabulka 7 - Hodnoty koeficientu Y [9]

Návštěvní kapacita a typ chlazení	Hodnota koeficientu Y
Všechny objekty kromě zimních stadionů. Návštěvní kapacita je dosahována běžně každý den po významnou část dne.	1
Zimní stadiony s technologií přímého chlazení. Návštěvní kapacita není dosahována běžně, jen při výjimečných příležitostech (hokejový zápas).	0,1
Zimní stadiony s technologií nepřímého chlazení. U těchto objektů se nebezpečná látka v hale nevyskytuje.	0,0167

Pro stanovení společenských dopadů (K_S) potřebujeme znát nejprve tři dílčí koeficienty (K_{S1} , K_{S2} , K_{S3}), vyjadřující počet omezených osob, předpokládanou dobu trvání omezujícího stavu a úroveň celkového omezení společnosti. Vzorec (5) je [9]:

$$K_S = \frac{K_{S1} + K_{S2} + K_{S3}}{3} \quad (5)$$

Pro stanovení dílčího koeficientu K_{S1} potřebujeme nejprve zjistit počet omezení osob P_{O3} (viz tabulka č. 8), který zjistíme dle vztahu (6) [9]:

$$P_{O3} = PO + PN * Y + PZ - P_{O1} - P_{O2} + PM, \quad (6)$$

kde:

- P_{O3} je počet omezených osob;
- PO je rovnu počtu osob trvale žijících v ohroženém území a počtu osob ve významných objektech (školy, sociální a zdravotní zařízení, sportoviště aj.);

- **PN** je maximální kapacita objektu pro návštěvníky;
- **Y** je koeficient vyjadřující pravděpodobnost dosažení maximální kapacity návštěvníků v objektu a typ technologie chlazení v případě zimních stadionů (viz tabulka č. X);
- **PZ** je počet zaměstnanců běžně přítomných v objektu;
- **P₀₁** je předpokládaný počet smrtelných dopadů;
- **P₀₂** je předpokládaný počet ohrožených osob;
- **PM** je počet osob omezených z důvodu výpadku služeb a dopravní nedostupnosti.

Tabulka 8 – Výňatek ze stanovení dílčího koeficientu omezení osob (K_{S1}) [9]

Omezení osob (P_{03})	K_{S1}
Bez omezení osob	0
do 100 omezených osob	1
101–500 omezených osob	2
501–1000 omezených osob	3
1001–5000 omezených osob	4

Dílčí koeficient K_{S2} (odhad doby trvání omezujícího stavu) má hodnotu $K_{S2} = 2$ a dílčí koeficient pro omezení společnosti má přiřazenou hodnotu $K_{S3} = 2$ [9].

Stanovení koeficientu $K_{žP}$ je také předem dané ($K_{žP} = 2$) a vyjadřujeme tím malé poškození složek životního prostředí (např. vodní plochy do 1 ha nebo vodní toky v délce 100 m) [9].

Pro určení koeficientu K_E je nutné použít tabulku č. 9, ze které vyčteme přímé škody a náklady odpovídající pro malé objekty s jednoduchými technologiemi nebo jednoduchými chemickými procesy [9].

Tabulka 9 - Určení koeficientu ekonomických dopadů [9]

Přímé škody a náklady	K_E
5-10 mil. Kč, pro objekty s jednoduchými technologiemi	4
10 -100 mil. Kč, pro objekty j jednoduchými chemickými procesy	5

2.3.2 Obsah havarijní karty

V první řadě je v textové části uvedena identifikace havarijní karty (datum zpracování a poslední aktualizace). Dále identifikace podlimitního objektu, v němž je zahrnut jeho název, adresa a případně GPS souřadnice. Je zde také jméno provozovatele a kontakt na odpovědného pracovníka a kontakt na stanoviště složek IZS [9].

V identifikaci zdroje rizika je uvedeno maximální množství nebezpečné chemické látky nacházející se v objektu spolu se základními nebezpečnými vlastnostmi příslušné látky, které zde budou uvedeny také pomocí piktogramů. Určí se nejpravděpodobnější havarijní scénář a stanoví se zóna ohrožení. Dle toho se identifikuje počet osob ohrožených závažnou havárií jak uvnitř objektu (zaměstnanci) tak i vně (osoby v bytových jednotkách okolo objektu) [9].

Nakonec se v textové části určí opatření na ochranu obyvatelstva, kam spadá postup provozovatele v případě závažné havárie, organizace samotného zásahu a komunikace operačních a informačních středisek HZS kraje spolu se

základními složkami IZS a případně dalších subjektů, anebo přehled objektů v zóně ohrožení, kde je pravděpodobnost výskytu většího množství osob (obchodní centra, školní zařízení, úřady aj.) [9].

Grafická část havarijní karty obsahuje mapu, kde je znázorněná pozice podlimitního objektu a konkrétní umístění zdroje rizika. Jsou zde určeny také zóna ohrožení a významné objekty, které se v této zóně nacházejí. U všech důležitých bodů se používají grafické značky pro lehké a pochopitelné znázornění [9].

2.4 Charakteristika nebezpečných chemických látek

S chemickými látkami se setkáváme v každodenním osobním i pracovním životě. Nebezpečné chemické látky a směsi jsou látky, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností. Při chemické havárii je důležité správně určit uniklou látku, aby bylo možné ji rychle a efektivně zneutralizovat či jinak zneškodnit [10].

Základním právním aktem ohledně chemických látek a směsí v rozsahu legislativy Evropského Společenství je Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), ve znění pozdějších předpisů a Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek směsí (CLP), ve znění pozdějších předpisů [10].

Do české národní legislativy zpracovává tyto nařízení především zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a směsích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (chemický zákon) [10] [11].

2.4.1 Klasifikace nebezpečnosti chemických látek

Klasifikaci nebezpečných chemických látek lze uvádět různými způsoby. Klasifikace nebezpečných chemických látek v této práci je řazena podle nejnovějšího systému rozdělení dle nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008 Sb. o klasifikaci, označování a balení látek a směsí a o změně směrnice 67/548/EHS a nařízení (ES) č. 1907/2006 (CLP). Tato směrnice vychází z Globálně Harmonizovaného Systému Klasifikace a Značení Chemických Látek, tzv. GHS. Vše bylo zavedeno kvůli potřebě světově sjednoceného jednotného systému pro označování a klasifikaci nebezpečných chemických látek. CLP definuje celkem 16 tříd nebezpečnosti fyzikálního charakteru, 10 tříd nebezpečnosti pro zdraví, 2 třídy představují nebezpečí pro životní prostředí a poslední třída zahrnuje nebezpečnost pro ozonovou vrstvu. Hlavním cílem vlastní klasifikace je stanovit, zda je chemická látka nebo směs nebezpečná pro životní prostředí nebo zda je spojena s fyzikálním nebo zdravotním nebezpečím, tuto informaci příslušně označit v dodavatelském řetězci pro jeho zavedení na trh [12].

Třídy nebezpečnosti dle CLP [13] [14]:

Pro fyzikální nebezpečí jsou to: výbušniny; hořlavé plyny; hořlavé aerosoly; oxidující plyny; stlačené plyny; hořlavé kapaliny; hořlavé tuhé látky; samovolně reagující látky a směsi; pyroforické kapaliny; pyroforické tuhé látky; samozahřívající se látky; látky a směsi, které při kontaktu s vodou uvolňují hořlavé plyny; oxidující kapaliny; oxidující tuhé látky; organické peroxidy a látky a směsi korozivní pro kovy [13].

Nebezpečí pro zdraví jsou: akutní toxicita; žíravost/dráždivost pro kůži, vážné poškození očí/podráždění očí; senzibilizace dýchacích cest nebo kůže; mutagenita v zárodečných buňkách; karcinogenita; toxicita po reprodukci;

toxicita pro specifické cílové orgány (jednorázové nebo opakovaná expozice) a nebezpečnost při vdechnutí [13].

Nebezpečí pro životní prostředí má kategorii akutní nebezpečí pro vodní prostředí [13].

Dodatečná třída nebezpečnosti EU je nebezpečí pro ozonovou vrstvu [13].

2.4.2 Vlastnosti nebezpečných chemických látek

Účinek nebezpečných chemických látek je velmi různorodý. Nejvýznamnějšími účinky, kterými se budeme zabývat, jsou toxicita, výbušnost a hořlavost. Pro určitou chemickou látku je nejdůležitější znát prioritní nebezpečný účinek látky, tj. určit, jaký účinek je nejnebezpečnější. Pokud je nějaká chemická látka toxická a ohrožuje zdraví, bere se její toxicita jako nejnebezpečnější účinek [10] [15].

Toxicita

Toxicita chemických látek se projevuje schopností působit nepříznivě na živé organismy nebo ekosystém. Může se dělit na akutní a chronickou toxicitu. Můžeme se také setkat s pojmem environmentální toxicita, kdy chemická látka působí toxicky na faunu a flóru a narušuje stabilitu ekosystému. Buď látka přetrvává v životním prostředí (perzistence) nebo se hromadí v živých organismech (bioakumulace) [13] [15].

Významný parametr využívaný pro určení toxicity je střední smrtná dávka také nazývaná akutní toxicita (LD_{50}), při níž uhynie 50 % pokusných biologických objektů. Obdobná veličina je střední letální koncentrace (LC_{50}), vyjadřující koncentraci chemické látky, která po určitém čase usmrtí 50 % exponovaných pokusných objektů. Dalším významným parametrem je IDLH (Immediately

Dangerous to Life or Health). Ten vyjadřuje maximální koncentraci látky ve vzduchu, které může být člověk vystaven po dobu třiceti minut, aniž by mu hrozilo vážné nebo nezvratné poškození zdraví nebo byla ovlivněna jeho schopnost uniknout ze zasaženého území [16] [17].

Účinky toxických látek

Dle manifestace (projevů) toxických látek dělíme na [13] [17]:

- přímý toxický účinek – projeví se již díky pouhé přítomnosti chemické látky v organismu, kdy dojde k poškození nebo zániku buněk;
- biochemický účinek – účinek toxické látky se projeví v nějakém biochemickém ději, který následně negativně ovlivní důležitou životní funkci;
- imunotoxický účinek – toxická látka vyvolává snížení imunity nebo akutní alergickou reakci (anafylaktický šok);
- mutagenní účinek – látka způsobí změnu genetické informace způsobující nenávratnou změnu dědičných informací, postižení jsou lidé v následující generaci;
- karcinogenní účinek – látka způsobí změnu genetické informace, která vede k nádorovému bujení;
- teratogenní účinek – toxická látka vyvolává poškození plodu a ten se narodí s vývojovými vadami [17].

Hořlavost

Hořlavost vykazuje mnoho chemických látek nebo směsí. Do této kategorie se řadí motorová nafta, benzin, různé druhy topných olejů, benzen, toluen ale také kyanovodík, fosfor nebo acetaldehyd. Pro hořlavé látky je důležité znát parametry určující nebezpečnost hořlavých účinků jako je teplota vzplanutí, teplota hoření a teplota vznícení [13].

Průběh hoření vyžaduje tři podmínky. Kromě samotné hořlaviny je nutná přítomnost oxidačního činidla (většinou se jedná o vzduch) a iniciační energie (jiskra, plamen nebo teplo) [13].

Uvnitř budov hrozí osobám kromě intenzity tepelného záření a dobou expozice také udušení z důvodu nedostatku vzduchu v okolí. Při hoření můžou vznikat toxické plynné zplodiny, které se uvolňují z hořících materiálů, a jejich nebezpečnost je dána především druhem materiálu, teplotou a kyslíkovou bilancí (pokud ve vzduchu dojde ke snížení kyslíku, toxicita zplodin narůstá). Dalším nebezpečím hoření některých látek (chlorovodík, fosgen, amoniak) může být plicní edém nebo blokáce hemoglobinu a následně neschopnost vázat kyslík, vedoucí k buněčné smrti [13].

Výbušnost

Výbušnost nebezpečných chemických látek je dána určitou koncentrací plynů nebo par určité látky v ovzduší (oblast výbušnosti). Ta je určená dolní mezí výbušnosti (nejnižší koncentrace hořlavého plynu) a horní mezí výbušnosti (nejvyšší koncentrace hořlavého plynu). Platí, že čím dále jsou tyto hranice od sebe, tím je látka nebezpečnější. Mezi nebezpečné chemické látky, které ve směsi se vzduchem po iniciaci vybuchují, lze řadit například metan, propan-butan,

acetylen, vodík nebo automobilový benzín. Výbušnou směs mohou za správných okolností vytvořit i prachy (dřevný, uhelný, moučný) [18].

Výbuch je zpravidla zapříčiněn zvýšením tlaku uvnitř skladovacího zařízení (tlakové lahve, parní zásobníky, uzavřené nádrže), kdy dojde k jeho destrukci nebo roztržení. Výbuch je doprovázen tepelným zářením v těsné blízkosti látky a vytvoření nebezpečných zplodin hoření [18].

Výbuch je také často spojen se vznikem tlakové vlny. Primárními účinky s ohledem na zasažení člověka jsou patrné zejména na orgánech, které obsahují vzduch a projeví se rupturou ušního bubínku, plicním barotraumatem nebo poškozením středního ucha. Sekundární zranění jsou způsobena rozletem fragmentů z epicentra výbuchu a způsobují penetrující a tupá poranění na jakémkoliv místě na těle. Zranění (zlomeniny, traumatická amputace), které jsou způsobeny odhozením těla řadíme mezi terciální poranění. Nepřímá zranění jsou zapříčiněná zřícením budovy, tepelným zářením a toxickými zplodinami hoření vznikajícími po výbuchu [13] [18].

2.5 Vybrané nebezpečné chemické látky

Nebezpečné chemické látky jsou látky s takovými fyzikálními, chemickými a toxickými vlastnostmi, že negativně působí na osoby, zvířata životní prostředí nebo majetek. Dle zákona 350/2011 Sb., o chemických látkách a směsích vykazují tyto látky nebezpečné vlastnosti jako je toxicita, výbušnost, hořlavost, oxidační schopnost, žíravost aj [20].

Průmyslové chemické látky jsou chemická individua, jejichž jedna z vlastností je toxicita a která jsou vyráběna, používána a skladována v továrnách v takovém

množství, kdy, pokud dojde k jejich úniku, mohou způsobit závažné ohrožení zdraví osob nebo narušení životního prostředí [20].

2.5.1 Amoniak

Amoniak je jedna z nejčastěji užívaných nebezpečných chemických látek vůbec. Je hojně využíván jako chladicí médium, k výrobě kyseliny dusičné, výbušnin, polymerů, farmaceutických výrobků, kaučuku, tenzidů a také se využívá v průmyslu pro výrobu hnojiv. Uplatnění najde i v petrochemickém průmyslu anebo při galvanickém pokovování. Může se využít i v ovocnářství, pro omezení růstu hub na plodech jako fungicid. Registrační číslo CAS je 7664-41-7. Jedná se o jednoznačný číselný kód, který slouží pro identifikaci látek. Pokud by byl amoniak přepravován, na vozidle musí být uveden kromě Kemler kódu také UN kód, který je pro amoniak 1005 [12].

Jedná se o bezbarvý plyn s ostrým, pronikavým a intenzivně dráždivým zápachem, který je přibližně o polovinu lehčí než vzduch. Při odpařování z kapalného stavu však tvoří chladné mlhy těžší než vzduch. Samotný plyn je zásaditý, dráždivý, silně žíravý a ve většině případů je skladován i přepravován jako zkapalněný plyn pod tlakem. Je výborně rozpustný ve vodě a výsledný roztok (hydroxid amonný) má zásaditý charakter a vysokou toxicitu pro vodní organismy (především ryby). Ke kontaminaci podzemních vod může dojít díky využívání průmyslových hnojiv. Podzemní vody pak nejsou vhodné pro využití člověkem [12].

Ve směsi se vzduchem a kyslíkem vytváří výbušnou směs (16–27 % amoniaku) a hrozí nebezpečí požáru a výbuchu. Teplota vznícení je 650 °C. Plynný amoniak se může při vysokých teplotách rozkládat a vytvářet velmi hořlavý vodík a toxický oxid dusičitý [12] [16].

Pokud osoba zůstane v kontaminovaném prostředí delší dobu, projeví se toxické účinky amoniaku, a to především v horních cestách dýchacích. Díky své skvělé rozpustnosti ve vodě, kdy vzniká zásaditý hydroxid amonný, dochází k poleptání sliznice dýchacích cest a dutiny ústní. Může dojít i k poleptání trávicího ústrojí (jícnu, žaludku) a v krajních případech dochází k perforaci. Při vyšší koncentraci může dojít k poleptání plic, což může vést až k toxickému edému plic, zástavě dechu a smrti. Kromě dýchacích cest se objevuje vážné poškození kůže nebo oční rohovky, která se po několika dnech může zakalit a postižená osoba skončí s trvale poškozeným zrakem nebo slepotou. Koncentrace 1740 mg/m^3 je životu nebezpečná po setrvání po dobu 30 min. Pokud je koncentrace přibližně $3,5 \text{ g/m}^3$ (0,5 %) hrozí smrt i při krátkodobé expozici [19] [20].

2.5.2 Chlor

Číslo CAS pro identifikaci chloru je 7782-50-5 a UN kód, sloužící především při přepravě této látky je 1017. Nejčastější využití chloru je ve výrobě syntetických chemikálií a plastů (PVC, polyuretany, polykarbonáty). Můžeme ho také najít v papírenském průmyslu nebo ve vodohospodářství jako dezinfekční prostředek pro úpravu pitné vody. Je to žlutozelený plyn těžší než vzduch, který má štiplavý zápach, rozeznatelný čichem již při nízkých koncentracích. Při převážení a skladování se chlór zpravidla stáčí do cisteren [12] [16].

Při působení na člověka se chlor v těle mění v kyselinu chlorovodíkovou, která má silné žíravé účinky, způsobující silné podráždění dýchacího ústrojí. Při otravě chlorem se nejdříve objevuje pálení očí, naleptání nosní a hrtanové sliznice způsobující slzení, kašláním, zvracením a nevolnost. Při vysoké expozici dochází k celkovým dýchacím potížím nebo až selhání srdce. Ke vzniku toxického edému plic může dojít i po delší době od nadýchání plynného chloru. Plyn také vyvolává silné poleptání očí a podráždění kůže za vzniku puchýřů. Chlor ve formě

kapaliny způsobuje omrzliny. Při dlouhodobé inhalaci chloru se může vyvinout chronická bronchitida a rozedma plic. Celkově se pak snižuje odolnost organismu proti klasickým nemocím respiračního charakteru [19] [20].

2.5.3 LPG

LPG (Liquified Petroleum Gas) je zkapalněný ropný plyn, který se používá jako alternativní pohon pro automobily se zážehovými motory, a proto se nejčastěji skladován v čerpacích stanicích. Hlavním nebezpečím této látky je extrémní hořlavost. Při úniku přechází kapalina velmi rychle do plynného stavu, který je těžší než vzduch a tvoří se vzduchem výbušnou směs. Pro identifikaci slouží číslo CAS (68476-85-7) a při přepravě se označuje UN kódem, který je 1075 [16].

Kapalina způsobuje při styku s kůží vážné omrzliny nebo poleptání. Plyn může při vyšší koncentraci působit bolesti hlavy, žaludeční nevolnost nebo podráždění očí a dýchacích cest. Uvolněný plyn může vytěsnit vzduch v místnosti a může dojít k zadušení osob nacházejících se v místnosti. Při zapálení může být produktem hoření při nedokonalém spalování jedovatý oxid uhelnatý a saze [19].

2.6 Havárie s únikem nebezpečné chemické látky

Zvyšující se rozmanitost produktů vyráběných v chemickém průmyslu vede k tomu, že je pro tuto průmyslová odvětví čím dál běžnější používat reaktory, potrubí či skladovací nádoby, ve kterých jsou nebezpečné chemické látky skladovány za zvýšené teploty nebo tlaku. Nehoda nebo havárie v těchto zařízeních může mít velmi vážný dopad na zdraví a životy lidí. Může být způsobena chybou v materiálu (prasklina ve skladovací nádobě) nebo provozní chybou (zvýšení tlaku nebo teplot nad stanovený kritický limit) [16].

Rychlý růst v oblasti průmysl a vývoj nových technologií a látek má za příčinu vyšší pravděpodobnost havárie. Největším problémem jsou města, kde je velká hustota obyvatel, a tudíž se obytné čtvrti nacházejí v nebezpečné blízkosti továren pro chemický průmysl. V takovýchto objektech je běžnou praxí najít průmyslové komplexy budov, protože jednotlivé průmyslové odvětví na sebe navazují a spolupracují mezi sebou. Je pro ně ekonomicky výhodnější být v těsné blízkosti, aby se nemuseli zaobírat přepravou nebezpečných chemických látek mimo areál. Růst počtu takových zařízení v jedné oblasti zvyšuje riziko havárie, a navíc zvyšuje pravděpodobnosti domino efektu, kde nehoda v jednom zařízení může zapříčinit nehodu v zařízení, které se nachází v blízkosti postiženého zařízení. Za účelem prevence či alespoň snížení četnosti těchto závažných havárií je potřeba neustále zvyšovat úroveň bezpečnosti, řízení rizik a připravenosti na mimořádné situace. Velkým hnacím motorem pro zajištění bezpečnosti na vysoké úrovni je také zájem veřejnosti ohledně tohoto tématu [21] [22].

2.6.1 Příčiny vedoucí k chemickým haváriím

Chemické havárie mohou být obecně důsledkem [22]:

- ohně;
- exploze;
- uvolnění toxických látek;
- otravy;
- kombinací předešlých variant.

Příčina chemických havárií se může objevit v chybách a odchylkách ohledně zpracování nebezpečných chemických látek. Důležitými faktory jsou tlak, teplota s ohledem na to, zda je látka v pevném, kapalném skupenství nebo zda je to plyn. Vliv může mít i blízkost jiné toxické látky a pravděpodobnost reakce v důsledku náhodného smíchaní dvou nebo více nebezpečných chemických látek s

odlišnými vlastnostmi. Další vliv může mít i odpařující se kapalina, jejíž páry mohou být hořlavé a může dojít ke vzplanutí a následnému výbuchu.

Účinky mohou být dále umocněny meteorologickými podmínkami, jak jsou rychlost a směr větru nebo vlhkost ovzduší [21].

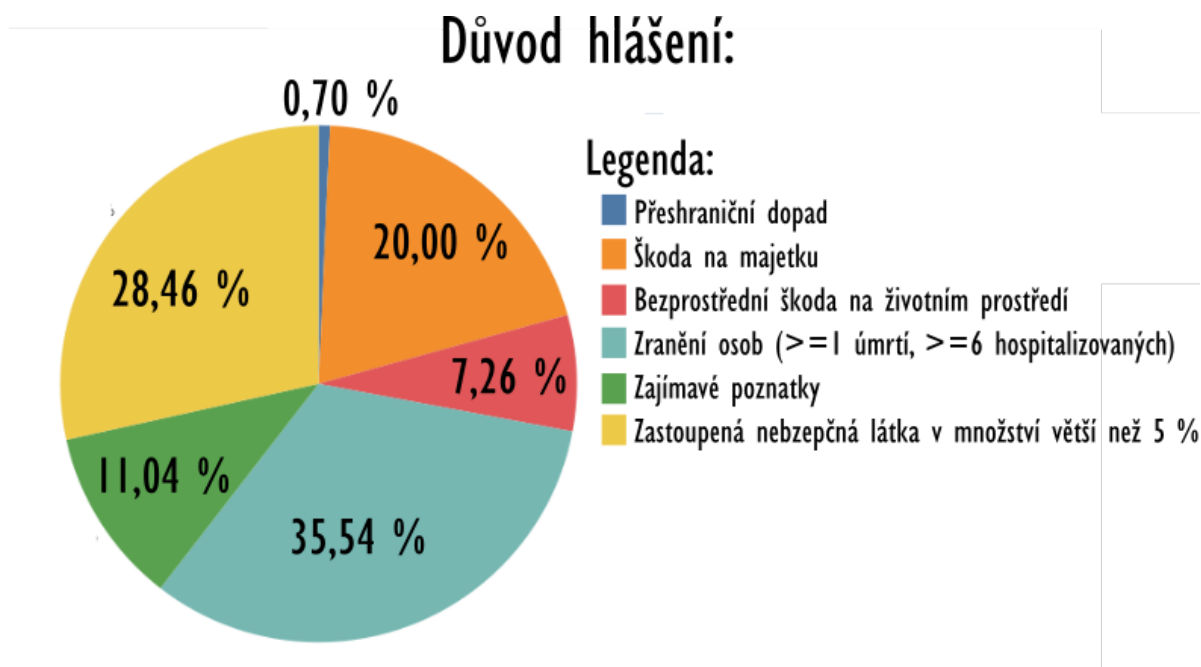
2.6.2 Důvody vzniku závažné havárie dle eMARS

Hlášení o vzniku závažné havárie stanovuje v České republice zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií. Konkrétní formu upravuje vyhláška č. 228/2015 Sb., o rozsahu zpracování informace veřejnosti, hlášení o vzniku závažné havárie a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie.

System hlášení závažných havárií (Major Accident Reporting System) byl poprvé zaveden v roce 1982 dle směrnice EU Seveso 82/501/EHS za účelem zlepšit a zpřehlednit výměnu zkušeností získaných z nehod s přítomností nebezpečných chemických látek. Cílo se na zlepšení prevence nehod a zmírnění jejich následků. Hlášení do této databáze je povinné pro členské státy EU (pro OECD a UNECE země mimo EU je podávání zpráv pouze dobrovolné) [23].

Důvody pro hlášení závažných havárií v databázi eMARS můžeme rozdělit do 6 kategorií, které popisuje obrázek č. 1. Nejvíce zastoupené (32,54 %) je zranění osoby (≥ 1 úmrtí, ≥ 6 zraněných vyžadujících hospitalizaci aj.). Druhou nejzastoupenější kategorií je, pokud v jakémkoliv požáru, explozi nebo nehodě zapojena nebezpečná látka s množstvím nejméně 5 % z určeného množství ve sloupci 3 přílohy 1 (28,46 %). S rovnými 20 % jsou hlášené nehody, kdy dojde k škodě na majetku a na pracovišti ve větší výši než 2 miliony EUR anebo mimo pracoviště ve větší částce než 0,5 milionu EUR. Podobně zastoupené jsou pak bezprostřední dopad na životní prostředí (7,26 %) a hlášení, které jsou zajímavé kvůli získané poznatky (11,04 %). Nejméně zastoupené jsou pak havárie, jejichž škody přesahují hranice státu (0,70 %). Nevýhodou této databáze je, že poskytuje

pouze omezené informace o důsledcích a jedná se pouze o okamžité dopady. Neberou se v potaz širší souvislosti a dlouhodobější dopady jako je například dlouhodobé dopady na životní prostředí, nebo ztráta zaměstnání [23].



Obrázek 1 - Důvod hlášení závažných havárií do databáze eMARS [vlastní zpracování]

2.6.3 Alternativní (malé) úniky nebezpečných chemických látek

Dle dokumentu, který publikovala americká agentura pro ochranu životního prostředí a která poskytuje návod, jak provádět analýzu dopadů, lze tvrdit, že nejčastějšími reálnými scénáři, které mohou nastat, jsou takzvané alternativní úniky [40]. Alternativní (neboli malé) úniky NCHL jsou mnohem pravděpodobnější než náhlý únik celkového množství skladované látky.

Důvodem vzniku závažné havárie může být [40]:

- lidský faktor, kdy obsluha zařízení nerespektuje či opomene postupy, které zajišťují bezpečnost práce (chybně otevřený/zavřený ventil, nerespektování kapacity zařízení);
- nesprávná nebo vadná funkce zařízení např. pojišťovacího ventilu;
- špatná těsnost zařízení, která může být způsobena již při výrobě (nevhodný typ materiálu, chyba při svaření spojů) nebo úpravě a opravě daného typu zařízení;
- nedostatečná kontrola stavu zařízení před spuštěním provozu, neodstranění závad, špatná revize zařízení v průběhu provozu, kdy může dojít k postupnému poškozování zařízení (vnitřní a vnější koroze, malé trhlinky v materiálu, únava materiálu, těsnění ventilů apod.);
- poškození zařízení vlivem vnějších sil (nárázem), způsobené při přepravě nebezpečné chemické látky neopatrné manipulaci nebo nárazem cizího tělesa;
- vlivem přírodních podmínek (vichřice, zemětřesení, zasažení blesku);
- nerespektování procesních a provozních postupů. Jedná se zejména o nadměrný přetlak v zařízení (důsledek zvýšené teploty, vnitřní exploze či expanze při změně fyzikálního stavu látky), nadměrného podtlaku v zařízení (jedná se o zařízení, které nejsou stavěna pro odolávání vakua) a vysoké teploty kovu (při přehřátí nebo požáru pod zařízením);

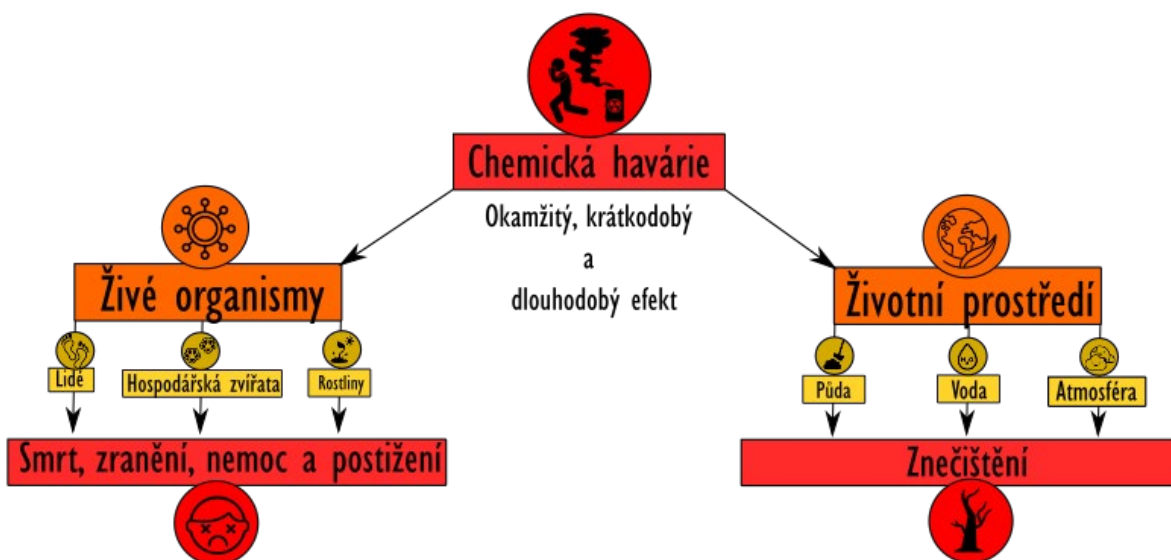
- špatná údržba zařízení, ve kterém se můžou hromadit nečistoty, které mohou urychlit korozi nebo vytvářet ucpávku a způsobit zkřehnutí materiálu a následně prasknutí [40].

Příkladem může být alternativní únik amoniaku v roce 2005 v Rakovnickém pivovaru, kdy došlo k úniku 50 kg amoniaku kvůli technické závadě na ventilu. Byl zde popálen jeden člověk a 15 dalších lidí bylo nutné evakuovat [42].

Dle agentury EPA je u mnoha scénářů důvodem úniku malý otvor o průměru 0,635 cm (1/4 palce). Konkrétně se nejčastěji jedná o prasknutí těsnění nebo průsak těsnění čerpadla, proto jedním ze scénářů může být únik amoniaku, který se uvolňuje za podmínek vysokotlakého sběrače kapalného chladiva. Pak dle vypočtení hodnoty přes Bernoulliho rovnici je intenzita výronu 45 kg/min (0,75 kg/s). Scénář se musí modelovat za typických meteorologických podmínek, konkrétně s neutrálními meteorologickými podmínky a stabilitou třídy D, nebo s kritickými klimatickými podmínky a třídou stability F [40].

2.6.4 Dopad chemických havárií

Nejzávažnějším dopadem chemických havárií jsou ztráty na životech nebo poškození zdraví osob, které se v době havárie zdržují v místě nehody. Kromě toho může mít chemická havárie dopad na hospodářská zvířata, faunu a flóru nebo životní prostředí (ovzduší, půda, voda). Chemické havárie může být klasifikována například dle toho, jaký je počet obětí a kolik poškození havárie způsobila vůči majetku a životnímu prostředí. Vše názorně charakterizuje obrázek číslo 1 [16] [20] [24].



Obrázek 2 - Dopad chemické havárie [vlastní zpracování]

2.6.5 Příklady chemických havárií

Seveso

Katastrofa v italském městečku na severu Itálie se stala odpoledne 10. července roku 1976, kdy z malého chemického závodu, který patřil společnosti ICMESA (Industrie Chimiche Meda Societa Azionaria), unikl bílý oblak. Tato společnost byla výrobce trichlorfenolu (TCP), který společnost používala k výrobě dezinfekčních mýdel. Součástí uniklého oblaku byl zhruba jeden kilogram

2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxinu (TCDD). Jedná se o vedlejší produkt výrobního procesu TCP, pokud teplota ve výrobě vzroste nad 200 °C a je prokázáno, že je karcinogenní. Havárie byla způsobena nekontrolovaných nárůstem teploty a tlaku, který vedl k produkci TCDD, a nakonec k jeho úniku, když bezpečnostní ventily v horní části reaktoru nefungovaly [10].

Havárie nezpůsobila žádné bezprostřední lidské úmrtí, nicméně zemřelo několik domácích zvířat nacházejících se v okolí závodu a více než 77 000 zvířat bylo poraženo kvůli preventivnímu opatření zaměřenému na ochranu potravinového řetězce. Krátce po incidentu bylo také hlášeno mnoho případů chlorakné, vzácného stavu kůže, který je způsoben expozicí toxických uhlovodíkových chemikálií. To byl okamžitý a zjevný účinek havárie. Poté byl region klasifikován do tří zón (A, B a R) dle rozsahu toxicity. Více než 700 obyvatel bylo evakuováno, přičemž obyvatelé z nejvíce zasažených oblastí museli nechat na místě celý svůj majetek, který byl již kontaminovaný. Většina evakuovaných se nakonec mohla vrátit zpátky do svých domovů [10].

Přibližně 80 % TCDD se usadilo na místním listoví a poté ho déšť spláchl do půdy. Čištění kontaminovaných bylo provedeno místní správou v koordinaci s ICMESA. Společnými silami byla dekontaminace zóny A dokončena v dubnu 1984 (8 let od havárie). Někteří evakuovaní se mohli vrátit zpátky do svých domovů a místní vláda změnila zbytek zóny na veřejný park známý dnes jako Seveso Oak Forest Park. Chemická továrna byla odstavena a veškerý její odpad, který byl uložen ve 41 barelech, byl vyčleněn k likvidaci jako jaderný odpad [10].

Společnost se zavázala, že odpad pouze dopraví ze země pryč a uloží je do nevyužívaných jatek v jedné vesnici v severní Francii. Tento krok vyústil v mezinárodní zájem o tuto problematiku, do té míry, že nakonec musela mateřská společnost ROCHE Group slíbit, že barely řádně zlikviduje, a v roce

1992 vydala oficiální prohlášení, ve kterém tvrdila, že odpad spálila ve Švýcarsku. Objevilo se několik tvrzení, které pochybovaly o pravdivosti prohlášení, ale v roce 1994 bylo prohlášení uznáno komisí pro ochranu životního prostředí. Vzhledem k fiasku ohledně nakládání a likvidaci kontaminovaného odpadu z havárie Seveso, vydala evropská unie směrnici Seveso a později směrnicí Severo II. Pět z bývalých zaměstnanců společnosti bylo původně odsouzeno k trestu odnětí svobody, ale po několika odvoláních byli pouze dva z nich shledáni vinnými z nedbalosti. Jedním z mála pozitivních výsledků této havárie byla směrnice Seveso a zákony přijaté italskou vládou, které zajišťovali lepší monitorování chemických závodů a dopad, jaký by mohly mít na lidi a životní prostředí [10].

Bhopal

V noci z 2. na 3. prosince 1984 unikl methyloisokyanát (MIC) a další nebezpečné plyny z chemického závodu na výrobu pesticidů v Bhopalu v Indii. Tato havárie je považována za nejhorší průmyslovou katastrofu všech dob. Závod vlastnila a provozovala společnost Union Carbide India Limited (UCIL). V místě továrny se nacházelo mnoho chudinských měst s vysokou hustotou obyvatel, což vedlo k tomu, že více než 500 000 lidí bylo vystaveno vysoce toxickým chemikáliím a plynům. Existují různé odhady počtu obětí zasažených jedovatým plynem. Okamžitý počet obětí byl oficiálně odhadován na 2 259, vláda však v souvislosti s uvolňováním jedovatých plynů potvrdila celkový počet obětí na 3 787. V roce 2006 stát vydal prohlášení, že konečný počet zraněných lidí v souvislosti s únikem toxických chemikálií a jedovatých plynů bylo 562 025 osob, které utrpěly trvalé a vážné postižení a 38 478 osob dočasně zraněných [25].

Závod na výrobu pesticidů se skládal ze tří podzemních zásobníků s necelými 57 000 litrů tekutého MIC. Měsíc před havárií probíhala výroba

methyloxyanátu a touto kapalinou byly naplněny tři nádrže označené E619, E611 a E610. Podle bezpečnostních a regulačních pokynů by maximální naplnění nádrží při skladování látky MIC nemělo překročit kapacitu 50 %. Každá ze zásobních nádrží byla natlakovaná dusíkem, který umožnil, pokud byla potřeba, čerpání kapaliny z nádrží. Dva měsíce před únikem plynu začala nádrž E610 ztrácet schopnost zadržet většinu stlačeného dusíku, což znamenalo, že MIC nemohl být správně přečerpán. Z tohoto důvodu byl závod odstaven a zahájila se údržba. Nádrž E610 stále obsahovala asi 42 tun tekutého MIC [25].

2. prosince 1984 kolem jedenácté hodiny večer si zaměstnanec pracující v továrně všiml malého úniku plynu a zvýšení tlaku v nádrži E610. Bezpečnostní systém sloužící k neutralizaci úniků jedovatých plynů z tanků se skladovaným MIC byl odpojen několik týdnů před incidentem. Předpokládá se, že voda pro čištění vnitřního potrubí se dostala do tanku E610 a smíchala se s 42 tunami kapalného methyloxyanátu, který se stále nacházel vevnitř. Chladicí systém závodu byl také odstaven, což vedlo ke zvýšení teploty a tlaku způsobené exotermickou reakcí. Pračky plynu byly na několik měsíců mimo provoz a nebyly v provozuschopném stavu. Kvůli zaváhání ze strany operátorů výroby, nedostatku nebo nefunkčnosti bezpečnostních zařízení a absence komunikace se stav zhoršil a okolo jedné hodiny se už methyloxyanát ve formě plynu nacházel v okolí havárie [25].

Brzy ráno se v Bhopalských ulicích dalo najít mnoho zvířecích a lidských těl, z nichž většina pocházela z čtvrtí v okolí závodu, kde bydlely rodiny s nízkými příjmy. Mezi hlavní příčiny úmrtí patřily dýchací potíže, mozkový edém nebo plicní edém. Symptomy lidí vystavených tomuto plynu byly silné podráždění očí, zvracení, dušnost, bolesti žaludku, podráždění dýchacích cest a kašel. Místní nemocnice nezvládali příliv pacientů, kteří potřebovali neodkladnou péči. Krizi ještě umocnila skutečnost, že zdravotnický personál neměl žádné informace o

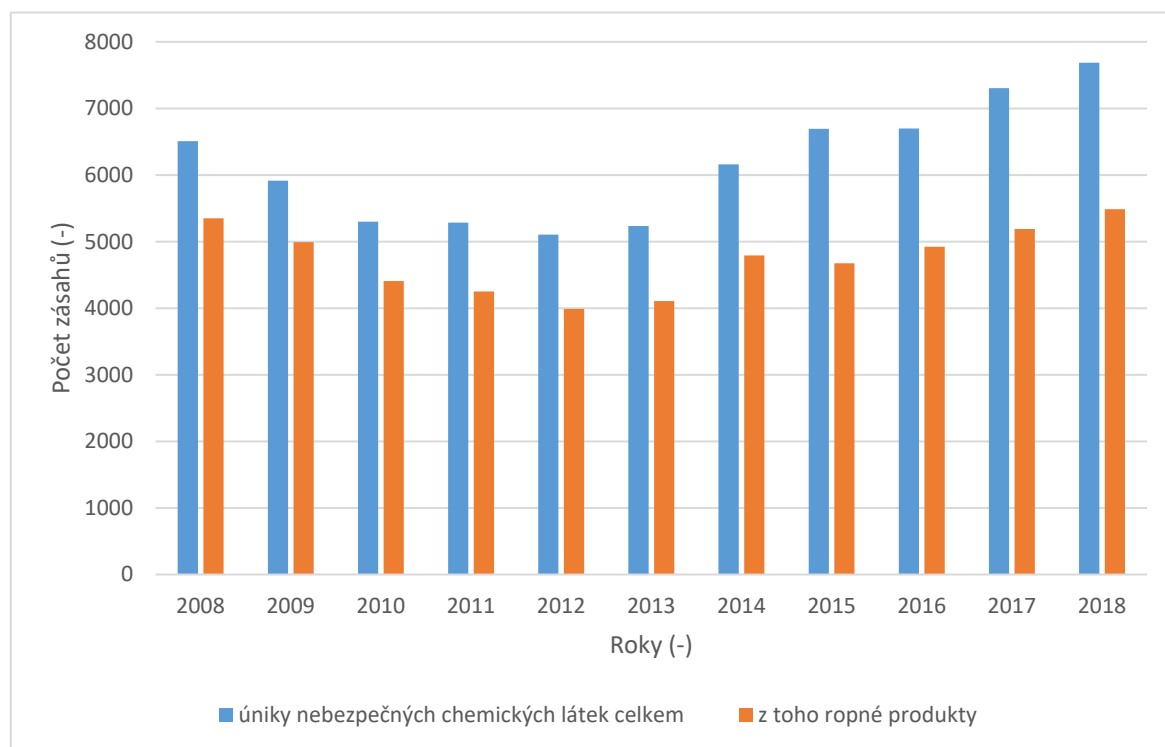
plynu a nevěděl, jaký efekt má a ani jaké antidotum by vyléčilo postižené. Únik v Bhopalu byl od té doby klasifikován jako nejhorší chemická katastrofa v historii [25].

2.6.6 Statistika havárií s únikem nebezpečných chemických látek v ČR (2008–2018)

Statistické přehledy jsou volně přístupné na webovém portálu generálního ředitelství hasičského záchranného sboru České republiky. Jsou vydávány každý rok od roku 1998 a jsou zde uvedeny počty zásahů jak jednotek HZS ČR, tak i HZS podniků. Lze je pokládat jako relevantní zdroj, jelikož při havárii s únikem nebezpečných látek zpravidla musí zasahovat jednotky hasičského záchranného sboru. Uvedené hodnoty proto odpovídají reálným haváriím, které se odehrály na území České republiky [26].

Z grafu 3 je patrné, že úniky nebezpečných látek od roku 2008 do roku 2010 klesají. Následující dva roky se jejich četnost moc neměnila a v průměru se pohybuje okolo 5230 zásahů ročně. Od roku 2014 lze vidět poměrně velký nárůst počtu zásahů proti únikům nebezpečných chemických látek. V roce 2018 jich bylo nejvíce a to 7687 zásahů. V grafu je také vyobrazeno zastoupení úniků ropných produktů z celkového počtu úniků nebezpečných chemických látek. Tendence poklesu a růstu zásahů v průběhu let kopíruje celkové úniky a z grafu lze jasně

vidět, že úniky ropných produktů jsou nejčetnější skupinou při haváriích s únikem nebezpečných chemických látek [26-36].



Obrázek 3 - Graf četnost zásahů při úniku nebezpečných chemických látek a ropných produktů [26-36]

2.7 Softwarové nástroje

Existuje velké množství nebezpečných chemických látek, které se každoročně neustále navyšuje. Zvyšuje se také množství jejich úniků, které ohrožují zdraví a životy osob, které se nacházejí v okolí. Proto vznikly řady softwarových nástrojů, které jsou schopny modelovat následky úniku nebezpečných chemických látek do okolí a poskytnout tak mnohdy pro hasiče a záchranáře první zdroje a podklady, pokud k podobné mimořádné události dojde. Softwarové nástroje pro modelování úniků nebezpečných chemických látek mohou sloužit pro zpracovatele bezpečností dokumentace, ale i pro odborníky při vytváření

havarijních plánů a pro celkové zajištění bezpečnosti v chemických průmyslech. Některé programy jsou i volně ke stažení (např. ALOHA) a umožňuje tak občanům, kteří žijí v blízkosti nějakého chemického závodu a aktivně se zajímají o svoji bezpečnost, simulovat následky závažné havárie v jejich okolí [25].

Je však důležité mít na paměti, že jakýkoliv program pro modelování úniku nebezpečných chemických látek nikdy nebude zcela představovat reálnou situaci. Kvalita výstupu záleží na množství a kvalitě vstupních informací. Čím více konkrétních informací k dispozici, tím bude přesnější navrhovaný rozptyl chemické látky v okolí. Pokud však bude potřeba zjistit konkrétní situaci rychle při příjezdu k nějaké závažné havárii a nebude ze začátku tolik dostupných informací, je potřeba brát výsledek programu s rezervou [25].

2.7.1 Popis programu ALOHA

Softwarový program ALOHA (Areal Locations of hazardous Atmospheres) slouží pro modelování úniku nebezpečných chemických látek do okolí. Je poskytovaný zdarma na webových stránkách organizací NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Tento program je navržen pro věrohodné, a hlavně rychlé výsledky modelování úniku nebezpečné chemické látky při reálné situaci. Kalkulace výpočtů po zadání vstupních hodnot je kompromisem mezi přesností a rychlostí zpracování. Program je uživatelsky příjemný a kontroluje správnost zadaných parametrů [27].

Program ALOHA také obsahuje několik integrovaných aplikací. Jedním z nich je program CAMEO, což je chemická databáze, ve které je více než 6000 nebezpečných chemických látek s přesnými fyzikálními parametry, takže uživatel při zadávání není nucen dohledávat data ke konkrétní látce, pokud už je jednou v systému. Program obsahuje specifická data o hořlavosti a výbušnosti

látky nebo postup dekontaminace a výpis ochranných prostředků. Další pomocnou aplikací je MARPLOT, což jsou mapové podklady, do kterých se dají promítnout výsledky z ALOHY především zóny ohrožení. Program ALOHA je určen pro operační systémy MS Windows a MacOS X [27].

Do programu je nutné zadat tři druhy informací [27]:

- informace o látce – uživateli stačí zadat o jakou látku se jedná a program dohledá ve své knihovně a doplní fyzikálně-chemické informace o této látce;
- informace o atmosféře – je nutné zadat směr a rychlost větru, teplotu vzduchu, oblačnost nebo například vlhkost vzduchu, jelikož všechny tyto informace ovlivňují chování uniklé nebezpečné chemické látky;
- informace o zdroji úniku – můžeme zadat čtyři druhy úniku spolu s jejich parametry: Přímý zdroj (pokud známe celkové množství uniklé kapaliny a ta se dále nevypařuje), louže (modelování pro kapalinu, která již dále neuniká), zásobník (únik látky z poškozeného zásobníku, kde se zadává jeho průměr, výška, hmotnost a objem látky, rozměry otvoru, kterým látka uniká a nebo jeho teplotu) a potrubí (pro výpočet je potřebné znát délku a průměr potrubí, teplotu a tlak chemické látky, které se nachází v potrubí).

Program ALOHA používá pro své výpočty dva druhy různých modelů rozptylu. Pro plyny lehčí než vzduch (nebo přibližně stejnou hustotou jako má vzduch) se využívá Gaussův disperzní model. Pro látky těžší, než vzduch se používá model rozptylu těžkého plynu. ALOHA si automaticky vybírá z dostupných informací, který model použije a je potřeba, aby uživatel zkontroloval, zda je vybraný model vhodný pro potřeby jeho modelace. Tento

případ může nastat, pokud unikne látka s nižší molekulární hmotností, než má vzduch, která je však v kryogenním stavu. Bezprostředně po úniku se taková látka může chovat jako těžký plyn a výsledná modelace by nemusela odpovídat skutečnosti [27].

2.7.2 Popis programu TerEx

Softwarový nástroj TerEx je produktem společnosti ISA Tech, s.r.o. ve spolupráci se společností T-Soft, s.r.o., a je určen pro rychlou modelaci následků úniků nebezpečných chemických látek vlivem závažné havárie nebo teroristického útoku. Využití najde pro rychlé zhodnocení situace přímo v místě jednotkami IZS nebo pro analýzu rizik při zpracovávání bezpečnostní dokumentace odborníky [25].

Tento program spadá spíše do jednoduchých modelů pro určení bezpečných zón při závažné havárii. Program totiž poskytne výsledky i v případě, že uživatel zadá málo vstupních informací. Předpověď následků odpovídá nejhorší variantě, kdy dojde k maximálním možným následkům havárie [25].

Základem tohoto programu je seznam havarijních modelů nebezpečných chemických látek a devět základních modelů mimořádných událostí [25]:

- Havarijní modely
 - PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku, únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.
 - JETI FIRE – Déletrvající masivní únik plynu se zahořením.

- PLUME – Déletrvající únik plynu do oblaku (vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku), pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku.
- POOL FIRE – Hoření louže kapaliny nebo vroucí kapaliny.
- BLEVE – Ohrožení nádrže plošným požárem.
- EXPLOSIVE – Nástražný výbušný systém.
- SPREAD – Šíření prachových částic.
- SPREAD EXPLOSIVE – Šíření prachových částic explozí.
- DEGAS – šíření těžkých plynů.

Program TerEx má také návaznost na geografický informační systém, takže umožňuje výsledek modelace zobrazit přímo na mapovém podkladu. Program TerEx využívá Open Street map [25].

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem práce v praktické části diplomové práce je identifikace podlimitních zdrojů rizik na Rakovnicku, provedení jejich analýzy a hodnocení rizik. Pro objekty s vyšší úrovní rizika bude stanovena zóna ohrožení a bude provedena modelace úniku bezpečné chemické látky programem ALOHA a TerEx.

Dne 12. března 2020 bylo vydáno usnesení vlády České republiky č. 194. Vláda v něm vyhlásila Nouzový stav z důvodu ohrožení zdraví v souvislosti s prokázáním výskytu koronaviru na území České republiky. Vzhledem k zavedeným vládním opatřením (krizové opatření vlády č. 201: o zákazu školní docházky na základních, středních i vysokých školách, vzdělávacích a volnočasových aktivit ve školství; krizové opatření vlády č. 211: o zákazu maloobchodního prodeje a služeb), nebylo možné získat dostatečné informace pro věrohodnou modelaci úniku nebezpečné chemické látky pro více objektů. Proto je v diplomové práci hlavní zaměření na zařízení, které vykazovalo nejvyšší riziko z pohledu chemické bezpečnosti, je pro něj zvolen scénář úniku nebezpečné chemické látky a provedena modelace softwarovými nástroji ALOHA a TerEx. Modelaci zóny ohrožení v programu OPIZON nebylo možné provést vzhledem k jeho nefunkčnosti kvůli převodu tohoto programu na server MV-GŘ HZS ČR. Z tohoto důvodu byl zvolen alternativní postup a zóna ohrožení se vypočítala a odečítala z grafu ručně (dle vyhlášky č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního a o jeho struktuře). Pro toto zařízení bude uvedena komparace výsledků modelace úniku a budou pro něj vytvořeny návrhy havarijních karet.

Hypotézy

HYPOTÉZA 1 Závažná havárie spojená s únikem nebezpečné chemické látky bude mít u více než 50 % podlimitních zařízení na Rakovnicku dopad na život a zdraví obyvatel nacházející se v bezprostřední blízkosti objektu.

HYPOTÉZA 2 Výstupy modelací v programech ALOHA, TerEx a OPTIZON budou srovnatelné.

HYPOTÉZA 3 Výsledek modelace v programu ALOHA a TerEx se nebude lišit o více než 20 %.

4 METODIKA

4.1 Sběr dat

Pro zpracování diplomové práce byly využity vědecké metody indukce, dedukce, analýza nebo modelování. V teoretické části se analyzovaly platné právní předpisy, dostupné odborné literatury nebo relevantní internetové zdroje. Po vlastním šetření v katastrálním území Rakovník byly zjištěny informace o vybraných podlimitních objektech, které představují riziko vzhledem k chemické bezpečnosti. V praktické části byly provedeny výpočty úrovně rizika podlimitních objektů dle pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 a byli zde využity softwarové nástroje pro modelaci úniku nebezpečných chemických látek. Pro tuto část byly vybrány dva softwarové programy ALOHA a TerEx, ve kterých byla modelace úniku nebezpečné chemické látky provedena.

4.2 Výpočty úrovně rizik pro podlimitní objekty

Úroveň rizika podlimitní objekty se vypočítal dle analýzy rizik k pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017. Výpočty dílčích koeficientů a tabulky sloužící pro odečtení hodnot jsou popsány více v kapitole 2.3.1. Pro výpočet byly použité vzorce (1) a (2) [9]:

$$R = F \times N \quad (1)$$

$$N = (K_O \times VK_O) + (K_{\text{žP}} \times VK_{\text{žP}}) + (K_E \times VK_E) + (K_S \times VK_S) \quad (2)$$

kde:

- F je frekvence četnosti výskytu daného nebezpečí;
- N je souhrnný dopad nepříznivých účinků dané události nebo jevu;

- K_o je koeficient dopadu na životy a zdraví osob;
- K_{zP} je koeficient dopadu na životní prostředí;
- K_E je koeficient ekonomických dopadů;
- K_s je koeficient společenských dopadů.

Pro výpočet dílčích koeficientů byly použité vzorce [9]:

$$K_o = \frac{K_{o1} + K_{o2}}{2}, \quad (3)$$

$$P_{o_{1/2}} = Q_{o_{1/2}} \times \left(\frac{PO}{X} + PN \times Y + PZ \right), \quad (4)$$

$$P_{o3} = PO + PN * Y + PZ - P_{o1} - P_{o2} + PM, \quad (5)$$

$$K_s = \frac{K_{s1} + K_{s2} + K_{s3}}{3}.$$

(6)

Kde:

- P_{o1} předpokládaný počet smrtelných dopadů;
- P_{o2} je předpokládaný počet ohrožených osob;
- P_{o3} je počet omezených osob;
- $Q_{1/2}$ je koeficient zmírnění následků (Q_1 se odečte dle tabulky č. X a Q_2 má jedinečnou hodnotu 0,163);

- **PO** je rovnu počtu osob trvale žijících v ohroženém území a počtu osob ve významných objektech (školy, sociální a zdravotní zařízení, sportoviště aj.);
- **X** je koeficient s hodnotou 6 (vyjadřuje rozptyl nebezpečné látky ve výšce o úhlu 60°);
- **PN** je maximální kapacita objektu pro návštěvníky;
- **Y** je koeficient vyjadřující pravděpodobnost dosažení maximální kapacity návštěvníků v objektu a typ technologie chlazení v případě zimních stadionů (viz tabulka č. X);
- **PZ** je počet zaměstnanců běžně přítomných v objektu.

4.3 Modelování

V rámci diplomové práce byly využity pro modelování úniku nebezpečných chemických látek z objektu dva programy: ALOHA a TerEx. Modelování se využívá k rychlé predikci vývoje havárie, především určení chování a směru šíření uniklé látky. Podle modelového scénáře jsou provedena nezbytná ochranná opatření, aby se na co nejmenší míru snížily následky závažné havárie. Všechny programy pracují na základě matematicko-fyzikálních výpočtů, které vždy budou mít jistou míru nepřesnosti s ohledem na data, která programům poskytneme. Samozřejmě platí, že čím více je zadaných vstupních parametrů, tím přesnější je výsledná modelace úniku nebezpečné chemické látky. Důležité vstupní parametry, které je nutné zadat, se týkají konkrétní látky, která uniká, působení meteorologických vlivů nebo popis zařízení, ze které látka uniká.

4.4 Postup modelace v programu ALOHA

4.4.1 Stanovení vstupních parametrů

Jak je uvedené výše, pro dosažení největší přesnosti při modelaci úniku nebezpečné chemické látky ze zařízení je potřeba mít maximální možný počet reálných vstupních parametrů. Pro program ALOHA se nejprve musely zadat hodnoty ve složce „SiteData“, kde byly určeny parametry umístění zdroje úniku, typ budovy a jejího okolí, konkrétní datum a přesný čas. Dále se v kategorii „SetUp“ zadala konkrétní chemická látka, pro kterou se modelaci bude vytvářet, atmosférické a meteorologické údaje, a nakonec údaje o zdroji úniku.

Stanovení parametrů SiteData

Konkrétní umístění objektu není pro modelaci stěžejní a povinné zadat, aby samotná modelace proběhla. Pro stanovení GPS souřadnic, pro které se modelace prováděla, byl zvolen server mapy.cz. I pokud (vzhledem k většímu množství objektů v areálu) by zde byly malé odchylky v GPS souřadnicích, na konečný výsledek modelace nemají velký vliv. Dále se zde musel stanovit typ budovy, ve které se nebezpečná chemická látka skladuje. Jelikož se zde amoniak skladuje ve strojovnách, které jsou povětšinou v přízemí, byla zvolena varianta „Single storied building“ (jednopodlažní budova). Oba objekty se nachází prakticky v centru města a v okolí se nachází bytové jednotky, proto v kategorii druhu okolí byla zadána varianta „Sheltered“. Pro zpřesnění metodiky byla provedena analýza počasí za posledních 30 let a bylo vybráno vhodné roční období. Dle toho bylo zvoleno konkrétní datum.

Stanovení parametrů SetUp

Pro výběr chemické látky, pro kterou bude modelace prováděna, se musela zadat položka „Chemical“, označila se v souhrnném seznamu a potvrdilo se

označení vybrané chemické látky pomocí tlačítka „Select“. Protože program ALOHA má v sobě zabudovanou vlastní knihovnu nebezpečných chemických látek, ostatní informace (jako je molekulární hmotnost, bod tání, bod varu, parametr IDLH a další) se automaticky doplnily a nemusely se tudíž nijak dohledávat a zadávat zvlášť.

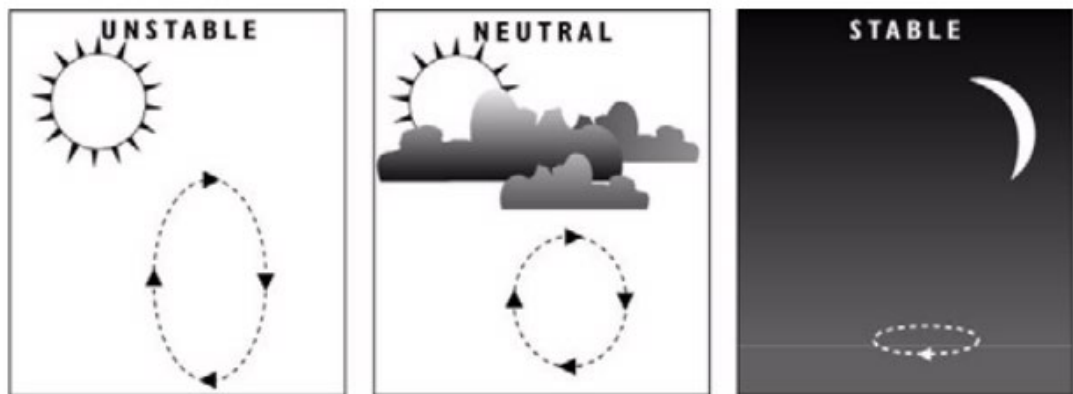
Kategorie „Atmospheric“, kde se zadávají vstupní hodnoty pro meteorologické a atmosférické podmínky, je velmi důležitá pro výslednou přesnost samotné modelace úniku nebezpečné chemické látky z objektu. V České republice se střídají čtyři roční období, ve kterých se průměrné meteorologické údaje jako je teplota nebo srážky výrazně liší. Obecně lze říci, že v zimě, kdy je teplota výrazně nižší, dochází ke snižování rychlosti odparu kapaliny. Naopak je tomu v letních měsících, kdy jsou teploty vyšší a převažuje slabý vítr. [38]

Pro zpřesnění metodiky byl využit portál meteoblue.cz, kde se shromažďují meteorologické údaje za dobu 30 let. Byla zde provedena analýza průměrné teploty, srážek, oblačnosti, rychlosti a směru větru, aby zvolený scénář úniku odpovídal co nejreálnější závažné havárii s nejhorším možným dopadem.

Dalším velmi zásadní kategorií, která má velký vliv na rozptyl nebezpečné chemické látky v atmosféře, je stabilita atmosféry. Je definováno celkem šest Pasquillových tříd atmosférické stability (A až F). Jednotlivé kategorie se rozdělují dle toho, jak moc je daná atmosféra turbulentní, a to je závislé na množství slunečního záření a rychlosti větru. Jak lze pozorovat na obrázku č. 4, pokud sluneční záření zahřívá vzduch v blízkosti země, způsobuje to jeho vzestup a vznikají vzdušné víry. Atmosféra je považována za nestabilní a do této třídy patří atmosférické stability A a B. Pokud je sluneční záření menší anebo zmizí úplně, vzduch nízko u země nemá tendenci stoupat vzhůru a nedochází tedy k takovým turbulencím. V takových případech je atmosféra považována

jako stabilní, vítr je mírný a popisují ji třídy stability E a F. Neutrální třída stability C a D jsou typické pro relativně větší rychlost větru a zároveň mírné sluneční záření. [38]

Pro určení třídy stability byl využit dokument, který publikovala americká agentura pro ochranu životního prostředí [40], která poskytuje návod, jak provádět analýzu dopadů. Uvádí, že nejčastějšími reálnými scénáři, které mohou nastat, jsou takzvané alternativní úniky, při jejichž modelování se musí počítat s třídou stability D.



Obrázek 4 - Efekt slunečního záření na atmosférickou stabilitu [38]

Zadání parametrů Source information

V programu ALOHA je možnost si zvolit ze čtyř možností zdroje úniku:

- „Direct“ – tento typ zdroje úniku je vhodné použít, pokud je známo celkové množství uniklé nebezpečné chemické látky, zda je únik jednorázový nebo kontinuální a jaká je výška zdroje nad zemí;

- **„Puddle“** – tento modul lze využít pro modelování vypařování rozlité kapaliny z louže, kdy se celkové množství rozlité kapaliny již nemění. Při výpočtu je zadána plocha rozlité kapaliny, typ a teplota podkladu;
- **„Gas pipeline“** – při zvolení této kategorie počítáme s rozptylem plynu unikajícího z potrubí a nelze využít pro kapaliny. Pro výpočet je nutné upřesnit průměr, délku potrubí a jestli je potrubí napojené na zásobník;
- **„Tank“** – tato volba je vhodná pro modelaci úniku látky z poškozeného zásobníku a následnému vypařování do ovzduší. Při výpočtu se musí zadat parametry zásobníku a jeho prostorová orientace.

Předmětem diplomové práce je modelace pravděpodobného scénáře úniku látky, který by mohl nastat. Jak se uvádí v dokumentu publikovaný americkou agenturou pro ochranu životního prostředí, alternativní (malé) úniky jsou mnohem pravděpodobnější než náhlý únik celkového množství skladované látky. Nejčastěji se může jednat o úniky z přepouštěcích hadic v důsledku trhlin nebo náhlého rozpojení hadic, úniky z technologického potrubí v důsledku porušení spojů, svárů ventilů nebo výpustí, úniky z technologických nádob nebo čerpadel vlivem mikrotrhlin a koroze a jako poslední lze uvést například špatnou manipulaci s nádobami (jejich přeplnění, nedodržení povoleného tlaku) a tím únik přes pojistné membrány.

Dle agentury EPA je u mnoha scénářů důvodem šíření malý otvor o průměru 0,635 cm (1/4 palce), kde se nebezpečná chemická látka (amoniak) uvolňuje za podmínek vysokotlakého sběrače kapalného chladiwa. Pak dle vypočtení hodnoty přes Bernoulliho rovnici je intenzita výronu 45 kg/min. Proto byl zvolen přímý únik látky, a zadána kategorie „Direct“ a byly doplněny informace dle tohoto dokumentu. Další potřebné parametry byly poskytnuty příslušníky HZS Rakovník nebo zaměstnanci Tradičního pivovaru Bakalář.

Pro správnou modelaci úniku nebezpečné chemické látky je ještě nutné upřesnit, podle jakého modelu má program ALOHA zadaná vstupní hodnoty zpracovávat. Na výběr může být Gaussův model, model těžkého plynu anebo můžeme nechat toto rozhodnutí na programu ALOHA, která zvolí dle vlastností zadané látky, jaký model bude nejvhodnější.

4.4.2 Stanovení výpočtu zón

Pro grafické znázornění úniku NCHL program ALOHA nabízí volbu ze tří možností. Dosahu přízemní koncentrace (Thread Zone), změnu koncentrace látky v daném bodu a čase (Thread at Point) anebo rychlost úniku nebezpečné chemické látky ze zásobníku (Source Strength – Release Rate). Jelikož se diplomová práce bude zabývat především dosahem amoniaku v přízemních koncentracích, byla zvolena první varianta. V této kategorii je pak vybrána možnost pro grafické znázornění oblasti, která je zamořená nebezpečnými koncentracemi nebezpečné chemické látky. Pro vyhodnocení a vizualizaci výsledků byl využit GIS Marplot.

4.4.3 Vyhodnocení modelací při různých koncentracích

Jako nebezpečná chemická látka byl pro diplomovou práci vybrán amoniak, protože se nachází v objektech, u kterých je největší úroveň rizika při vzniku závažné havárie. V tabulce číslo 10 jsou vidět jednotlivé hodnoty koncentrací pro amoniak, se kterými bude provedena modelace pomocí softwarových nástrojů.

Tabulka 10 - Varianty koncentrací amoniaku pro modelaci v softwarovém programu ALOHA

Možnosti	Koncentrace	Rozdělení	Hodnota koncentrace
1	Acute Exposure Guideline Levels	AEGL-3	1100 ppm
		AEGL-2	160-1100 ppm
		AEGL-1	30-160 ppm
2	Koncentrace dle výstupu v programu TerEx	IDLH	300 ppm (225 mg/m ³)
		Ohrožení osob	279 ppm (209 mg/m ³)
		Doporučený průzkum	92 ppm (69 mg/m ³)
3	Havarijní přípustná koncentrace	HPK-10	1500 ppm
		HPK-60	500 ppm
		IDLH	300 ppm
4	Havarijní akční úroveň	HAU-20	500 ppm
		IDLH	300 ppm
		HAU-120	200 ppm

Koncentrace AEGL

Hodnota AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) popisuje míru rizika nebezpečné chemické látky na osoby po určitou dobu expozice.

1. **AEGL-3** znázorňuje graficky oblast, kde úroveň koncentrace nebezpečné chemické látky dosahuje hodnot 1100 ppm a více a kde, při působení látky po dobu 60 minut, může dojít k ohrožení života nebo smrti osob.
2. **AEGL-2** znázorňuje oblast, kde se koncentrace nebezpečné chemické látky pohybuje v rozmezí 160–1100 ppm a kde při působení po dobu 60 minut může dojít k trvalému poškození zdraví (omrznutí).
3. **AEGL-1** vytyčuje oblast, kde se úroveň koncentrace látky nachází v rozmezí 30-160 ppm a kde (při působení po dobu 60minut) může dojít k podráždění očí, dýchacích cest a kůže. Následky jsou však jen přechodné a vratné, pokud se přeruší působení amoniaku na osobu.

Koncentrace zvolená dle výsledků programu TerEx

Aby bylo možné modelaci úniku amoniaku z pivovaru v programu ALOHA srovnat s programem TerEx, bylo zapotřebí upravit hodnoty koncentrace amoniaku na stejné hodnoty. V programu ALOHA, kde je možnost si navolit vlastní hodnoty koncentrace látky byly zadány parametry, které vyšly po modelaci úniku amoniaku v programu TerEx.

1. **Ohrožení osob toxickou látkou.**
2. **Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku.**

Koncentrace IDLH

1. **IDLH** (Immediately Dangerous to Life and Health) – Jedná se o koncentraci nebezpečné látky v ovzduší, které může být zdravý pracovník vystaven po dobu až 30 minut bez trvalých následků na svém zdraví.

Koncentrace HPK

Pro diplomovou práci byla dále vybrána koncentrace amoniaku dle řádu chemické služby pro havarijní přípustnou koncentraci.

1. **HPK-10** – jde o limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky ve vzduchu, které se mohou záchranáři vystavit při záchraně osob bez prostředků individuální ochrany po dobu deseti minut.
2. **HPK-60** - jedná se limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky ve vzduchu, které se mohou záchranáři vystavit při záchraně osob bez prostředků individuální ochrany po dobu šedesáti minut.

Koncentrace HAU

Dle řádu chemické služby byla vybrána havarijní akční úroveň (HAU-20, HAU-120).

1. **HAU-20** je limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky v ovzduší, při které je nutné vyvést osoby ze zamořeného prostoru do 20 min od zahájené inhalace.
2. **HAU-120** je limitní koncentrace plynu, páry nebo aerosolu látky v ovzduší, při které je nutné vyvést osoby ze zamořeného prostoru do 120 min od zahájené inhalace.

4.5 Postup modelace v programu TerEX

Pro modelaci v softwarovém programu TerEx byl nejprve v kategorii menu jako nebezpečná chemická látka zvolen amoniak. Pro modelaci byl využit jako druh havárie model PUFF, což je jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.

Do softwarového programu byla potřeba zadat také další parametry, které zpřesní výpočet zvoleného scénáře úniku nebezpečné chemické látky. Bylo zadáno celkové uniklé množství chemické látky a teplota látky v zařízení. Další parametry, které je nutné doplnit, jsou meteorologické údaje. Jedná se o rychlost a směr větru v přízemní vrstvě, oblačnost nebo charakterizování ročního období. Byla zde také zadána doba vzniku havárie a typ povrchu ve směru šíření látky. Veškeré údaje byly zadávány podobně jako v programu ALOHA, aby byla možná komparace.

Po zadání veškerých potřebných parametrů bylo možné provést výpočet, kde program TerEx nabídl dva základní výstupy. V textovém výstupu byly vidět

vstupní data, která byla pro modelaci úniku použita a vedle byl výsledek výpočtu. Zde je možné vidět, do jaké vzdálenosti (a s jakou koncentrací amoniaku) je ohrožení osob toxickou látkou, a dále do jaké vzdálenosti je doporučený průzkum toxické koncentrace od místa úniku. Koncentrace byla uvedena v jednotkách mg/m^3 .

V grafickém znázornění umožňuje program TerEx určit vzdálenost, kde jsou osoby ohrožené toxickou látkou a je zde vhodné provést varování a následnou evakuaci.

Program TerEx umožňuje výstupní data zakreslit do mapových podkladů (Open Street maps), kde je potřeba zadat místo, odkud nebezpečná chemická látka uniká.

5 VÝSLEDKY

5.1 Charakteristika Rakovnicka

Oblast Rakovnicka se nachází v západní části středočeského kraje. Od roku 2003 má Rakovník status obce s rozšířenou působností, ale jeho správní obvod je stejný jako pro okres Rakovník. Rozloha správního obvodu je 896 km², takže se řadí mezi páté největší ve Středočeském kraji. Oproti tomu má však v rámci kraje nejméně obyvatel na plochu. Okres Rakovník má 55 565 obyvatel, což je 62 obyvatel na km². Ve správních obvodu ORP Rakovník se nachází tři města (Rakovník, Nové Strašecí a Jesenice) a šest městysů (Pavlíkov, Senomaty, Slabce, Kněževes, Mšec a Křivoklát) [44].

Geografická charakteristika ORP Rakovník má převážně nížinný charakter s dobrou terénní prostupností, vyskytují se zde ale i zvlněné plošiny a pahorkatiny, které nepřesahují 600 metrů nadmořské výšky. Na severu se nachází Rakovnická pahorkatina a plošina Džbán, na jihu poté Plaská pahorkatina a Křivoklátská vrchovina. V Křivoklátské vrchovině protéká údolím řeka Berounka a vytváří strmé, skalnaté svahy. Také se zde nachází chráněná krajinná oblast Křivoklátsko. ORP Rakovník leží v povodí Berounky. Protékají jím řeka Berounka a poté několik potoků (Rakovnický a Lišanský), které v období povodní způsobují lokální povodně. V roce 2002 a 2013 zde došlo i k rozsáhlým povodním, které ohrožovaly obyvatele v blízkosti toků na celém území správního obvodu ORP Rakovník [44].

Město Rakovník je v České republice známý svým keramickým a chemickým průmyslem. Nachází se zde velká továrna pro chemickou výrobu mycích, čistících a avivážních prostředků Procter & Gamble – Rakona s.r.o., která zde působí již od roku 1875. V roce 1833 vznikl první keramický závod značky RAKO, který dnes vlastní společnost LASSELSBERGER, s.r.o. Také je v okolí řada

bývalých dolů na černé uhlí, které se využívaly pro těžbu od roku 1755. Těžba černého uhlí již dále neprobíhá a je ukončena, ale v okolí města Rakovník je stále aktivní těžba lupku, i když pouze v omezeném rozsahu. Na polích v okolí města Rakovník lze hojně vidět chmel, který tu má díky kvalitní půdě dlouholetou tradici, pole s obilím, bramborami, řepkou nebo technickým konopím [44].

Ohledně silniční a železniční dopravy má ORP Rakovník několik významných uzlů. Okres protíná rychlostní silnice R/6 – brzy modernizováno (plánované dokončení v roce 2021) a napojena na D6, která pokračuje dále směrem na Karlovy Vary. Nachází se zde významná železniční trať, která vede z Rakovníka přes Kladno do Prahy a dále trať vedoucí na Beroun [44].

5.2 Analýza zdrojů podlimitních zařízení na Rakovnicku

Na území, které se nachází v okolí města Rakovník, a spadá pod pravomoci hasičského záchranného sboru v Rakovníku, se nachází mnoho podniků a zařízení, které ve svých provozech pracují s nebezpečnými chemickými látkami nebo je mají uskladněné. Podnikům, které dle zákona 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi, ve znění pozdějších předpisů, spadají do kategorie nezařazené objekty, vyplývá povinnost pouze zpracovat protokol o nezařazení, který předá krajskému úřadu. Tyto podniky dříve neměly povinnost zpracovávat havarijní nebo bezpečnostní dokumentaci, i přesto, že NCHL mají v malém množství a pokud by došlo k jejich úniku, mohly by mít dopad na zdraví osob, které se v okolí nachází. Většina těchto zařízení se nachází v blízkosti bytových jednotek v centru města. Pro tyto objekty vydalo generální ředitelství HZS ČR pokyn ze dne 14. září 2017, který stanovuje minimální požadavky na posuzování rizika závažné havárie a zpracování dokumentace pro stanovenou

zónu ohrožení u objektů s podlimitním množstvím NCHL. Dle pokynu se určí, zda úroveň rizika vybraného podlimitního zdroje rizika je dostatečná pro zpracování havarijní karty.

Na Rakovnicku bylo evidováno 7 podlimitních zdrojů rizika, u kterých byla vypočítána úroveň rizika (viz tabulka č. 11). Z důvodu vyšší úrovně rizika z pohledu chemické bezpečnosti v případě úniku NCHL, byly důkladněji zkoumány pivovary v Rakovníku a Krušovicích.

Tabulka 11 - Hlavní podlimitní zdroje rizika na Rakovnicku

Obec	Objekt	Látka	Množství tuny (t)
Rakovník	Tradiční pivovar v Rakovníku, a.s.	Amoniak	1,5
Krušovice	Heineken ČR, a.s., pivovar Krušovice	Amoniak	7,5
Rakovník	Klíčavská přehrada – Středočeské vodovody, a.s. Dálkovod, výroba vody	Chlor	0,7
Krupá	Čerpací stanice MEKA ITALY	LPG	10,48
Rakovník	Čerpací stanice Robil OIL, s.r.o.	LPG	2,5
Kněžves	Čerpací stanice PRIMAGAS, s.r.o.	LPG	2,62
Rakovník	Čerpací stanice UNIPETROL RPA, s.r.o.	LPG	2,62

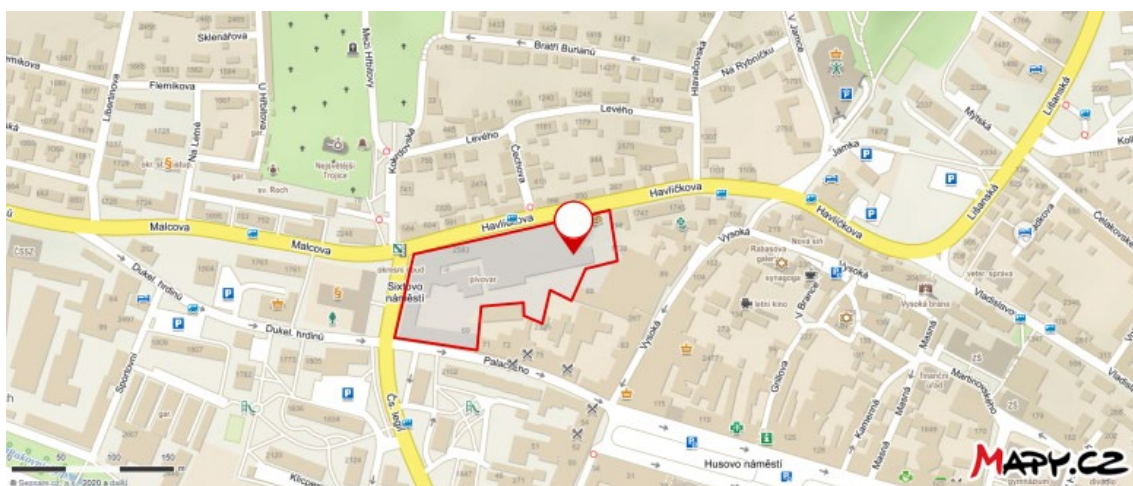
5.2.1 Tradiční pivovar v Rakovníku, a.s.

Tradiční pivovar v Rakovníku a.s., nazýván také pivovar Bakalář, provozuje svoji činnost již od roku 1436. Celý komplex se nachází v bývalých kasárnách, kde sídlí dodnes. V historii pivovaru byl několikrát změněn vlastník a byly provedeny různé přestavby a modernizace. V roce 2010 koupila pivovar nadnárodní společnost obchodníků s pivem a proběhla velká modernizace pivovaru, díky které po prvním roku vlastnictví stoupl export piva o více než 300 %. Díky zvýšenému množství piva však také došlo ke zvýšení množství

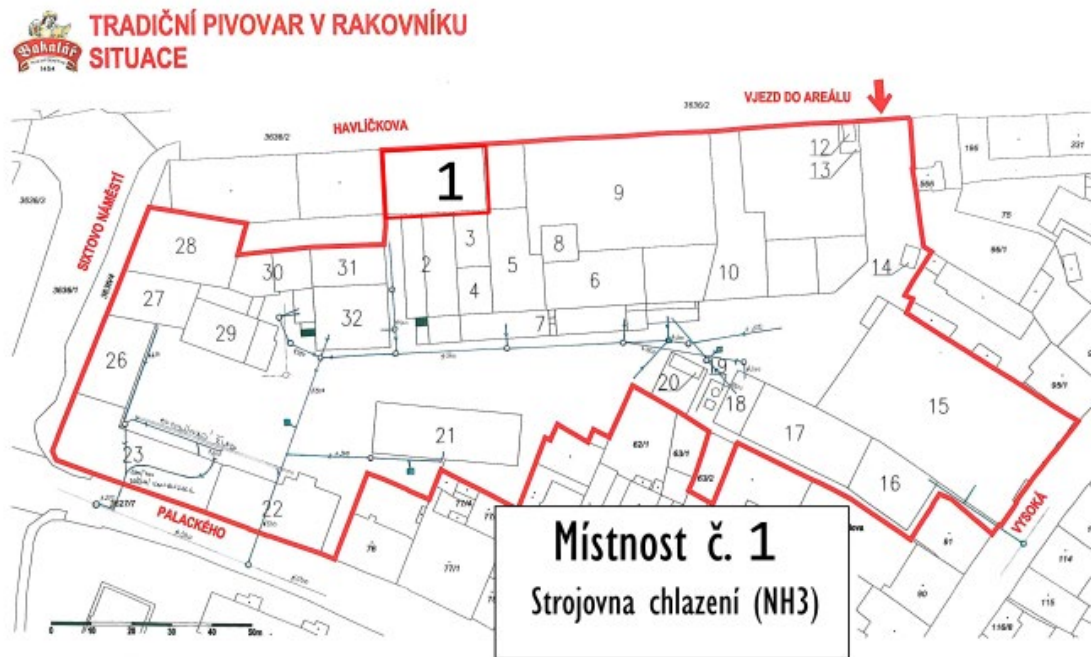
skladovaného amoniaku, který spadá pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí [44].

Areál pivovaru se nachází v blízkosti centra města Rakovník nedaleko hlavního náměstí Na obrázku č. 5 je názorně vidět, že severní část komplexu pivovaru kopíruje frekventovanou silnici II/229 (Havlíčková). Z druhé strany této silnice se nacházejí bytové komplexy a rodinné domy. Východní strana pivovaru leží kousek od Husova náměstí a v těsné blízkosti se nacházejí obchody a domy. V jižní části, v ulici Palackého, můžeme najít několik obchodů, ale také restaurací, kde se může vyskytovat vyšší množství lidí. Naproti přes tuto ulici jsou pak panelové domy a dětské hřiště. Na západní straně pivovaru se pak nachází okresní soud.

Obrázek číslo 6 ukazuje mapu objektu s vyznačenými jednotlivými budovami a popisem jejich využití. Klíčová je budova označená číslem 1, která se nachází v severní části areálu a sousedí s Havlíčkovou ulicí, a kde se nachází veškerý skladovaný amoniak. Jedná se o 1,5 tuny zkapalněného amoniaku, který je uskladněn v zásobnících.



Obrázek 5 - Mapa areálu pivovaru Bakalář [mapy.cz]



Obrázek 6 - Mapa objektu s vyznačenými místnostmi [44]

Po konzultaci s vedením havarijní komise podniku bylo zjištěno (viz tabulka č. 12), že průměrný počet osob nacházejících se v areálu je 260, maximální počet návštěvníků, kteří se mohou nacházet v době závažné havárie v objektu je 10 osob a počet zaměstnanců běžně přítomných v zařízení je 50 osob. Odhad rozsahu škod je dle pokynu stanoven na přibližně pět až deset milionů. Pro frekvence možného vzniku mimořádné události byl zvolen parametr provozovatele nakládající s nebezpečnými chemickými látkami v průmyslových areálech, kterému je přiřazena hodnota 5.

Tabulka 12 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro tradiční pivovar Bakalář

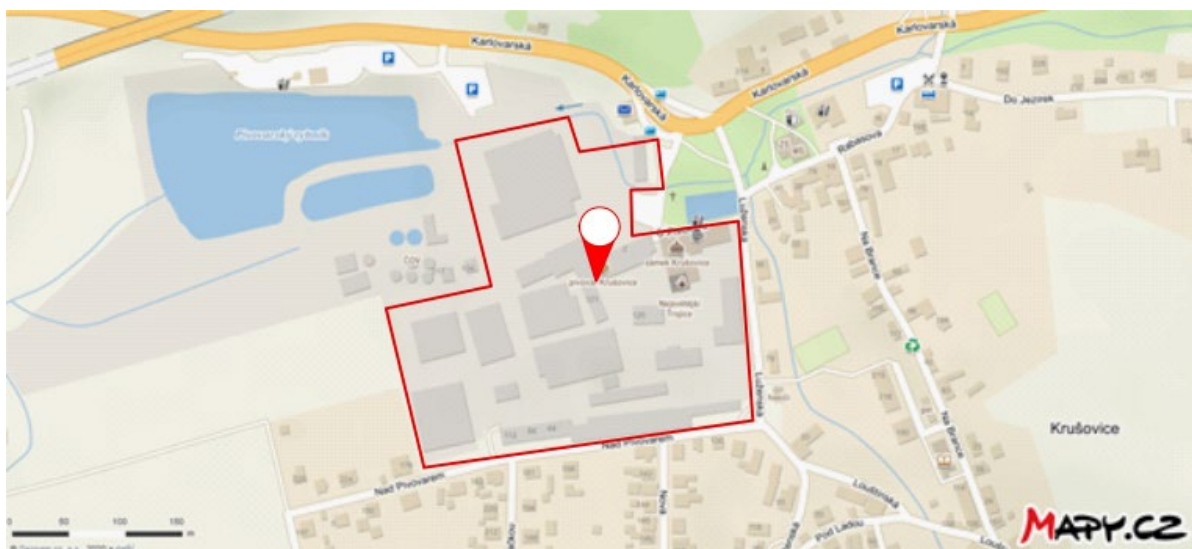
Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka	UN kód 1005	Amoniak
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	<i>m</i> (t)	1,5
Typ chlazení zimního stadionu	<i>Y</i>	Netýká se
Počet osob	<i>PO</i> (osob)	260
Počet návštěvníků	<i>PN</i> (osob)	10
Počet zaměstnanců	<i>PZ</i> (osob)	50
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5-10
Počet dočasně omezených	<i>PM</i> (osob)	200
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	<i>F</i>	5

5.2.2 Heineken ČR, a.s. pivovar Krušovice

Město Krušovice se nachází přibližně 13 km od města Rakovník. Pivovar Heineken ČR, a.s. zaujímá místo zhruba ve středu obce. Ve výrobě pro účely chlazení výrobního produktu využívá amoniak, kterého má celkem 7 tun. V areálu provozuje dva zásobníky o kapacitě 3,5 tuny, ve kterých je samotný amoniak skladován.

Z obrázku č. 7 lze vidět, že v severní části podniku kopíruje areál velmi frekventovaná rychlostní silnice R/6, která spojuje Prahu a Karlovy Vary. V blízkosti se nacházejí dvě autobusové zastávky města Krušovice. Východní stranu kopíruje ulice Luženská, za kterou se v blízkosti karlovarské silnice nachází základní a mateřská škola Krušovice, obecní úřad, a obchod. Ve

východojižní části je pak objekt obestavěn bytovou zástavbou s povětšinou rodinnými domy.



Obrázek 7 - Mapa pivovaru Heineken a.s. (královský pivovar Krušovice) [mapy.cz]

Pro výpočet úrovně rizika dle pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 bylo zjištěno (viz tabulka č. 13), že počet osob (PO), které trvale žijí v ohroženém území nebo osoby, které jsou dočasně přítomné ve významných objektech (školy, sociální a zdravotnická zařízení aj.), je celkem 90 lidí. Počet návštěvníků (PN) je 100 osob. Zde je uvažována nejvyšší možná návštěvní kapacita objektu, při které dojde k havárii. Počet zaměstnanců (PZ) běžně přítomných v objektu je 60 osob. Přímé škody a náklady provozovatele byly dle pokynu odhadnuty na 5-10 mil. Kč. Osoby, které jsou dočasně omezeny z důvodu výpadku služeb a dopravní nedostupnosti, je $PM = 80$ lidí. Četnost vzniku nebezpečí za časové období je jednou za více desetiletí. Vzhledem k tomu, že se jedná o provozovatele nakládající s toxickými látkami mimo průmyslové areály byla pro tento objekt přiřazena dle pokynu hodnota $F = 5$.

Tabulka 13 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro pivovar Krušovice

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka (-)	UN kód 1005	Amoniak
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	<i>m</i> (t)	7,5
Typ chlazení zimního stadionu	<i>Y</i>	Netýká se
Počet osob	<i>PO</i> (osob)	90
Počet návštěvníků	<i>PN</i> (osob)	100
Počet zaměstnanců	<i>PZ</i> (osob)	60
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5-10
Počet dočasně omezených	<i>PM</i> (osob)	80
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	<i>F</i>	5

5.2.3 Klíčavská přehrada – Středočeské vodovody a.s. Dálkovod, výroba vody

Klíčavská přehrada byla vybudována v letech 1948 až 1955 pro zásobování města Kladna a jeho okolí pitnou vodou. Nachází se nedaleko Křivoklátu a její zatopená plocha je 71,4 hektaru. Pár metrů pod hrází se nachází úpravna vody, která byla zprovozněna v roce 1952.

V okolí úpravny vod se nachází velmi málo objektů, které by byly, v případě závažné havárie, ohroženy. Pro zjištění úrovně rizika slouží tabulka č. 14, která popisuje položky nutné pro výpočet analýzy rizik.

Tabulka 14 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro úpravnu vod Středočeské vodovody a.s.

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka (-)	UN 1017	Chlor
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	m (t)	0,7
Typ chlazení zimního stadionu	Y	Netýká se
Počet osob	PO (osob)	6
Počet návštěvníků	PN (osob)	0
Počet zaměstnanců	PZ (osob)	16
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5 až 10
Počet dočasně omezených	PM (osob)	20
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F	6

5.2.4 Čerpací stanice MEKA ITALY

Čerpací stanice LPG firmy MEKA ITALY se nachází na okraji obce Krupá na trase Karlovarské silnice. Čerpá se zde propan-butan od rafinérské společnosti Kralupy. Díky umístění čerpací stanice na okraji obce by nedošlo k výraznému ohrožení obyvatel. V blízkosti zařízení se nachází parkoviště Na Šustně a motorest spolu s restaurací. V tabulce č. 15 jsou vypsané data pro analýzu rizik.

Tabulka 15 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro MEKA ITALY (Krupá)

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka (-)	UN kód 1965	LPG
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	m (t)	10,48
Typ chlazení zimního stadionu	Y	Netýká se
Počet osob	PO (osob)	27
Počet návštěvníků	PN (osob)	33
Počet zaměstnanců	PZ (osob)	20
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5 až 10
Počet dočasně omezených	PM (osob)	10
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F	4

5.2.5 Čerpací stanice Robin OIL, s.r.o.

Firma Robin OIL s.r.o. patří mezi devět největších prodejců pohonných hmot v České republice. Čerpací stanice se nachází na okraji města Rakovník u výpadové silnice směrem na Prahu. V nejbližším okolí se nachází vlaková a autobusová zastávka. Kromě pár bytových objektů nemá tento objekt velký potenciál k ohrožení životů a zdraví osob v okolí v případě závažné havárie. Největším ohrožením by tudíž byli hlavně návštěvníci čerpací stanice.

Tabulka 16 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro čerpací stanici Robin OIL, s.r.o.

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka (-)	UN kód 1965	LPG
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	m (t)	2,5
Typ chlazení zimního stadionu	Y	Netýká se
Počet osob	PO (osob)	0
Počet návštěvníků	PN (osob)	15
Počet zaměstnanců	PZ (osob)	2
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5 až 10
Počet dočasně omezených	PM (osob)	200
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F	4

5.2.6 Čerpací stanice PRIMAGAS, s.r.o.

Firma Primagas, s.r.o. patří k velkým společnostem na trhu LPG. Vlastní své skladovací zařízení a disponuje největší přepravní kapacitou pro dodávky zkapalněných plynů. Čerpací stanice této společnosti se nachází v blízkosti průmyslové zóny Kladno-východ. V tabulce č. 18 je vidět, že v okolí se nachází minimální počet lidí, kteří by byli v případě úniku v ohrožení.

Tabulka 17 - Údaje pro výpočet úrovně rizika PRIMAGAS, s.r.o.

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka (-)	UN kód 1965	LPG
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	m (t)	2,62
Typ chlazení zimního stadionu	Y	Netýká se
Počet osob	PO (osob)	0
Počet návštěvníků	PN (osob)	4
Počet zaměstnanců	PZ (osob)	2
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5 až 10
Počet dočasně omezených	PM (osob)	10
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F	4

5.2.7 Čerpací stanice UNIPETROL RPA, s.r.o.

Značka skupiny UNIPETROL RPA, s.r.o. je mimo jiné i Benzina. Kromě klasických pohonných hmot nabízí čerpací stanice i zkapalněný LPG. Objekt se nachází na kraji města Rakovník, a proto by byli ohroženi pouze zaměstnanci, kteří budou mít směnu anebo návštěvníci tankující pohonné hmoty. Veškeré údaje jsou uvedeny v tabulce č. 18.

Tabulka 18 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro čerpací stanici UNIPETROL RPA, s.r.o.

Položka	Označení	Hodnota
Nebezpečná látka	UN kód 1965	LPG
Maximální množství nebezpečné látky v zařízení	m (t)	2,62
Typ chlazení zimního stadionu	Y	Netýká se
Počet osob	PO (osob)	0
Počet návštěvníků	PN (osob)	10
Počet zaměstnanců	PZ (osob)	2
Předpokládaný rozsah škod	(mil.)	5 až 10
Počet dočasně omezených	PM (osob)	10
Četnost vzniku nebezpečí za časové období	F	4

5.3 Analýza rizik podlimitních zařízení na Rakovnicku

Pro podlimitní objekty, které představují významné riziko při vzniku závažné havárie, byla provedena analýza rizik, která zohledňuje pravděpodobnost vzniku mimořádné události spolu s jejími možnými dopady. Výsledkem bylo určení úrovně rizika, který slouží v hodnocení rizik jako ukazatel, zda se pro tento objekt bude zpracovávat havarijní karta. Objekty se dle úrovně rizika dělí na tři kategorie: [9]

1. Podlimitní objekty s nízkým rizikem (zelená). Úroveň rizika se pohybuje mezi hodnotami 0 a 10. V této kategorii nejsou přijímána mimořádná opatření a havarijní karta se pro tyto objekty zpracovávat nemusí.

- Podlimitní objekty se zvýšeným rizikem (žlutá). Úroveň rizika se pohybuje mezi hodnotami 10 a 15. V tomto případě je zpracování havarijní karty na uvážení HZS kraje.
- Podlimitní objekt s významným rizikem (červená). Úroveň rizika se je rovno 15 a výše. Pro tyto objekty se havarijní karta zpracovává vždy.

Tabulka 19 - Úroveň rizika pro jednotlivé podlimitní objekty

Název podlimitního objektu	Frekvence F	Dílčí koeficienty									Následky N				Úroveň rizika R
		P_{O_1}	P_{O_2}	P_{O_3}	K_{O_1}	K_{O_2}	K_{S_1}	K_{S_2}	K_{S_3}	K_O	K_S	K_E	$K_{\Sigma P}$		
Pivovar Bakalář a.s.	5	1	17	502	0	5	3	2	2	2,5	3,5	4	2	14,5	
Heineken ČR, a.s.	5	1	29	300	1	3	2	2	2	2	2	4	2	12	
Středočeské vodovody, a.s.	6	0	3	39	0	1	1	2	2	0,5	1,67	4	2	10,4	
Čerpací stanice MEKA ITALY	4	1	9	80	1	1	1	2	2	1	1,67	4	2	7,7	
Čerpací stanice Robin OIL, s.r.o.	4	0	3	214	0	1	2	2	2	0,5	2	4	2	7,2	
Čerpací stanice PRIMAGAS, s.r.o.	4	0	1	15	0	1	1	2	2	0,5	1,67	4	2	6,9	
Čerpací stanice UNIPETROL RPA, s.r.o.	4	0	2	20	0	1	1	2	2	0,5	1,67	4	2	6,9	

5.3.1 Vyhodnocení analýzy

V rámci analýzy rizik byly vyhodnoceno sedm podlimitních objektů, které spadají pod pokyn GRH HZS ČR č. 35/2017 (viz tabulka č. 19). Tři objekty spadají mezi zdroje rizika se zvýšenou úrovní rizika (označené žlutě) a čtyři objekty

spadají do kategorie podlimitních objektů s nízkým rizikem (označené zeleně). Nízkou úroveň rizika mají především čerpací stanice využívající LPG. Důvodem nízkého rizika může být malý počet zaměstnanců potřebných pro řízení podniku nebo lokace objektu, která ve většině případů bývá na okrajích měst. Do zvýšené úrovně rizika spadá zařízení Klíčavská přehrada – Středočeské vodovody a.s., Dálkovod. Důvodem může být především frekvence vzniku havárie, která je vyšší kvůli tomu, že objekt nakládá s NCHL v průmyslových areálech, ve kterých sídlí více společností. Vyšší úroveň rizika byla vypočtena pro pivovary Bakalář a Heineken. To může být dáno díky tomu, že oba pivovary se nacházejí v blízkosti centra města a jsou obestavěné bytovými zástavbami. Také mají v obou případech větší počet zaměstnanců, kteří se nacházejí v areálu podniku. V případě úniku amoniaku a vzniku závažné havárie proto může být ohrožen větší počet osob a záchranné práce mohou být výrazně složitější.

5.3.2 Výpočet zóny ohrožení pro vybrané objekty

Pro vybrané podlimitní zdroje rizika se zvýšenou úrovní rizika byl proveden výpočet pro určení zóny ohrožení. Vybrány byly pivovary Bakalář v Rakovníku a pivovar Heineken ČR v Krušovicích. Vypočítaná zóna ohrožení koresponduje s poloměrem zóny v programu OPIZON, který využívají hasičské záchranné sbory pro optimalizaci stanovení zóny havarijního plánování a tvorby havarijních plánů.

Tradiční pivovar v Rakovníku, a.s.

Nebezpečná chemická látka je zde amoniak a jeho maximální množství, které pivovar skladuje, je 1,5 tuny. Pro stanovení zóny ohrožení se postupovalo dle vyhlášky 226/2015 Sb., Čl.4, kde se vycházelo z množství, druhu nebo kategorie dotyčné nebezpečné chemické látky umístěné v zařízení. Zóna ohrožení je plocha ohraničená vnější hranicí. Výchozím bodem je umístění nebezpečné chemické

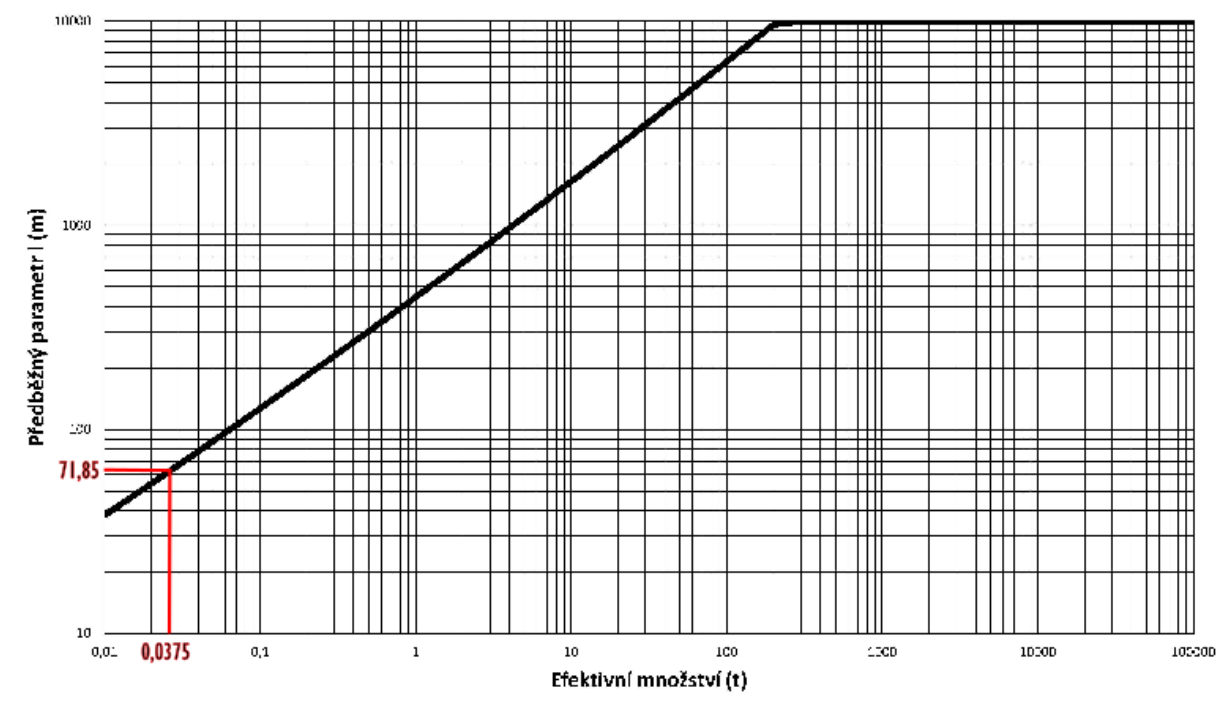
látky v objektu (v tomto případě ve strojovně). V tabulce č. 20 jsou uvedeny parametry pro stanovení zóny ohrožení pro podlimitní objekt: Tradiční pivovar v Rakovníku a.s.

Tabulka 20 - Parametry pro stanovení zóny ohrožení (pivovar Bakalář) [7]

Zařízení	Nebezpečná látka	Maximální množství m (t)	Typový scénář	Modifikační faktor	Efektivní množství m_e (t)	Předběžný parametr l (m)	Parametr L (m)
Strojovna	Amoniak	1,5	TOX	0,025	0,0375	71,85	72

Nebezpečná chemická látka (amoniak) se nachází ve strojovně v zásobnících v množství 1,5 tuny. K položce byl přiřazen dle přílohy 1 k vyhlášce 226/2015 Sb., v tabulce A. 2 typový scénář havárie – toxický únik (TOX). Přiřazený modifikační faktor pro bezvodý amoniak je 0,025. Efektivní množství (m_e), které se vypočítá jako násobek maximálního množství látek a modifikačního faktoru, vyšel 0,375 t. Předběžný parametr l se stanovil pomocí grafu č. 1 v příloze vyhlášky 226/2015 Sb., který je pro typový scénář toxický únik (TOX). Na ose x je vyjádřeno efektivní množství (t) v závislosti na předběžném parametru l . Na obrázku číslo 8 lze vidět odečet hodnoty y pro $x = 0,0375$ t. Pro určenou hodnotu z předchozího výpočtu vyšel předběžný parametr $l = 71,85$ m. Parametr L se stanovuje jako maximální dosažená hodnota všech předběžných parametrů l . Jelikož se v tomto objektu nachází pouze jedna nebezpečná chemická látka, která spadá pod pokyn GŘ HZS ČR pro posuzování rizika závažné havárie pro podlimitní objekty, byl zde parametr L pouze zaokrouhlen na hodnotu $L = 72$ m. Minimální parametr (L) zóny ohrožení je však dle pokynu 100 m. Pokud vyjde menší hodnota, upraví se

zóna ohrožení v havarijní kartě na minimální vzdálenost 100 m.



Graf č. 1 Stanovení předběžného parametru l pro typový scénář toxický únik (TOX)

Obrázek 8 - Stanovení předběžného parametru l pro pivovar Bakalář [7]

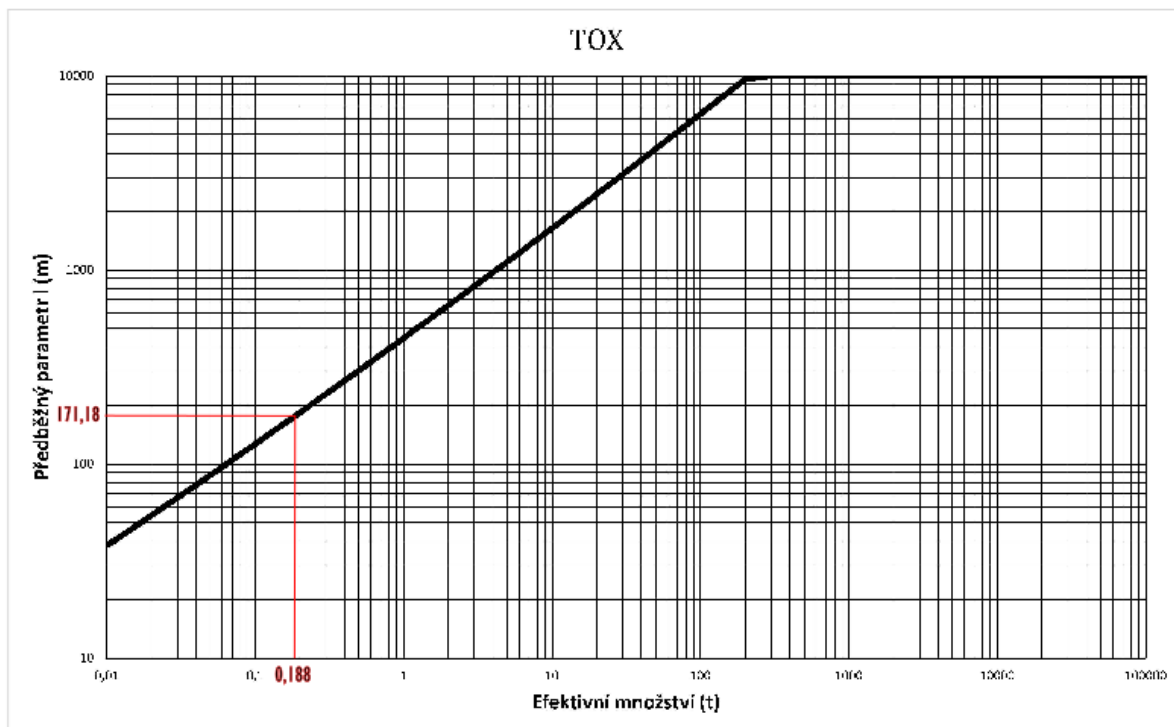
Heineken ČR, a.s.

Jelikož pivovar Krušovice spadá vzhledem k identifikaci zdrojů rizik pod pokyn GŘ HZS ČR č. 35/2017, protože uskladňuje ve svém areálu bezvodý amoniak v množství větším než je 1 tuna, byla u něj stanovena zóna ohrožení. Pro určení parametru L bylo zapotřebí zjistit zařízení, ve kterém se NCHL nachází a její maximální množství. Jak je možné vidět z tabulky č. 21, amoniak se zde skladuje v celkovém množství 7,5 tuny. Dle vyhlášky 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování, bylo v tabulce A.2 (Typové scénáře a modifikační faktory pro jmenovitě uvedené látky) zjištěno, že typový scénář pro bezvodý amoniak je toxický únik (TOX) a modifikační faktor je 0,025. Efektivní množství (m_e) se vypočítá jako násobek maximálního množství látek a

modifikačního faktoru. Předběžný parametr l se stanovil pomocí grafu č. 1 v příloze vyhlášky 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování, který je pro typový scénář toxický únik (TOX) a vyšel $l = 171,18$ m. Odečet z grafu lze vidět na obrázku č. 9. Parametr L se stanovuje jako maximální dosažená hodnota všech předběžných parametrů l . V objektu Heineken ČR v Krušovicích se nachází pouze jedna nebezpečná chemická látka, která spadá pod pokyn GŘ HZS ČR č. 35/2017, a proto byl konečný parametr L pouze zaokrouhlen na hodnotu $L = 172$ m.

Tabulka 21 - Parametry pro stanovení zóny ohrožení (Heineken ČR, a.s.) [7]

Zařízení	Nebezpečná látka	Maximální množství m (t)	Typový scénář	Modifikační faktor	Efektivní množství m_e (t)	Předběžný parametr l (m)	Parametr L (m)
Strojovna	Amoniak	7,5	TOX	0,025	0,188	171,18	172



Graf č. 1 Stanovení předběžného parametru l pro typový scénář toxický únik (TOX)

Obrázek 9 - Stanovení předběžného parametru l pro pivovar Krušovice [7]

5.4 Modelování úniku amoniaku v pivovaru Bakalář

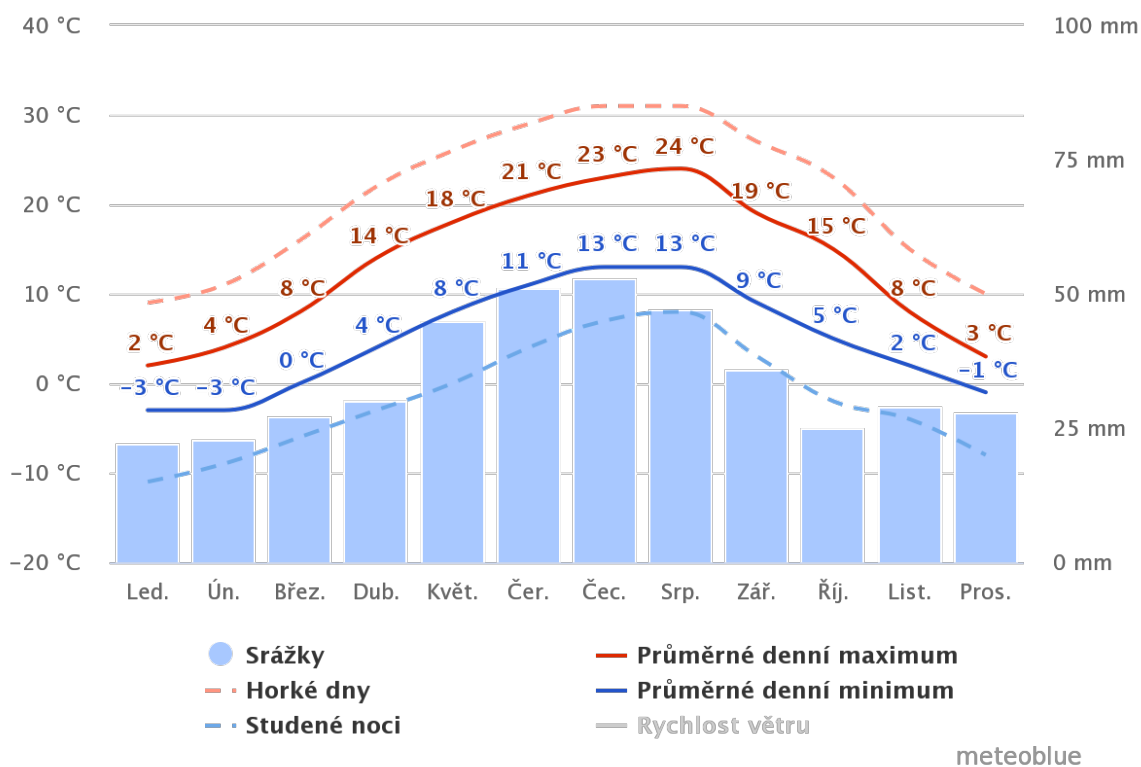
Na základě výpočtů úrovní rizik pro veškeré podlimitní zdroje, které manipulují s nebezpečnými chemickými látkami ve svých areálech, byl vybrán jeden objekt, který vykazuje zvýšené riziko vzhledem k chemické bezpečnosti. Jedná se o Tradiční pivovar v Rakovníku a.s. Jako nebezpečná chemická látka se zde využívá amoniak, která slouží jako chladicí médium při výrobě piva.

Únik amoniaku z tradičního pivovaru v Rakovníku – dne 16.10 2019 15:00 středoevropského času došlo k trhlině ve vysokotlakém sběrači kapalného amoniaku a k jeho následnému okamžitému odpařování a unikání skrze vyústění odvětrávání ve výšce 6 metrů. Bylo 15 °C, vlhkost vzduchu 50 %,

průměrná rychlost větru na daném místě 4 m/s, ve směru západojihozápadním. Bylo polojasno, bez inverze a s oblačností 50 %.

5.4.1 Analýza meteorologických podmínek

Meteorologické podmínky byly určeny dle průměrných hodnot za dobu 30 let pro danou lokalitu a byly zadány stejné do programu ALOHA i do programu TerEx. Pro tuto analýzu byl využit webový portál, zabývající se shromažďováním a archivováním údajů o počasí. Byly určeny průměrné teploty a srážky pro jednotlivé měsíce pro oblast města Rakovník. Vzhledem k povaze havárie, při které dojde ke vzniku toxického oblaku, byly jako hlavní faktor analyzovány dešťové srážky, které by bránily jeho šíření do okolí, protože by začaly fungovat jako adaptace na skrápění pomocí vodních proudů, které v boji se šířením amoniaku využívají hasiči. Proto byl zvolen měsíc říjen, kde (viz obrázek č. 10) byly srážky vzhledem k ostatním měsícům minimální. Oblačnost byla určena jako průměr za měsíc říjen a popisuje ji příloha 1. Průměrná rychlost a směr větru byly odvozeny z grafů uvedených v přílohách 2 a 3. Oblast v okolí je zastavěná (zalesněná), bez inverze a s 50% vlhkostí vzduchu. S ohledem na reálné meteorologické podmínky, které byly zjištěny analýzou výše, byla zvolena neutrální třída stability D.



Obrázek 10 - Průměrné srážky a teploty v Rakovníku [39]

5.4.2 Zadávání vstupních hodnot do programu ALOHA

Základními vstupními parametry, které se musí zadat do programu ALOHA, jsou meteorologické podmínky, za kterých k závažné havárii dojde. Dalším důležitým parametrem je způsob zdroje úniku látky. Scénář pro únik amoniaku, který byl využit pro vlastní modelaci, je trhlina ve vysokotlakém sběrači kapalného amoniaku pod tlakem. Amoniak unikal skrze vyústění systémů odvětrání ve výšce 6 metrů. Dle agentury EPA [40] je u mnoha scénářů důvod šíření malý otvor o průměru 0,635 cm (1/4 palce). Po vypočtení hodnoty přes Bernoulliho rovnici je tudíž intenzita výronu 45 kg/min (0,75 kg/s).

Pro simulaci úniku, který splňuje všechny tyto kritéria, byla použita položka „Direct“, kde se jedná o okamžitý únik nebo nepřežití uvolňování nebezpečné chemické látky z jednoho bodu. Pro nasimulování reálné situace se amoniak

nepřetržitě uvolňoval po dobu 7 minut, jelikož do té doby je vysoká pravděpodobnost zastavení úniku pracovníkem ve strojně. V konečném důsledku se tedy uvolnilo, při výše uvedené intenzitě výronu, 315 kg amoniaku. Tradiční pivovar v Rakovníku má celkové množství skladovaného amoniaku 1,5 tuny, takže při zvolení těchto podmínek, dojde k úniku 21 % skladovaného čpavku.

5.4.3 Zadávání vstupních hodnot do programu TerEx

Meteorologické podmínky se do programu TerEx zadávaly stejné jako v softwarovém programu ALOHA. Na rozdíl od programu ALOHA však ve velké míře ubylo požadovaných vstupních parametrů, a proto celkový výpočet a přesnost modelace je výrazně nižší. Po výběru modelu PUFF je možnost zadat jako vstupní parametr pouze celkové uniklé množství látky, a proto zde bylo počítáno rovnou s 315 kg uniklého amoniaku, který byl vypočten dle programu ALOHA.

5.5 Modelace úniku amoniaku v softwarovém programu TerEx

5.5.1 Zadané vstupní hodnoty

Dle analýzy počasí byly určeny vstupní hodnoty zadávány do softwarového programu TerEx, které popisuje tabulka č. 22.

Tabulka 22 - Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku do programu TerEx

Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku v programu TerEx	
Druh havárie	Model PUFF
Teplota kapaliny v zařízení	15 °C
Celkové množství uniklé látky	315 kg
Rychlost větru	4 m/s
Směr větru	Západojihozápadní
Oblačnost	50 %
Doba vzniku	Den – podzim
Typ povrchu	Obytná krajina

5.5.2 Výstupní hodnoty

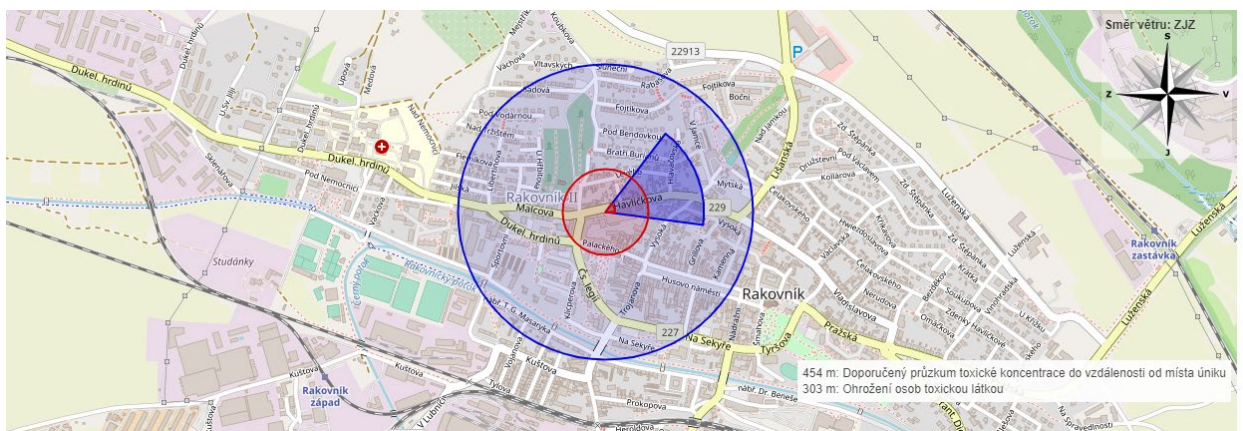
Program TerEx vypočetl modelaci úniku amoniaku dle daného scénáře a byly vytvořeny zóny a výseče pro různé druhy ohrožení, které jsou znázorněny v tabulce č. 23. Program vyhodnotil doporučenou vzdálenost od místa zdroje úniku, kde by měla být provedena evakuace obyvatel. Tato vzdálenost je 303 metrů od zdroje úniku.

Tabulka 23 - Vzdálenosti evakuace, ohrožení osob, a doporučený průzkum dle programu TerEx

Výstupní hodnoty v programu TerEx	
Evakuace	Vzdálenost (m)
Ohrožení osob toxickou látkou	303 (koncentrace 208 mg/m ³)
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	454 (koncentrace 69 mg/m ³)
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	31
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	82
Závažné poškození budov	61
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	138

Mapový výstup modelace úniku 315 kg amoniaku z pivovaru v Rakovníku je znázorněn na obrázku č. 11 a jsou zde vidět čtyři výseče dle stanovených zón:

- **tmavě modrá barva** (ohrožení osob toxickou látkou);
- **světle modrá barva** (doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku);
- **rudá barva** (ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku);
- **červená barva** (ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem).



Obrázek 11 - Mapový výstup modelace úniku amoniaku z programu TerEx

Tmavě modře vyplněná výseč zobrazuje oblast, ve které by měla být provedena evakuace. Dle zvoleného západojihozápadního větru, který je pro město Rakovník nejčastější, by se jednalo o evakuaci lidí v bytových jednotkách v severozápadní oblasti nad ulicí Havlíčkova, zákazníků v hotelu Apartments Rozmarýn, obchodu Zahradnictví Sasanka nebo hostince Zelený Strom. Evakuovat by se také museli návštěvníci synagogy, Rabasovy galerie a Samsonova domu, kde se nachází i kavárna.

5.6 Modelace v softwarovém programu ALOHA

5.6.1 Zadané vstupní hodnoty

Meteorologické vstupní hodnoty, uvedené v tabulce číslo 24, byly určeny na základě analýzy webového portálu, který archivuje tyto údaje po dobu 30 let. Dle zvoleného scénáře, byl zvolen alternativní (malý) únik amoniaku a zvolené hodnoty byly stanoveny podle dokumentu vytvořeného agenturou EPA.

Tabulka 24 - Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku v programu ALOHA

Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku v programu ALOHA	
Teplota vzduchu	15 °C
Rychlost větru	4 m/s (měřeno ve 3 metrech nad zemí)
Směr větru	Západojihozápadní
Oblačnost	50 %
Třída stability počasí	D
Typ povrchu terénu	Městský
Relativní vlhkost vzduchu	50 %
Zdroj úniku	Přímý
Rychlost úniku	45 kg/min
Doba úniku	7 min
Celkové uvolněné množství látky	315 kg
Výška zdroje úniku	6 metrů

5.6.2 Výstupní hodnoty

V programu ALOHA bylo vzhledem k potřebným výstupům modelováno s různými limity koncentrací, které jsou více popsány v kapitole 4.4.3 v tabulce číslo 10. První variantou je AEGL (Acute Exposure Guideline Levels; směrné úrovně akutní expozice). Druhou variantou jsou přepočtené výsledné koncentrace ze softwarového programu TerEx, které slouží pro možnost

srovnání těchto dvou programů. Třetí a čtvrtou variantou jsou hodnoty koncentrací podle řádu chemické služby. Jedná se o havarijní přípustnou koncentraci (HPK-10, HPK-60) a havarijní akční úroveň (HAU-20, HAU-120). K posledním třem variantám byla přidána limitní koncentrace IDLH, které může být osoba vystavena po dobu až 30 minut, a ještě být schopna uniknout bez nezvratných poškození nebo zdraví ztráty života.

5.6.3 Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací AEGLs

Tabulka č. 25 popisuje jednotlivé limitní hodnoty AEGL, které slouží k popisu rizika účinků amoniak na osoby po dobu 60 minut. Jsou zde uvedeny i jednotlivé vzdálenosti limitů od zdroje úniku.

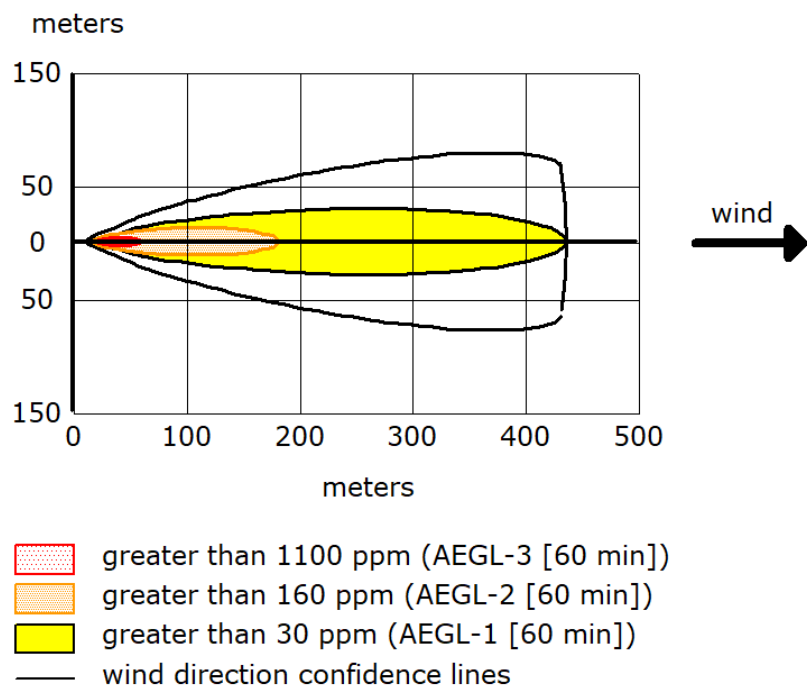
Tabulka 25 - Koncentrace AEGL pro únik amoniaku v programu ALOHA

AEGL	Koncentrace (ppm)	Vzdálenost od zdroje (m)
AEGL - 3	1100	62
AEGL - 2	160	182
AEGL - 1	30	436

Grafický výstup

Na obrázku č. 12 je vidět, jaký tvar oblaku amoniak bude mít a jak se bude šířit v prostoru. Jsou zde zakresleny i jednotlivé zóny ohrožení pro určené koncentrace látky, které jsou vždy odlišeny různou barvou. Červená výseč znázorňuje limitní koncentrace amoniaku vyšších než 1100 ppm, kde se dá očekávat, že bude ohrožen život a zdraví osob. Oranžová výseč (160–1100 ppm) označuje zónu, ve které se nacházející osoby mohou pociťovat nepříznivé zdravotní účinky bez závažného vlivu na celkové zdraví. Koncentrace nad 30 ppm je vyznačená žlutou výsečí. Je zde možné naměřit koncentraci amoniaku

v ovzduší, ta však není nebezpečná životu a zdraví. Mapový výstup pro limitní koncentrace AEGL je uveden v příloze 4.



Obrázek 12 - Grafický výstup v programu ALOHA s hodnotami AEGLs

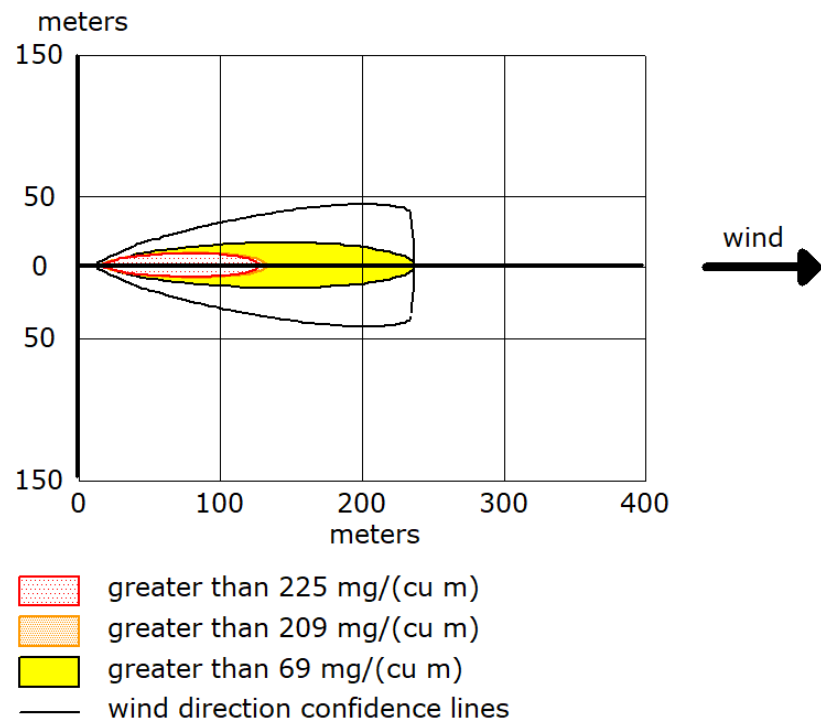
5.6.4 Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací z programu TerEx

Pro možnost porovnání byly zvoleny limitní koncentrace shodné s výslednými hodnotami, které vyšly při výpočtu v softwarovém programu TerEx. V tabulce číslo 26 lze vidět hodnotu ohrožení osob toxickou látkou a doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku. Pro názornost byla přidána i hodnota IDHL, určující limitní koncentraci, které může být osoba vystavena po dobu až 30 minut bez nezvratných poškození zdraví nebo ztráty života. Pro zachování největší možné přesnosti se při provádění výpočtu v programu ALOHA počítalo s limitní koncentrací v jednotkách z programu TerEx (mg/m^3).

Tabulka 26 - Výstupní koncentrace z programu TerEx pro únik amoniaku zadávané v programu ALOHA

	Koncentrace (ppm)	Koncentrace (mg/m ³)	Vzdálenost od zdroje (m)
IDLH	300	225	127
Ohrožení osob	277	208	134
Doporučený průzkum	92	69	238

Grafický výstup



Obrázek 13 - Grafický výstup v programu ALOHA s výstupními hodnotami z programu TerEx

Z obrázku číslo 13 je vidět, že červená výšeč (300 ppm) zobrazuje limitní koncentraci IDLH, oranžová výšeč (277 ppm) určuje ohrožení osob toxickou látkou a žlutá výšeč (92 ppm) určuje zónu, ve které je doporučen průzkum toxické koncentrace od zdroje úniku. Mapový výstup je uveden v příloze 5.

5.6.5 Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací HPK

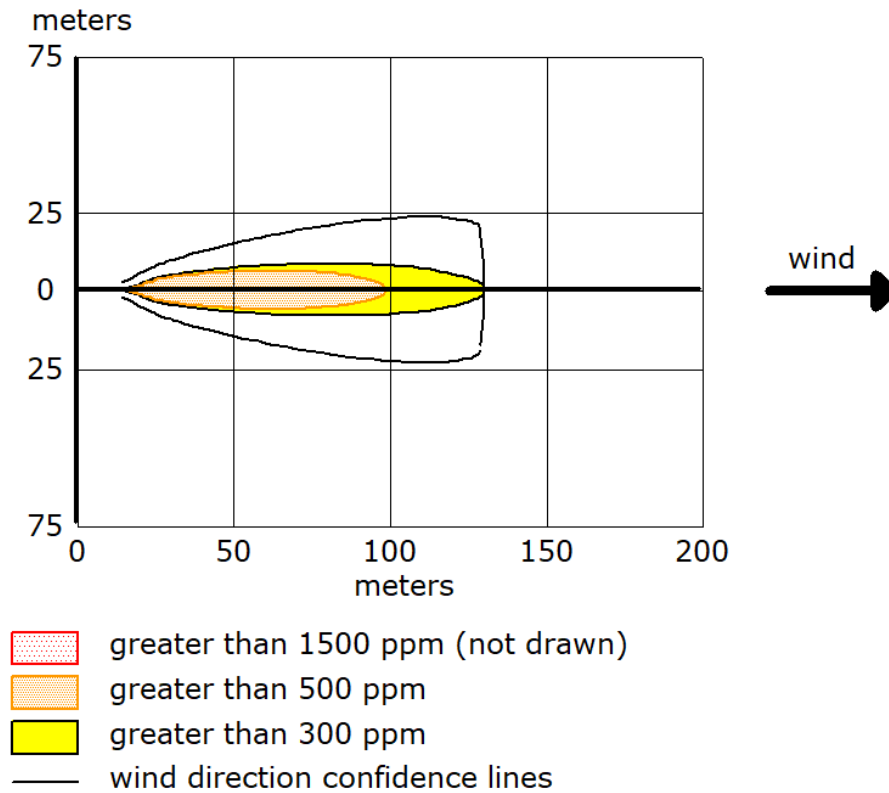
Kvůli spolupráci s hasičským záchranným sborem v Rakovníku byly jako další limitní koncentrace stanoveny hodnoty HPK (havarijní přípustná koncentrace). Do grafického výstupu byla přidána i hodnota IDLH. Určené koncentrace a jejich vzdálenost od zdroje úniku popisuje tabulka č. 27.

Tabulka 27 - Koncentrace HKP pro únik amoniaku v programu ALOHA

	Koncentrace (ppm)	Vzdálenost od zdroje (m)
HPK-10	1500	49
HPK-60	500	99
IDLH	300	131

Grafický výstup

Obrázek číslo 14 graficky znázorňuje jednotlivé výseče. Červenou barvou je označena limitní koncentrace, ve které se záchranáři mohou pohybovat bez individuálních prostředků ochrany po dobu 10 minut. Kvůli moc krátké vzdálenosti, kdy je snížena spolehlivost předpovědi rozptylu látky, však nebyla vykreslena. Oranžová výseč ukazuje plochu, ve které mohou záchranáři pracovat po dobu 60 minut bez individuálních prostředků pro jejich osobní ochranu. Žlutá výseč pak zobrazuje hodnotu IDLH, ve které může být osoba po dobu 30 minut bez poškození zdraví. Mapový výstup je k nahlédnutí v příloze 6.



Obrázek 14 - Grafický výstup pro limitní koncentrace HPK a IDLH

5.6.6 Výsledky úniku amoniaku s použitou koncentrací HAU

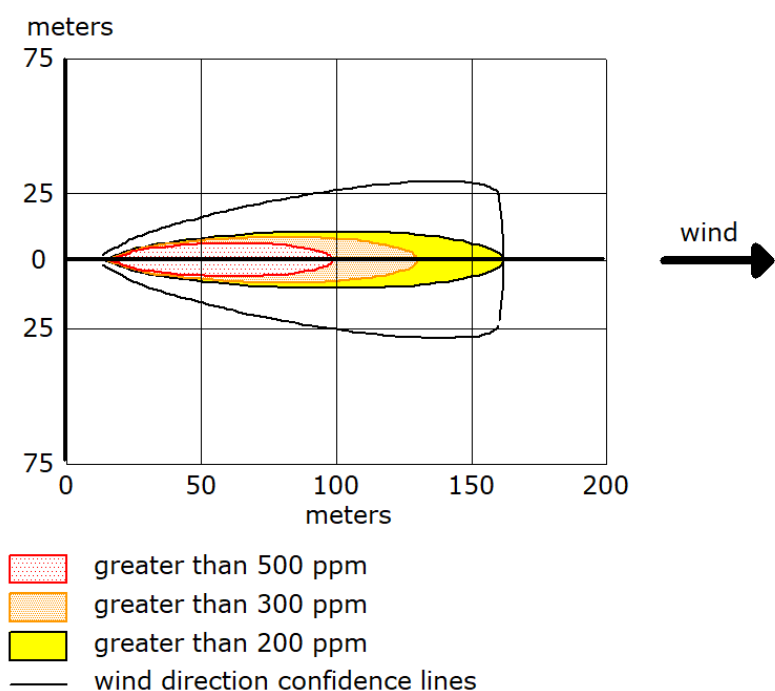
Pro diplomovou práci byla zvolena navíc limitní koncentrace HAU (havarijní akční úroveň) doplněná o koncentraci IDLH. Jednotlivé limitní koncentrace spolu se vzdáleností od zdroje jsou uvedeny v tabulce č. 28.

Tabulka 28 - Koncentrace HAU pro únik amoniaku v programu ALOHA

	Koncentrace (ppm)	Vzdálenost od zdroje (m)
HAU-20	500	99
IDLH	300	131
HAU-120	200	162

Grafický výstup

Červená barva výseče znázorňuje oblast pro limitní koncentraci plynu, ve které je nutné evakuovat osoby do 20 minut po zahájení inhalace plynu. Oranžová výseč ukazuje hodnotu IDLH, ve které může být osoba po dobu 30 minut bez poškození zdraví a žlutá výseč poukazuje na limitní koncentraci, při které je nutné vyvést osoby ze zamořeného prostoru do 120 minut. Mapový výstup je v příloze 7.



Obrázek 15 - Grafický výstup pro limitní koncentrace HAU a IDLH

5.7 Komparace výsledků modelace v programu ALOHA a TerEx

Pro modelaci úniku amoniaku z Tradičního pivovaru v Rakovníku byly srovnány výsledné vzdálenosti od zdroje úniku se stejnými limitními koncentracemi pro amoniak. Jak lze vidět v tabulce č. 29, výsledné vzdálenosti je

liší. Pro koncentraci (277 ppm), kde dojde k ohrožení osob toxickou látkou činí celkový rozdíl 169 metrů. Pro limitní koncentraci 92 ppm, kde je podle programu TerEx doporučen průzkum toxické koncentrace od vzdálenosti místa úniku vyšel rozdíl vzdáleností 216 metrů. Rozdíly ve výsledcích je možné připočítat zejména jiným nárokům na vstupní hodnoty, které se do programu zadávají. Také může být v každém programu různá procentuální odchylka.

Tabulka 29 - Komparace naměřených údajů z programu ALOHA a TerEx

Látka	Koncentrace (ppm)	Koncentrace (mg/m ³)	Vzdálenost od zdroje úniku v programu TerEx (m)	Vzdálenost od zdroje úniku v programu ALOHA (m)	Vzdálenostní rozdíl výsledků ALOHA a TerEx (m)	Procentuální rozdíl vzdáleností ALOHA a TerEx (%)
Amoniak	277	208	303	134	169	44,2
	92	69	454	238	216	52,4


5.8 Návrh havarijních karet

Návrhy havarijní karty pro Tradiční pivovar v Rakovníku byly provedeny ve dvou variantách. Mapové a obsahové části jsou vytvořeny dle vzoru v pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty. Obsahová část je provedena jak pro provozovatele podniku, tak i pro zasahující složky IZS (viz obrázek č. 16 a 17).

5.8.1 Návrh havarijní karty pro provozovatele

Při vzniku závažné havárie mají pracovníci vrátnice pivovaru na starosti neprodlené vyrozumění mimopodnikových orgánů. Mají zde uložený havarijní plán, kde jsou důležitá telefonní čísla na hasičský záchranný sbor, zdravotnickou záchrannou službu, policii ČR, městský úřad Rakovník a také Českou inspekci životního prostředí.

Varování zaměstnanců nacházejících se v areálu objektu, kde hrozí závažná havárie, je uskutečňováno pomocí podnikové telefonní a mobilní sítě. Pokud únik amoniaku nepřesahuje hranice objektu a zpravidla ohrožuje jen jednu místnost (např. sklep nebo strojovnu chlazení), vyhlašuje se chemický poplach I. stupně. To má na starosti odpovědný pracovník havarijní komise, který ihned informuje vedoucího pracovníka provozu. Chemický poplach II. stupně se vyhlašuje, pokud únik amoniaku přesahuje území jednoho objektu a šíří se areálem pivovaru. Vyhlašuje ho odpovědný pracovník havarijní komise na základně oznámení strojníka pomocí podnikové telefonní nebo mobilní sítě. Osoby, které se nachází uvnitř areálu, jsou informováni o vyhlášení druhého stupně poplachu a o dalších postupech k zabezpečení minimalizace dopadu chemické havárie (např. jejich evakuaci). Dále je také informován hasičský záchranný sbor Středočeského kraje (dvakrát ročně je prováděna zkouška varovného signálu pomocí telefonní sítě, kvůli aktualizaci telefonních spojení pracovníků pivovaru a kontaktů na Městský úřad v Rakovníku).

Havarijní karta		Pivovar Bakalář		Havarijní karta													
Adresa: Havlíčkova 69, Rakovník 269 01		Provozovatel: Tradiční pivovar v Rakovníku a.s.		01													
Stálá služba: 313 569 515 (vrátnice pivovaru)		Kontaktní osoba: 313 285 566 - Radek Holopírek (výrobní ředitel pivovaru)		1.4.2020													
Nebezpečná látka: Amoniak (1,5 tuny)		Zdroj rizika: Strojovna chlazení		GPS: 50°6'19,8"N, 13°43'30,6"E													
GPS zdroje rizika: 50°6'22,3"N, 13°43'34,4"E		Zóna ohrožení: 100 m															
Počet ohrožených osob: 50 zaměstnanců		10 návštěvníků		260 trvale žijících v zóně ohrožení													
<p>Nebezpečné vlastnosti: zkapalněný toxický plyn, toxický při vdechování. Dráždí oči a dýchací cesty, možný vznik otoku plic. Při styku s kůží způsobuje poleptání, v případě kapalného amoniaku omrzliny. V blízkosti místa úniku se chová jako plyn těžší než vzduch. Nebezpečný pro životní prostředí, poškozují vodu. Hořlavá látka. Odvolání opatření k ochraně obyvatelstva při koncentraci pod 50ppm.</p>																	
<p>Činnost provozovatele v době mimořádné události</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vyrozmnění KOPIS o havárii na telefonní spojení 150 nebo 950 874 444. • Vyrozmnění orgánů státní správy a samosprávy o havárii (viz vyrozumívané subjekty). • Informování návštěvníků a zaměstnanců pivovaru o havárii (podnikovou telefonní sítí, mobilní sítí). • Opatření k zamezení úniku a minimalizace následků. • Zahájení evakuace osob v areálu pivovaru na návětrnou stranu. • Spolupráce s velitelem zásahu - předávání informací o aktuální situaci. • Asanace a dekontaminace: zajištění odborné firmy pro odvoz čpavkové vody, zabránění úniku čpavkové vody do recipientu, neutralizace zasažených prostor (strojovna, venkovní areál). • Zajištění monitoringu po havárii. 																	
<p>Významné objekty v zóně ohrožení</p> <table border="1"> <tr> <td>Pivovar Bakalář</td> <td>Havlíčková 69, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 313 569 515 (vrátnice)</td> </tr> <tr> <td>Okresní soud v Rakovníku</td> <td>Šixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 313 285 347</td> </tr> <tr> <td>Pizza Paulo</td> <td>Palackého 74, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 735 508 880</td> </tr> <tr> <td>Royal Bar</td> <td>Palackého 73, 26901 Rakovník</td> <td>tel. 777 172 785</td> </tr> </table>						Pivovar Bakalář	Havlíčková 69, 269 01 Rakovník	tel. 313 569 515 (vrátnice)	Okresní soud v Rakovníku	Šixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník	tel. 313 285 347	Pizza Paulo	Palackého 74, 269 01 Rakovník	tel. 735 508 880	Royal Bar	Palackého 73, 26901 Rakovník	tel. 777 172 785
Pivovar Bakalář	Havlíčková 69, 269 01 Rakovník	tel. 313 569 515 (vrátnice)															
Okresní soud v Rakovníku	Šixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník	tel. 313 285 347															
Pizza Paulo	Palackého 74, 269 01 Rakovník	tel. 735 508 880															
Royal Bar	Palackého 73, 26901 Rakovník	tel. 777 172 785															

Obrázek 16 - Návrh havarijní karty pro provozovatele podniku

5.8.2 Návrh havarijní karty pro složky IZS

Pro složky integrovaného záchranného systému byla navržena obsahová část havarijní karty, která popisuje jejich činnosti v průběhu závažné havárie (viz obrázek č. 17)

HZS ČR

Hasičský záchranný sbor má na starosti průzkum a monitoring koncentrace amoniaku v ovzduší, na jehož základě se vyznačí hranice nebezpečné zóny. Důležité je vyhodnotit monitoring v zasaženém prostoru ve strojovně a zastavit

další unikání a šíření toxického plynu do okolí (utěsnění ventilu apod.). V průběhu závažné havárie je nutné intenzivně zkrápět unikající plynný amoniak sprchovým vodním proudem a zajistit, aby vzniklý roztok vody a amoniaku nevnikl do kanalizace (viz Metodický list Bojového řádu 15 L). HZS má také na starosti varování a evakuaci obyvatel a zaměstnanců podniku. V případě kontaminace je nutné provést dekontaminační opatření. Je podstatné nepodceňovat závažnou havárii a provádět kontrolní měření na více místech z důvodu změny větru nebo chyby v měřících přístrojích.

Policie ČR

Policie ČR ve spolupráci s Městskou policií má za úkol především regulaci pohybu vozidel a osob do zóny ohrožení podle pokynů velitele zásahu nebo informačního operačního střediska. Mohou se podílet na varování obyvatelstva. Provádí také úkony k objasnění příčin vzniku mimořádné události a v případě potřeby mají na starosti zabezpečení nezbytných úkonů k provedení identifikace mrtvých osob.

Zdravotnická záchranná služba

ZZS na místě zásahu poskytuje přednemocniční neodkladnou péči všem zasaženým osobám. Veškeré své povinnosti provádí mimo nebezpečnou zónu. V případě zraněného člověka v nebezpečné zóně pracovníci zdravotnické záchranné služby počkají, dokud příslušník HZS s příslušným vybavením transportuje zraněné osoby do bezpečné zóny, kde si ho převezmou. Při větším počtu zasažených lidí zřídí stanoviště přednemocniční neodkladné péče a zajistí transport do nejbližšího zdravotnického zařízení.

Havarijní karta		Pivovar Bakalář		Havarijní karta													
Adresa: Havlíčkova 69, Rakovník 269 01		Provozovatel: Tradiční pivovar v Rakovníku a.s.		01													
Stálá služba: 313 569 515 (vrátnice pivovaru)		Kontaktní osoba: 313 285 566 - Radek Holopírek (výrobní ředitel pivovaru)		1.4.2020													
Nebezpečná látka: Amoniak (1,5 tuny)		Zdroj rizika: Strojovna chlazení		GPS: 50°6'19,8"N, 13°43'30,6"E													
GPS zdroje rizika: 50°6'22,3"N, 13°43'34,4"E		Zóna ohrožení: 100 m															
Počet ohrožených osob: 50 zaměstnanců 10 návštěvníků 260 trvale žijících v zóně ohrožení		<p>Nebezpečné vlastnosti: zkapalněný toxický plyn, toxický při vdechování. Dráždí oči a dýchací cesty, možný vznik otoku plic. Při styku s kůží způsobuje poleptání, v případě kapalného amoniaku omrzliny. V blízkosti místa úniku se chová jako plyn těžší než vzduch. Nebezpečný pro životní prostředí, poškozují vodu. Hořlavá látka. Odvolání opatření k ochraně obyvatelstva při koncentraci pod 50ppm.</p>															
<p>Organizace zásahu</p> <ul style="list-style-type: none"> • PČR, MěP, ZZS - nevyjíždět do areálu, čekat na pokyn VZ nebo OPIS na plánovaném kontaktním stanovišti. • VZ - Stanovení taktiky zásahu, rozdělení činností, upřesnění kontaktního stanoviště. • VZ - Při dlouhodobém úniku a vysokých koncentracích zvážit evakuaci, ohrožené vyvádět s ohledem na směr větru. 																	
<p>Činnost KOPIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vyhlášení 2. stupně poplachu IZS, vyslání potřebných SaP. • Informování ZZS, PČR, MěP (včetně uvedení havarijní karty). • Aktivace koncového prvku JSV (sirény). • Informování VZ o směru rychlosti a směru větru. • Informování vedoucích pracovníků ohrožených objektů a orgánů státní správy a samosprávy. • Informování VZ o provedeném vyzoomnění ohrožených objektů a stavu realizovaných opatření. 			<p>Vyrozumívané subjekty</p> <p>Městská policie 313259147 (mobil: 602 394 543) MěÚ Rakovník 724 179 881 referent IZS, obrany a BOZP ČiŽP 731 405 313 hlášení havárií, odd. ochrany vod</p>														
<p>Text pro informování (varování) obyvatelstva</p> <p>Pozor — mimořádná zpráva! Chemická havárie, chemická havárie. Na zimním stadionu došlo kúniku nebezpečné látky. Venku jste ohroženi na zdraví! Jděte do nejbližší budovy a nevycházejte ven. Uzavřete a utěsněte okna a dveře. Vypněte ventilaci. Ústa a nos chraňte navlhčenou rouškou. Dbejte dalších pokynů hasičů a policistů.</p> <p>Odvolání opatření Pozor — mimořádná zpráva! Nebezpečí pominulo. Váš pobyt venku již není omezen. Nebezpečí pominulo. Váš pobyt venku již není omezen.</p>																	
<p>Činnost JPO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Průzkum a monitoring koncentrace amoniaku, vyhodnocení skutečně zasaženého prostoru, zejména: strojovna (hala č. 1), rozvodné kanály, venkovní prostor ve směru šíření větru. • Likvidace havárie: vodní clona k zabránění šíření oblaku, vodní mlhou postříkovat dveře, okna, vrata a vyústění nouzového odsávání od strojovny, svedení čpavkové vody do jímky. • Monitorování po havárii (zejména sklepní prostory a kanalizace). Odvolání opatření kochraně obyvatelstva. 																	
<p>Činnost PČR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulace pohybu osob a vozidel do zóny ohrožení (dle pokynů VZ), dohled nad veřejným pořádkem a bezpečností. • Podílení se na varování obyvatel (dle pokynů VZ). • Provádění úkonů k objasnění příčin vzniku havárie, při úmrtí zabezpečení úkonů při identifikaci mrtvých osob. <p>Činnost MP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Příjezd na určené kontaktní stanoviště a spolupráce s PČR ohledně uzavření zóny ohrožení. 																	
<p>Činnost ZZS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Příjezd na určené kontaktní stanoviště a informování VZ (čekat na pokyny VZ nebo OPIS). • Poskytnutí PNP a zajištění transportu raněných, při větším množství zraněných zřídít stanoviště PNP. 																	
<p>Významné objekty v zóně ohrožení</p> <table border="1"> <tr> <td>Pivovar Bakalář</td> <td>Havlíčková 69, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 313 569 515 (vrátnice)</td> </tr> <tr> <td>Okresní soud v Rakovníku</td> <td>Sixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 313 285 347</td> </tr> <tr> <td>Pizza Paulo</td> <td>Palackého 74, 269 01 Rakovník</td> <td>tel. 735 508 880</td> </tr> <tr> <td>Royal Bar</td> <td>Palackého 73, 26901 Rakovník</td> <td>tel. 777 172 785</td> </tr> </table>						Pivovar Bakalář	Havlíčková 69, 269 01 Rakovník	tel. 313 569 515 (vrátnice)	Okresní soud v Rakovníku	Sixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník	tel. 313 285 347	Pizza Paulo	Palackého 74, 269 01 Rakovník	tel. 735 508 880	Royal Bar	Palackého 73, 26901 Rakovník	tel. 777 172 785
Pivovar Bakalář	Havlíčková 69, 269 01 Rakovník	tel. 313 569 515 (vrátnice)															
Okresní soud v Rakovníku	Sixtovo nám. 76, 269 01 Rakovník	tel. 313 285 347															
Pizza Paulo	Palackého 74, 269 01 Rakovník	tel. 735 508 880															
Royal Bar	Palackého 73, 26901 Rakovník	tel. 777 172 785															

Obrázek 17 - Návrh havarijní karty pro složky IZS

5.8.3 Návrh mapové části havarijních karet

V mapové části je v první variantě určena jako zóna ohrožení 100 metrů, která byla stanovena výpočtem. V tomto případě se počítá s 10% únikem amoniaku. Jako model je zvolen kontinuální únik po dobu 30 minut. Návrh havarijní karty lze vidět na obrázku č. 18.

Alternativu mapové části popisuje obrázek č. 19. Kvůli zahrnutí možnosti většího úniku amoniaku bylo počítáno s únikem 20 % celkového skladovaného množství, které se uvolní za dobu 7 minut. Pro určení zóny ohrožení byla zvolena hodnota koncentrace AEGL-2, která popisuje oblast, kde, při působení po dobu 60 minut, může dojít k vážným, dlouhotrvajícím negativním účinkům na zdraví. V této oblasti se předpokládá evakuace obyvatel, kteří se zde nacházejí.

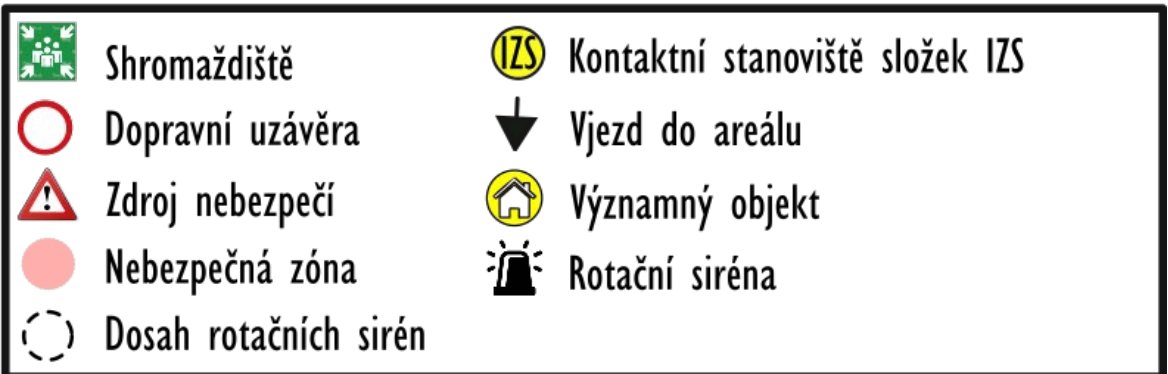
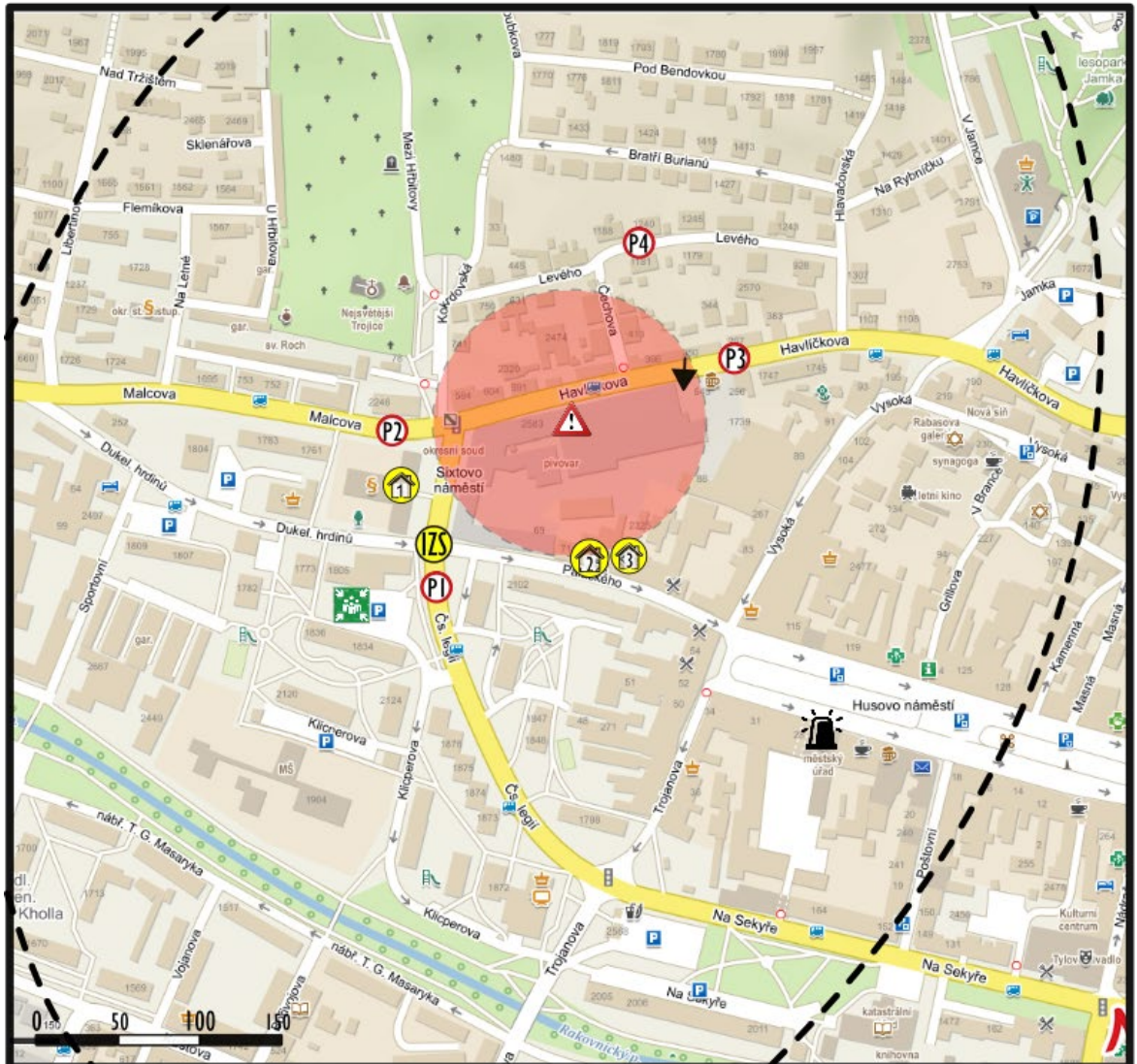
Kvůli nefunkčnosti programu OPTIZON v době zpracování diplomové práce byly zvoleny mapové podklady z portálu mapy.cz a grafická úprava probíhala v programu Inkscape. V mapových částích lze vidět, že k ohrožení objektů v blízkém okolí pivovaru dojde v obou případech. Rotační sirény, jejichž dosah má v případě úniku amoniaku z pivovaru význam, jsou dvě. Výhodou rotačních sirén je, že jejich dosah je značný (cca 1000 metrů), ale nevýhodou je jejich zastaralost a nemožnost přidání doprovodné informace. Jedna se nachází na Městském úřadě a je vyznačena na mapě. Druhá se vyskytuje na nemocnici Rakovník, Dukelských hrdinů 200. V mapových podkladech je znázorněn pouze její dosah. Při zóně ohrožení 100 metrů byly ohroženy 3 budovy. Jako shromaždiště je v obou případech využité parkoviště Čs. legií, kde bude dostatečné místo pro evakuované osoby. Kontaktní místo IZS bylo v mapové části havarijní karty pro zónu ohrožení 100 metrů zvoleno na křižovatce ulic Dukelských hrdinů a Čs. legií. Při zóně ohrožení 182 metrů se kontaktní místo přesunulo na parkoviště obchodu Jednota.

Významné objekty:

IČ objektu	Název objektu
1	Okresní soud v Rakovníku
2	Royal Bar
3	Pizza Paulo

Objekt: Pivovar Bakalář

Zóna ohrožení: 100 metrů



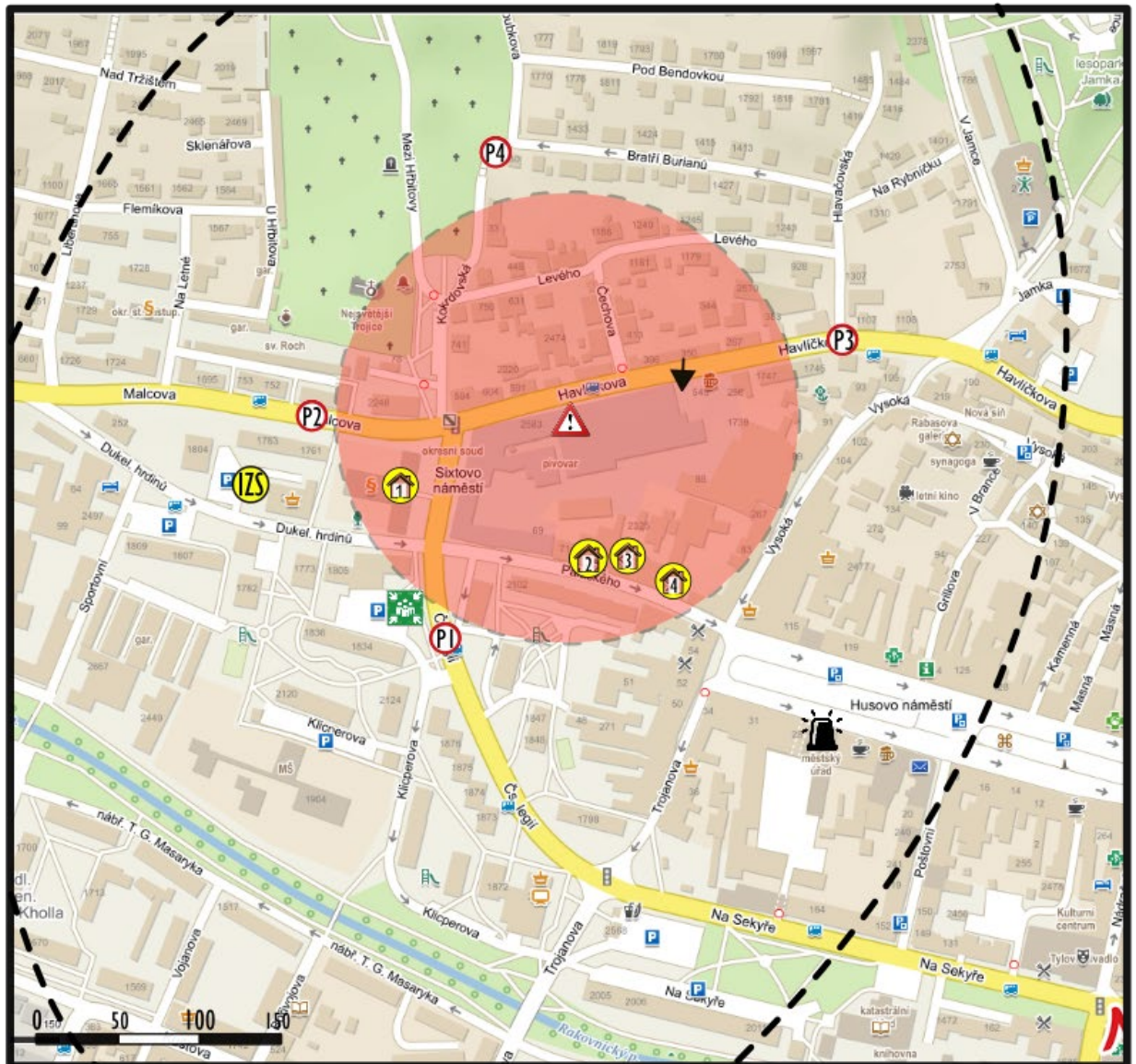
Obrázek 18 - Návrh mapové části havarijní karty pro zónu ohrožení 100 metrů

Významné objekty:

IC objektu	Název objektu
1	Okresní soud v Rakovníku
2	Royal Bar
3	Pizza Paulo
4	Restarace U Zlatého hroznu

Objekt: Pivovar Bakalář

Zóna ohrožení: 182 metrů



	Shromaždiště		Kontaktní stanoviště složek IZS
	Dopravní uzávěra		Vjezd do areálu
	Zdroj nebezpečí		Významný objekt
	Nebezpečná zóna		Rotační siréna
	Dosah rotačních sirén		

Obrázek 19 - Návrh mapové části havarijní karty se zónou ohrožení 182 metrů

6 DISKUZE

Chemický průmysl je v dnešním světě neoddělitelnou součástí každé ekonomiky země. Velké množství nebezpečných chemických látek a směsí je každý den transportováno a ještě větší množství uskladněno. Využívání těchto látek je však spojeno s mnoha riziky, na které se musí brát ohled. V minulosti se již prokázalo, že při nesprávném zacházení s NCHL a absencí preventivních opatření mohou být následky závažné havárie katastrofální. Příkladem můžou být havárie v italském městě Seveso nebo v indickém městě Bhopál, které se nevratně zapsaly do povědomí lidí jako ukázka nebezpečnosti chemických látek. V případě nekontrolovaného úniku NCHL může dojít k ohrožení života a zdraví obyvatel, zvířat nebo životního prostředí. Důležité je poučit se z těchto havárií. Pro každé zařízení, ve kterém je nebezpečná chemická látka skladována, by měla být stanovena opatření zamezující vzniku závažné havárie. Pokud dojde k úniku NCHL je nutné alespoň minimalizovat negativní dopady v okolí objektu.

Diplomová práce se zabývá identifikací podlimitních zdrojů rizik na Rakovnicku. V případě, že jsou lokalizovány v centrech měst, mohou představovat větší ohrožení, než objekty zařazené dle zákona 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, do kategorie A nebo B, které jsou většinou umístěné v průmyslových zónách.

Nezařazené zdroje rizika jsou objekty, které skladují menší množství nebezpečných chemických látek, než jsou určené limity definované v zákoně o prevenci závažných havárií. Jsou charakterizovány podle vlastností a množství NCHL, které se v areálu podniku nacházejí. Nejčastěji se jedná o technologická zařízení, ve kterých se manipuluje s amoniakem (do 50 tun), chlorem (do 10 tun) nebo LPG (do 50 tun).

Legislativa v současné době neobsahuje problematiku zabývající se prevencí havárií u podlimitních zdrojů rizik, kromě pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty, který byl vydán 14. 9. 2017. Tento pokyn ukládá povinnost HZS kraje provést identifikaci zdrojů rizik, analýzu rizik a stanovení zóny ohrožení. Pokud míra rizika dosáhne určité úrovně, musí HZS kraje zpracovat pro tento objekt havarijní kartu.

Po identifikaci zdrojů rizik na Rakovnicku bylo zjištěno, že se zde nachází sedm zařízení, které skladují určité množství nebezpečné látky a spadají tak pod tento pokyn. Jak lze vidět v tabulce č. 11 (kapitola 5.2), dva objekty využívají amoniak, jedno zařízení chlor a čtyři zařízení jsou čerpací stanice pro LPG. Pro všechny tyto objekty byly získány informace o počtu ohrožených osob nebo osob, které by byly v důsledku vzniku závažné havárie omezeny. Poté byla provedena analýza rizik stanovená v pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty. Samotnou analýzu rizik popisuje tabulka č. 20 v kapitole 5.3. Z tabulky vyplývá, že tři objekty se nachází v kategorii podlimitních objektů se zvýšeným rizikem a zpracování karty je na uvážení HZS kraje. Čtyři objekty (jedná se pouze o čerpací stanice) jsou podlimitní objekty s nízkým rizikem a zpracování havarijní karty se nevyžaduje. Důvodem, proč čerpací stanice spadají do kategorií s nižší nebezpečností při úniku NCHL do okolí, může být pokynem stanovená méně častá frekvence vzniku závažné havárie a nízký počet zaměstnanců, kteří se v areálu objektu nacházejí.

Podlimitní zařízení, které má v provedené analýze rizik nejvyšší potenciál k ohrožení svého okolí je pivovar Bakalář a.s. ve městě Rakovník. Výsledná míra rizika pro tento objekt je 14,5. Důvodem vyššího čísla může být jeho lokace, neboť toto zařízení je umístěno v centru města blízko hlavního náměstí a je obklopeno frekventovanými silnicemi a bytovými komplexy. V samotném areálu se také nachází více zaměstnanců, kteří dohlíží na chod podniku. Pivovar Bakalář také

pořádá četné exkurze pro návštěvníky, kteří by byli v případě úniku ohroženi a byla by nutná jejich evakuace z areálu.

Z důvodu vyhlášení nouzového stavu pro území České republiky (usnesení vlády č. 194 ze dne 12. března 2020) a zavedených vládních opatření, nebylo možné získat dostatečné informace pro věrohodnou modelaci úniku nebezpečné chemické látky pro více objektů. Proto byl pro modelování úniku NCHL zvolen pivovar Bakalář, který představoval vysoké riziko z pohledu chemické bezpečnosti. V diplomové práci byly pro modelaci úniku NCHL využity dva softwarové nástroje ALOHA a TerEx. Jako třetí možnost určení zóny ohrožení byl využit program OPTIZON, který z důvodu převodu programu na server MV-GŘ HZS ČR byl nefunkční a k určení zóny ohrožení byl použit výpočet stanovený v pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty.

Před samotnou modelací v programech ALOHA a TerEx bylo nutné zadat vstupní hodnoty, které by měly vycházet z reálných podmínek. Proto byla provedena analýza průměrných meteorologických hodnot na Rakovnicku za dobu 30 let (viz obrázek č. 10 a příloha 1–3). Měsíc byl zvolen říjen kvůli nejnižším průměrným srážkám, které by mohly výrazně snížit šíření toxického oblaku do okolí. Teplota, rychlost a směr větru byly určeny dle průměrných hodnot. Jako scénář byl u obou modelů zvolen defekt na vysokotlakém sběrači chladiva, který shromažďuje zkapalněné chladivo z kondenzátorů. Únik amoniaku byl inspirován dle modelového programu USA „Model risk management program and plan for ammonia refrigeration“ [40]. Pro modelaci nejpravděpodobnějšího úniku NCHL byl jako scénář zvolen alternativní (malý) únik amoniaku do okolí.

Diplomová práce může být srovnána s reálnou situací, ke které došlo v roce 2005 v pivovaru Bakalář ve městě Rakovník. Uniklo 50 kg amoniaku z důvodu

technické závady na ventilu, byl zde popálen jeden člověk a 15 dalších lidí bylo nutné evakuovat [41]. Došlo zde ke včasnému zastavení úniku amoniaku, a proto zóna ohrožení nepřesáhla areál podniku. V diplomové práci byl zvolen alternativní (malý) únik důvodu trhliny ve vysokotlakém sběrači kapalného amoniaku pod tlakem. V tomto případě bylo modelováno s únikem 315 kg amoniaku a zóna, ve které by byla nutná evakuace, přesáhla areál pivovaru.

Diplomová práce se zabývá modelováním úniku amoniaku z pivovaru. Podobnou problematikou se zabývá i diplomová práce Marty Paterové s názvem „Analýza chemické bezpečnosti ve vybrané části města Plzně“. Autorka zde identifikuje objekty, ze kterých hrozí možnost úniku NCHL a na ně modeluje zvolené scénáře v programech ALOHA i TerEx. Jedním z objektů je i Plzeňský Prazdroj a.s., pro který modelovala únik přibližně 1/3 celkového skladovaného množství amoniaku. Autorka se zabývá otázkou, zda by závažná havárie mohla mít dopad osoby nacházející se v okolí objektu a ve vnitřní části města Plzně. Autorka hodnotí, že obyvatelstvo v blízkém okolí areálu ohroženo bude, ale k zasažení vnitřní části města Plzně by nedošlo. Autorka použila pro modelaci softwarové nástroje ALOHA i TerEx, proto budou porovnány výsledky v obou programech [42].

Tabulka č. 30 popisuje vstupní data diplomové práce autorky a této diplomové práce:

Tabulka 30 - Porovnání vstupních údajů v programu ALOHA pro Rakovnický a Plzeňský pivovar

Vstupní údaje pro modelaci úniku amoniaku v programu ALOHA		
	Martina Paterová	Vlastní údaje
Látka	Amoniak	Amoniak
Uniklé množství amoniaku	7000 kg	315 kg
Doba úniku	4 min	7 min
Rychlost větru	3 m/s	4 m/s
Pokrytí oblohy oblaky	25 %	50 %
Teplota vzduchu	20 °C	15 °C
Třída stability	D	D
Vlhkost vzduchu	70 %	50 %

Zvolené scénáře se liší ve všech meteorologických podmínkách kromě třídy stability. Uniklé množství amoniaku je u autorky Paterové vyšší. V této práci autorka využila hodnoty koncentrací AEGL, které slouží pro popis rizika účinků nebezpečné chemické látky na osoby po určitou dobu expozice. Pro hodnotu AEGL-3 je výseč vzdálená 1,1 km od zdroje, pro AEGL-2 je to 3,3 km od zdroje a pro AEGL-1 je vzdálenost od zdroje úniku 6,6 km. Pro lepší přehlednost jsou výsledky zobrazeny v tabulce č. 31:

Tabulka 31 - Porovnání výsledků pro modelaci úniku v Rakovnickém a Plzeňském pivovaru

Vzdálenost koncentrací od zdroje úniku		
	Martina Paterová	Vlastní údaje
AEGL-3	1 100 m	62 m
AEGL-2	3 300 m	182 m
AEGL-1	6 600 m	436 m

Z tabulky lze vidět, že jednotlivé vzdálenosti pro zadané koncentrace se výrazně liší. Důvodem může být s velkou pravděpodobností rozdíl v množství uniklé NCHL, které je o 6 685 kg vyšší než v této práci.

Výsledky modelace v programu TerEx lze srovnat s autorkou Martinou Paterovou. Pro srovnání s vlastní prací byla však vybrána i diplomová práce Andrey Kučerové, která se zabývala analýzou nejčastějších úniků NCHL na Plzeňsku a provedla modelaci v programu TerEx v Plzeňském prazdroji a.s. Množství uniklého amoniaku stanovila na 10 kg a 150 kg. Pro porovnání vstupních parametrů zadaných do programu TerEx těchto tří prací byla vytvořena tabulka č. 32 [42] [43].

Tabulka 32 - Porovnání vstupních údajů v programu TerEx pro modelaci úniku amoniaku v Rakovnickém a Plzeňském pivovaru

Vstupní údaje úniku amoniaku v programu TerEx			
	Andrea Kučerová	Martina Paterová	Vlastní údaje
Látka	Amoniak	Amoniak	Amoniak
Skupenství	zkapalněný plyn	zkapalněný plyn	zkapalněný plyn
Model	PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku	PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku	PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku
Uniklé množství	10 kg a 150 kg	7000 kg	314 kg
Rychlost větru	1 m/s	3 m/s	4 m/s
Pokrytí oblohy mraky	0 %	25 %	50 %
Doba vzniku	noc, ráno nebo večer	den – léto	den – podzim
Typ povrchu	obytná krajina	obytná krajina	obytná krajina
Typ atmosférické stálosti	inverze	konvekce	izometrie

Zvolené scénáře se u všech prací liší ve veškerých meteorologických podmínkách. V práci Andrey Kučerové byla ve výsledcích (pro uniklé množství 10 kg) určena evakuace do 68 metrů od zdroje úniku a doporučený průzkum do 161 metrů. Při modelaci pro 150 kg uniklého amoniaku je evakuace doporučena do vzdálenosti 293 m od zdroje úniku a doporučený průzkum do vzdálenosti 516 metrů. V práci autorky Marty Paterové, které modelovala s podstatně vyšším množstvím uniklého amoniaku, byla vzdálenost pro nezbytnou evakuaci do 450 metrů od zdroje úniku a doporučený průzkum do 945 metrů. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny v tabulce č. 33, kde byly hodnoty seřazeny dle uniklého množství [42] [43].

Tabulka 33 - Porovnání výsledků úniku amoniaku v programu TerEx pro Rakovnický a Plzeňský pivovar

Autor diplomové práce	Uniklé množství amoniaku	Nezbytná evakuace (m)	Doporučený průzkum (m)
Andrea Kučerová	10 kg	68	161
	150 kg	293	516
Vlastní údaje	315 kg	303	454
Martina Paterová	7000 kg	450	945

Z tabulky lze vyčíst, že s vyšším množstvím uniklého amoniaku roste i vzdálenost pro nezbytnou evakuaci nebo doporučený průzkum. V práci Andrey Kučerové bylo vypočteno, že při úniku 150 kg amoniaku je nezbytná evakuace jen o 10 metrů menší než při úniku 315 kg. Vzdálenost u doporučeného průzkumu vyšla u úniku 150 kg vyšší než při úniku 315 kg o 62 metrů, což může být zapříčiněné jinými vstupními parametry, které se do programu zadávaly. Při srovnání největšího úniku amoniaku, který modelovala kolegyně Martina Paterová (7 000 kg), a úniku pro pivovar ve městě Rakovník (315 kg), se

vzdálenost nezbytné evakuace liší pouze o 147 metrů a doporučený průzkum toxické koncentrace o 491 metrů.

Havarijní karty

Důležitou součástí opatření snižující negativní dopady při úniku NCHL z podlimitních zařízení jsou havarijní karty, které usnadňují zásah pro složky IZS.

V diplomové práci bylo navrženo několik variant havarijních karet. Byly navrženy dvě varianty obsahové části. První varianta se zabývá činností provozovatele v době úniku amoniaku a druhá varianta slouží pro účely složek IZS. Zde je určena organizace zásahu, činnosti OPIS (spolu s kontakty vyrozumívaných subjektů) a činnost složek IZS.

Mapová část havarijní karty je zpracována ve variantě se zónou ohrožení 100 metrů, která byla určena na základě pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty. Výsledek výpočtu byl 72 metrů, ale musel být upraven, neboť minimální možný parametr zóny ohrožení je dle pokynu 100 m.

Jako alternativa byl namodelován únik 20 % skladovaného množství amoniaku v programu ALOHA. Důvodem byly mírné podmínky stanovené pokynem. Limitní koncentrace byla zvolena hodnota AEGL-2, která určila zónu ohrožení do 182 metrů od zdroje úniku.

Vyhodnocení hypotéz

Diplomová práce stanovuje tři hypotézy a na základě dosažených výsledků popsaných výše zde budou potvrzeny nebo vyvráceny.

Hypotéza 1 „Závažná havárie spojená s únikem nebezpečné chemické látky bude mít u více než 50 % podlimitních zařízení na Rakovnicku dopad na život a zdraví obyvatel nacházející se v bezprostřední blízkosti objektu.“ byla vyhodnocena na základě provedené analýzy rizik. Na Rakovnicku bylo vybráno sedm podlimitních zdrojů rizik, které představují potencionální nebezpečí v případě úniku NCHL. Čtyři zařízení jsou čerpací stanice, které skladují LPG a všechny se řadí do kategorie podlimitních objektů s nízkým rizikem. Lze předpokládat, že u čerpacích stanic by se v případě závažné havárie jednalo zejména o výbuch, který nemá takový dosah a k významnému ohrožení osob v okolí by nedošlo. Důvodem nízké úrovně rizika může být také nepřítomnost velkého počtu zaměstnanců a lokace objektů, které jsou zpravidla na okrajích měst mimo bytové jednotky.

Dalším vybraným objektem jsou Středočeské vodovody, a.s., které se nacházejí u Klíčavské přehrady a skladují 0,7 tuny chloru. Úroveň rizika pro tento objekt je na hranici podlimitních objektů s nízkým a zvýšeným rizikem (10,4). Vzhledem k umístění objektu, který se nachází v Křivoklátských lesích pod hrází vodní nádrže Klíčava, se v okolí objektu nenacházejí žádné rozsáhlé bytové komplexy. V okolí objektu se nachází pouze dva rekreační domy sloužící pro ubytování turistů, které jsou od zdroje rizika vzdáleny 200 metrů, a tudíž lze předpokládat, že v případě závažné havárie by k jejich ohrožení nedošlo.

Zvýšenou úroveň rizika vykazuje objekt Heineken ČR, a.s. pivovar Krušovice, který skladuje 7,5 tuny amoniaku pro účely chlazení výrobního produktu. Zóna ohrožení (vypočtena dle pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty) byla stanovena na 172 metrů. V jejím dosahu se nachází v jižní a východní části bytové zástavby, které těsně kopírují areál objektu. Na kraji zóny ohrožení ve východní části se nachází základní škola, mateřská školka a obecní úřad, které by za specifických meteorologických podmínek mohly být v ohrožení. V severní

části by mohlo dojít k ohrožení autobusových zastávek města Krušovice a zastavení provozu na rychlostní silnici R/6. Dá se tedy předpokládat, že v případě vzniku závažné havárie dojde k ohrožení obyvatel nacházejících se v okolí areálu objektu.

Tradiční pivovar v Rakovníku vykazoval v provedené analýze rizik nejvyšší úroveň rizika (14,5), spadá však ještě pod kategorii podlimitních objektů se zvýšeným rizikem. Vyhodnocení hypotézy bylo provedeno na základě mapových výstupů modelace v programech TerEx a ALOHA. V programu TerEx je tmavě modrou výsečí označena oblast, ve které by měla být provedena evakuace. Hodnota koncentrace vypočítaná dle programu je 208,29 mg/m³ (277 ppm) a dochází zde k ohrožení osob toxickou látkou. Tato oblast je vytyčena ve vzdálenosti 303 metrů od zdroje úniku a mimo areál pivovaru ohrožuje i bytové jednotky v severozápadní oblasti nad ulicí Havlíčkova, zákazníkы v hotelu Apartments Rozmarýn, obchod Zahradnictví Sasanka nebo hostinec Zelený Strom. Evakuovat by se také museli návštěvníci synagogy, Rabasovy galerie a Samsonova domu, kde se nachází i kavárna. Mapový výstup v programu ALOHA lze využít s hodnotami koncentrace AEGL, které slouží pro popis rizika účinků nebezpečné chemické látky na osoby po určitou dobu expozice. Koncentrace nebezpečné pro život obyvatel (AEGL-3) je v mapových výstupech znázorněna červenou barvou a určuje oblast pro koncentraci amoniaku vyšší než 1100 ppm. Oranžová zóna (AEGL-2) s koncentrací amoniaku v rozmezí 160-1100 ppm znázorňuje oblast, ve které obyvatelstvo může pociťovat nepříznivé zdravotní účinky. Vzdálenosti pro tyto dvě koncentrace určují oblast, kde je vhodné evakuovat osoby, které se zde nacházejí. Vzdálenost výseče AEGL-2, ve které by se evakuace měla provést, je 182 metrů od zdroje úniku. V této vzdálenosti dojde k přesahu amoniaku mimo areál podniku a k ohrožení objektů, které se nacházejí v okolí pivovaru. Lze tedy předpokládat, že pokud by nastal zvolený scénář, došlo by k závažnému poškození zdraví a života obyvatel

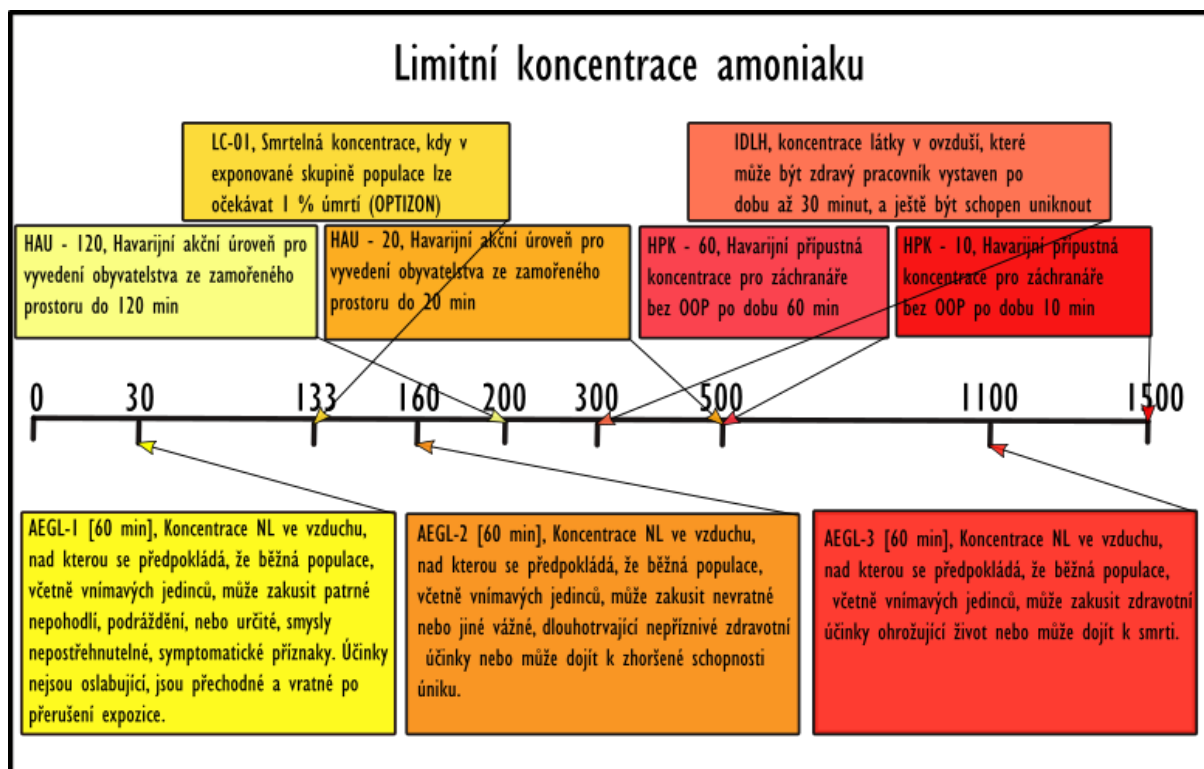
nacházejících se v bezprostřední blízkosti pivovaru v Rakovníku. K ohrožení života by mohlo dojít i u zaměstnanců podniku nebo návštěvníků, kteří by v době úniku byli na exkurzi.

Na základě vyhodnocení analýzy rizik, zhodnocení mapových podkladů a analýzy výsledků modelací **nebyla hypotéza 1 potvrzena.**

Pro vyhodnocení hypotézy 2 „Výstupy modelací v programech ALOHA, TerEx a OPTIZON budou srovnatelné“ se musí uvést parametry, se kterými se v programech počítalo. Modelace zóny ohrožení v programu OPTIZON nebylo možné provést vzhledem k jeho nefunkčnosti kvůli převodu tohoto programu na server MV-GŘ HZS ČR. Z tohoto důvodu byl zvolen alternativní postup a zóna ohrožení se vypočítala a odečítala z grafu ručně (dle vyhlášky č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního a o jeho struktuře). Pro tento způsob je potřeba znát informace o nebezpečné látce, která se v areálu nachází o maximálním skladovaném množství v objektu. Maximální množství NL se vynásobí příslušným modifikačním faktorem pro získání efektivního množství, které se odečítá z grafu. Graf TOXI používá jako referenční látku chlorovodík, proto je nutné stanovit modifikační faktor pro ostatní NCHL. Jako scénář se zde využívá kontinuální únik v délce trvání 30 minut, kdy unikne pouze 10 % z celkové hmotnosti skladované látky. Atmosférická stabilita je třídy D, rychlost větru 3 m/s a vlhkost 50 %. Základním východiskem pro určení zóny ohrožení je podmínka 1% mortality na hranici ZHP. Je tedy zvolena taková letální koncentrace LC1, při které je očekávána smrt 1 % osob, které jsou této koncentraci vystaveny po dobu 60 minut.

Pro program TerEx a program ALOHA bylo potřeba zadat vstupní údaje. Modelovaný scénář úniku amoniaku byl zvolen alternativní (malý) únik kvůli

trhlině ve vysokotlakém sběrači. Amoniak následně uniká skrze vyústění odvětrávání ve výšce šesti metrů. Využil se zde přímý únik 20 % skladovaného amoniaku, který uniká po dobu 7 minut, než došlo k zastavení unikání. Veškeré vnější podmínky (teplota, rychlost a směr větru, pokrytí oblohy oblaky, typ povrchu v okolí úniku) byly nastaveny na stejné hodnoty. Výsledek výpočtu v programu TerEx vychází se dvěma koncentracemi amoniaku. V prvním případě se jedná o koncentraci, při které dojde k ohrožení osob toxickou látkou ($208,29 \text{ mg/m}^3 = 279 \text{ ppm}$). Tato hodnota je nejbližší přirovnána k hodnotě IDLH. Jako druhá koncentrace je $68,94 \text{ mg/m}^3$ (92 ppm), kde je doporučen průzkum. Program ALOHA je nejnáročnější na vstupní hodnoty, které pro svůj výpočet potřebuje, ale zároveň poskytuje nepřesnější výsledky modelace úniku amoniaku a je možné si určit vlastní limitní koncentrace, které se zobrazí v grafických a mapových výstupech. Koncentrace, které se pro modelaci využily jsou AEGL, HAU, HPK a IDHL. Obrázek č. 20 popisuje jednotlivé limitní koncentrace amoniaku pro popisované softwarové programy.



Obrázek 20 - Limitní koncentrace amoniaku [vlastní zpracování]

Lze soudit, že program OPTIZON (v tomto případě výpočet) určuje velmi mírný scénář úniku amoniaku. Zmírňujícími předpoklady jsou únik pouze 10 % celkového skladovaného množství a zvolený model kontinuálního úniku po dobu 30 minut. Počítá se s jinou referenční látkou a musí se proto stanovovat modifikační faktory pro převod na látku, která je v zařízení uskladněna. Programy ALOHA a TerEx jsou v modelaci úniku přesnější, ale mají jiné nároky na vstupní hodnoty. Z tohoto důvodu **hypotéza 2 nebyla potvrzena.**

Hypotéza 3 „Výsledek modelace v programu ALOHA a TerEx se nebude lišit o více než 20 %“ byla zvolena z důvodu rozdílných požadavků na vstupní hodnoty obou softwarů. Koncentrace byly stanoveny dle programu TerEx a poté doloženy v programu ALOHA, kde je možnost si koncentrace zvolit. Hodnoty vzdáleností při koncentraci (277 ppm), kdy dojde k ohrožení osob toxickou

látkou se liší o více než 20 %. Výsledek vzdálenosti v programu ALOHA je o 44,2 % menší než v programu TerEx. Pro vzdálenost, kde je doporučen průzkum, je procentuální rozdíl 52,4 %. Důvodem kratších vzdáleností v programu ALOHA může být větší počet zadaných vstupních hodnot a přesnější určení pravděpodobného úniku amoniaku. **Hypotéza 3 nebyla potvrzena.**

Je důležité poznamenat, že únik NCHL je závislý na mnoho faktorech, které nelze zahrnout do zvolených scénářů, a proto je důležité nespoléhat jen na výsledky modelace. Kromě meteorologických podmínek je důležitý včasný zásah zaměstnanců podniku a složek IZS nebo varování ohrožených obyvatel v okolí. Důležitá je informovanost lidí o zásadách chování při úniku amoniaku. Měla by být provedena školení zaměstnanců a osvěta obyvatel, kteří by měli vědět, jak se v těchto případech chovat a vytvořit si improvizovanou ochranu proti toxické látce.

7 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla na základě shromážděných relevantních informací a podkladů zpracována teoretická část. V této části byla popsána současná legislativa vztahující se k prevenci závažných havárií a byl zde charakterizován proces zařazování objektů do kategorie A nebo B. Je zde rozebrána problematika podlimitních zdrojů rizik. Teoretická část se také věnuje popisu softwarových nástrojů pro modelaci úniků nebezpečných chemických látek, které byly použity v praktické části.

Předmětem praktické části byla identifikace podlimitních objektů nacházejících se na Rakovnicku a provedení analýzy rizik stanovené v pokynu GŘ HZS ČR č. 35/2017 pro podlimitní objekty. Pro dva objekty vykazující nejvyšší míru rizika byla vypočtena zóna ohrožení stanovená v pokynu. Z důvodu vyhlášení nouzového stavu pro území České republiky (usnesení vlády č. 194 ze dne 12. března 2020) a zavedených vládních opatření, nebylo možné získat dostatečné množství informací pro věrohodnou modelaci úniku nebezpečné chemické látky pro více zařízení. Proto bylo vybráno dle výsledků analýzy rizik pouze nejnebezpečnější zařízení, které představuje vysoké riziko z pohledu chemické bezpečnosti. Pro něj byl zvolen scénář úniku, který byl následně namodelován v programech ALOHA a TerEx. Při komparaci výsledků modelací bylo zjištěno, že i při zadání podobných vstupních parametrů se výsledky v jednotlivých programech liší. Poté byly určeny ohrožené oblasti a odhadnuty možné následky závažné havárie. Modelace ukázala, že při úniku amoniaku dojde k ohrožení nejen zaměstnanců, ale i obyvatel nacházejících se v blízkosti zařízení. Na závěr práce byly navrženy dvě varianty havarijních karet, které zahrnují zónu ohrožení stanovenou dle Pokynu pro podlimitní objekty a dle výsledků modelace v programu ALOHA.

Návrhy havarijních karet mohou být využity HZS Rakovník na základě povinnosti stanovené Pokynem pro podlimitní objekty. Je však důležité poznamenat, že výsledky modelace úniku NCHL v softwarových programech je třeba brát s rezervou, jelikož důvod vzniku závažné havárie nebo meteorologické podmínky mohou být vždy jiné. Proto je důležité zavádět opatření vedoucí ke snížení pravděpodobnosti vzniku chemické havárie a ke zmírnění jejich následků.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AEGL – Acute Exposure Guideline Level (směrné úrovně akutní expozice)

ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmospheres

CLP – Regulation No. 1272/2008/EC on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (nařízení č. 1272/2008/ES o klasifikaci, označování a balení směsí)

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČR – Česká republika

GHS – Globální harmonizovaný systém

HAU – havarijní akční úroveň

HPK – Havarijní přípustná koncentrace

HZS – Hasičský záchranný sbor

IDLH – Maximální koncentraci, která při expozici 30 minut nemá za následek trvalé poškození zdraví

IZS – Integrovaný záchranný systém

MV – Ministerstvo vnitra

NL – Nebezpečná látka

NCHL – Nebezpečná chemická látka

OSN – Organizace spojených národů

ppm – Parts per million (jedna miliontina)

TerEx – Teroristický expert

VZ – Velitel zásahu

ZHP – Zóna havarijního plánování

ZZS – Zdravotnická záchranná služba

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. EURLEX. *Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities*. Eur-lex.europa.eu [online]. [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31982L0501>
2. EURELEX. *Directive 87/216/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities*. Eur-lex.europa.eu [online]. [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1567005302255&uri=CELEX:31987L0216>
3. SKŘEHOT, Petr a Jan BUMBA. *Prevence nehod a havárií: 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. ISBN 978-80-86973-73-9.
4. EURELEX. *Directive Directive 2012/18/EU on the control of major-accident hazards involving dangerous substances*. Eur-lex.europa.eu [online]. [cit. 2019-08-28]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1567005497691&uri=CELEX:32012L0018>
5. Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. In: . 2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-224>
6. Vyhláška č. 225/2015 Sb., o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B. In: . 2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-225>
7. Vyhláška č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a po-stupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury. In: . 2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-226>

8. Vyhláška č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku. In: . 2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-227>
9. Pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru České republiky 35/2017. In: . 2017, ročník 2017, číslo 35.
10. ČAPOUN, Tomáš. *Chemické havárie*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. ISBN 978-80-86640-64-8.
11. KROUPA, Miroslav. *Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek: příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2004. ISBN 80-866-4023-X.
12. LACINA, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Nebezpečné chemické látky a směsi: příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo*. Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013. Recetox. ISBN 978-80-210-6475-1.
13. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006. In: . b.r. Dostupné také z: <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/?qid=1491201224835&uri=CELEX:02008R1272-20170101>
14. Zákon č. 350/2011 Sb. Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů. In: Sbíрка zákonů České republiky (chemický zákon)
15. LACINA, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Ochrana obyvatelstva ...: sborník příspěvků z mezinárodní konference*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2002. Recetox. ISBN 978-80-7385-171-2.

16. SKŘEHOT, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Prevence nehod a havárií: sborník příspěvků z mezinárodní konference*. Česko: PINK PIG, 2009. Recetox. ISBN 978-80-86973-70-8.
17. PATOČKA, Jiří, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Vojenská toxikologie: sborník příspěvků z mezinárodní konference*. Praha: Grada, 2004. Recetox. ISBN 80-247-0608-3.
18. TUREČEK, Jaroslav, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Policejní pyrotechnika: sborník příspěvků z mezinárodní konference*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2014. Recetox. ISBN 978-80-7380-510-4.
19. BARTLOVÁ, Ivana a Miloš PEŠÁK. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií II: analýza rizik a připravenost na průmyslové havárie*. 1. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 80-86634-30-2.
20. Příručky. HZS ČR [online]. 2010 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/prirucky.aspx>.
21. MAŠEK, Ivan, Otakar J. MIKA a Miloš ZEMAN. *Prevence závažných průmyslových havárií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2006. ISBN 80-214-3336-1.
22. BARTLOVÁ, Ivana, Karol BALOG a Miloš ZEMAN. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií*. 2. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-0.
23. EMARS. European commission [online]. 2017 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/content>
24. MIKA, Otakar J. *Průmyslové havárie*. Praha: Triton, 2003. Řešení krizových situací. ISBN 80-725-4455-1.
25. BROUGHTON, Edward. *The Bhopal disaster and its aftermath: a review*. In: Columbia University Academic Commons [online]. 2005 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.7916/D8H70D8N>

26. PRUDIL, Luděk. Statistická ročenka 2008. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2009. 106 Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
27. PRUDIL, Luděk. Statistická ročenka 2009. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2010. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
28. PRUDIL, Luděk. Statistická ročenka 2011. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2012. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
29. PRUDIL, Luděk. Statistická ročenka 2012. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2013. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
30. PRUDIL, Luděk. Statistická ročenka 2013. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2014. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
31. VONÁSEK, Vladimír. Statistická ročenka 2014. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2015. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
32. VONÁSEK, Vladimír. Statistická ročenka 2015. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2016. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
33. ŽŮRKOVÁ, Klára. Statistická ročenka 2016. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2017. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
34. ŽŮRKOVÁ, Klára. Statistická ročenka 2017. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2018. Dostupné z:

- <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
35. ŽŮRKOVÁ, Klára. Statistická ročenka 2018. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR, 2019. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskehozachranneho-sboru-cr.aspx>
36. BARTA, Jiří a Tomáš LUDÍK. ALOHA – *modelování a simulace Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNÁŘE* [online]. Brno: Univerzita obrany, 2012 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf
37. ALOHA: *User's Manual* [online]. Washington: U. S. Environmental Protection Agency and National Oceanic and Atmospheric Administration, February 2007, 195 s. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/oem/docs/cameo/ALOHAManual.pdf>
38. Podnebí Rakovník. *Meteoblue* [online]. Basel, Švýcarsko: meteoblue AG, 2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/rakovn%C3%ADk_%C4%8cesko_3067051
39. U.S. EPA. Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis. *U.S. Environmental Protection Agency* [online]. 1999, (EPA 550-B-99-009) [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://rapidn.jrc.ec.europa.eu/reference/38>
40. MIKA, Otakar a Jiří MATOUŠEK. Hodnocení rizik souvisejících s použitím kapalného amoniaku. *Chemické listy*. Praha: Česká společnost chemická, 2011, 105(7), 514-517. ISSN 0009- 2770.
41. Únik čpavku v pivovaru. *Novinky.cz* [online]. 2005 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/krimi/clanek/unik-cpavku-v-pivovaru-si-vyzadal-evakuaci-15-lidi-40105380>

42. PATEROVÁ, Martina. *Analýza chemické bezpečnosti ve vybrané části města Plzně*. Kladno, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Ing. René Mildorf
43. KUČEROVÁ, Andrea. *Vybrané nebezpečné chemické látky a jejich vliv na zdraví obyvatel v Plzeňském kraji*. České Budějovice, 2012. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Prof. RNDr. Jiří Patočka, DrSc
44. Havarijný plán pro případ úniku čpavku v areálu Tradičního pivovaru Rakovník a
45. Rakovnícko. *Rakovnicko.cz - regionální portál* [online]. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.rakovnicko.cz/>

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Důvod hlášení závažných havárií do databáze eMARS [vlastní zpracování]	46
Obrázek 2 - Dopad chemické havárie [vlastní zpracování]	49
Obrázek 3 - Graf četnost zásahů při úniku nebezpečných chemických látek a ropných produktů [26-36].....	54
Obrázek 4 - Efekt slunečního záření na atmosférickou stabilitu [38]	66
Obrázek 5 - Mapa areálu pivovaru Bakalář [mapy.cz].....	76
Obrázek 6 - Mapa objektu s vyznačenými místnostmi [44]	77
Obrázek 7 - Mapa pivovaru Heineken a.s. (královský pivovar Krušovice) [mapy.cz].....	79
Obrázek 8 - Stanovení předběžného parametru l pro pivovar Bakalář [7].....	89
Obrázek 9 - Stanovení předběžného parametru l pro pivovar Krušovice [7]	91
Obrázek 10 - Průměrné srážky a teploty v Rakovníku [39]	93
Obrázek 11 - Mapový výstup modelace úniku amoniaku z programu TerEx96	
Obrázek 12 - Grafický výstup v programu ALOHA s hodnotami AEGLs.....	99
Obrázek 13 - Grafický výstup v programu ALOHA s výstupními hodnotami z programu TerEx	100
Obrázek 14 - Grafický výstup pro limitní koncentrace HPK a IDLH.....	102
Obrázek 15 - Grafický výstup pro limitní koncentrace HAU a IDLH.....	103
Obrázek 16 - Návrh havarijní karty pro provozovatele podniku	106
Obrázek 17 - Návrh havarijní karty pro složky IZS.....	108
Obrázek 18 - Návrh mapové části havarijní karty pro zónu ohrožení 100 metrů.....	110
Obrázek 19 - Návrh mapové části havarijní karty se zónou ohrožení 182 metrů.....	111
Obrázek 20 - Limitní koncentrace amoniaku [vlastní zpracování].....	124

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Množství nebezpečných chemických látek v objektech pro identifikaci zdrojů rizik [9]	26
Tabulka 2 - Určení četnosti vzniku nebezpečné havárie [9].....	28
Tabulka 3 - Dílčí váhové koeficienty dopadů pro určení následků [9]	29
Tabulka 4 - Výňatek ze stanovení koeficientu smrtelných dopadů (K01) [9] .	29
Tabulka 5 - Výňatek ze stanovení koeficientu ohrožení osob (K02) [9]	30
Tabulka 6 - Odečet koeficientu zmírnění následků [9]	31
Tabulka 7 - Hodnoty koeficientu Y [9]	32
Tabulka 8 – Výňatek ze stanovení dílčího koeficientu omezení osob (KS1) [9]	33
Tabulka 9 - Určení koeficientu ekonomických dopadů [9]	34
Tabulka 10 - Varianty koncentrací amoniaku pro modelaci v softwarovém programu ALOHA.....	69
Tabulka 11 - Hlavní podlimitní zdroje rizika na Rakovnicku	75
Tabulka 12 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro tradiční pivovar Bakalář.	78
Tabulka 13 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro pivovar Krušovice.....	80
Tabulka 14 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro úpravnu vod Středočeské vodovody a.s.....	81
Tabulka 15 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro MEKA ITALY (Krupá)	82
Tabulka 16 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro čerpací stanici Robin OIL, s.r.o.	83
Tabulka 17 - Údaje pro výpočet úrovně rizika PRIMAGAS, s.r.o.....	84
Tabulka 18 - Údaje pro výpočet úrovně rizika pro čerpací stanici UNIPETROL RPA, s.r.o.	85
Tabulka 19 - Úroveň rizika pro jednotlivé podlimitní objekty	86
Tabulka 20 - Parametry pro stanovení zóny ohrožení (pivovar Bakalář) [7]..	88

Tabulka 21 - Parametry pro stanovení zóny ohrožení (Heineken ČR, a.s.) [7]	90
Tabulka 22 - Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku do programu TerEx	95
Tabulka 23 - Vzdálenosti evakuace, ohrožení osob, a doporučený průzkum dle programu TerEx	95
Tabulka 24 - Vstupní hodnoty pro modelaci úniku amoniaku v programu ALOHA	97
Tabulka 25 - Koncentrace AEGL pro únik amoniaku v programu ALOHA	98
Tabulka 26 - Výstupní koncentrace z programu TerEx pro únik amoniaku zadávané v programu ALOHA	100
Tabulka 27 - Koncentrace HKP pro únik amoniaku v programu ALOHA	101
Tabulka 28 - Koncentrace HAU pro únik amoniaku v programu ALOHA	102
Tabulka 29 - Komparace naměřených údajů z programu ALOHA a TerEx	104
Tabulka 30 - Porovnání vstupních údajů v programu ALOHA pro Rakovnický a Plzeňský pivovar	116
Tabulka 31 - Porovnání výsledků pro modelaci úniku v Rakovnickém a Plzeňském pivovaru	116
Tabulka 32 - Porovnání vstupních údajů v programu TerEx pro modelaci úniku amoniaku v Rakovnickém a Plzeňském pivovaru	117
Tabulka 33 - Porovnání výsledků úniku amoniaku v programu TerEx pro Rakovnický a Plzeňský pivovar	118

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Oblačné, slunečné a deštivé dny pro oblast Rakovníka [39]

Příloha 2 – Rychlost větru pro oblast Rakovníka [39]

Příloha 3 – Směr větru pro oblast Rakovníka [39]

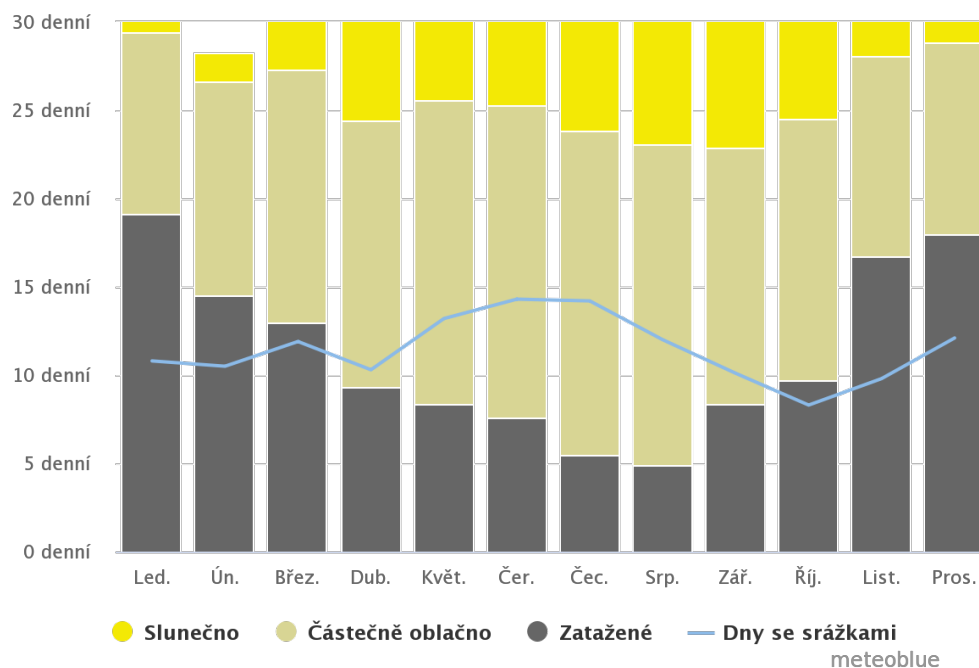
Příloha 4 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací AEGL
v programu ALOHA

Příloha 5 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací z výstupních
hodnot programu TerEx

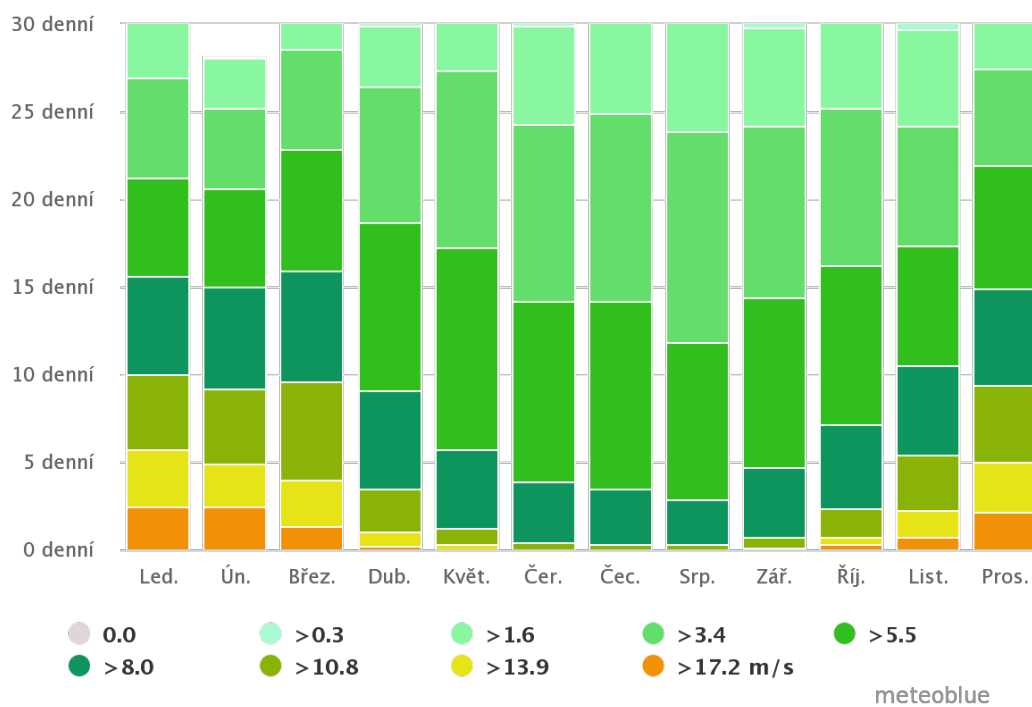
Příloha 6 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací HPK a IDLH

Příloha 7 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací HAU a IDLH

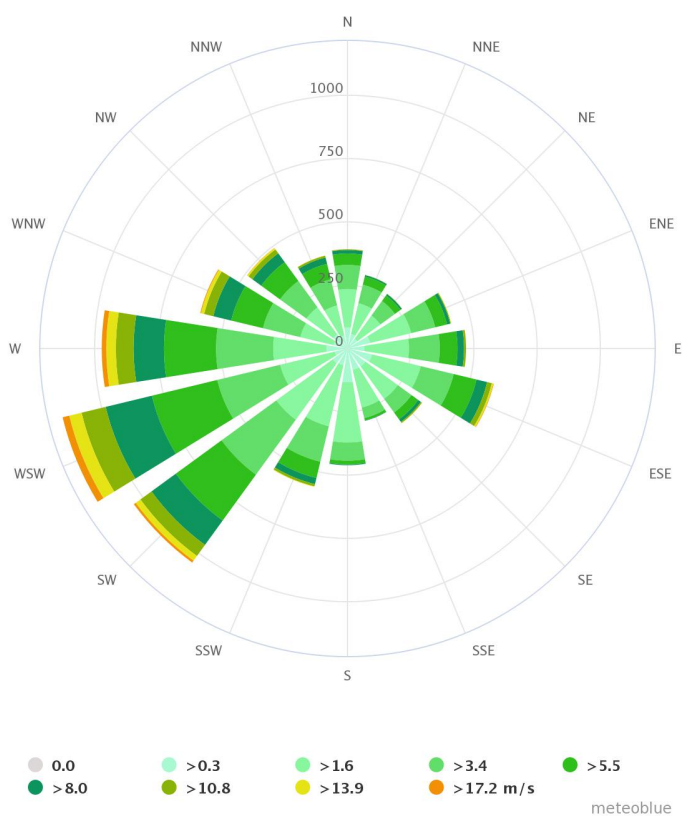
Příloha 1 - Oblačné, slunečné a deštivé dny pro oblast Rakovníka [39]



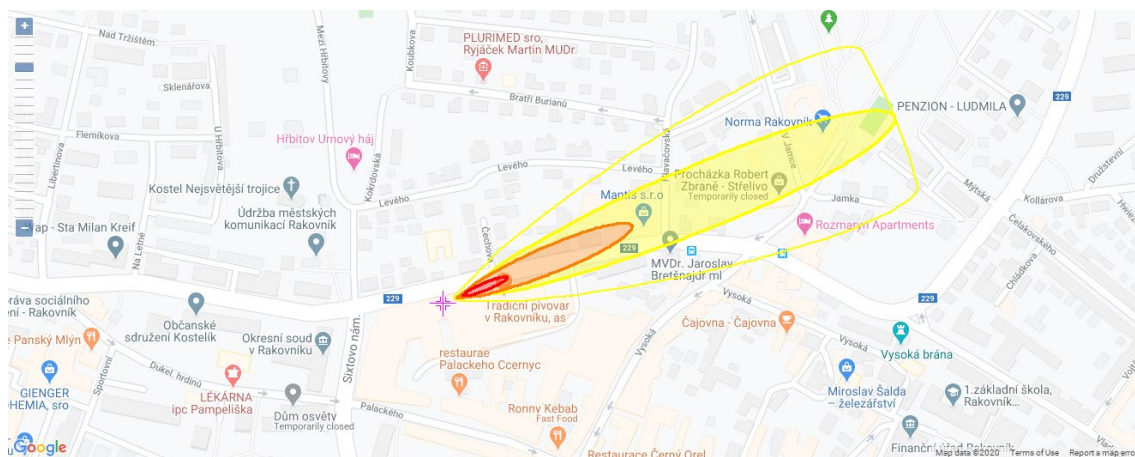
Příloha 2 – Rychlost větru pro oblast Rakovníka [39]



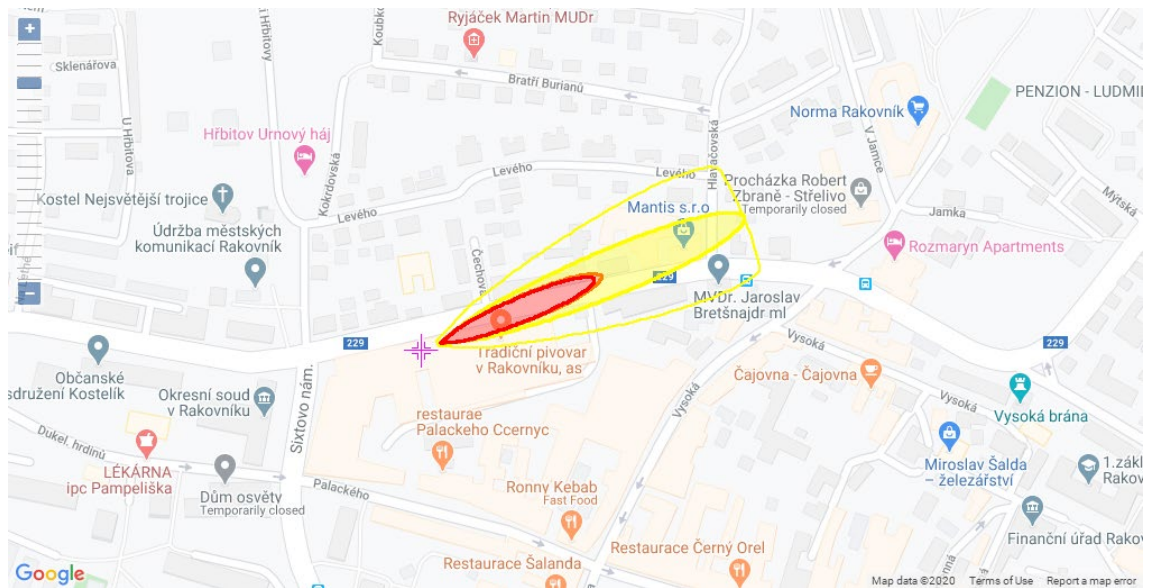
Příloha 3 – Směr větru pro oblast Rakovníka [39]



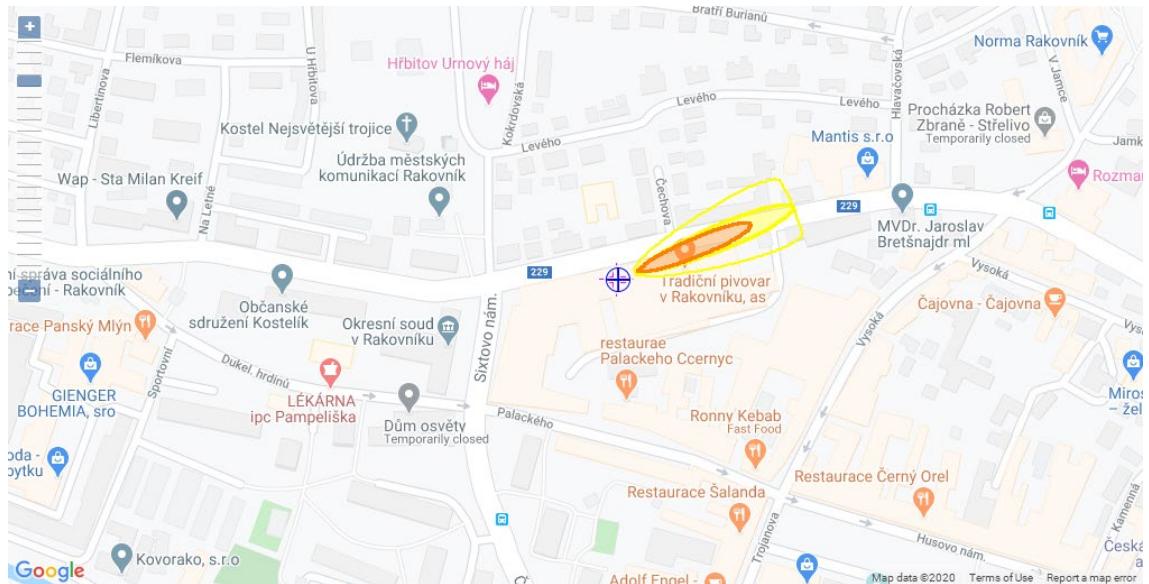
Příloha 4 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací AEGL v programu ALOHA



Příloha 5 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací z výstupních hodnot programu TerEx



Příloha 6 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací HPK a IDLH



Příloha 7 – Mapový výstup s použitím limitních koncentrací HAU a IDLH

