



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Analýza chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice

Chemical Safety Analysis of a Selected Part of the City of Lovosice

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Thao Luongová
Vedoucí diplomové práce: Ing. René Mildorf

Kladno 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Luongová** Jméno: **Thao** Osobní číslo: **434119**
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:

Analýza chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice

Název diplomové práce anglicky:

Chemical Safety Analysis of a Selected Part of the City of Lovosice

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude provedení analýzy chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice. Teoretická část se bude zabývat současným stavem dané problematiky, budou popsány vlastnosti vybraných nebezpečných chemických látek a možnosti ohrožení pro okolní obyvatelstvo a životní prostředí. Poté budou uvedeny zvolené zahraniční havárie, související s únikem vybrané nebezpečné chemické látky, se zaměřením na bezpečnostní opatření zavedená na ochranu obyvatelstva a pro prevenci havárií. Dále budou charakterizovány softwarové nástroje, které budou použity v praktické části diplomové práce. Praktická část se bude zabývat potenciálními možnostmi úniku nebezpečných chemických látek z vytipovaných zdrojů rizik ve vybrané části města Lovosice, které by mohly mít vliv na bezpečnost obyvatelstva. Také bude popsána připravenost odpovědných orgánů pro řešení této situace. Pomocí softwarových nástrojů se zhodnotí možné následky simulovaných havárií spojené s únikem nebezpečných chemických látek a určí se ohrožené oblasti v blízkosti zdrojů rizik. Výstupem bude vytvoření mapy rizik a komparace bezpečnostních opatření zavedená v současnosti a v minulosti a případný návrh na zlepšení bezpečnostního systému.

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] PROCHÁZKOVÁ, Dana, Analýza a řízení rizik, Praha: České vysoké učení technické, 2011, ISBN 978-80-01-04841-2
- [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:


Ing. René Mildorf

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 Analýza chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice 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 Lovosicích dne 14.05.2020

.....
Bc. Thao Luongová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu práce, panu Ing. René Mildorfovi za trpělivost, cenné rady a poskytování podkladů, které mi byly přínosem při zpracování této práce. Děkuji také panu Ing. Martinu Staňkovi za poskytnutí materiálů a přístupu k softwarovým programům. Dále děkuji Městskému úřadu v Lovosicích za poskytnutí potřebných materiálů a informací, které byly stěžejní pro tuto diplomovou práci. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a všem svým blízkým za jejich pomoc a trpělivost při zpracování práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce na téma Analýza chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice se zabývá vyhodnocením následků závažné havárie s únikem nebezpečné chemické látky na obyvatelstvo ve vybrané části města Lovosice.

Teoretická část práce se zabývá současným stavem, ve kterém jsou vysvětleny základní pojmy, legislativa, vlastnosti vybraných látek (amoniaku, methanolu a sirouhlíku), zahraniční chemické havárie, způsoby ochrany obyvatelstva v případě chemické havárie a softwarové nástroje ALOHA a TerEx.

V praktické části jsou charakterizovány jednotlivé objekty, u kterých hrozí únik nebezpečných chemických látek. Dále jsou vytvořeny scénáře, podle kterých jsou modelovány úniky vybraných nebezpečných látek.

Výstupem je vypracování mapy rizik pro zhodnocení chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice a komparace bezpečnostních opatření zavedená v současné době a v minulosti, případně návrh na zlepšení těchto opatření. Následně jsou v diskuzi na základě analýzy mapy rizik potvrzeny nebo vyvráceny stanovené hypotézy.

Klíčová slova

Nebezpečná chemická látka; chemická bezpečnost; ALOHA; TerEx; Chemická havárie; Amoniak.

ABSTRACT

The thesis topic Chemical Safety Analysis of a Selected Part of the City of Lovosice is dealing with evaluation of chemical accident consequences with release of dangerous chemical substance on population in selected part of the city of Lovosice.

The theoretical part of this thesis is about the current state, where are explained basic concepts, legislation, properties of chemical substances (ammonia, methanol, carbon disulfide), foreign chemical accidents, methods of protecting population in case of chemical accident and software tools „ALOHA“ and „TerEx“.

In the practical part, there are described individual objects with threat of releasing dangerous chemical substances. Followed by creation of scenarios, based on which are modeled releases of chosen dangerous chemical substances.

Results are made of elaboration of the risk map meant for evaluation of chemical safety in selected part of the city of Lovosice and comparison of safety measures established in present and past time, with possible proposal on improving those measures. After that in discussion based on analysis of the risk map, there are either confirmed or denied hypothesis.

Keywords

Dangerous chemical substance; Chemical Safety; ALOHA; TerEx; Chemical Accidents; Ammonia.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce a hypotézy	10
3	Současný stav	11
3.1	Základní pojmy	12
3.2	Legislativa.....	15
3.3	Charakteristika nebezpečných chemických látek a směsí.....	28
3.4	Chemická havárie	33
3.4.1	Příčiny chemických havárií.....	35
3.4.2	Havarijní projevy chemických havárií.....	36
3.4.3	Příklady chemických havárií	37
3.5	Ochrana obyvatelstva v případě úniku nebezpečné látky	42
3.5.1	Obecné zásady chování při úniku nebezpečných látek.....	44
3.5.2	Obecné postupy první pomoci při úniku nebezpečných látek	45
3.6	Softwarové nástroje	46
3.6.1	Popis programu ALOHA	47
3.6.2	Popis programu TerEx.....	47
4	Metodika	49
4.1	Postup modelace úniku chemické látky v programu ALOHA.....	50
4.2	Postup modelace úniku chemické látky v programu TerEx	60
5	Výsledky	63
5.1	Charakteristika města Lovosice.....	63
5.1.1	Chemická továrna Lovochemie, a. s.....	64
5.1.2	Chemická továrna Preol, a. s.....	70

5.1.3	Chemická továrna Glanzstoff – Bohemia, s. r. o.	71
5.2	Scénáře úniku	73
5.3	Modelace v softwarovém nástroji ALOHA	74
5.3.1	Modelace úniku amoniaku	74
5.3.2	Modelace úniku methanolu	78
5.3.3	Modelace úniku sirouhlíku.....	82
5.4	Modelace v softwarovém nástroji TerEx.....	85
5.4.1	Modelace úniku amoniaku	85
5.4.2	Modelace úniku methanolu	91
5.4.3	Modelace úniku sirouhlíku.....	96
5.5	Mapy rizik	101
5.5.1	Mapa rizik z programu ALOHA	101
5.5.2	Mapa rizik z programu TerEx.....	103
6	Diskuze	105
7	Závěr	115
8	Seznam použitých zkratk	116
9	Seznam použité literatury	118
10	Seznam použitých obrázků.....	127
11	Seznam použitých tabulek	130
12	Seznam Příloh.....	131

1 ÚVOD

K ohrožení zdraví obyvatelstva a životního prostředí nebezpečnými látkami může docházet nejen při dopravních nehodách či teroristických útocích, ale i při haváriích technologických a výrobních zařízení. Jelikož se v České republice nachází značné množství chemických závodů nakládajících s nebezpečnými chemickými látkami, je důležité dbát na bezpečnost obyvatel žijících v blízkosti těchto objektů.

V teoretické části práce bude nejdříve popsána legislativa zabývající se především zařazením objektů do určitých skupin podle množství nebezpečné látky, se kterou se v zařízení nakládá. Dále budou vysvětleny fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných nebezpečných látek a jejich negativní účinky na člověka. Poté budou v práci rozebrány zahraniční chemické havárie, které se staly v minulosti, se zaměřením na přijatá bezpečnostní opatření k zamezení opakování podobných událostí.

Praktická část bude zaměřena na modelaci úniku nebezpečných látek z vybraných stacionárních zdrojů podle zvolených scénářů. Modelace budou probíhat v softwarových nástrojích ALOHA a TerEx. Výstupem bude vypracování mapy rizik a zhodnocení následků závažných havárií na bezpečnost obyvatelstva. Cílem bude provedení analýzy chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice a komparace bezpečnostních opatření zavedená v současné době a v minulosti, případně návrh na zlepšení těchto opatření. Dále budou stanoveny hypotézy, které se na základě analýzy mapy rizik potvrdí či vyvrátí.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Hlavním cílem diplomové práce je analýza chemické bezpečnosti vybrané části města Lovosice včetně provedení analýzy literárních zdrojů a zpracování rešerše o dané problematice. Po identifikaci stacionárních objektů, ze kterých hrozí riziko úniku nebezpečné chemické látky, bude provedena modelace pomocí softwarových nástrojů (ALOHA, TerEx). Dále bude vytvořena mapa rizik a provedena komparace bezpečnostních opatření zavedených v současné době a v minulosti, popřípadě návrh pro zlepšení bezpečnostních opatření.

Hypotézy

- Hypotéza 1 – Při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky nedojde k ohrožení obyvatel nacházejících se v bezprostřední blízkosti hranic průmyslového areálu.
- Hypotéza 2 – Při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky je zapotřebí provést evakuaci obyvatel nacházejících se v centru města Lovosice.

3 SOUČASNÝ STAV

V současné době se chemický průmysl řadí mezi nejvýznamnější hospodářské odvětví, které se dynamicky rozvíjí. Jelikož se vyrábí, zpracovává, dopravuje, skladuje a využívá obrovské množství chemických látek, je důležité dbát na prevenci, bezpečnost a ochranu zdraví lidí a životního prostředí před nežádoucími účinky nebezpečných chemických látek. [1, 2, 3]

Mezi lety 1930 až 2009 se celosvětová roční produkce chemických látek zvýšila o 400 milionů tun, na Evropském trhu se zaregistrovalo okolo 100 000 látek a v rámci Evropské unie patří chemickému průmyslu třetí místo v žebříčku zpracovatelského průmyslu. S obrovskou produkcí chemických látek souvisí i vysoké riziko nehod a havárií spojené s únikem nebezpečných chemických látek. Bylo zaznamenáno, že mezi lety 2000 až 2009 došlo k 3200 technologickým katastrofám, které zasáhlo více než 1,5 milionu lidí a podlehl jim přibližně 100 000 lidí. [4, 5]

Za účelem bezpečného nakládání s nebezpečnými chemickými látkami, a tím i zamezení technologickým katastrofám byl spuštěn Mezinárodní program chemické bezpečnosti (International Programme on Chemical Safety – „IPCS“). Program byl spuštěn v roce 1980 ve spolupráci se Světovou zdravotnickou organizací (World Health Organization - „WHO“), Mezinárodní organizací práce (International Labour Organization – „ILO“) a Programem OSN pro životní prostředí (United Nations Environment Programme – „UNEP“). Světová zdravotnická organizace v rámci chemické bezpečnosti provádí kontroly, vyhodnocuje, varuje a reaguje na události spojené s nebezpečnými chemickými látkami. [6, 7]

3.1 Základní pojmy

V této kapitole budou vysvětleny odborné názvy související s chemickou bezpečností. Pro snadnější orientaci budou jednotlivé termíny seřazeny abecedně.

Domino efekt

Domino efektem se dle zákona č. 224/2015 Sb. O prevenci závažných havárií rozumí možné zvýšení pravděpodobnosti vzniku či následků závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti objektů nebo zařízení a umístění nebezpečných látek. [8]

Havarijní plán

Havarijní plán je dokument, ve kterém jsou popsány všechny činnosti a opatření prováděná při vzniku havárie. Cílem těchto opatření je zmírnění či odstranění následků havárie, které mohou nepříznivě ovlivnit zdraví obyvatel či životní prostředí.

Existuje několik typů havarijních plánů:

- a) Havarijní plán kraje – pro řešení mimořádných událostí, které vyžadují vyhlášení třetího nebo zvláštního stupně poplachu.
- b) Vnější havarijní plán – zpracovává se pro jaderné zařízení, nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření a pro objekty a zařízení, u kterých je možnost vzniku závažné havárie způsobené nebezpečnými chemickými látkami a přípravky.
- c) Vnitřní havarijní plán – musí zpracovávat provozovatelé zařízení, u kterých hrozí možnost vzniku závažné havárie a zároveň jsou zařazeni do skupiny B, dle zákona o prevenci závažných havárií.

Dále jej zpracovávají provozovatelé jaderných zařízení nebo pracovišť se zdroji ionizujícího záření. [9, 10]

Havarijní plánování

Je to soubor činností, postupů a vazeb, jež slouží k provádění záchranných a likvidačních prací při vzniku mimořádných událostí. Tyto soubory postupů jsou prováděny ministerstvy a jinými správními úřady, krajskými a obecními úřady, dotčenými právníky osobami nebo podnikajícími fyzickými osobami. Cílem tohoto plánování je analýza rizik a minimalizace negativních účinků mimořádné události na obyvatelstvo a životní prostředí. [11]

Chemická látka

Chemickou látkou může být jakýkoliv chemický prvek a jeho sloučenina v přírodním stavu nebo uměle vyrobená, včetně dalších látek k udržení stability s výjimkou rozpouštědel, jež mohou být odděleny bez změny složení. [12]

Chemická směs

Tvořena ze dvou a více chemických látek. [12]

Krizová situace

Krizová situace se dle zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení, paragrafu 2 definuje jako *„mimořádná událost podle zákona o integrovaném záchranném systému, narušení kritické infrastruktury nebo jiné nebezpečí, při nichž je vyhlášen stav nebezpečí, nouzový stav nebo stav ohrožení státu.“* [13]

Mimořádná událost

Dle zákona č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému, paragrafu 2 se mimořádnou událostí rozumí „škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činnostmi člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.“

[14]

Nebezpečná chemická látka

Nebezpečné chemické látky lze chápat jako jakékoli látky nebo přípravky, které za určitých podmínek mají jednu nebo více nebezpečných vlastností. Ty jsou děleny na: výbušné, mutagenní, toxické pro reprodukci a nebezpečné pro životní prostředí. [15]

Objekt

Dle zákona o prevenci závažných havárií se objektem rozumí prostor (soubor prostorů), kde je umístěna jedna nebo více nebezpečných látek v zařízení užívaném právnickou nebo podnikající fyzickou osobou. [8]

Riziko

Riziko lze chápat jako určitou pravděpodobnost vzniku nežádoucí události na chráněné zájmy, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností. Je vždy odvozeno od konkrétní hrozby. [8, 16]

Závažná havárie

Definuje se jako mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná událost, která je časově a prostorově ohraničená. Jedná se zejména o závažný únik

nebezpečné látky, požár nebo výbuch, jejichž vznik nebo hrozba vzniku souvisí s užíváním objektu. Může vést k vážnému ohrožení života a zdraví osob, zvířat, životního prostředí nebo majetku. Závažná havárie může zahrnovat jednu nebo více nebezpečných látek. [8, 9]

Zóna havarijního plánování

Označuje území v okolí objektu provozovatelů zařazených do skupiny B podle zákona o prevenci závažných havárií, kde jsou uplatňovány požadavky havarijního plánování formou vnějšího havarijního plánu. Zónu havarijního plánování stanovují krajské úřady. Vnitřní hranice zóny havarijního plánování je tvořena areálem zařízení provozovatele, které nakládá s nebezpečnou látkou, a vnější hranice se stanovuje podle vyhlášky Ministerstva vnitra č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktuře. [9, 17]

3.2 Legislativa

Legislativní podpora je důležitým faktorem pro prevenci závažných havárií, a tím zachování bezpečnosti obyvatel, zvířat, majetku a životního prostředí. Zákony se v průběhu let postupně zaváděly, neustále se vyvíjely a zpříšňovaly. V reakci na průmyslové havárie s únikem chemických látek v 70. a 80. letech minulého století byla vytvořena řada předpisů, které stanovují postupy a opatření pro případ vzniku takové závažné havárie. Mezi havárie, které měly vliv na současný vývoj legislativy, patří například závažná havárie v italském Sevesu z roku 1979 nebo v indickém Bhópálu z roku 1984. [18]

Legislativa Evropské Unie

Mezníkem pro evropskou legislativu byla 80. léta, kdy po havárii v italském Sevesu byla přijata směrnice rady Evropy 82/501/EEC, často označovaná jako směrnice SEVESO I. Tato směrnice společně s dalšími doplňujícími předpisy (Směrnice rady 87/216/EEC, 88/610/EEC) stanovily základní povinnosti pro provozovatele objektů pracujících s nebezpečnými chemickými látkami. Mezi tyto povinnosti patří například zpracování bezpečnostní zprávy a havarijního plánu, poskytování informací veřejným orgánům o rizicích spojených s nakládáním nebezpečných látek, informování zaměstnanců a veřejnosti o prevenci závažných havárií, informování a spolupráce s členskými státy v případě přeshraničních účinků havárie, ohlašovací povinnost a další. [18, 19]

Směrnice také obsahuje technická preventivní opatření, výčet nebezpečných látek, jejich skupin a limitní množství pro stanovení kategorie rizikové činnosti. [1, 18]

Později se však ukázalo, že mnohá opatření byla nedostatečně řešena a v důsledku dalších havárií byla v roce 1996 přijata nová směrnice rady Evropy 96/82/EC, zvaná SEVESO II. Ta nahradila původní směrnici SEVESO I. a přinesla zásadní změny v oblasti nakládání s nebezpečnými chemickými látkami. [19]

SEVESO II. se zaměřuje více na ochranu životního prostředí na rozdíl od směrnice SEVESO I., která se více zabývá ochranou zdraví a života člověka. V nové směrnici došlo k úpravě seznamu nebezpečných látek a jejich kategorií, dále se zavedlo sčítání množství nebezpečných látek pro stanovení celkového množství přítomného v podniku a stanovila se povinnost zavedení bezpečnostního managementu k předcházení vzniku a omezení důsledků závažných havárií. Směrnice také nově klade důraz na inspekce a kontroly prováděné pověřenými úřady, havarijní a územní plánování a identifikace možných domino efektů.

Vzhledem k okolnostem (např. havárie v Enschede) byla tato směrnice později upravena dalšími právními předpisy, které zahrnovaly nová opatření v oblasti těžební činnosti, skladování odpadů a karcinogenních látek. [1, 19, 20]

Potřeba aktualizace směrnice SEVESO II. se uskutečnila v roce 2012, kdy byla nahrazena novým právním předpisem SEVESO III. (směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU), který platí dodnes. Aktuální směrnice respektuje novou klasifikaci nebezpečných látek podle Nařízení ES č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (Classification, Labelling and Packaging, „dále jen CLP“), jež byla hlavním důvodem přijetí tohoto předpisu. [19, 20]

Nařízení CLP je ve své podstatě považován za evropskou verzi Globálně harmonizovaného systému („dále jen GHS“), který byl vytvořen Organizací spojených národů („dále jen OSN“) pro klasifikaci, balení a označování chemických látek a směsí. Účelem GHS je zajištění vysoké úrovně ochrany zdraví člověka a životního prostředí a zároveň umožnění volného pohybu látek a směsí na trhu. Systém řeší problematiku informování uživatelů o nebezpečnosti chemických látek pomocí symbolů a vět na štítcích obalů nebo prostřednictvím dokumentací (bezpečnostní listy). I přesto, že jsou tyto dva systémy podobné, liší se v zásadních bodech, například CLP je právně závazný a vymahatelný v rámci Evropské unie, zatímco GHS nikoliv. V CLP jsou dále přidána evropská označení pro identifikaci chemických látek, a rovněž zde došlo ke sjednocení pojmů v souvislosti s přepravními předpisy. [25, 36]

Účelem nařízení CLP je sjednocení kritérií pro klasifikaci a označování látek a směsí. Pro tento účel jsou chemické látky rozděleny do různých tříd nebezpečnosti, zavedly se nové grafické úpravy výstražných symbolů (viz obrázek 1), signální slova „nebezpečí“ a „varování“, standardní věty nebezpečnosti (tzv. H-věty) a pokyny pro bezpečné zacházení (tzv. P-věty). [19]



Obrázek 1 - Výstražné symboly dle CLP [19]

Společně s CLP je významným nařízením v rámci Evropské unie také nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, dále jen „REACH“ (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Toto nařízení stanovuje pravidla pro výrobu, uvádění na trh a používání chemických látek a směsí. Podstata tohoto nařízení je, že výrobci, dovozci a uživatelé nakládají pouze s látkami, které neohrožují lidské zdraví a životní prostředí. [26]

V rámci REACH byla také zřízena Evropská agentura pro chemické látky, která zastává úlohu koordinačního, kontrolního a poradenského orgánu. Zodpovídá za tvorbu databází a seznamů chemických látek, výrobců a dovozců. Cílem této agentury je poskytování vědecké a technické podpory v oblasti chemických látek. [18]

Nařízení REACH se nevztahuje na nebezpečné látky, které jsou přepravovány po železnici, silnici, po moři nebo letecky. Tuto problematiku řeší mezinárodní dohody ADR, RID, IMDG a IATA. ADR je Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě, která stanovuje podmínky přepravy nebezpečného nákladu po silnicích. RID znamená Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí a stanovuje podmínky pro přepravu

nebezpečných věcí po železnici. Podmínky pro přepravu nebezpečných věcí po moři jsou v Dohodě o mezinárodní námořní přepravě nebezpečného nákladu (dále jen „IMDG“) a pro přepravu nebezpečného nákladu leteckou cestou jsou v Dohodě o mezinárodní letecké přepravě nebezpečného nákladu (dále jen „IATA“). Pojem nebezpečná věc má totožný význam jako nebezpečná látka. [18]

Mezinárodní dohody stanovují pravidla pro označování dopravní jednotky přepravující nebezpečnou věc. Takové označení slouží k identifikaci nebezpečné věci a má podobu dvou pravoúhlých oranžových výstražných tabulí, které jsou na přední a na zadní straně dopravní jednotky. Tabulky obsahují Kemlerův kód (identifikační číslo nebezpečnosti) a UN kód (čtyřmístné číslo k identifikaci látky). [37]

Kemlerův kód k označení nebezpečnosti využívá kombinaci devíti čísel a písmena „X“. V případě většího nebezpečí se číslice zdvojí nebo ztrojí. V tabulce 1 je zanesen význam jednotlivých čísel. [37]

Tabulka 1 – Kemlerův kód [převzato z 37]

2	plynná látka (uvolňování plynů pod tlakem)
3	hořlavá kapalina (hořlavost par kapalin a plynů)
4	hořlavost pevných látek
5	látka podporující hoření (oxidační účinky)
6	jedovatá látka (toxicita)
7	radioaktivní látka
8	žíravá látka (leptavé účinky)
9	samovolná reakce (nebezpečí prudké, bouřlivé reakce)
0	číslice k doplnění do dvouciferného čísla
X	látka nesmí přijít do styku s vodou

Legislativa České republiky

Zásadní změnou v české legislativě, v oblasti prevence havárií bylo přijetí zákona č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií s účinností od ledna 2000, ve kterém byly zaimplementovány obě směrnice SEVESO (82/501/EEC, 96/82/ES). Zpracování náleželo gesci Ministerstva životního prostředí. [1, 21]

Po přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/105/ES, která aktualizovala směrnici SEVESO II., byl zákon č. 353/1999 Sb. postupně nahrazen novým zákonem č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky. [18, 21]

Vzhledem k přijetí nových nařízení Evropského parlamentu a Rady (CLP, REACH) došlo k novelizacím některých právních předpisů. V roce 2011 byl přijat zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon), ve kterém jsou implementovány tato dvě nařízení. Zákon upravuje práva a povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob při nakládání s nebezpečnými chemickými látkami. To zahrnuje výrobu, klasifikaci, zkoušení nebezpečných vlastností chemické látky, balení, označování, uvádění na trh, používání, vývoz a dovoz chemických látek nebo látek obsažených ve směsích nebo předmětech. Dále zákon upravuje správnou laboratorní praxi, klasifikaci zkoušení nebezpečných vlastností chemických směsí, jejich balení, označování a uvádění na trh na území České republiky a působnosti správních orgánů v oblasti ochrany před nežádoucími účinky látek a směsí. [23, 24]

Poslední změnu v české legislativě přinesl až rok 2015, kdy byl na základě směrnice SEVESO III. přijat 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 (zákon o prevenci závažných havárií). [8, 21]

Zákon o prevenci závažných havárií

Zákon vešel v platnost 11. září 2015 a nabyl účinnosti dne 1. října 2015. Účelem tohoto právního předpisu je stanovení systému prevence závažných havárií pro zařízení, které pracují s nebezpečnou látkou, s cílem snížit pravděpodobnost vzniku závažných havárií a minimalizovat jejich následky na životy a zdraví osob, zvířat, životní prostředí a majetek. [8, 21]

Na zákon navazují prováděcí vyhlášky, kterými jsou:

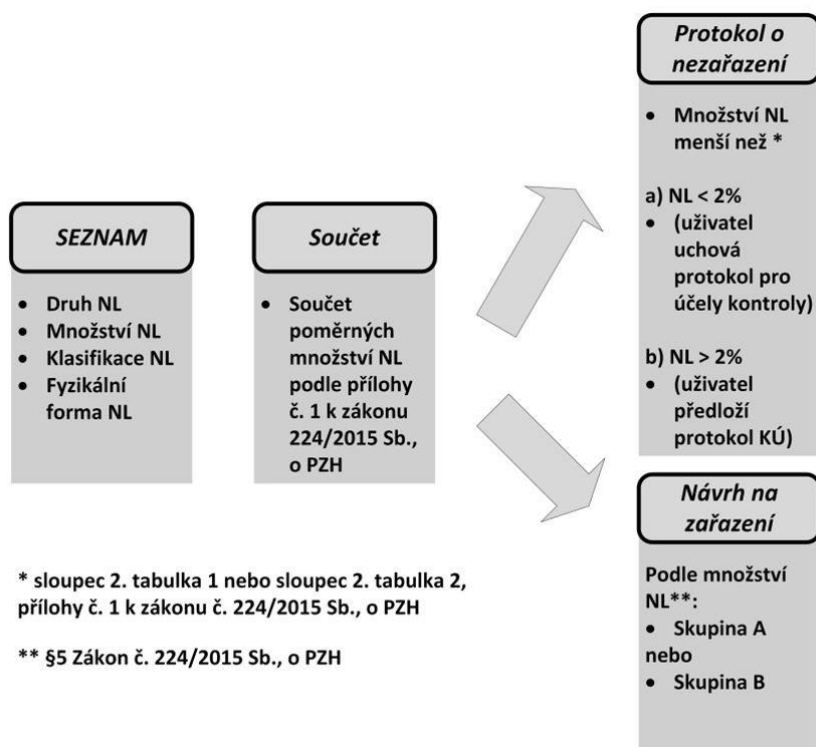
- vyhláška č. 225/2015 Sb., o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B,
- vyhláška č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury,
- vyhláška č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zadavatelem zpracovateli posudku,
- vyhláška č. 228/2015 Sb., o rozsahu zpracování informace určené veřejnosti, hlášení o vzniku závažné havárie a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie,
- vyhláška č. 229/2015 Sb., o způsobu zpracování návrhu ročního plánu kontrol a náležitostech obsahu informace o výsledku kontroly a zprávy o kontrole. [8]

Zákon stanovuje povinnost právnických a fyzických osob užívající objekt, ve kterém je umístěna nebezpečná látka, a určuje působnosti orgánu veřejné správy v oblasti prevence závažných havárií. [8]

Zařazení objektu do skupin

Provozovatelé objektu jsou na základě množství, druhu nebezpečných látek, součtových vzorců a posouzení domino efektu zařazeni do skupiny A, B nebo jsou nezařazeni. O jejich zařazení rozhoduje příslušný krajský úřad podle seznamu nebezpečných látek, který zpracovávají provozovatelé. V seznamu nebezpečných látek se uvádí druh, množství, klasifikace a fyzikální forma všech nebezpečných látek umístěných v objektu.

Kritéria pro zařazení objektu do určitých skupin jsou zaneseny v příloze č. 1 zákona o prevenci závažných havárií, v tabulkách č. I a II. V tabulce č. I je uvedeno množství látek v souvislosti s jejich nebezpečnými vlastnostmi a v druhé tabulce jsou hodnoty pro celkové množství jednotlivých nebezpečných látek. Na obrázku 2 je přehledně ukázán algoritmus zařazování provozovatelů do jednotlivých skupin. [8, 19]



Obrázek 2: Proces zařazení provozovatele do příslušné skupiny (zjednodušeně) [22]

Zařazení objektu do skupiny A

Provozovatel objektu je zařazen do skupiny A, pokud množství nebezpečné látky je větší nebo stejné, než je množství uvedené ve sloupci 2 tabulky I nebo II přílohy č. 1 a zároveň je nižší, než množství uvedené ve sloupci 3. Pokud je součet poměrných množství nebezpečných látek větší nebo roven 1, provozovatel také podává návrh na zařazení do skupiny A, to platí i v případě zařazení provozovatele do skupiny B. [8, 22]

Provozovatel zařazený do skupiny A má podle zákona o prevenci závažných havárií povinnost zpracovat a pravidelně aktualizovat bezpečnostní dokumentaci (posouzení rizik závažné havárie, bezpečnostní program) a plán fyzické ochrany.

Posouzení rizik závažné havárie se zpracovává pro účely bezpečnostního programu a skládá se z:

- a) identifikace zdrojů rizik,
- b) analýzy rizik a
- c) hodnocení rizik. [8]

Návrh bezpečnostního programu se provozovateli objektu předkládá do 6 měsíců od správního rozhodnutí krajského úřadu. Provozovatel je povinen jednou za 5 let zařídit přezkoumání bezpečnostního programu a prokazatelně jím obeznámit zaměstnance a osoby zdržující se v objektu. Bezpečnostní program zahrnuje:

- a) základní informace o objektu obsahující nebezpečné látky,
- b) posouzení rizik závažné havárie,
- c) popis politiky prevence závažných havárií, jejich cílů a zásad,
- d) popis systému bezpečnostního managementu a
- e) závěrečné shrnutí. [8, 19]

Krajský úřad může provozovateli uložit povinnost zahrnout do bezpečnostního programu preventivní bezpečnostní opatření, které se vztahuje k možnému vzniku domino efektu. [8]

V neposlední řadě musí provozovatel objektu zpracovat plán fyzické ochrany, jehož funkčnost je provozovatelem prověřována minimálně jednou ročně a obsahuje:

- a) analýzu možností neoprávněných činností a provedení případného útoku na objekt,
- b) režimová opatření,
- c) bezpečnostní opatření v podobě fyzické ostrahy a
- d) technické prostředky. [8, 19]

Zařazení objektu do skupiny B

Do skupiny B je provozovatel objektu zařazen, pokud množství nebezpečné látky je větší nebo stejné, než množství uvedené ve sloupci 3 tabulky I nebo II přílohy č. 1. [8, 22]

Provozovatel objektu zařazeného do skupiny B zpracovává a aktualizuje bezpečnostní dokumentaci (posouzení rizik závažné havárie, bezpečnostní zprávu, zprávu o posouzení bezpečnostní zprávy), plán fyzické ochrany, vnitřní havarijní plán a podklady pro stanovení zóny havarijního plánování a následné vypracování vnějšího havarijního plánu. [19]

Návrh bezpečnostní zprávy se předkládá krajskému úřadu do 9 měsíců od správního rozhodnutí o zařazení objektu do skupiny B. Samotná bezpečnostní zpráva je zpracována na základě posouzení rizik závažné havárie a obsahuje:

- a) základní informace o zařízení,
- b) technický popis zařízení (informace o umístění nebezpečných látek, provozních činnostech a procesech),

- c) informace o složkách životního prostředí v okolí zařízení,
- d) posouzení rizik závažné havárie,
- e) popis politiky prevence závažných havárií, jejích zásad a cílů,
- f) popis systému bezpečnostního managementu,
- g) popis preventivních bezpečnostních opatření k minimalizaci vzniku a následků závažné havárie (včetně přehledů instalovaných technických bezpečnostních systémů, popisu vlastních ochranných a zásahových prostředků),
- h) závěrečné shrnutí a
- i) jmenovitě uvedené právnické a fyzické osoby, které se podílely na vypracování bezpečnostní zprávy. [8]

Provozovatel je povinen seznámit všechny své zaměstnance s bezpečnostní dokumentací a informovat všechny osoby v okolí objektu o rizicích závažné havárie, o preventivních bezpečnostních opatřeních a o opatřeních v případě vzniku závažné havárie. [19]

Po zpracování a schválení bezpečnostní zprávy provozovatel musí zajistit její posouzení, které předloží krajskému úřadu do 5 let. Posouzení bezpečnostní zprávy slouží k popisu změn provedených v objektu. [8]

Další povinností provozovatele objektu je zpracování vnitřního havarijního plánu, se kterým musí být prokazatelně seznámeni všichni zaměstnanci a ostatní fyzické osoby nacházející se v objektu. Tento dokument se zpracovává a předkládá krajskému úřadu a Hasičskému záchrannému sboru do 3 měsíců od schválení bezpečnostní zprávy a aktualizuje se jednou za 3 roky. V případě změny druhu či množství nebezpečné látky uvnitř podniku, musí být vnitřní havarijní plán aktualizován do 1 měsíce. [19]

Vnitřní havarijní plán stanovuje opatření uvnitř zařízení při vzniku chemické havárie s cílem minimalizace jejích dopadů. Obsahuje základní údaje o provozovateli a osobách, které jsou pověřeny k realizaci preventivních bezpečnostních opatření a scénáře havárií a odezvy. Dále obsahuje matici odpovědnosti za jednotlivé fáze odezvy, popis všech možných následků závažné havárie, přehled ochranných zásahových prostředků, způsoby vyrozumění dotčených orgánů, varování obyvatelstva a další. Všechny náležitosti jsou dány vyhláškou č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zadavatelem zpracovateli posudku. [8, 19]

Dalším dokumentem pro objekt zařazený do skupiny B je vnější havarijní plán, který vytváří příslušný Hasičský záchranný sbor kraje na základě podkladů poskytovaných provozovatelem objektu. Podklady jsou zároveň zdrojem informací pro stanovení zóny havarijního plánování, kde se zajišťuje havarijní připravenost. V podkladech jsou zahrnuty údaje o provozovateli, popis závažné havárie s dopady na životy a zdraví lidí a životní prostředí, přehled preventivních bezpečnostních opatření, seznam technických prostředků a další údaje, které jsou vyžadovány krajským úřadem. [19, 40]

Vnější havarijní plán se zpracovává do 2 let od stanovení zóny havarijního plánování a prověřuje se jednou za 3 roky. Náležitosti vnějšího havarijního plánu jsou dány vyhláškou č. 226/2015 Sb., o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury. [8]

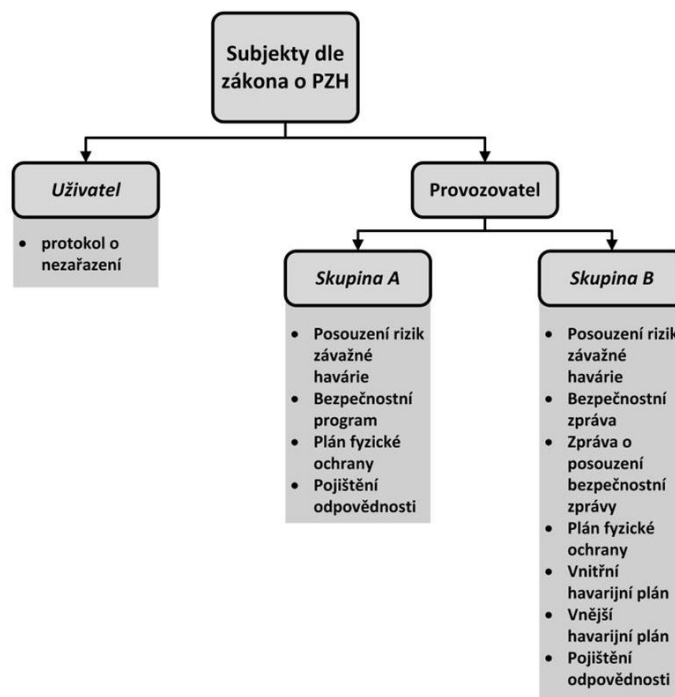
Nezařazení provozovatelé

Na tuto skupinu klade zákon o prevenci závažných havárií nejnižší nároky. Mají za povinnost zpracovat protokolární záznam o nezařazení („protokol o nezařazení“), ve kterém je zaznamenána skutečnost, že množství

nebezpečné látky je menší než množství uvedené v příloze č. 1 zákona o prevenci závažných havárií, ve sloupci 2 tabulky I nebo II, a součet poměrných množství nebezpečných látek je menší než 1. Může se jednat například o strojovny provozů, kde je používán toxický amoniak jako chladící médium (zimní stadiony, mlékárny, pivovary). [8, 19]

Protokol o nezařazení se uchovává pro případ kontroly a aktualizuje se v případě zvýšení skladované nebezpečné látky o více než deset procent oproti původnímu množství, nebo v případě skladování nové nebezpečné látky, která v protokolu není dosud zanesena. Protokol je nutné předložit krajskému úřadu, pokud množství nebezpečné látky přesáhne 2 % množství uvedeného v příloze č. 1 zákona o prevenci závažných havárií, ve sloupci 2 tabulky I nebo II. [8, 19]

Pro lepší přehlednost jsou na obrázku 3 zobrazeny povinnosti ohledně zpracovávání dokumentů podle provozovatelů zařazených do jednotlivých skupin.



Obrázek 3: Přehled dokumentace vyžadované od provozovatelů objektu [22]

3.3 Charakteristika nebezpečných chemických látek a směsí

Chemické látky se podle účinku dají rozdělit do několika skupin. K nejnebezpečnějším účinkům patří toxicita, hořlavost a výbušnost, které budou vysvětleny níže společně s dalšími vlastnostmi nebezpečných látek. Těmi jsou:

- Výbušné – exotermní reakce, která může nastat po iniciaci určitou energií (např. plamen, jiskra, elektrický výboj), kdy je dosažena určitá koncentrace plynů nebo par látky v ovzduší;
- Oxidující – vysoce exotermní reakce ve styku s ostatními chemickými látkami, zejména s hořlavými;
- Extrémně hořlavé – látky v kapalném stavu, které mají teplotu vzplanutí nižší než 0 °C a teplotu varu nižší než 35 °C nebo látky v plynném skupenství, které jsou vznětlivé při styku se vzduchem za pokojových podmínek;
- Vysoce hořlavé – látky s teplotou vzplanutí nižší než 21 °C (v tuhém stavu se látky mohou samovolně zahřívat a vznítit při styku s ovzduším za pokojových podmínek, při styku s vodou či vlhkým vzduchem mohou uvolňovat vysoce hořlavé plyny);
- Hořlavé – látky, které mají nízký bod vzplanutí (mezi 21 až 55 °C);
- Vysoce toxické – látky, které po proniknutí do organismu mohou ve velmi malém množství způsobit akutní nebo chronické poškození zdraví nebo smrt;
- Toxické – látky, jež po proniknutí do organismu dokáží v malém množství způsobit akutní či chronické poškození zdraví nebo smrt;
- Zdraví škodlivé – po proniknutí do organismu může látka způsobit akutní nebo chronické poškození zdraví nebo smrt;
- Žíravé – látky, které při styku mohou zničit živou tkáň;
- Dráždivé – látky, které mohou vyvolat zánět při dlouhodobém nebo opakovaném styku;

- Senzibilizující – látky, které mohou způsobit přecitlivost při kontaktu s organismem;
- Karcinogenní – po vdechnutí, požití či kontaktu s kůží vyvolává nebo zvyšuje riziko výskytu rakoviny;
- Mutagenní – po vdechnutí, požití nebo kontaktu s kůží může vyvolat či zvýšit pravděpodobnost dědičného genetického poškození;
- Toxické pro reprodukci – látky, které při kontaktu nebo proniknutí do organismu mohou vyvolat či zvýšit riziko výskytu nedědičných poškození potomků nebo reprodukčních funkcí;
- Nebezpečné pro životní prostředí – látky, které představují nebezpečí pro jednu nebo více složek životního prostředí. [5, 12, 24]

Vybrané nebezpečné chemické látky

Amoniak

V tabulce 2 jsou zaneseny fyzikálně chemické vlastnosti látky.

Tabulka 2 - Charakteristika amoniaku [převzato z 28, 29]

Chemický vzorec	NH ₃
CAS číslo	7664-41-7
Kemler kód	268
UN kód	1005 (zkapalněný)
Bod tání	-78 °C
Bod varu	33 °C
Hustota par	0,6 kg/m ³
Molekulová hmotnost	17,03 g/mol

Amoniak neboli čpavek je bezbarvá látka kapalného nebo plynného skupenství se štiplavým dráždivým zápachem. Prudce reaguje s oxidačními činidly a kyselinami (za vzniku amonných solí) a se vzduchem může tvořit výbušnou směs. Při úniku látky do ovzduší může dojít k zamoření okolí do velkých vzdáleností od zdroje. Amoniak se za běžných podmínek nerozkládá. Při vzniku požáru je amoniak nestabilní látkou a jeho rozkladem vznikají oxidy dusíku a vodík. [28, 29, 35]

Podle typu skupenství se liší i jeho vlastnosti. V plynném stavu je za normálních podmínek výbušný, žíravý, toxický pro životní prostředí (zejména pro ryby). Amoniak je hořlavý, ale není snadno zápalný. Je dobře rozpustný ve vodě, ale s rostoucí teplotou jeho rozpustnost klesá, například při teplotě 50 °C se rozpustí jen 18 % látky. Plynný amoniak je lehčí než vzduch, protože jeho molární hmotnost je menší než molární hmotnost vzduchu (28,96 g/mol). Avšak v místě odpařování z kapalného skupenství se vytváří mlha, která se chová jako plyn těžší než vzduch a může se šířit i do níže položených prostorů.

Amoniak v kapalném skupenství způsobuje omrzliny a reaguje s vodou za doprovodu tepla. Odpařování kapalného amoniaku je závislé na teplotě okolí. Při nízkých teplotách se odpařuje velmi pomalu a jeho odpařování se zvyšuje při kontaktu s teplými povrchy nebo při kontaktu s vodou. Amoniak se v kapalném skupenství vyskytuje většinou v případě přepravy nebo skladování v zásobnících a cisternách, kdy je pod tlakem jako zkapalněný plyn. [24, 29, 31, 32]

Nejčastěji se amoniak využívá ve farmaceutickém, chemickém, potravinářském nebo textilním průmyslu, pro výrobu dusíkatých hnojiv, herbicidů, při zpracování kovů nebo jako chladící médium na zimních stadionech či v chladírnách. [19, 28, 33]

Pro člověka představuje amoniak velké nebezpečí i po krátkodobé expozici, kdy látka dráždí a leptá kůži a oči s rizikem trvalých následků. Amoniak rovněž dráždí dýchací orgány a způsobuje kašel a dušnost. Pobyť ve vysokých koncentracích může způsobit plicní edém či jiné vážné dýchací potíže, které vedou k zástavě dechu a případně ke smrti. Ve zkapalněném stavu způsobuje poleptání a omrzliny, které jsou nebezpečné zvláště pro oči. [29, 31, 32, 33]

Sirouhlík

Tabulka 3 obsahuje základní fyzikálně chemické vlastnosti sirouhlíku.

Tabulka 3 - Charakteristika sirouhlíku [převzato z 28]

Chemický vzorec	CS ₂
CAS číslo	75-15-0
Kemler kód	336
UN kód	1131
Bod tání	-112 °C
Bod varu	46 °C
Hustota par	2,64 kg/m ³
Molekulová hmotnost	76,13 g/mol

Sirouhlík se nejčastěji využívá při výrobě viskózy, celofánu, kaučuku apod., jelikož změkčuje pryž a mnohé plasty. Je to bezbarvá nebo nažloutlá kapalina s nasládlým zápachem podobným éteru. Jeho chemicky znečištěná (technická) forma zapáchá po zkažených vejcích. Sirouhlík je toxická a silně hořlavá látka, u které i za normálních podmínek hrozí riziko vznícení.

Páry sirouhlíku jsou těžší než vzduch, to znamená, že se drží při zemi. Jsou také velmi snadno zápalné a se vzduchem tvoří jedovaté a výbušné směsi. Iniciátory vznícení mohou být jiskry (např. elektrostatického náboje), otevřený oheň nebo horké povrchy, které působí na látku. Při vznícení se oheň rychle šíří do velkých vzdáleností od zdroje. V případě úniku sirouhlíku do kanalizace nebo odpadních vod hrozí nebezpečí výbuchu. Obvykle se látka skladuje na suchém chladném místě při teplotě do 25 °C a je chráněna před světlem. [24, 28, 34]

Ve vztahu k člověku je látka velmi nebezpečná a musí se s ní zacházet opatrně. Její páry mají narkotický účinek, způsobují závratě, bolesti hlavy a malátnost. Nepříznivě je ovlivněna centrální a periferní nervová soustava, kardiovaskulární systém, oči, kůže a reprodukční ústrojí s rizikem dlouhodobějších následků. Po styku s kapalinou dochází k poleptání očí a kůže (popáleniny druhého stupně). V případě požáru uvolňuje látka toxické páry, u kterých se účinek může projevit opožděně. Člověk po krátkém působení toxických par v určité koncentraci upadá do bezvědomí a v případě delšího působení může dojít i ke smrti. [24, 28]

Methanol

Methanol se využívá jako rozpouštědlo nebo jako přísada do nemrznoucích směsí a do pohonných látek. Slouží zejména pro výrobu jiných organických látek. V malém množství vzniká v přírodě rozkladem organických látek a působením některých mikroorganismů.

Jedná se o bezbarvou kapalinu s alkoholickým zápachem, který je nerozeznatelný od ethanolu. Je dobře rozpustný ve vodě, těkavý, vysoce hořlavý a jedovatý při kontaktu nebo požití. Kvůli své hořlavosti se musí skladovat na chladných místech a nevystavovat extrémním teplotám či přímému slunečnímu záření.

Páry methanolu se vzduchem tvoří jedovaté a výbušné směsi. Jelikož je těžší než vzduch, drží se při zemi a při vznícení se oheň rychle šíří do okolí. V případě požití vysoké dávky této látky, hrozí člověku slepota nebo smrt. V menších dávkách dochází k podráždění žaludku, nevolnostem, zvracení a průjmům. Páry látky vyvolávají symptomy jako jsou bolesti hlavy, závratě a zvracení. [27, 30]

V tabulce 4 jsou zaneseny fyzikálně chemické vlastnosti methanolu.

Tabulka 4 - Charakteristika methanolu [převzato z 27, 30]

Chemický vzorec	CH ₃ OH
CAS číslo	67-56-1
Kemler kód	336
UN kód	1230
Bod tání	-98 °C
Bod varu	64,7 °C
Hustota par	1,11 kg/m ³
Molekulová hmotnost	32,04 g/mol

3.4 Chemická havárie

Chemická havárie je událost, kdy začne unikat chemická látka do vnějšího okolí a svými účinky ohrožuje zdraví obyvatel, zvířata, majetek a životní prostředí. Riziko vzniku havárie podmiňují různé faktory, například rychlý růst kapacit výrobních jednotek, zavádění nových technologií, zpracovávání, skladování, přepravování a spalování velkého množství chemických látek. [38]

K úniku chemické látky může dojít ze dvou zdrojů, stacionárního nebo mobilního. Stacionární zdroje představují objekty a zařízení, kde se vyrábí, zpracovávají a skladují chemické látky. Na tyto objekty se vztahuje zákon o prevenci závažných havárií s cílem snížení pravděpodobnosti vzniku nebo minimalizace následků mimořádné události na obyvatelstvo a životní prostředí. Havárie ze stacionárního zdroje představuje největší nebezpečí z hlediska rozsahu potenciálního úniku nebezpečné látky do okolí. Na území České republiky se aktuálně nachází přibližně 200 stacionárních objektů spadajících do různých skupin podle zákona o prevenci závažných havárií. [18, 24]

Druhým významným zdrojem ohrožení, který může zapříčinit vznik mimořádné události je mobilní zdroj. Tento zdroj představují dopravní prostředky, které přepravují nebezpečnou chemickou látku po silnici, železnici nebo vodním toku apod. Na takové dopravní prostředky se vztahují dohody ADR, RID, IATA a IMDG (viz kapitola 3.2). Největší nebezpečí mobilních zdrojů tkví v jejich nepředvídatelnosti. Jelikož projíždějí hustě obydlenými oblastmi (města, obce) nebo místy, která jsou významná z hlediska životního prostředí, nelze přesně předvídat místo vzniku havárie nebo nehody. Navíc v případě úniku látky může být zasažena větší oblast, než je místo havárie, a tím kontaminovány zdroje pitné vody, půda apod. Kvůli časté přepravě nebezpečných látek po silničních a železničních dopravních cestách je v České republice mnoho případů dopravních nehod cisteren či jiných přepravních prostředků. Ročně se zaznamenávají stovky případů, z nichž přibližně 5 % tvoří nehody s únikem nebezpečné látky. [24]

3.4.1 Příčiny chemických havárií

K určení bezpečnostních opatření pro prevenci závažných havárií nebo minimalizaci následků je důležitá identifikace a rozbor příčin havárií. Na vznik chemických havárií se mohou podílet:

- přírodní síly (povodně, silný vítr, sesuv půdy),
- selhání lidského faktoru,
- selhání technických a technologických systémů z různých důvodů,
- teroristický útok apod. [33]

Nejčastější příčinou vzniku chemických havárií bývá selhání lidského faktoru. Mezi nejběžnější chyby personálu patří např. špatná komunikace, nevhodná oprava či údržba a vypnutý bezpečnostní systém kvůli častým planým poplachům.

Co se týče technických a technologických systémů, nejčastější chyby bývají například v nevhodném zajištění proti vnitřnímu přetlaku, mechanickém porušení nádob a potrubí v důsledku koroze nebo vnějšího rázu, dále v poruše pomocných zařízení (čerpadel, kompresorů), řídicích systémů (tlakových a teplotních čidel) a bezpečnostních systémů (ventilů, membrán). Kromě těchto chyb se na vzniku chemické havárie mohou podílet další faktory, například poruchy v monitorování určitých parametrů (tlak, teplota, průtok), v pomocných zařízeních (nedostatečné chlazení nebo přívod páry) nebo v dodávce elektrické energie.

Každá z těchto chyb může vést k havárii závažnějšího rozsahu, proto je zde zapotřebí vyhodnotit každou možnou příčinu jako bezpečnostní hrozbu, která vyžaduje následné opatření nebo případně změnu systému. [1, 12, 24, 38]

3.4.2 Havarijní projevy chemických havárií

Projevy chemické havárie jsou ovlivněny mnoha faktory, mezi které patří vlastnosti a množství uniklé nebezpečné chemické látky, způsob a rychlost úniku, zdroj úniku, doba expozice zasažených osob, meteorologické podmínky a terén. [24]

Havarijní projevy mohou být různé, ale rozlišují se jen tři základní, mezi které patří požár, rozptyl toxické látky a výbuch. Požár je nebezpečný zejména svým tepelným zářením, jehož účinek ohrožuje osoby v místě požáru, zapaluje a ničí materiály nebo konstrukce a způsobuje významné materiální škody a škody v životním prostředí.

Výbuch má rychlý průběh a projevuje se tepelným zářením, tlakovou vlnou a rozletem fragmentů. Tyto zraňující účinky nejvíce ohrožují osoby v místě výbuchu nebo v jeho blízkosti. Kromě osob jsou zasaženy i budovy, konstrukce nebo technologie. V důsledku výbuchu vznikají značné materiální škody. V případě výbuchu a požáru jsou zraňující účinky časově a prostorově omezené. To znamená, že s přibývajícím vzdáleností klesá jejich intenzita. [3, 24]

Posledním havarijním projevem je rozptyl toxické látky, který kontaminuje ovzduší a působí jedovatě na osoby a zvířata. Nebezpečí tohoto projevu spočívá v rozšíření nebezpečné látky do velkých vzdáleností a při tom dochází ke kontaminaci složek životního prostředí. Zpravidla nezpůsobuje velké materiální škody. Rozptyl toxické látky je závislý převážně na skupenství a na dalších fyzikálních a chemických vlastnostech. Pokud je plynná nebezpečná látka těžší než vzduch (jeho molární hmotnost je větší než molární hmotnost vzduchu – 29 g/mol), vytváří oblak, který se zprvu šíří při zemi a dostává se do podzemních prostor (sklepy). Tam vytěsňuje vzduch a v důsledku toho se osoby dusí. Postupem času se oblak šíří podle směru větru. V případě plynu lehčího

než vzduch se látka chová opačně, stoupá vzhůru. Jelikož je většina plynů skladována ve zkapalněném stavu, chovají se při úniku jako těžší plyn. Při jejich odpařování dochází současně k ochlazování okolí havárie, které se projevuje omrzlinami, křehnutím materiálu apod. [3, 24, 66]

Kromě základních havarijních projevů se chemická havárie pozná i podle dalších charakteristických projevů, a to tzv. vnějších havarijních projevů. Mezi ně patří například akustické projevy (sykot unikající látky, výbuch, praskání konstrukce), viditelné projevy (mlha, dým, neobvyklá barva plamene, jiné zabarvení atmosféry, skvrny na vodní hladině) nebo charakteristický zápach. [24]

3.4.3 Příklady chemických havárií

V minulosti se stalo mnoho havárií s únikem nebezpečných chemických látek, jejichž negativní následky ohrožovaly obyvatele a složky životního prostředí. V této podkapitole budou rozebrány tři zahraniční chemické havárie, které se staly ve Flixborough (Velká Británie), Toulouse (Francie) a Westu (Texas, USA).

Flixborough

Havárie chemické továrny poblíž vesničky Flixborough v severní Anglii byla jednou z nejhorších havárií ve Velké Británii. Stala se 1. června roku 1974, kdy došlo k úniku nebezpečné látky cyklohexanu a následně k výbuchu. Při havárii zahynulo celkem 28 lidí a dalších 89 lidí bylo zraněno, z toho 36 osob se nacházelo v prostorách chemického závodu a 53 osob v jeho okolí. [43]

Primární příčinou vzniku chemické havárie byla vada v potrubí u pátého reaktoru ze šesti, u kterého byla dva měsíce před havárií zjištěna špatná těsnost.

Tuto vadu se vedení chemického závodu rozhodlo řešit improvizací, jelikož nechtěli přerušit provoz celé výroby odstavením reaktoru a navrhovaná konstrukční úprava ještě neprošla schvalovacím řízením. Improvizační úprava spočívala v nahrazení části reaktoru spojovací trubicou (tzv. by-pass), která však nebyla konstrukčně a materiálově vhodná. Zároveň při úpravě nebyl přítomen žádný kvalifikovaný inženýr, který by dohlížel na celý proces. Vlivem těchto nedostatků a přetlaku ve spojovacím potrubí došlo k jeho ruptuře a úniku 30 tun cyklohexanu do okolí. Velké množství cyklohexanu vytvořilo se vzduchem výbušnou směs, která postupovala dál po areálu a po iniciaci během několika minut explodovala. Silný výbuch byl ekvivalentní 32 tunám trinitrotoluenu a zničil 90 % celého areálu, včetně 1821 domů a 167 dalších objektů nacházejících se v blízkém okolí. Následoval požár trvající 10 dní. [1, 12, 43, 44]

V důsledku této havárie bylo zapotřebí provést opatření k zamezení vzniku podobných událostí. Tato opatření stanovovala:

- povinnost pravidelné kontroly zařízení veřejnými orgány,
- povinnost kontroly místa a jeho okolí v případě umístění zařízení s rizikem závažné havárie,
- potřebu lepšího rozmístění jednotlivých částí zařízení (reaktorů, zásobníků),
- potřebu právního předpisu pro kontrolu tlakových nádob a systémů,
- povinnost zřízení systému bezpečnostního managementu v zařízení pro kontrolu a zamezení vzniku závažné havárie,
- povinnost kontroly případných úprav zařízení nebo procesů, které by měly svou konstrukcí a funkcí odpovídat stanoveným standardům,
- potřebu snížení množství nebezpečné látky v objektu,

- požadavek potřebné kvalifikace personálu na vyšších pozicích v organizaci a školení zaměstnanců a další. [12, 43, 45]

Toulouse

Havárie se stala dne 21. září 2001 ve Francii na okraji města Toulouse v chemickém podniku Azote Fertilisant na výrobu umělých hnojiv. Podnik ležel přibližně 3 km od centra města a patřil mezi přední evropské výrobce umělých hnojiv. Celkem zaměstnával 469 lidí, součástí podniku byly i sklady s amoniakem a dusičnanem amonným (200–300 tun), které provozovala třetí strana. [12, 38]

Celá událost se stala ráno kolem desáté hodiny, kdy ve skladu dusičnanu amonného došlo k výbuchu, jehož účinky pociťovali lidé o několik kilometrů dál. Následkem exploze vznikl 7 metrů hluboký kráter o velikosti 65 x 45 metrů, došlo také k rozbití oken a konstrukcí domů do vzdálenosti 3 km. Síla výbuchu byla přirovnána k zemětřesení o síle 3,4 Richterovy škály. Následkem detonace a uvolnění dusičnanu amonného do ovzduší se vytvořila kyselina dusičná, amoniak, oxid dusičitý a oxid dusný. Látky se šířily jako toxický oblak severozápadně od zdroje a před svým rozptýlením stihly otrávit část obyvatelstva, které si stěžovalo na nevolnost, pálení očí a pálení v krku. [46, 47, 48]

V důsledku havárie zemřelo 31 osob, z toho 22 osob bylo na místě výbuchu. Dalších 2500 osob utrpělo zranění vyžadující lékařské ošetření v nemocnici. Pozdější vyšetřování přineslo mnoho teorií o příčinách vzniku výbuchu. Nejpravděpodobnější variantou byla špatná manipulace s chemickými látkami ve skladu s dusičnanem amonným, kde došlo ke sloučení s dichlorisokyanurátem sodným určeným k dezinfekci vody. Reakce těchto dvou sloučenin pravděpodobně zapříčinila výbuch v areálu. [38, 46, 47]

V reakci na incident francouzské orgány veřejné správy přijaly několik opatření pro prevenci vzniku podobných havárií. Přijatá opatření stanovovala:

- potřebu zahrnout do zpracovávání bezpečnostní dokumentace více scénářů vzniku chemických havárií vzhledem k různým způsobům, kterými může amoniak způsobit havárii (domino efekt, interakce s jinými látkami);
- potřebu dostatečné vzdělanosti operátora skladu o všech rizicích v souvislosti s manipulací s různými chemickými látkami ve skladu,
- povinnost pravidelné kontroly dodržování provozních procedur operátora skladu,
- nutnost ověření a zajištění potřebné kvalifikace v případě správy třetí stranou,
- potřebu územního plánování k zamezení dopadu chemické havárie,
- potřebu přizpůsobení technických prostředků vlastnostem amoniaku pro snížení jeho nebezpečných účinků a
- nutnost vzájemné výměny informací s ostatními podniky a státy nakládajícími s amoniakem. [46, 47, 48, 67]

West

Dne 17. dubna 2013 kolem osmé hodiny večer místního času se stala havárie v továrně na výrobu zemědělských hnojiv ve městě West ležící v americkém státě Texas. Katastrofa zprvu začala požárem skladiště, ke kterému byli přivoláni profesionální hasiči společně s místními dobrovolníky. Největším problémem celého incidentu byla neinformovanost hasičů ohledně výskytu 60

tun výbušného dusičnanu amonného uvnitř skladiště. Hasiči byli informováni jen o výskytu nebezpečného amoniaku v zásobnících poblíž skladu. Při likvidaci požáru tak došlo k mohutné explozi dusičnanu amonného o síle ekvivalentní zemětřesení 2,1 stupně Richterovy škály. Město bylo při výbuchu téměř srovnáno se zemí, v místě se vytvořil kráter tři metry hluboký a třicet metrů široký. [49, 50]

Incident si vyžádal minimálně 15 mrtvých, z toho 12 obětí tvořili hasiči a dobrovolníci, kteří přijeli hasit požár. Dále bylo zraněno přes 200 lidí, ale dodnes není znám přesný počet mrtvých a zraněných. Při vyšetřování příčiny vzniku havárie se zjistilo několik nedostatků v podniku. Jedním z nich byly neaktualizované bezpečnostní plány pro nakládání s dusičnanem amonným. Dalším problémem byla samotná stavba skladiště a zásobníku, která byla ze dřeva, a umístění skladu vedle organických semínek, které podporovaly hoření. Také se zjistila neexistence bezpečnostních opatření v případě jakékoli havárie. Samotný podnik totiž odmítal pravděpodobnost potenciálního vzniku požáru, výbuchu nebo úniku nebezpečné látky, které by měly za následek vážné ohrožení života a zdraví obyvatel a životního prostředí. [48, 51, 52]

Tyto nedostatky v chemickém podniku přinutily veřejné správní orgány přijmout některá opatření k omezení vzniku havárie, mezi které patří:

- povinnost zpracování bezpečnostní dokumentace v případě manipulace s dalšími nebezpečnými chemickými látkami včetně amoniaku,
- nutnost lepší organizace místa podniku (oddělení hořlavých materiálů od organických látek pro snížení rizika výbuchu a zamezení šíření požáru v případě vzplanutí chemické látky),
- potřeba realizace požární ochrany v případě skladování hořlavé chemické látky,

- omezení výstavby nových budov kolem areálu chemického podniku pro maximální snížení rizika ohrožení obyvatel,
- informování místních orgánů veřejné správy o rizicích spojených s nakládáním s nebezpečnými látkami a kontrola chemických továren včetně podniků s relativně malým množstvím nebezpečné chemické látky,
- potřeba proškolení obyvatelstva v případě nutnosti zásahu při havárii a
- nutnost aktivního vzdělávání operátorů skladu ohledně manipulace s chemickými látkami. [46, 48, 49, 52]

3.5 Ochrana obyvatelstva v případě úniku nebezpečné látky

Zajišťování ochrany obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečné chemické látky vyžaduje komplex různých opatření. Ty se předem plánují a realizují ve spolupráci se složkami integrovaného záchranného systému („dále jen IZS“). Komplex opatření se skládá z:

- varování obyvatelstva (jednotný systém varování a vyrozumění),
- vyrozumění příslušných orgánů a organizací,
- ukrytí,
- detekce a monitorování situace,
- individuální ochrany (obyvatelé používají prostředky improvizované ochrany, zásahové jednotky používají prostředky protichemické ochrany – ochranné masky, ochranné obleky, dýchací přístroje apod.),
- potlačení zdrojů rizika a zamezení vzniku sekundární havárie nebo domino efektu,

- lokalizace místa požáru a jeho likvidace,
- vyhledávání a vyprošťování osob zasažených mimořádnou událostí a poskytování první pomoci,
- uzavření postiženého území, regulace pohybu osob a vozidel,
- vytvoření vodní clony k zamezení šíření chemické látky,
- evakuace osob, zvířat a materiálu,
- dekontaminace osob, zvířat a materiálu,
- odstranění příčiny havárie a obnovení postižené oblasti do původního stavu. [3, 39]

Jedním z nejúčinnějších řešení ochrany obyvatelstva je přesun (evakuace) osob do předem stanovených a připravených prostor. Evakuaci vyhlásují, organizují a zabezpečují orgány státní správy. Pokyn k evakuaci je pak vyhlášován prostřednictvím sirén, rozhlasem, televizí apod. Evakuované osoby si připravují evakuační zavazadlo (batoh), které obsahuje:

- trvanlivé potraviny a pití na 2–3 dny,
- cennosti a dokumenty (např. peníze, občanský průkaz, karta zdravotní pojišťovny),
- hygienické prostředky,
- léky, popřípadě zdravotnické pomůcky,
- oblečení a vybavení pro přespání a
- elektronické přístroje pro komunikaci, prostředky pro zábavu a další. [39, 41]

3.5.1 Obecné zásady chování při úniku nebezpečných látek

Znalost obecných zásad chování při vzniku chemické havárie je stěžejní pro ochranu života a zdraví zasažených osob nebo minimalizaci nebezpečných účinků chemické látky. [3]

První a nejdůležitější zásadou chování obyvatel při úniku chemické látky je vyhnout se místu havárie a nepřibližovat se k němu. Důvodem je vysoká koncentrace chemické látky v místě havárie, jež ohrožuje obyvatelstvo na životě. Obecně platí, že minimální koncentrace látky je na návětrné straně místa havárie a nejvyšší je na závětrné straně. [3, 18]

Další zásadou je vyhledání vhodného úkrytu. Zde je podstatné najít úkryt ve vyšších patrech budov na závětrné straně, protože mnoho nebezpečných látek je těžších než vzduch a mohou se tak šířit i do sklepních a přízemních prostor v budovách. Důležité je pak uzavření dveří a oken a utěsnění místnosti, například lepicí páskou. Tento postup lze uplatnit i v případě úniku nebezpečné látky, která je lehčí než vzduch. Takové látky jsou v terénu nestálé a je malá šance, že by pronikly do dobře zabezpečené místnosti. [18, 33, 42]

Jednou z dalších zásad je použití improvizovaných prostředků ochrany dýchacích cest a očí, popřípadě celého těla. Obvykle se takové prostředky používají při přesunu z místa ohrožení do úkrytu nebo na evakuační shromaždiště. Pro vytvoření improvizovaných prostředků ochrany dýchacích cest je zapotřebí plastový sáček, savé a prodyšné tkaniny, pitná voda, kyselina citrónová nebo stolní ocet. Pro ochranu celého povrchu těla se může použít čepice, šála, kukla, pláštěnka, rukavice a gumové holínky. [3, 33, 42]

Dále je nezbytné poslouchat místní stanice rozhlasu nebo sledovat televizi k získání informací o dalším postupu. Veškeré pokyny, které jsou sdělovány

prostřednictvím hromadných sdělovacích prostředků, se musí dodržovat. Žádoucí je také snaha zbytečně nezatěžovat telefonní síť, nevyvolávat paniku a jednat s rozvahou a klidem. To znamená vyvarovat se větší fyzické námaze, jelikož tím se zvyšuje příjem inhalovaného vzduchu a riziko vdechnutí nebezpečné látky.

V případě vyzvání k evakuaci je zásadní bezpodmínečně uposlechnout pokynů příslušníků zasahujících jednotek, připravit si evakuační zavazadlo a přesunout se na místo shromáždění. Před odchodem z bytu či domu je nutné vypnout hlavní uzávěr vody, přívod plynu a elektrický proud. Na závěr je důležité pomoci ostatním, zejména starším, nevidomým a nemocným osobám. [18, 33, 65]

3.5.2 Obecné postupy první pomoci při úniku nebezpečných látek

První pomoc je ošetření zraněného člověka před příjezdem kvalifikovaného zdravotníka s cílem zachránit život nebo zabránit zhoršení stavu postiženého. [12]

V případě intoxikace průmyslovými škodlivinami je klíčové rozpoznání otravy podle charakteristických příznaků (např. zúžení a rozšíření zornic, svalové křeče, namodralé nebo načervenalé zbarvení kůže). Obecně se příznaky vyznačují vždy potížemi s dýcháním a celkovou slabostí, případně halucinacemi. [33]

Důležitým prvním krokem v poskytování první pomoci je okamžité přerušení dalšího kontaktu s látkou a nasazení ochranné masky. Poté postiženého přemístíme do nezamořeného prostředí, čímž se zajistí dodávka čerstvého vzduchu. Při známkách dušení přemísťujeme postiženého vždy v leže nebo v polosedě. Jakmile je postižený mimo kontaminovaný prostor, okamžitě

se sejme oděv, aby se zamezilo dalšímu vstřebávání látky, a následuje výplach očí a dekontaminace povrchu těla. Při poruchách vědomí se zjišťuje, zda postižený dýchá, jinak se zahajuje kardiopulmonální resuscitace a čeká se na příjezd zdravotnické záchranné služby. V neposlední řadě je také důležité monitorování postižené osoby, včetně dalších osob, u kterých se mohou příznaky otravy projevit se zpožděním. [24, 33, 41]

3.6 Softwarové nástroje

Softwarové nástroje pro modelaci úniku nebezpečných látek ze zařízení slouží k určení dosahů nežádoucích následků na obyvatelstvo. V současné době existuje mnoho různých softwarových nástrojů. Některé jsou dobře dostupné a často využívané v praxi. Mají však mnoho omezení a nepřesností, které zkreslují výsledek modelace a slouží spíše pro rychlou aplikaci v terénu, kdy není možné získat všechna vstupní data. [1]

Na druhé straně existují velmi pokročilé softwarové nástroje, které poskytují přesné výsledky. Takové softwarové programy vyžadují rozsáhlá vstupní data o terénu, rozmístění terénních překážek, meteorologických podmínkách, zdrojích rizik apod. Používají se spíše pro havarijní úniky chemických látek ze stacionárních zdrojů. Nevýhodou těchto modelovacích nástrojů mohou být větší náklady na zakoupení licence, složité uživatelské rozhraní a vyšší citlivost na chybné zadání vstupních údajů. Mezi takové programy patří například ALOHA, TerEx, Rozex Alarm, Optizon a další. Pro účely diplomové práce zde budou popsány softwarové nástroje ALOHA a TerEx. [1, 53]

3.6.1 Popis programu ALOHA

Software ALOHA (Area Locations of Hazardous Atmospheres) je nástroj pro modelování havarijních úniků nebezpečných látek do ovzduší. Program vyvíjela po dobu 25 let americká společnost National Ocean Service, Office of Response and Restoration. Je k dispozici ke stažení zdarma na internetu na rozdíl od programu TerEx. [53]

ALOHA je schopna po zadání vstupních údajů (informace o zásobníku, krajině, množství uniklé látky, atmosférických podmínkách) namodelovat oblast zasaženou účinky nebezpečných látek (tzv. nebezpečnou zónu – angl. Thread zone). Zároveň umožňuje převádět výstupy modelace do grafické podoby s mapovým pozadím pomocí systému GIS (geografický informační systém) – MAPLOT a ArcView. Součástí programu je také systém CAMEO, který umožňuje vyhledávat v databázi nebezpečných chemických látek zadáním názvu látky, CAS kódu nebo UN kódu. Nevýhodou softwaru ALOHA je omezení doby úniku pouze na jednu hodinu a absence možnosti modelování úniku radioaktivních látek, kouřových stop nebo dlouhotrvajících přízemních emisí. [1, 53]

3.6.2 Popis programu TerEx

TerEx, celým názvem Teroristický expert je software vyvíjený českou společností T-SOFT. Umožňuje okamžité vyhodnocení dopadů úniku nebezpečných chemických látek nebo výskytu nástražného výbušného systému pro rychlé rozhodování v případě krize. [1, 55]

TerEx stejně jako ALOHA obsahuje databázi nebezpečných látek, ve které je popsána jejich charakteristika, zásady první pomoci, způsoby dekontaminace

apod. Po modelaci je možné výsledná data zobrazit pomocí systému GIS na mapě. Jako vstupní data se zde uvádějí informace o celkovém množství uniklé látky, rychlosti větru, teplotě vzduchu, době vzniku, průběhu havárie apod. Při zadávání vstupních dat se také vybírá z několika havarijních scénářů – TOXI (dosah a tvar oblaku v závislosti na koncentraci toxické látky), PLUME (déletrvající únik plynu do oblaku, únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku nebo pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku), PUFF (jednorázový únik plynu do oblaku či únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku), UVCE (působnost vzdušné rázové vlny vyvolané detonací směsi látky se vzduchem), FLASH FIRE (velikost prostoru ohrožení osob plamennou zónou – efekty Flash Fire, Jet Fire, Pool Fire), EXPLOSIVE (možné dopady exploze výbušných systémů založené na kondenzované fázi a použité s cílem ohrožení okolí detonace) apod. [1, 53, 54]

4 METODIKA

Při zpracování teoretické části práce byla provedena analýza literárních zdrojů, mezi které patří knižní publikace a relevantní internetové zdroje zabývající se problematikou chemické bezpečnosti (legislativou, charakteristikou nebezpečných chemických látek apod.).

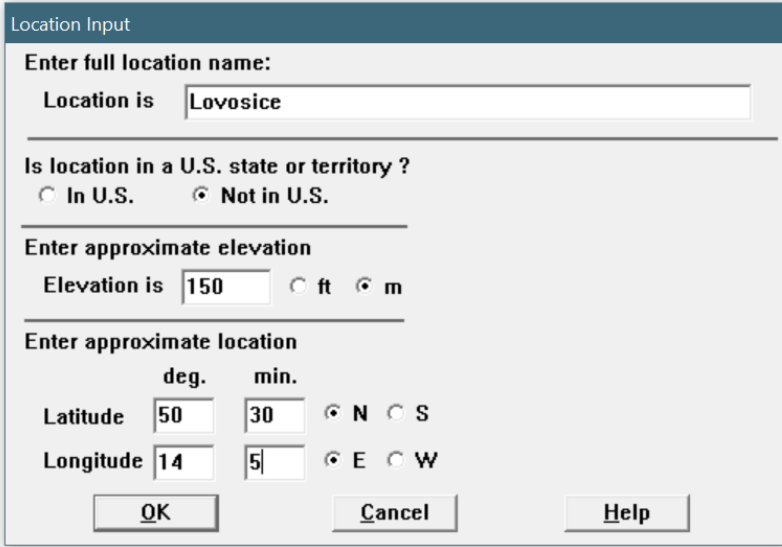
Pro vypracování praktické části zabývající se únikem nebezpečné chemické látky budou využity softwarové programy, které umožňují získat informace o rozsahu úniku chemické látky a o jejím chování v daném prostředí. Na základě dedukce byly z mnoha softwarových programů vybrány dva, ALOHA a TerEx, jejichž obecný popis je zahrnut v teoretické části, v kapitole 3.6. Pro zobrazení jednotlivých kroků a vysvětlení pojmů budou jako zdroje použity jednotlivé programy a jejich interní manuály.

Program ALOHA je volně dostupný na internetu, kdežto TerEx je dostupný jen v prostorách speciální počítačové učebny ve škole FBMI ČVUT v Kladně. Avšak z důvodu současné situace COVID-19 bylo umožněno využití programu TerEx i prostřednictvím vzdáleného přístupu na stránkách společnosti T-SOFT. Internetová forma programu je však limitována na základní funkce.

Po vlastním průzkumu provedeném ve městě Lovosice byly vybrány objekty, které mohou představovat zdroj ohrožení pro obyvatelstvo. Pro účely modelace budou použity zejména interní údaje poskytnuté městským úřadem v Lovosicích, například množství skladované látky, typ zařízení, ve kterém je skladovaná látka, a bezpečnostní dokumentace vybraných objektů.

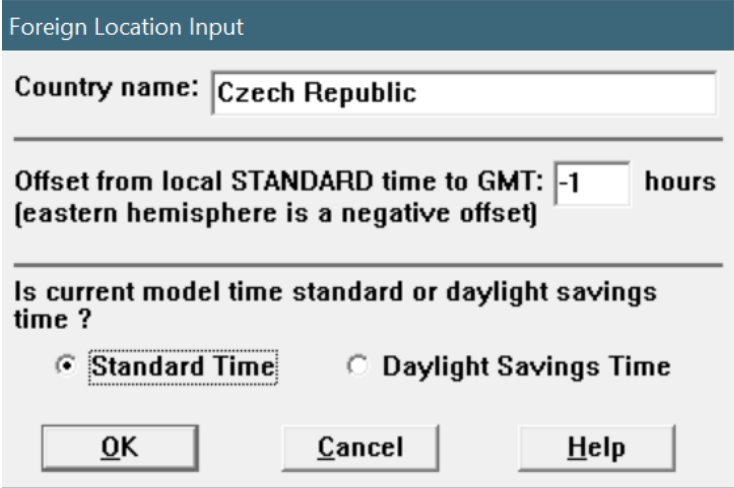
4.1 Postup modelace úniku chemické látky v programu ALOHA

Po otevření programu ALOHA a menu „SideData“ – položky „Location“ se otevře list, ve kterém se specifikuje místo zdroje ohrožení. Jelikož ALOHA pokrývá spíše oblast USA, musí se lokace zadat ručně prostřednictvím tlačítka „Add“, kde je potřeba zadat vstupní údaje pro vyhledání místa (viz obrázek 4, 5).



Obrázek 4 - Vstupní data pro vyhledání lokality

Ke zjištění vstupních dat mohou být využity různé internetové zdroje, například mapy.cz, [google maps](http://google.com/maps), [waze](http://waze.com) apod.

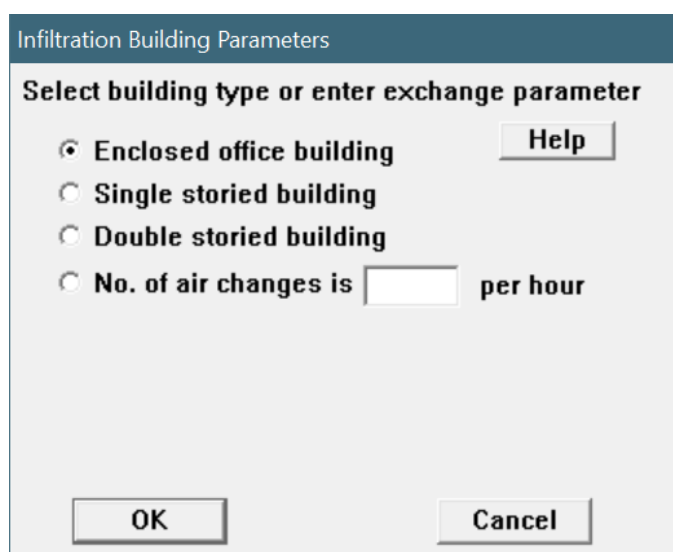


Obrázek 5 - Nastavení času hledaného místa

Při určování časového pásma je důležité dbát na zadání správného znaménka, které je v tomto případě „-1“ hodina od standardního světového času. V případě zimního času („Daylight Savings Time“) se zadává pro Českou republiku čas „-2“ hodiny.

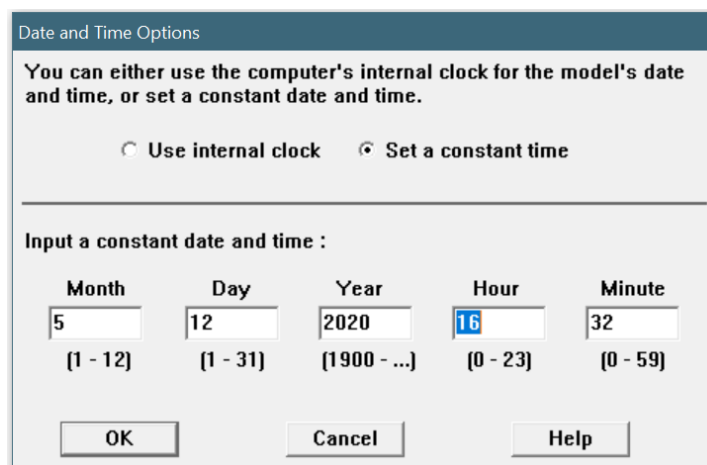
Program ALOHA má v sobě zabudovaný systém kontroly správnosti údajů, kdy v případě špatně zadaného údaje neumožňuje postup do dalšího kroku, ale požaduje jeho nápravu. Následně se nově zadaná lokalita uloží do datových zdrojů, kde se může později různě upravit pro potřeby modelování.

V další části programu se nastavuje typ zástavby (viz obrázek 6) v menu „SizeData“ v položce „Building Type“. Tento parametr určuje koncentraci látky uvnitř budovy a rychlost její infiltrace. Nejčastěji se volí první možnost „Enclosed office building“, která se aplikuje obecně na všechny běžné budovy kolem zdroje rizika. V případě zájmu o konkrétní budovu se zadává možnost jednopatrové („Single storied building“) nebo dvoupatrové budovy („Double storied building“). Tato možnost je následně specifikována volbou typu prostředí, jež může mít vliv na šíření látky. Pro účely praktické části se zvolí možnost „Enclosed office building“.



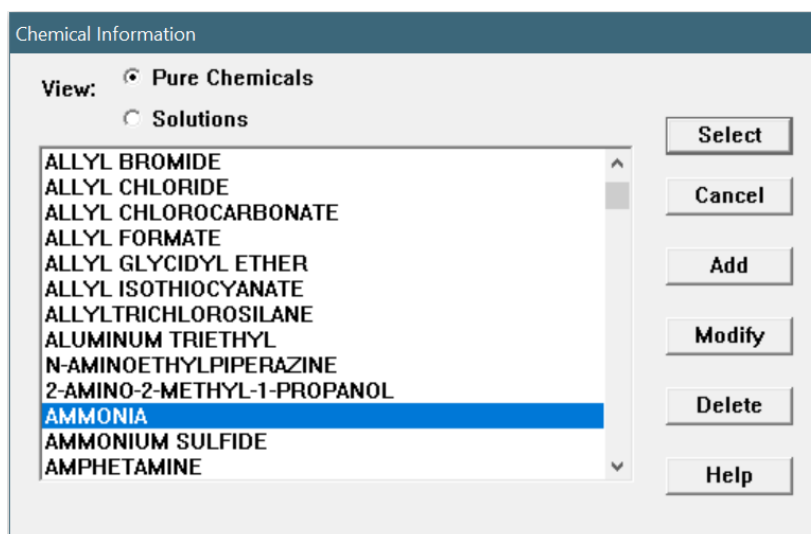
Obrázek 6 - Typ zástavby

Dalším krokem je nastavení data a času vzniku mimořádné události v menu „SideData“, v položce „Date&Time“ (viz obrázek 7). V dialogu lze nastavit libovolný čas ručně („Set a constant time“) nebo v případě probíhající události se čas nastavuje automaticky podle interních hodin v počítači („Use internal clock“).



Obrázek 7 - Nastavení data a času

Pro samotnou modelaci se nejdříve musí zvolit typ chemické látky v menu „SetUp“, v položce „Chemical“ (viz obrázek 8). V dialogu je také umožněno přidat novou chemickou látku a upravit nebo smazat stávající látku. Potvrzení výběru se pak provádí tlačítkem „Select“.



Obrázek 8 - Výběr chemické látky

Dalším bodem k dosažení výsledků modelace je nastavení atmosférických podmínek v menu „SetUp“, v položce „Atmospheric“ a „User Input“ (viz obrázek 9 a 10). Zadávají se údaje o rychlosti a směru větru, teplotě okolí, oblačnosti apod.

Atmospheric Options

Wind Speed is : 7 knots mph meters/sec

Wind is from : E Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:

OR enter value : 10 feet meters

Ground Roughness is :

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness (Zo) :

Open Water

Select Cloud Cover :

complete cover partly cloudy clear OR enter value : 5 (0 - 10)

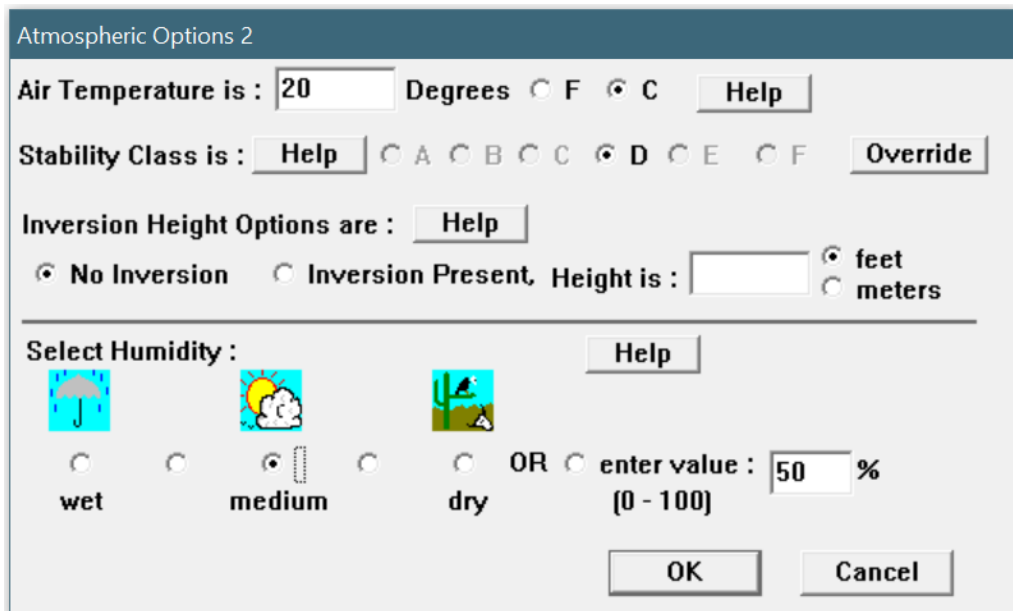
Obrázek 9 - Nastavení atmosférických podmínek

Prvním údajem, který se nastavuje, je rychlost a směr větru důležitý pro určení šíření nebezpečné chemické látky. Se zvyšující se rychlostí větru se zvyšuje rychlost šíření nebezpečného oblaku po směru větru a zároveň se snižuje jeho rozptyl v prostoru.

Dále se nastavuje typ terénu, podle kterého se určuje počet a velikost překážek při postupování oblaku. Pro účely práce se bude zadávat volba „Urban or Forest“, jelikož je modelace aplikována na prostředí města, kde je hodně budov. Poté se určuje oblačnost, podle které se počítá intenzita slunečního záření, jež má zásadní vliv na rychlost vypařování látky v kapalném stavu. Kromě

slunečního záření má vliv na vypařování i teplota okolí, jež se zadává do dialogu na obrázku 10.

Důležitým parametrem pro šíření nebezpečné chemické látky je třída stability atmosféry. Ta se určuje automaticky podle času, data, rychlosti větru a oblačnosti. Program ALOHA definuje celkem šest stupňů stability (A-F), které spadají pod tři kategorie stability – stabilní (E, F), neutrální (D) a nestabilní (A, B, C). Třídy stability jsou v rozmezí od A (velmi nestabilní) po F (stabilní), třída D značí neutrální stabilitu. Čím je atmosféra stabilnější, tím je rozptyl oblaku větší. V případě nestabilní atmosféry se oblak rychle smísí s ostatními plyny a dochází tak k rychlému snížení koncentrace nebezpečné látky. Podmínky pro stabilnější atmosféru nastávají v noci při nízké oblačnosti a rychlosti větru, naopak ve dne je stabilnější atmosféra v případě vyšší oblačnosti a rychlosti větru. Pro nestabilní atmosféru platí podmínky naopak.

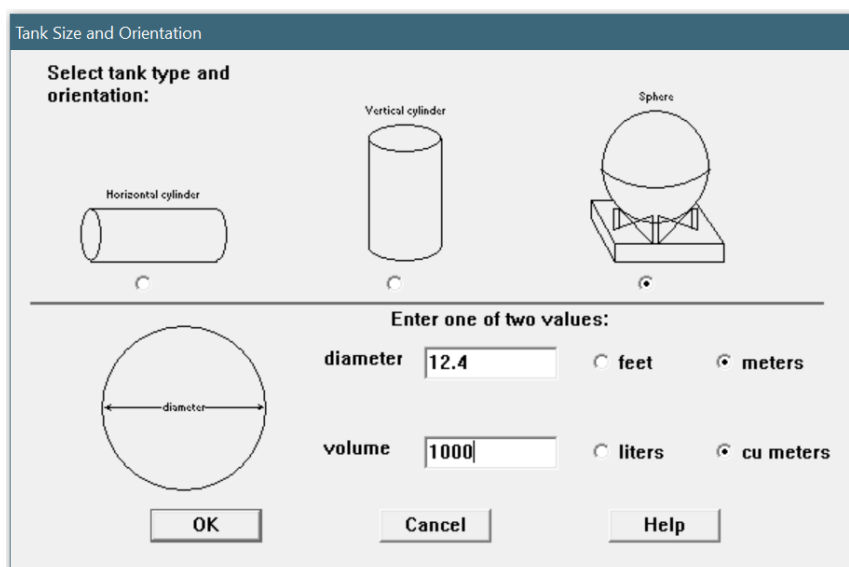


Obrázek 10 - Nastavení atmosférických podmínek

Posledním krokem je určení zdroje rizika, jeho parametry a typ poškození v menu „SetUp“, v položce „Source“. V položce „Source“ se poté vybírá ze čtyř možností úniku chemické látky:

- „Direct“ – modelující okamžitý únik chemické látky do atmosféry,
- „Puddle“ – modelující únik chemické látky v kapalném stavu a následně její vypařování z louže,
- „Tank“ – modelující únik látky skladované v zásobníku a
- „Gass pipeline“ – modelující únik plynné chemické látky z prasklého potrubí.

Pro účely modelování se bude pracovat s možností úniku chemické látky ze zásobníku. Na obrázku 11 je ukázka dialogu pro zadávání typu a parametrů zásobníku.



Obrázek 11 - Volba typu zásobníku a jeho parametry

Následně se volí skupenství a teplota vybrané chemické látky uvnitř zásobníku (viz obrázek 12).

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Help

Tank contains liquid
 Tank contains gas only
 Unknown

Enter the temperature within the tank: Help

Chemical stored at ambient temperature
 Chemical stored at degrees F C

Obrázek 12 - Zadávání údajů o chemické látce uvnitř zásobníku

V dalším kroku se zadává množství nebezpečné chemické látky uvnitř zásobníku (viz obrázek 13). Vyplněním jedné ze tří položek o množství chemické látky je program ALOHA schopen vypočítat zbývající údaje. Po vyplnění všech nezbytných údajů se následně volí typ poškození zásobníku (viz obrázek 14). V našem případě se volí první možnost „Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere“, což znamená únik nehořící chemické látky do ovzduší.

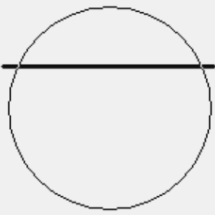
Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: pounds
 tons(2,000 lbs)
 kilograms

OR

Enter liquid level OR volume



The liquid volume is: gallons
 cubic feet
 liters
 cubic meters

% full by volume

Obrázek 13 - Zadávání vstupních údajů o množství chemické látky v zásobníku

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

- Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere
- Leaking tank, chemical is burning as a jet fire
- BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from flammable chemical which is not burning as it leaks from tank:

- Downwind toxic effects
- Vapor cloud flash fire
- Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion


OK Cancel Help

Obrázek 14 - Volba typu poškození zásobníku

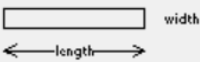
V souvislosti s poškozením zásobníku se pojí další kroky, kde jsou požadovány informace o tvaru, velikosti, typu a poloze ruptury zásobníku (viz obrázek 15 a 16).

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting



diameter



width

length

Circular opening Rectangular opening

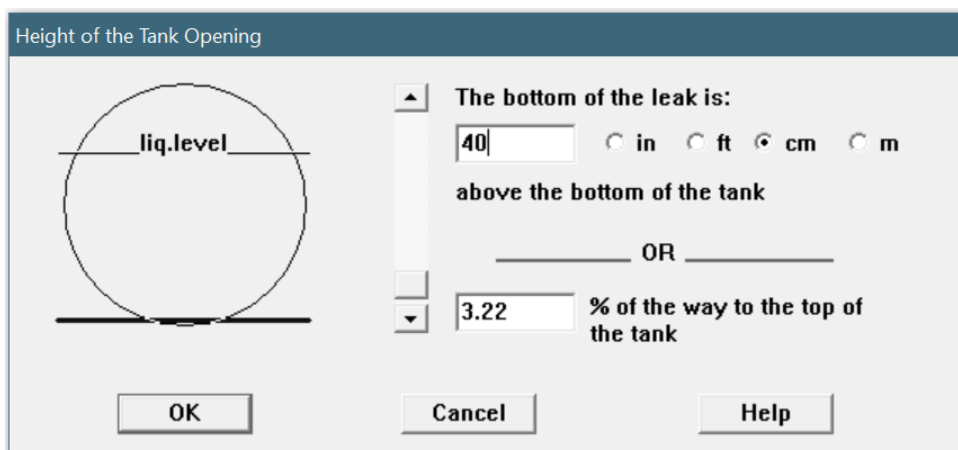
Opening diameter: inches
 feet
 centimeters
 meters

Is leak through a hole or short pipe/valve?

Hole Short pipe/valve

OK Cancel Help

Obrázek 15 - Rozměry poškození zásobníku



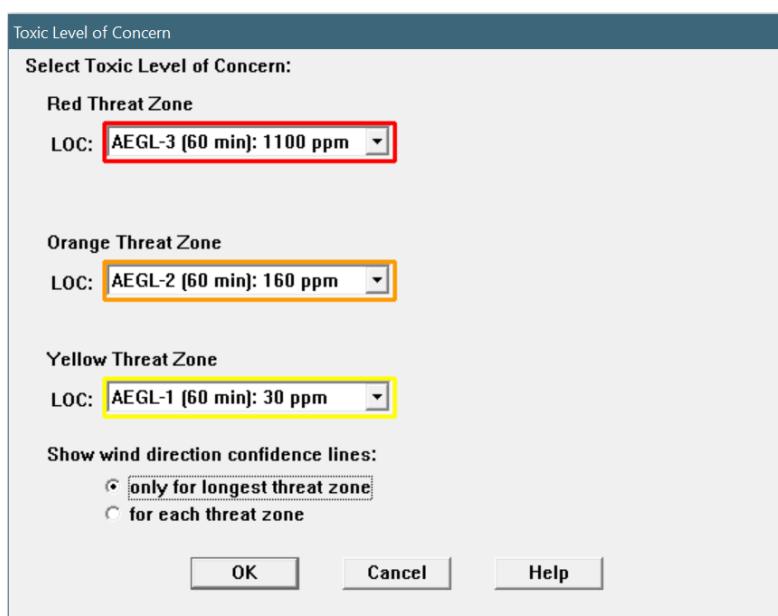
Obrázek 16 - Informace o otvoru zásobníku

Po vyplnění všech vstupních údajů následuje jejich shrnutí v textové a grafické podobě. Grafický výstup se liší podle tří modelů:

- model „Thread Zone“ – zobrazující dosah přízemních koncentrací látek,
- model „Thread Point“ – zobrazující změny koncentrace látky v konkrétním bodě a čase a
- model „Source Strength – Release Rate“ – zobrazující rychlost úniku látky ze zásobníku.

Ze všech modelů je pro účely práce nejdůležitější první model, a to „Thread Zone“, který se nachází v menu „Display“. Model „Thread Zone“ poskytuje pohled ze tří různých scénářů. Pro únik chemické látky se volí první scénář „Toxic Area of Vapor Cloud“, který analyzuje oblast šíření toxického oblaku. Poté dojde k zobrazení dalšího dialogu, kde je umožněno vlastní nastavení mezních hodnot pro jednotlivé zóny ohrožení (viz obrázek 17). Program však nabízí i předdefinované mezní hodnoty zón ohrožení podle různých standardů, například „AEGs“ (Acute Exposure Guideline Levels – směrnice pro úrovně akutní expozice), „ERPGs“ (Emergency Response Planning Guidelines – směrnice pro plánování odezvy na případ nouze) nebo „IDLHs“

(Immediately Dangerous to Life and Health limits – limity pro bezprostřední nebezpečí na zdraví a život). Pro potřeby praktické části se bude pracovat s hodnotami AEGLs.



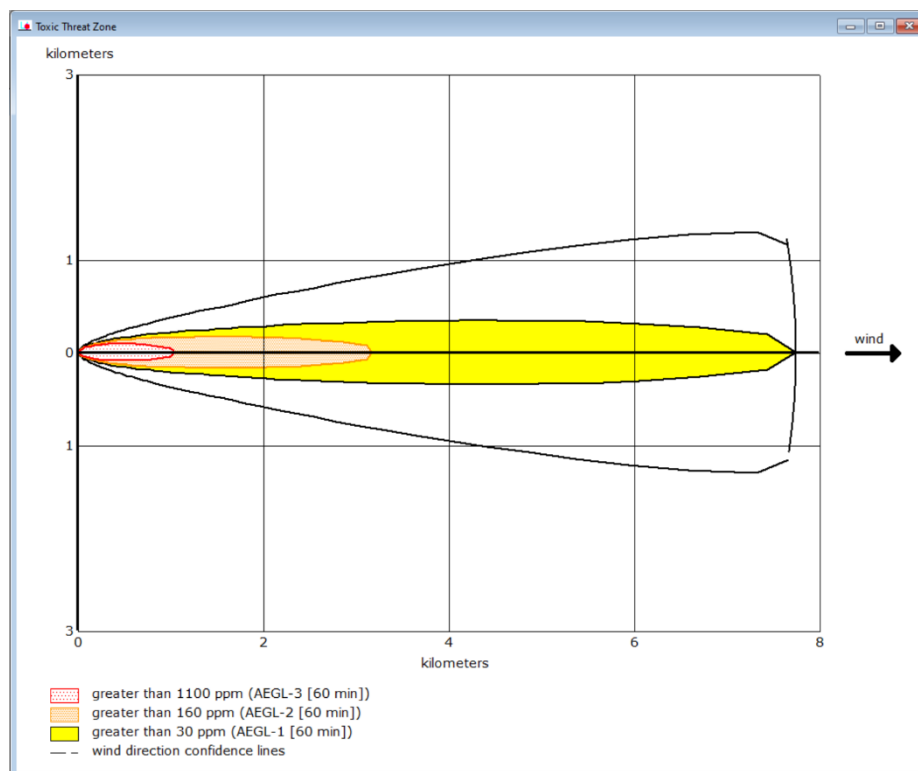
Obrázek 17 - Předdefinované hodnoty pro jednotlivé zóny ohrožení

Hodnoty AEGLs slouží k určení míry ohrožení osob účinkem nebezpečné látky v závislosti na její koncentraci a na době expozice (5 minut, 30 minut, 1 hodina, 4 hodiny, 8 hodin). Podle závažnosti dopadů na životy a zdraví osob ve vztahu ke koncentraci chemické látky rozlišuje AEGLs na tři kategorie.

- AEGL-1 – představuje úroveň koncentrace látky, při jejímž vystavení mohou lidé pociťovat nevolnost, podráždění nebo mírné symptomatické příznaky. Následky nejsou ochromující a po přerušení působení účinku látky jsou přechodné a reverzibilní.
- AEGL-2 – představuje takovou úroveň koncentrace látky, která může způsobit dlouhodobé, nevratné či jiné vážné zdravotní potíže. Pobyt v této koncentraci může zhoršit či znemožnit schopnost úniku z místa.

- AEGL-3 – představuje takovou úroveň koncentrace nebezpečné látky v ovzduší, která bezprostředně ohrožuje jedince na životě. [53]

Výsledný grafický výstup modelu „Thread Zone“ je na obrázku 18, kde jsou vyznačeny jednotlivé zóny ohrožení AEGLs společně s rozsahem úniku chemické látky po směru větru.

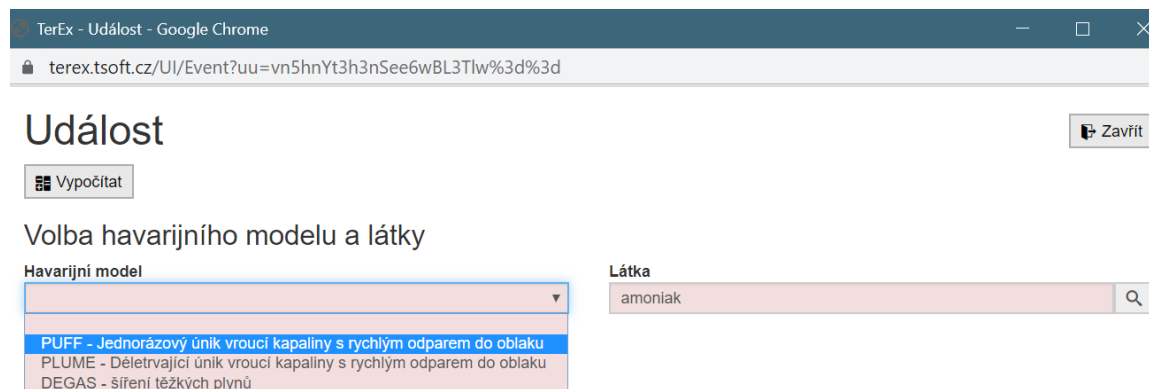


Obrázek 18 - Grafický výstup s označením jednotlivých zón ohrožení

4.2 Postup modelace úniku chemické látky v programu TerEx

Prvním krokem je otevření programu TerEx prostřednictvím vzdáleného přístupu na oficiálních stránkách společnosti T-SOFT a založení nové havarijní události přes tlačítko „Nová“. Následně se otevře nové internetové okno, ve kterém vybereme chemickou látku a její skupenství z interní databáze. Poté se

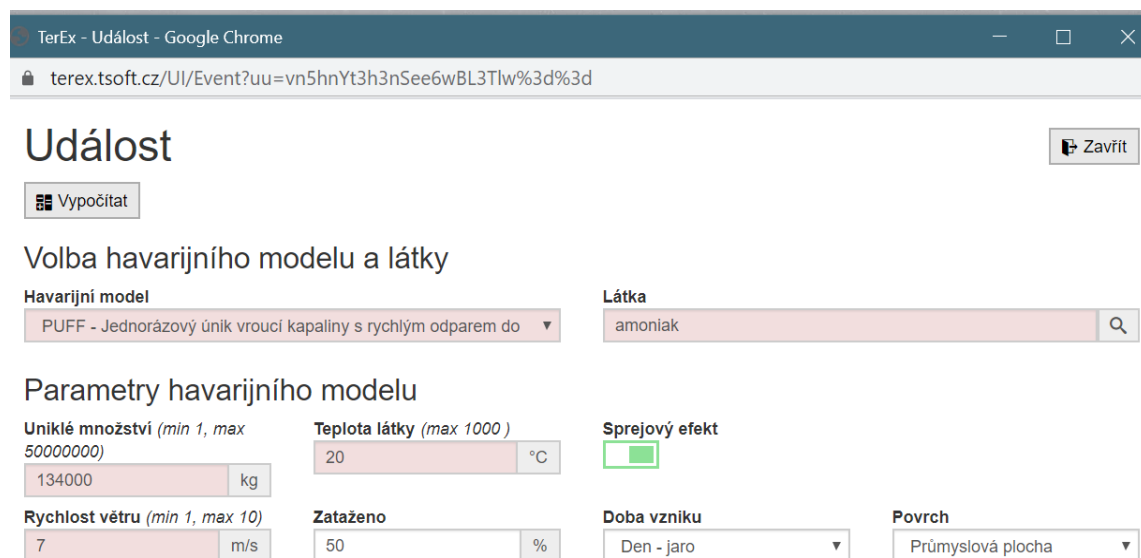
určuje typ havarijního modelu, který se liší podle zvolené chemické látky (viz obrázek 19). Například v případě amoniaku se volí ze tří možností, PUFF, DEGAS nebo PLUME. Pro potřeby diplomové práce je zvolen model PUFF, který znamená jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.



The screenshot shows a web browser window with the URL `terex.tsoft.cz/UI/Event?uu=vn5hnYt3h3nSee6wBL3Tlw%3d%3d`. The page title is "Událost" (Incident). There is a "Zavřít" (Close) button in the top right. Below the title is a "Vypočítat" (Calculate) button. The main section is titled "Volba havarijního modelu a látky" (Selection of hazard model and substance). It contains two input fields: "Havarijní model" (Hazard model) and "Látka" (Substance). The "Látka" field contains the text "amoniak". The "Havarijní model" dropdown menu is open, showing three options: "PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku" (highlighted in blue), "PLUME - Děletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku", and "DEGAS - šíření těžkých plynů".

Obrázek 19 - Výběr chemické látky a typu havarijního modelu

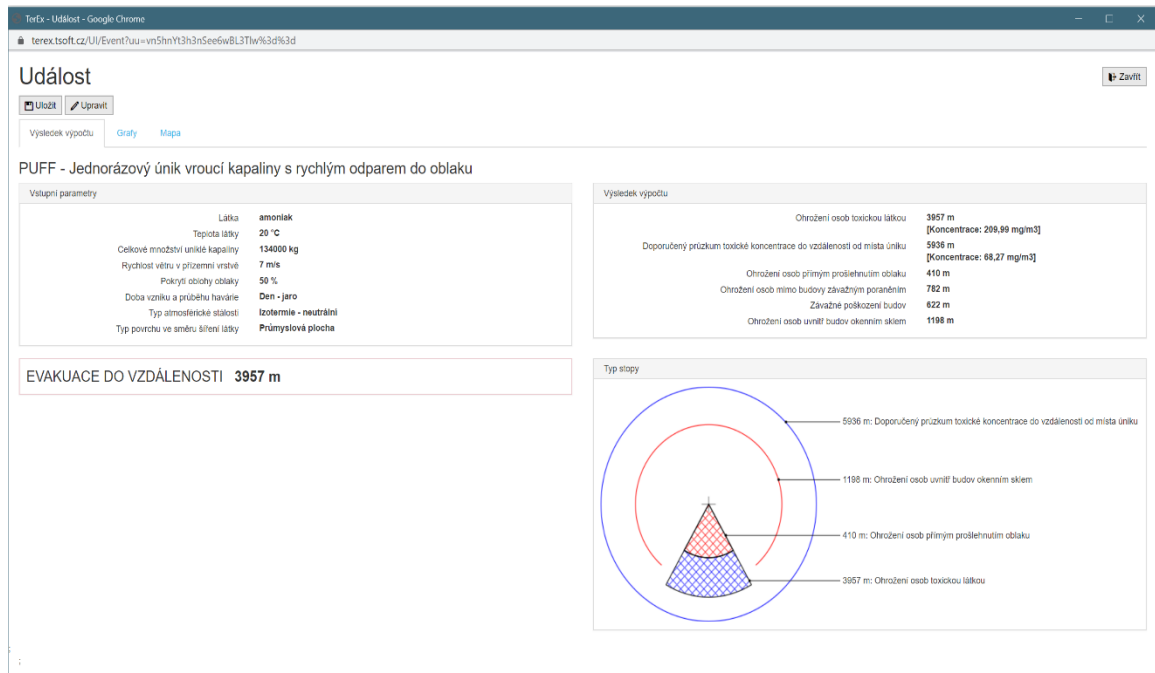
Po volbě těchto parametrů se zobrazí další kolonky pro vyplnění parametrů k upřesnění havarijního modelu. Na obrázku 20 jsou zobrazeny všechny požadované údaje potřebné pro modelaci úniku chemické látky. Údaj o celkovém množství uniklé kapaliny se může zjistit pomocí programu ALOHA.



The screenshot shows the same web browser window as in Figure 19, but with more parameters visible. The "Havarijní model" dropdown is now set to "PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do". Below this is a section titled "Parametry havarijního modelu" (Parameters of the hazard model). It contains several input fields and dropdown menus: "Uniklé množství (min 1, max 50000000)" with a value of "134000" and unit "kg"; "Teplota látky (max 1000)" with a value of "20" and unit "°C"; "Sprejový efekt" with a checked checkbox; "Rychlost větru (min 1, max 10)" with a value of "7" and unit "m/s"; "Zataženo" with a value of "50" and unit "%"; "Doba vzniku" with a dropdown menu set to "Den - jaro"; and "Povrch" with a dropdown menu set to "Průmyslová plocha".

Obrázek 20 – Parametry potřebné pro upřesnění havarijního modelu

Po vyplnění všech potřebných údajů se klikne na tlačítko „Výpočet“, který zobrazí výsledky v textové a grafické podobě. V textovém výstupu jsou vypsány vstupní a výstupní data o rozsahu ohrožení nebezpečnou látkou společně s doporučením provedení evakuace do určité vzdálenosti (viz obrázek 21).



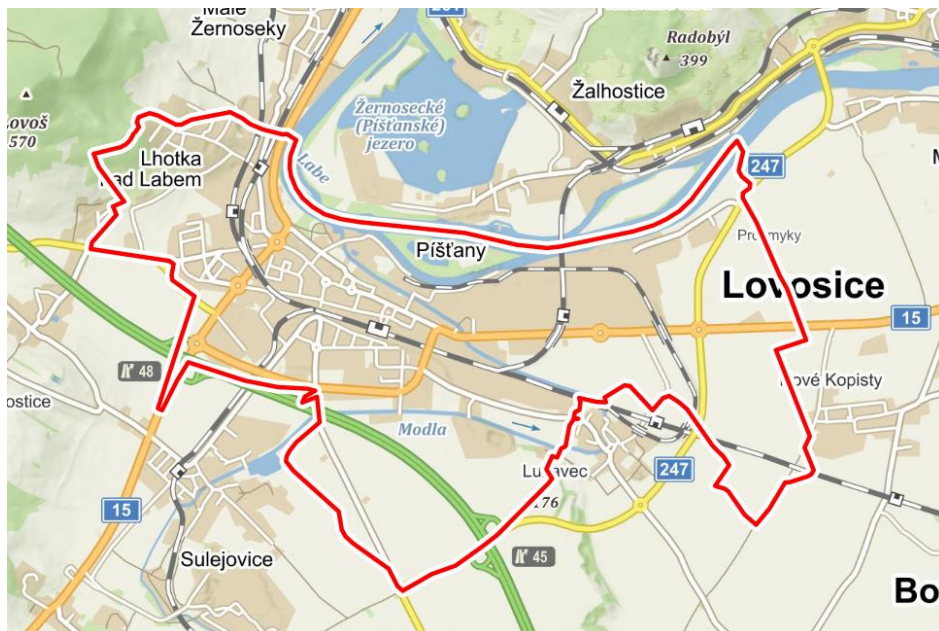
Obrázek 21 - Textový výstup

V další záložce je možné zobrazit 3 grafy – pro doporučený průřez, oblast možného výbuchu a ohrožení výbuchem. Poslední záložka umožňuje vykreslení výsledných dat na mapových podkladech.

5 VÝSLEDKY

5.1 Charakteristika města Lovosice

Město Lovosice se řadí mezi obce s rozšířenou působností, jež se nachází v severních Čechách, v Ústeckém kraji na levém břehu řeky Labe a dosahuje nadmořské výšky 151 metrů. Díky své poloze podél břehu Labe má město protáhlý tvar. Lovosice jsou obklopeny obcemi Lukavec, Litoměřice, Sulejovice, Nové Kopisty, Pištany, Lhotka nad Labem, Vchynice apod. Podle nejnovějších údajů [56] žije na území města přibližně 8840 obyvatel. [57] Na obrázku 22 je mapa a hranice města Lovosice.



Obrázek 22 - Hranice města Lovosice [58]

Důležitou část města tvoří centrum ležící v ulici Osvoboditelů, kde se také nachází budovy současné a bývalé radnice, zámek, kostel sv. Václava apod. V blízkosti centra se nachází různé restaurace, obchody, banky, mateřská škola, 3 základní školy, gymnázium, střední škola a park, ve kterém se často pořádají kulturní a společenské akce. V centru Lovosic se tak nachází velká spousta osob.

Díky dobré strategické poloze je město Lovosice významným dopravním uzlem. Z toho důvodu zde působí firmy v oblasti chemického, potravinářského, elektrotechnického a strojírenského průmyslu.

Po vlastním průzkumu provedeném ve městě Lovosice byly zvoleny tři objekty, u kterých hrozí riziko úniku nebezpečné chemické látky, a tím i k potenciálnímu ohrožení obyvatel nacházejících se v centru města. Na obrázku 23 je vyznačeno centrum města společně s rizikovými objekty, kterými jsou chemické továrny Lovochemie, a. s. (představuje bod č. 1), Preol, a. s. (bod č. 2) a Glanzstoff-Bohemia s. r. o. (bod č. 3). Všechny tři chemické továrny se nachází v jednom průmyslovém areálu ve východní části města Lovosice.

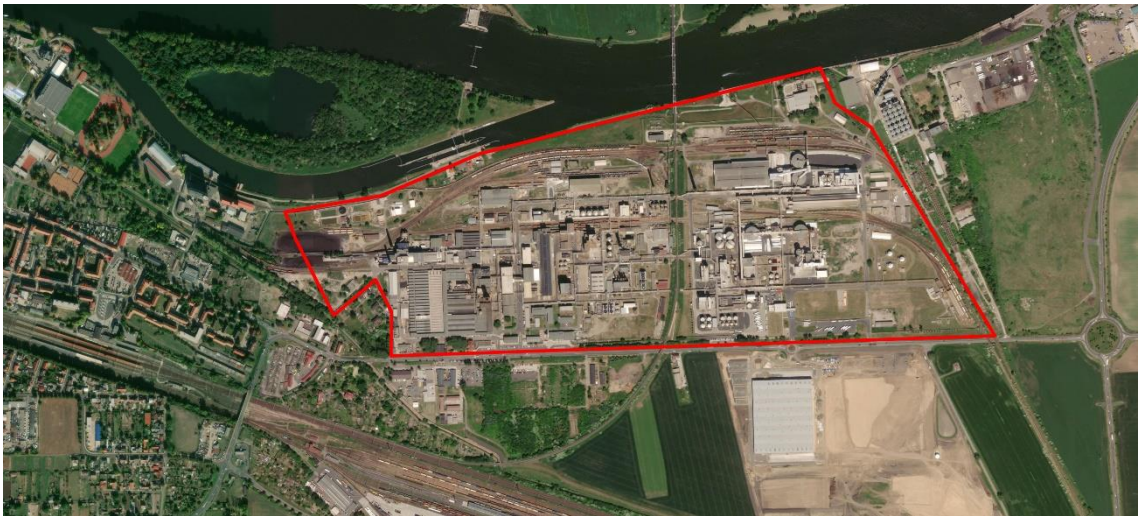


Obrázek 23 - Mapa města Lovosice [58]

5.1.1 Chemická továrna Lovochemie, a. s.

Lovochemie je akciová společnost založená v roce 1993, která je součástí koncernu AGROFERT. Společnost patří mezi největší výrobce hnojiv působící v České republice a dalších zahraničních státech, například na Slovensku, v Německu, Rakousku a Itálii. Zabývá se především výrobou průmyslových hnojiv a organických produktů, mezi které patří dusičnan amonný, dusičnan vápenatý, močovina (Ad Blue), karboxymethylcelulóza apod.

Objekt společnosti se nachází přibližně 2 km od centra města v průmyslovém areálu o délce 3 km a šířce 1 km. V areálu jsou další dva právní subjekty, Preol, a. s. a Glanzstoff Bohemia, s. r. o. Celý areál je ohraničen betonovými zdmi ve výšce 2 metry. Severní hranici tvoří řeka Labe, před kterou je areál v případě povodní chráněn protipovodňovými hrázemi. Jižní hranice je oddělena silnicí první třídy vedoucí do centra Lovosic. Na obrázku 24 je mapa průmyslového areálu a jeho okolí. [60, 61]



Obrázek 24 - Průmyslový areál [58]

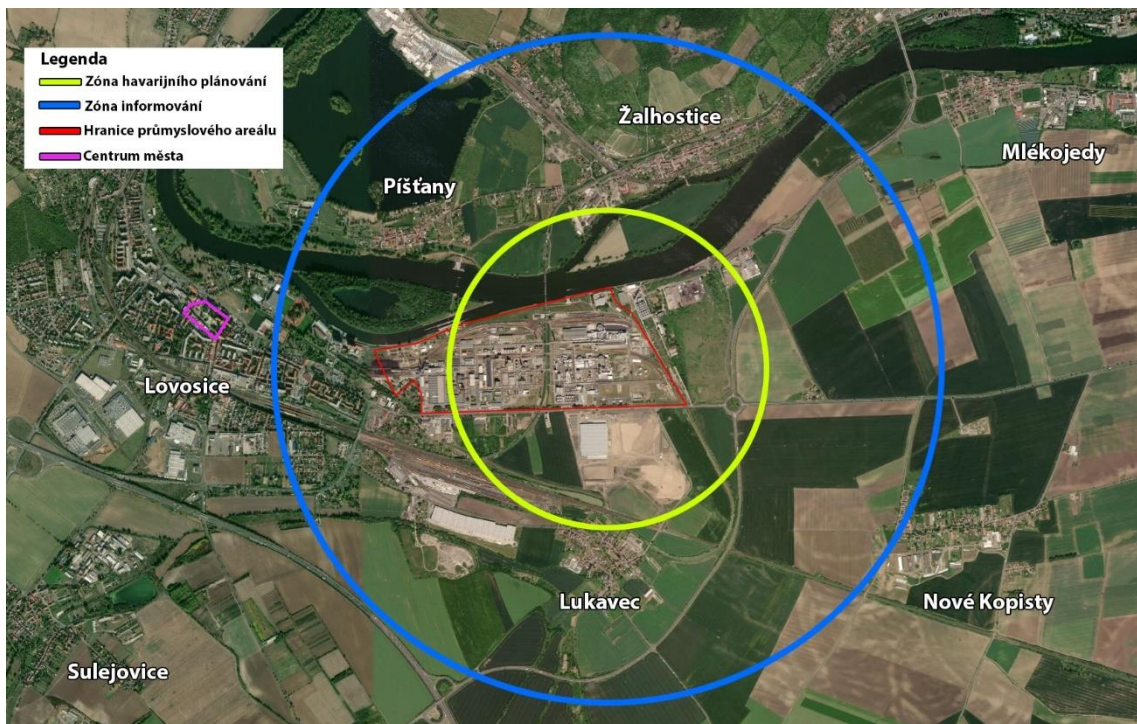
V okolí průmyslové zóny se nachází lékařský dům rozdělený do dvou budov, lékárna Lovoš, ubytovna Todez, Pneuservis Lovosice, bytové jednotky, apod. Přehled všech objektů nacházejících se v blízkosti areálu je k dispozici v tabulce 5. V této tabulce je zahrnut i logistický park P3, který má v současné době v provozu jen část skladu. V budoucnu se však počítá s kapacitou až 406 zaměstnanců.

V chemickém závodě Lovochemie pracuje 647 stálých zaměstnanců, kteří se střídají podle směn. Nejvyšší počet osob se v objektu pohybuje ve všední dny při ranní směně, kdy se v areálu nachází přibližně 400 až 500 osob. [61]

Tabulka 5 - Objekty v okolí průmyslového areálu

Název objektu	Adresa	Odhadovaný počet osob v objektu
P3	Terezínská 1288	96 (v budoucnu 406)
Poliklinika	Terezínská 487	50
Lékárna Lovoš	Terezínská 488	5
Ubytovna Todez	Terezínská 1082	110
Pneuservis Lovosice	Terezínská 1188	10
BestDrive (Pneuservis)	Terezínská 472	10
Obchody	Terezínská 86, Terezínská 870, Terezínská 147, Terezínská 72, Terezínská 1111	30
Bytové jednotky	Terezínská 485, 489, 840	50
Státní Okresní Archiv	Terezínská 909/59	20
Brassica Odbytové Družstvo	U Zdymadel 827	20
Zahradnická osada	Terezínská 671	20

Jelikož se v závodu nachází velké množství nebezpečných chemických látek, je objekt podle zákona o prevenci závažných havárií zařazen do skupiny B. Takový objekt musí vypracovat bezpečnostní zprávu, podklady pro vypracování zóny havarijního plánování a další dokumentace, které jsou popsány a vysvětleny v teoretické části, v kapitole 3.2. Zóna havarijního plánování je pro Lovochemii stanovena na 1 km kolem objektu, zóna informování je stanovena na 2 km (viz obrázek 25). [59, 60]



Obrázek 25 - Označení zóny havarijního plánování a centra města Lovosice [58]

Nejrizikovější nebezpečnou látkou, se kterou se v objektu nakládá, je amoniak využívaný jako vstupní surovina pro výrobu kyseliny dusičné, ledku vápenatého apod. Únik amoniaku může hrozit například z potrubí nebo skladovacího zásobníku z důvodu vady materiálu, nesprávné manipulace nebo lidské chyby – vědomé (teroristický útok) nebo nevědomé. Značnou roli v úniku nebezpečné látky mohou hrát přírodní vlivy například zemětřesení, rozsáhlý blackout, požár či povodně. Mezi nejzávažnější zdroje rizika závažné havárie patří kulové zásobníky, železniční cisterny na pozici stáčení a páteřní rozvod amoniaku.

Sklad amoniaku je tvořen třemi kulovými zásobníky o objemu 1000 m³ a průměru 12,4 m. Dva zásobníky obsahují 500 tun zkapalněného amoniaku, což odpovídá 75 % maximálního povoleného plnění zásobníku. Třetí zásobník je havarijní pro účely prevence závažných havárií. Používá se pro případ revize zásobníků, kontroly na zásobníku a jako preventivní opatření. Umístění zásobníků je zobrazeno na obrázku 26. [60, 61]

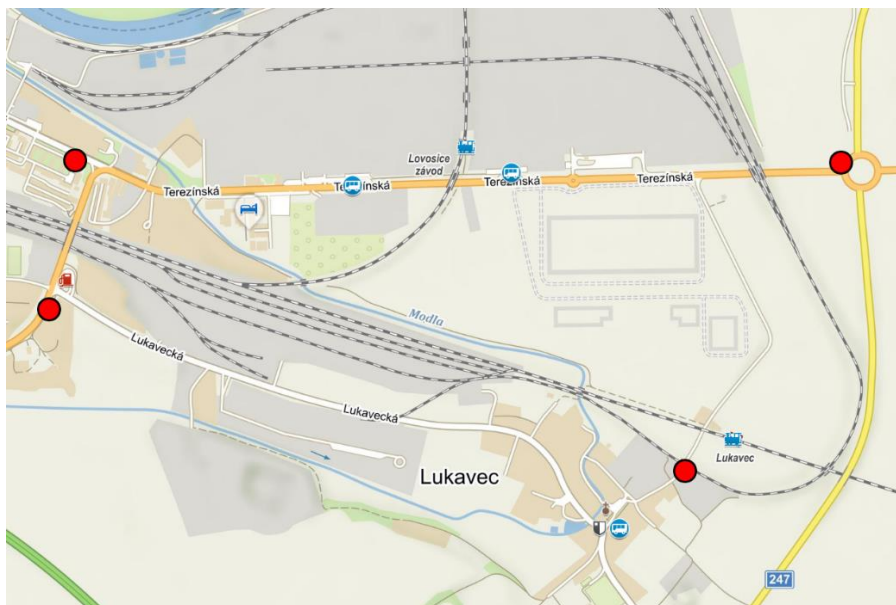


Obrázek 26 - Poloha kulových zásobníků [58]

Pro prevenci závažných havárií jsou nejzranitelnější místa v areálu (sklad) vybaveny detektory úniku amoniaku a kamerovým systémem. Pro bezpečné skladování amoniaku jsou zásobníky vybaveny chladicím systémem, záchytnou jímkou a požárními hydranty pro případ vzniku požáru. Důležitým faktorem v prevenci havárií je pravidelné školení a zdokonalování znalostí vedoucích pracovníků, obsluh a zaměstnanců provádějících rizikové činnosti. Společnost je také otevřena novým návrhům ke zlepšení bezpečnostních opatření ze strany zaměstnanců formou dotazníků či jiných formulářů. Kromě těchto opatření je v areálu zaveden systém preventivní požární hlídky, který se skládá minimálně ze tří osob. Do systému je zařazeno 210 zaměstnanců, jejichž úkolem je dohlížení na dodržování předpisů o požární ochraně a v případě vzniku havárie provádí nezbytná opatření k záchraně osob. [59, 60, 61]

V případě vzniku závažné havárie je v areálu hasičský záchranný sbor podniku skládající se z 24 členů a různé dopravní prostředky včetně technického automobilu obsahující různé typy čerpadel, ochranné obleky (protipožární, protichemické) apod. Dále podnik disponuje vlastním dispečerem, který informuje Krajské operační a informační středisko (dále jen „KOPIS“) a vyžaduje pomoc, pokud havárie přesáhne hranice areálu společnosti. Pro varování

obyvatel města slouží varovný signál a světelné signalizace úniku amoniaku umístěné na strategických místech silnic pro odklon dopravy a regulaci pohybu osob (viz obrázek 27). Odpovědnost za varování obyvatelstva má městský úřad a jeho starosta. Odpovědnost za varování zaměstnanců Lovochemie má podnikový dispečer prostřednictvím vedoucích jednotlivých oddělení. Za provozní a organizační zabezpečení technických prostředků systému varování má odpovědnost Hasičský záchranný sbor Ústeckého kraje. Starosta obce po dohodě s velitelem zásahu organizuje evakuaci z území zasaženého účinky havárie. O evakuaci jsou obyvatelé informováni prostřednictvím sirén, rozhlasem, televizním vysíláním nebo pracovníkem městského úřadu či příslušníkem složky Integrovaného záchranného systému. Pro instrukce o žádoucím chování obyvatelstva v případě chemické havárie slouží brožurka vydaná Krajským úřadem Ústeckého kraje, kterou předem získávají obyvatelé obce. [60, 61]



Obrázek 27 - Umístění jednotlivých světelných signalizací úniku amoniaku [58]

5.1.2 Chemická továrna Preol, a. s.

Preol je akciová společnost vytvořená v roce 2003 a je členem koncernu AGROFERT. Řadí se mezi největší české zpracovatele řepkového semene a výrobce produktů z této suroviny, kterým je například biopalivo. V současné době zaměstnává přibližně 126 osob. Areál objektu je umístěn uvnitř hranic průmyslové zóny na jižní straně. Jelikož společnost sídlí ve stejném areálu jako Lovochemie, nacházejí se v její blízkosti stejné objekty, jejichž informace a poloha jsou zaneseny v tabulce 5. [62, 64]

Ve společnosti se ročně zpracovává přibližně 450 tisíc tun řepky olejné a vyrábí více než 120 tisíc tun rostlinných olejů. K této výrobní činnosti je zapotřebí značné množství chemických látek, mezi které patří nebezpečný methanol, jež může být významným zdrojem závažné havárie vzhledem k jeho nízkému bodu varu, vysoké toxicitě a potenciálu tvořit výbušné směsi se vzduchem. Z těchto důvodů je objekt podle zákona o prevenci závažných havárií zařazen do skupiny A, který má za povinnost zpracovat bezpečnostní program, plán fyzické ochrany apod. Nebezpečí úniku methanolu hrozí například z rektifikační kolony methanolu, při stáčení z železniční cisterny nebo ze zásobníku methanolu z různých důvodů (např. vada materiálu). [62]

Sklad methanolu zahrnuje 1 menší a 2 větší ležaté zásobníky válcovitého tvaru o rozměrech 16 x 3 metry. Dva větší zásobníky o objemu 100 m³ obsahují 79 tun kapalného methanolu, menší zásobník o objemu 40 m³ obsahuje 39,5 tun látky. Všechny zásobníky jsou opatřeny chladicím systémem proti přehřátí, detektory a sběrnou jímkou v případě úniku methanolu a různými zařízeními pro měření výšky hladiny a pro zajištění nádrže proti přeplnění. Na obrázku 28 je vyznačeno umístění zásobníků s methanolem (zelená kružnice) a areál společnosti Preol. [62]



Obrázek 28 - Lokalizace areálu objektu a umístění zásobníku [58]

Opatření pro prevenci a pro případ vzniku závažných havárií jsou ve společnosti řešeny obdobně jako v Lovochemii, protože sídlí ve stejném průmyslovém areálu. Například pro prevenci závažných havárií je ve společnosti stanovena povinnost vstupních školení zaměstnanců pro seznámení se systémem bezpečnostních opatření. Dále se ve společnosti každoročně zajišťují školení a prověřují se řídicí, organizační a technické systémy. Preol se také podílí na zajišťování požární hlídky, kam je zařazeno 16 kvalifikovaných zaměstnanců. V případě vzniku závažné havárie je v areálu Hasičský záchranný sbor podniku a různá dopravní a technická zařízení pro záchranné a likvidační práce. [62]

5.1.3 Chemická továrna Glanzstoff – Bohemia, s. r. o.

Společnost Glanzstoff-Bohemia byla vytvořena v roce 1998, kdy převzala výrobu kordových vláken od Lovochemie. V současné době se zabývá především výrobou viskóзовých vláken a zpracováním textilních vláken, polyesteru, nylonu a aramidu. Chemický závod je situován v západní části průmyslového areálu a díky historickému vývoji jsou některé výrobní objekty propojeny s objekty v areálu Lovochemie. Objekty vyskytující se v okolí závodu jsou totožné jako v případě Lovochemie, a tudíž jsou již popsány v kapitole 5.1.1, v tabulce 5. V současné době podnik zaměstnává přibližně 400 osob. [63, 64]

Pro účely výrobní činnosti se v objektu nakládá s určitými druhy nebezpečných chemických látek, které mají potenciál ohrozit životy a zdraví osob. Z toho důvodu je podnik podle zákona o prevenci závažných havárií zařazen do skupiny A, jež má za povinnost zpracovat bezpečnostní program. Na základě posouzení rizik závažné havárie v bezpečnostním programu se zjistilo, že jedinou významnou nebezpečnou látkou, se kterou se v objektu nakládá, je sirouhlík. Rizikovými zdroji úniku sirouhlíku mohou být železniční cisterny pro stáčení sirouhlíku a potrubní vedení ze skladu do reaktoru. [63]

Skladování sirouhlíku je zajištěno ve čtyřech válcových zásobnících o objemu 33 m³, které jsou uzavřeny a uloženy v bazénu pod hladinou vody. Každý zásobník s rozměry 4,5 x 3 m obsahuje přibližně 37 tun sirouhlíku. Na obrázku 29 je vyznačen areál podniku a umístění zásobníků (zelená kružnice).



Obrázek 29 - Areál Glanzstoff-Bohemia a umístění zásobníků [58]

Pro prevenci a pro případ vzniku závažné havárie jsou v podniku přijata opatření obdobná s opatřeními společnosti Lovochemie. Například pro zajištění bezpečnosti jsou v zásobnících umístěna zařízení pro sledování výšky hladiny chemické látky a detektory pro odhalení úniku sirouhlíku. Dále se ve společnosti provádějí pravidelná školení a kvalifikace zaměstnanců. Firma také zabezpečuje

osobní ochranné pracovní pomůcky a podílí se na fungování požární hlídky, do které je zařazeno 123 zaměstnanců. Tato opatření jsou dále obohacena o snahu respektovat princip dělení zásobníků na menší objemy a umístění v samostatné jímce naplněné vodou. [59, 63, 64]

5.2 Scénáře úniku

Vzhledem k počtu vybraných objektů se budou modelovat úniky chemických látek podle tří fiktivních scénářů. Ve všech scénářích je datum a čas stejný. Meteorologické podmínky se volí podle průměrných hodnot pro dané období.

Únik amoniaku z chemického závodu Lovochemie

Událost se stala dne 20. 6. 2019 v 15:00 hodin středoevropského času. Bylo polojasné počasí, bez inverze, rychlost větru odpovídala 5 m/s, vítr vanul z východu, teplota v prostředí byla 22 °C a vlhkost vzduchu dosahovala 50 %. Vlivem koroze materiálu zásobníku došlo k utržení části pláště a vytvoření 10 cm otvoru ve výšce přibližně 7 metrů. Dojde k úniku amoniaku, který se začne odpařovat, a vytvoří se toxický oblak postupující podle směru větru.

Únik methanolu z chemického závodu Preol

Událost se stala dne 20. 6. 2019 v 15:00 hodin středoevropského času. Bylo polojasné počasí, bez inverze, rychlost větru odpovídala 5 m/s, vítr vanul z východu, teplota v prostředí byla 22 °C a vlhkost vzduchu dosahovala 50 %. Vlivem technické závady chladičového systému a špatného těsnění na zásobníku o objemu 100 m³ dojde k úniku kapalného methanolu skrze otvor o velikosti 10 cm. Methanol se začne rychle odpařovat do ovzduší a šířit se ve směru větru.

Únik sirouhlíku z chemického závodu Glanzstoff-Bohemia

Událost se stala dne 20. 6. 2019 v 15:00 hodin středoevropského času. Bylo polojasné počasí, bez inverze, rychlost větru odpovídala 5 m/s, vítr vanul z východu, teplota v prostředí byla 22 °C a vlhkost vzduchu dosahovala 50 %. K úniku kapalného sirouhlíku dojde z důvodu závady a selhání materiálu potrubí, které je napojené na zásobník a vede do reaktoru. Následně se vytvoří kaluž sirouhlíku, která se začne rychle odpařovat do ovzduší a šířit se ve směru větru.

5.3 Modelace v softwarovém nástroji ALOHA

5.3.1 Modelace úniku amoniaku

Po zadání vstupních údajů dle zvoleného scénáře a modelace se získá textový a grafický výstup. Na obrázku 29 je zobrazen textový výstup obsahující data o meteorologických podmínkách, zásobníku a jeho poškození, množství uniklé látky, jednotlivých zónách AEGLs apod.

Z textového výstupu lze vyčíst, že by došlo k úniku přibližně 136 tun amoniaku po dobu limitovanou programem, které činí 60 minut. Největší množství by však uniklo v prvních 14 minutách.

```
SITE DATA:
Location: LOVOCHEMIE, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
Time: June 20, 2019 1500 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: AMMONIA
CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.8° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

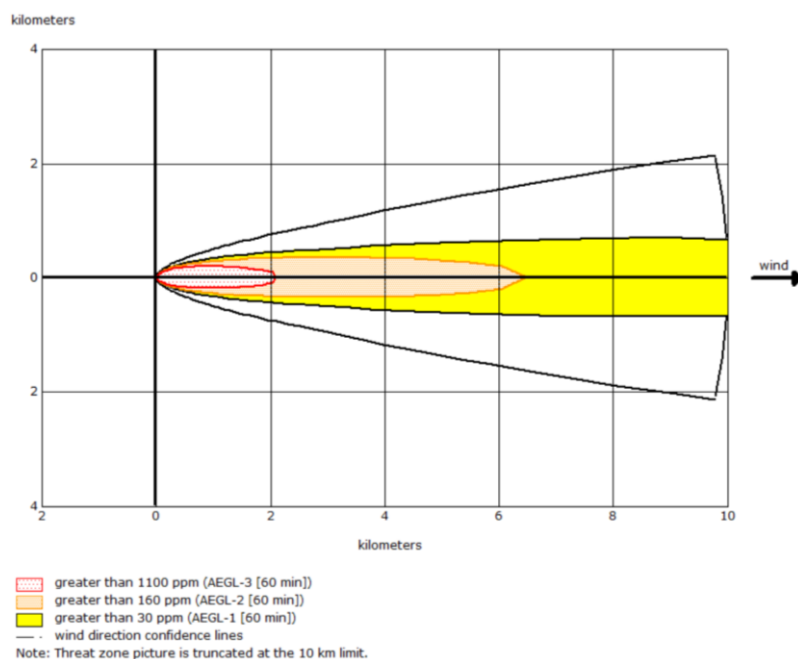
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from E at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 22° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
Leak from hole in spherical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 12.4 meters Tank Volume: 1000 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 22° C
Chemical Mass in Tank: 503 tons Tank is 75% full
Circular Opening Diameter: 10 centimeters
Opening is 6.82 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 9,040 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 136,345 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:
Model Run: Heavy Gas
Red : 2.1 kilometers --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 6.5 kilometers --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: greater than 10 kilometers --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 30 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik amoniaku

Grafický výstup modelace lze zobrazit různými způsoby. Jedním z nich je jednoduché zobrazení rozptylu nebezpečné chemické látky bez mapových podkladů (viz obrázek 31). Na obrázku 31 je znázorněn tvar rozptylu nebezpečné látky a jeho potenciální šíření ve směru větru.



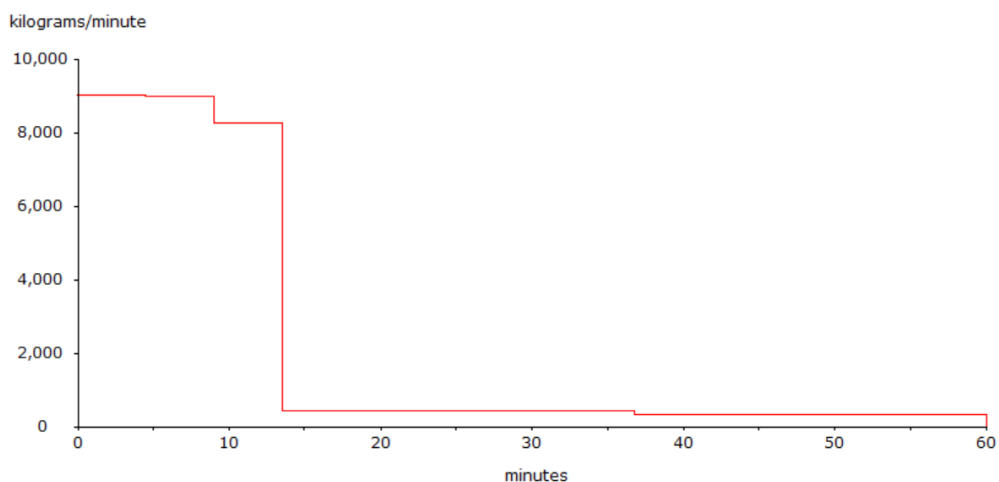
Obrázek 31 - Grafický výstup z programu ALOHA pro únik amoniaku

Obrázek také znázorňuje jednotlivé zóny ohrožení AEGLs různými barvami. Jednotlivé úrovně AEGLs jsou zobrazeny v tabulce 6, která obsahuje údaje o koncentraci amoniaku a rozsahu zóny od zdroje.

Tabulka 6 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik amoniaku

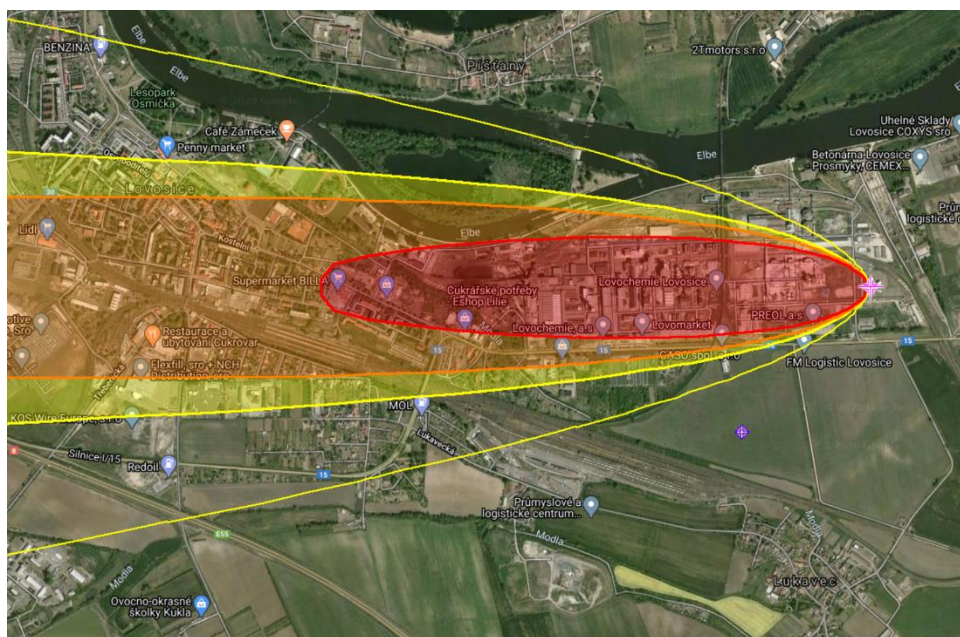
Zóna ohrožení	Barevné značení	Koncentrace látky (ppm)	Rozsah od zdroje (km)
AEGL - 3	červená	1100	2,1
AEGL - 2	oranžová	160	6,5
AEGL - 1	žlutá	30	min 10

Na obrázku 32 je graf znázorňující rychlost úniku amoniaku ze zásobníku. Z grafu lze zjistit, že v prvních 14 minutách uniklo největší množství látky (přibližně 9000 kg). Poté se rychlost zpomalila a po zbývajících 46 minut unikalo amoniak v malém množství. Průměrně unikalo 9 tun za minutu.



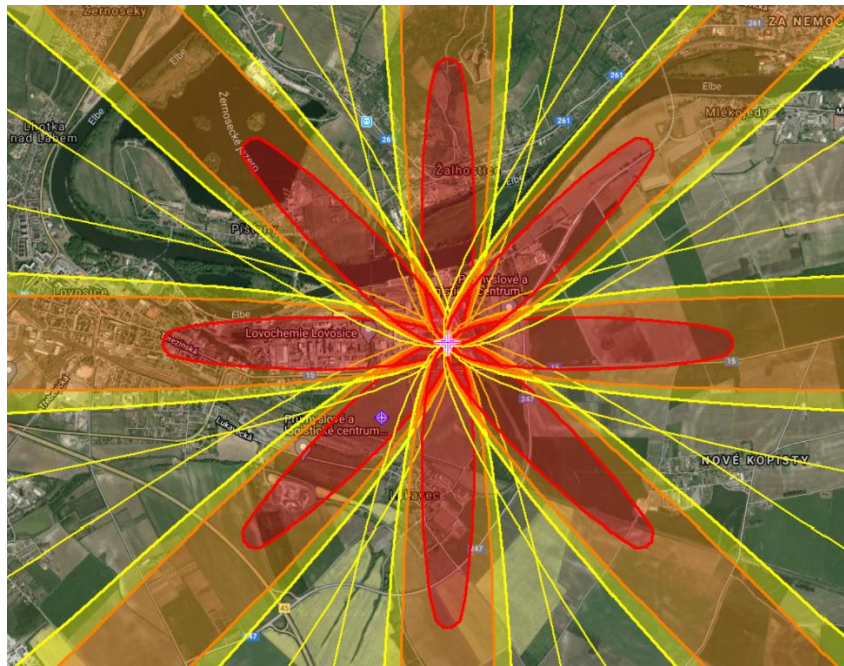
Obrázek 32 - Rychlost úniku amoniaku ze zásobníku

Mapový výstup modelace úniku amoniaku je zachycen na obrázku 33, ve kterém jsou označeny jednotlivé zóny AEGLs. Mapový výstup z dálky je v příloze 1. Z obrázku lze vyčíst, že červená oblast dosahuje značné vzdálenosti, ze které je nutná okamžitá evakuace. Oblast evakuace by se týkala především celého průmyslového areálu včetně okolních objektů, například obytných domů, hlavního nádraží, supermarketu Billa, firmy Brassica skladující zemědělské produkty apod. Vzhledem k rozsahu šíření amoniaku by se evakuace týkala minimálně 3500 osob.



Obrázek 33 - Mapový výstup modelace amoniaku

V případě změny směru větru by se museli evakuovat i obyvatelé z okolních obcí, zejména obcí Lukavec, Píšťany, Nové Kopisty, Žalhostice apod. Následky úniku amoniaku by zasáhly tisíce lidí žijících v okruhu 2 km. Modelace úniku amoniaku pro případ změn směrů větru je zobrazena na mapovém podkladě, na obrázku 34. Mapový výstup z dálky je v příloze 2.



Obrázek 34 - Únik amoniaku v případě změny větru

5.3.2 Modelace úniku methanolu

Po vložení všech vstupních údajů podle zvoleného scénáře se vytvoří textový a grafický výstup obsahující výsledky modelace. Textový výstup je zobrazen na obrázku 35.

SITE DATA:
 Location: PREOL, CZECH REPUBLIC
 Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
 Time: June 20, 2019 1500 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: METHANOL
 CAS Number: 67-56-1 Molecular Weight: 32.04 g/mol
 AEGL-1 (60 min): 530 ppm AEGL-2 (60 min): 2100 ppm AEGL-3 (60 min): 7200 ppm
 IDLH: 6000 ppm LEL: 71800 ppm UEL: 365000 ppm
 Ambient Boiling Point: 64.0° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.14 atm
 Ambient Saturation Concentration: 144,154 ppm or 14.4%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from N at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 22° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

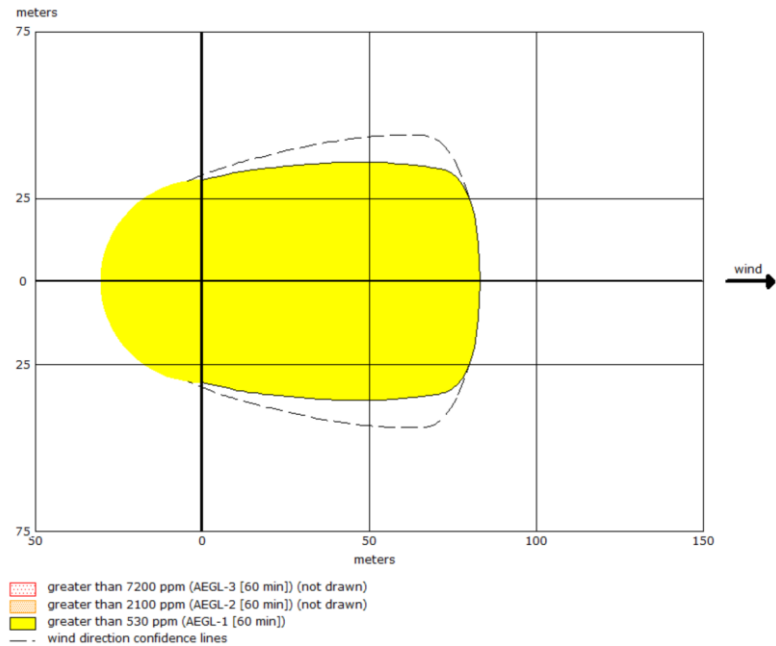
SOURCE STRENGTH:
 Leak from hole in horizontal cylindrical tank
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)
 Tank Diameter: 2.82 meters Tank Length: 16 meters
 Tank Volume: 100 cubic meters
 Tank contains liquid Internal Temperature: 40° C
 Chemical Mass in Tank: 79 tons Tank is 93% full
 Circular Opening Diameter: 10 centimeters
 Opening is 1.55 meters from tank bottom
 Ground Type: Concrete Ground Temperature: 28° C
 Max Puddle Diameter: Unknown
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
 Max Average Sustained Release Rate: 221 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 9,229 kilograms
 Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.
 The puddle spread to a diameter of 63 meters.

THREAT ZONE:
 Model Run: Gaussian
 Red : 31 meters --- (7200 ppm = AEGL-3 [60 min])
 Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
 make dispersion predictions less reliable for short distances.
 Orange: 39 meters --- (2100 ppm = AEGL-2 [60 min])
 Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
 make dispersion predictions less reliable for short distances.
 Yellow: 83 meters --- (530 ppm = AEGL-1 [60 min])

Obrázek 35 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik methanolu

Pro modelaci úniku methanolu byla zadána teplota uvnitř zásobníku 40 °C jako důsledek porušení chladicího systému podle fiktivního scénáře. Vlivem toho došlo k zahřátí kapaliny, která se po úniku na zahřátý betonový povrch areálu začala rychle odpařovat. Podle textového výstupu lze vyčíst, že se látka průměrně odpařovala rychlostí 221 kg/min. Celkově se tedy odpařilo přibližně 9,2 tun methanolu.

Na následujícím obrázku 36 je zobrazen grafický výstup bez mapového podkladu ukazující tvar rozptylu methanolu podle směru větru.



Obrázek 36 - Grafický výstup z programu ALOHA pro únik methanolu

Jelikož jsou hodnoty rozsahu zón ohrožení AEGL – 3 a AEGL – 2 relativně nízké, nejsou zakresleny v grafickém výstupu. V tabulce 7 jsou zaneseny hodnoty koncentrací jednotlivých zón ohrožení AEGLs.

Tabulka 7 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik methanolu

Zóna ohrožení	Barevné značení	Koncentrace látky (ppm)	Rozsah od zdroje (m)
AEGL - 3	červená	7200	31
AEGL - 2	oranžová	2100	39
AEGL - 1	žlutá	530	83

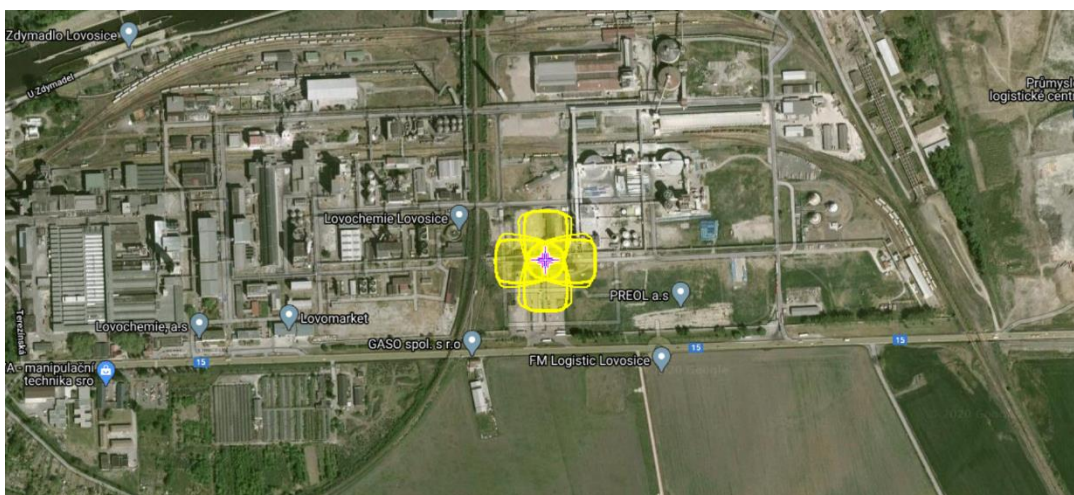
Podle hodnot zanesených v tabulce 7 lze vyčíst, že koncentrace látky nutná pro stanovení zóny ohrožení AEGL – 3 je relativně vysoká oproti amoniaku v tabulce 6. To znamená, že pro bezprostřední ohrožení osob na životě je potřeba vysokého množství látky na jednom místě. Tudíž v případě úniku malého množství methanolu nehrozí významné riziko ohrožení na životě.

Na mapovém výstupu, na obrázku 37 je znázorněna jen jedna zóna, a to AEGL –1. V této oblasti je koncentrace látky taková, že neohrozí osoby na životě, ale může způsobit nevolnost, podráždění či jiné mírné příznaky, které odezní po přerušení působení účinku látky. Tyto příznaky by mohlo pociťovat přibližně 40 zaměstnanců podniku, kteří se v areálu nacházejí.



Obrázek 37 - Mapový výstup úniku methanolu

V případě změny směru větru může dojít k zasažení celého areálu podniku Preol, a tím k potenciálnímu ohrožení přibližně 120 osob. Změny směru větru jsou zobrazeny na obrázku 38.



Obrázek 38 - Mapový výstup úniku methanolu pro různé směry větru

5.3.3 Modelace úniku sirouhlíku

Po zadání všech vstupních hodnot podle fiktivního scénáře se vytvoří výstup v textové a grafické formě. Textový výstup je na obrázku 39 a obsahuje informace o vybrané chemické látce, meteorologických podmínkách, rozměrech zásobníku a způsobu poškození, které mělo za následek únik nebezpečné látky.

Po modelaci úniku sirouhlíku dle zvoleného scénáře se zjistilo, že se odpařilo přibližně 20 tun látky do ovzduší. Průměrná rychlost odpařování činila 407 kg za minutu.

```
SITE DATA:
Location: GLANZSTOFF-BOHEMIA, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
Time: June 20, 2019 1500 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: CARBON DISULFIDE
CAS Number: 75-15-0                      Molecular Weight: 76.14 g/mol
AEGL-1 (60 min): 13 ppm  AEGL-2 (60 min): 160 ppm  AEGL-3 (60 min): 480 ppm
IDLH: 500 ppm           LEL: 13000 ppm           UEL: 500000 ppm
Ambient Boiling Point: 45.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.42 atm
Ambient Saturation Concentration: 428,008 ppm or 42.8%

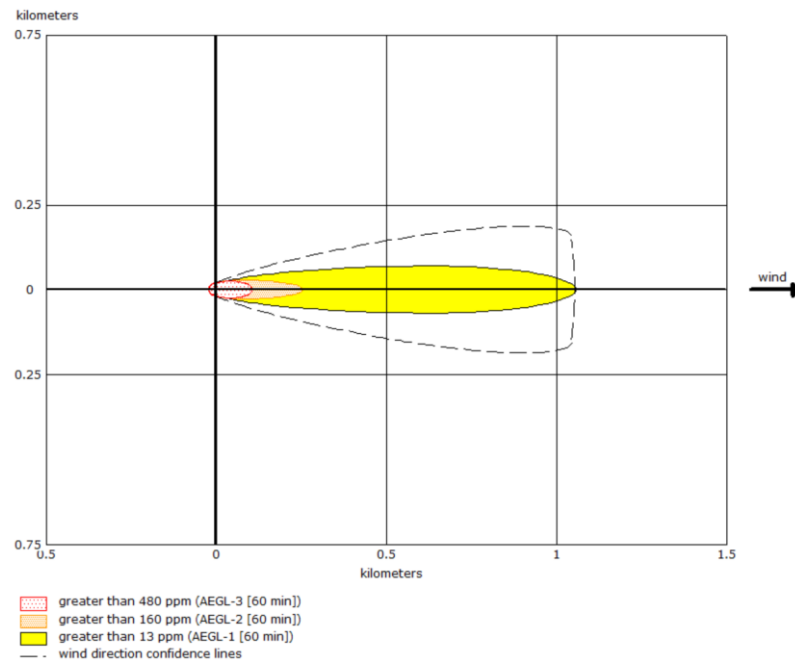
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from N at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest          Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 22° C                     Stability Class: D
No Inversion Height                         Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 3.06 meters                 Tank Length: 4.5 meters
Tank Volume: 33 cubic meters
Tank contains liquid                      Internal Temperature: 22° C
Chemical Mass in Tank: 37 tons             Tank is 81% full
Circular Opening Diameter: 10 centimeters
Opening is 0.50 meters from tank bottom
Ground Type: Concrete
Ground Temperature: equal to ambient
Max Puddle Diameter: Unknown
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 407 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 19,683 kilograms
Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.
The puddle spread to a diameter of 39 meters.

THREAT ZONE:
Model Run: Gaussian
Red   : 107 meters --- (480 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 255 meters --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 1.1 kilometers --- (13 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 39 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik sirouhlíku

Na obrázku 40 je znázorněn rozptyl sirouhlíku a jeho směr šíření v jednoduchém grafickém výstupu bez mapového podkladu. Grafický výstup umožňuje také vidět jednotlivé zóny ohrožení AEGLs, které jsou odlišeny červenou, oranžovou a žlutou barvou. Podrobné informace o zónách ohrožení jsou zaneseny v tabulce 8.



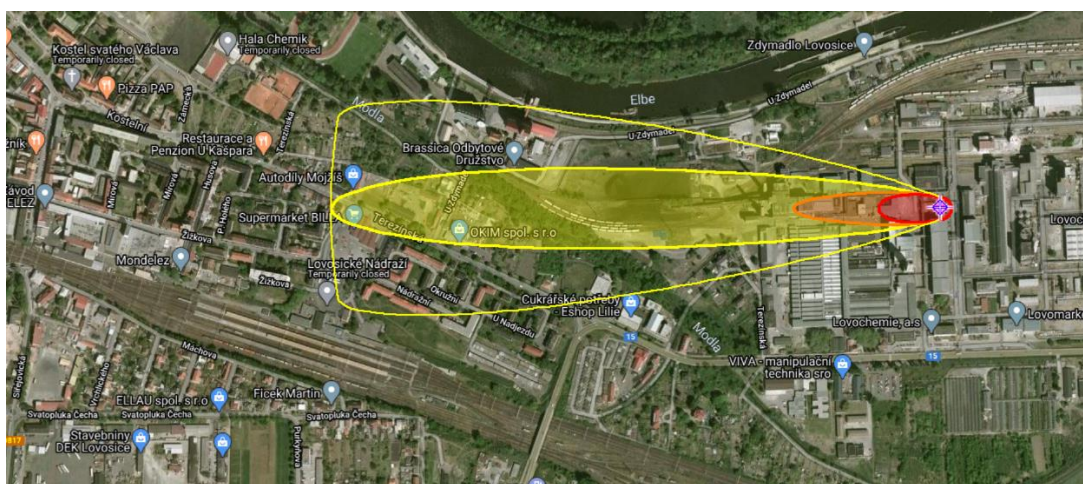
Obrázek 40 - Grafický výstup bez mapového podkladu pro únik sirouhlíku

V tabulce si lze všimnout, že mezní koncentrace látky je 480 ppm pro oblast AEGL – 3, což je mnohem nižší hodnota než v případě modelace úniku methanolu. To znamená, že sirouhlík je schopen způsobit vážné zdravotní problémy i v malém množství. Z těchto důvodů se sirouhlík řadí mezi nebezpečnější látky.

Tabulka 8 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik sirouhlíku

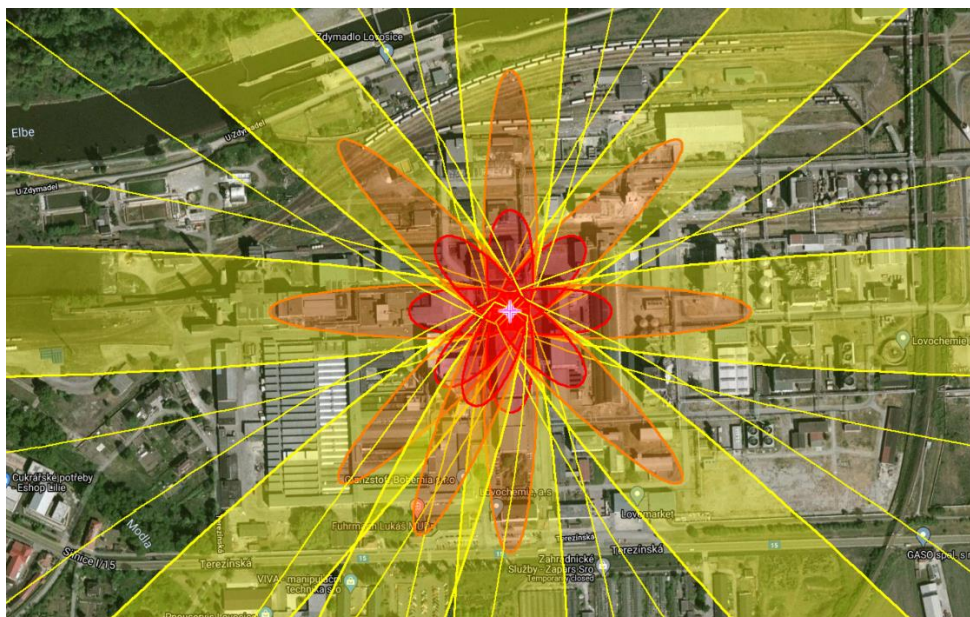
Zóna ohrožení	Barevné značení	Koncentrace látky (ppm)	Rozsah od zdroje (m)
AEGL - 3	červená	480	107
AEGL - 2	oranžová	160	255
AEGL - 1	žlutá	13	1100

Na následujícím obrázku 41 je zobrazen mapový výstup modelace úniku sirouhlíku. Červenou barvou je vykreslena oblast evakuace, která zasahuje pouze část areálu podniku Glanzstoff – Bohemia. Evakuace by se tedy týkala přibližně 50 zaměstnanců.



Obrázek 41 - Mapový výstup úniku sirouhlíku z programu ALOHA

Při změně směru větru (viz obrázek 42) by se evakuace týkala většiny areálu podniku Glanzstoff – Bohemia a zasahovala by i do části areálu podniku Lovochemie, jelikož jsou některé výrobní objekty vzájemně propojené. Evakuace by tedy zasáhla přibližně 300 osob. I přesto, že je oblast evakuace spíše v areálu podniku, účinky toxického sirouhlíku mohou zasáhnout osoby nacházející se v okolních objektech, například v lékařském domě, lékárně a v některých maloobchodech. Negativní účinky látky by tak ohrožovaly přibližně dalších 60 osob. Mapový výstup z dálky je v příloze 3.



Obrázek 42 - Mapový výstup úniku sirouhlíku pro různé směry větru

5.4 Modelace v softwarovém nástroji TerEx

5.4.1 Modelace úniku amoniaku

Po zadání všech vstupních parametrů podle zvoleného scénáře dojde k vytvoření textového a grafického výstupu. Textový výstup je zobrazen na obrázku 43 a obsahuje vstupní a výstupní data a doporučení evakuace do určité vzdálenosti.

Vstupní parametry	
Látka	amoniak
Teplota látky	22 °C
Celkové množství uniklé kapaliny	136345 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě	5 m/s
Pokrytí oblohy oblaky	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie	Den - léto
Typ atmosférické stálosti	Izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky	Průmyslová plocha
Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	2978 m [Koncentrace: 209,83 mg/m ³]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	4467 m [Koncentrace: 68,27 mg/m ³]
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	308 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	694 m
Závažné poškození budov	530 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	1118 m
EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 2978 m	

Obrázek 43 - Textový výstup v programu TerEx pro únik amoniaku

Pro modelaci amoniaku byl zvolen havarijní model PUFF (jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku), který počítá s únikem přibližně 136 tun amoniaku. Po vypočtení vstupních hodnot vyšlo, že je nutné provést evakuaci do vzdálenosti přibližně 3 km. Dále byly vypočteny vzdálenosti pro jednotlivé zóny ohrožení, mezi které patří:

- zóna ohrožení osob toxickou látkou,
- zóna pro doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku,
- zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku,
- zóna ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním,
- zóna pro závažné poškození budov a

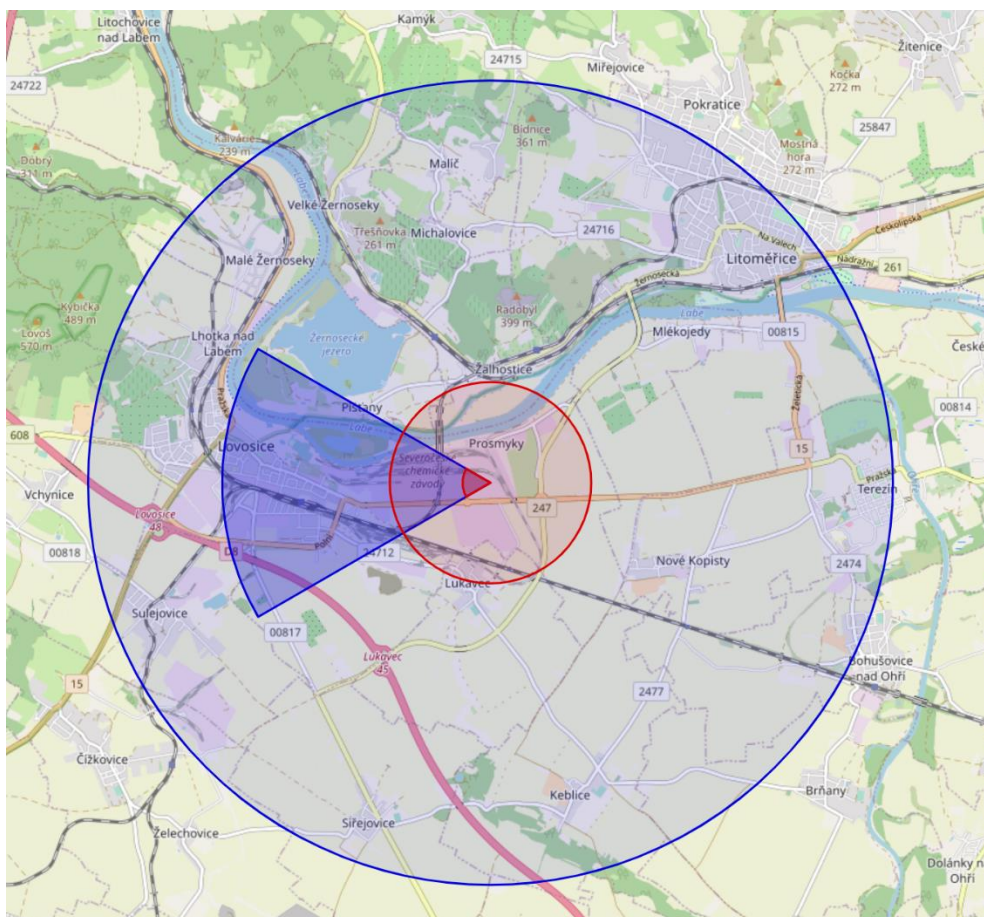
- zóna ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem.

Grafický výstup lze zobrazit několika způsoby, na mapovém podkladu nebo grafy. Na obrázku 44 je mapový výstup úniku amoniaku, kde

- tmavě červená výseč značí oblast ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku do vzdálenosti 308 m,
- světle červený kruh značí oblast ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem do vzdálenosti 1118 m,
- tmavě modrá výseč značí oblast ohrožení osob toxickou látkou do vzdálenosti 2978 m a
- světle modrý kruh značí oblast pro doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti 4467 m od místa úniku.

Podle obrázku 44 by se evakuace týkala všech osob nacházejících se v tmavě modré zóně. Jednalo by se převážně o celý průmyslový areál a objekty v jeho okolí, obytné a panelové domy, maloobchody, firmy (Brassica, Mondelez aj), hlavní nádraží apod. Vzhledem z rozsahu úniku amoniaku by se evakuace dotkla více než 3000 osob. Z mapy je také patrné, že dojde k zamoření centra města Lovosic toxickými účinky amoniaku.

V případě změny směru větru by se toxický oblak rozšířil až na okolní obce, kde by se evakuace týkala obyvatel žijících v obcích Lukavec, Píšťany, Nové Kopisty, Žalhostice apod. Následky úniku amoniaku by zasáhly tisíce lidí a stovky domů v okruhu přibližně 3 km.

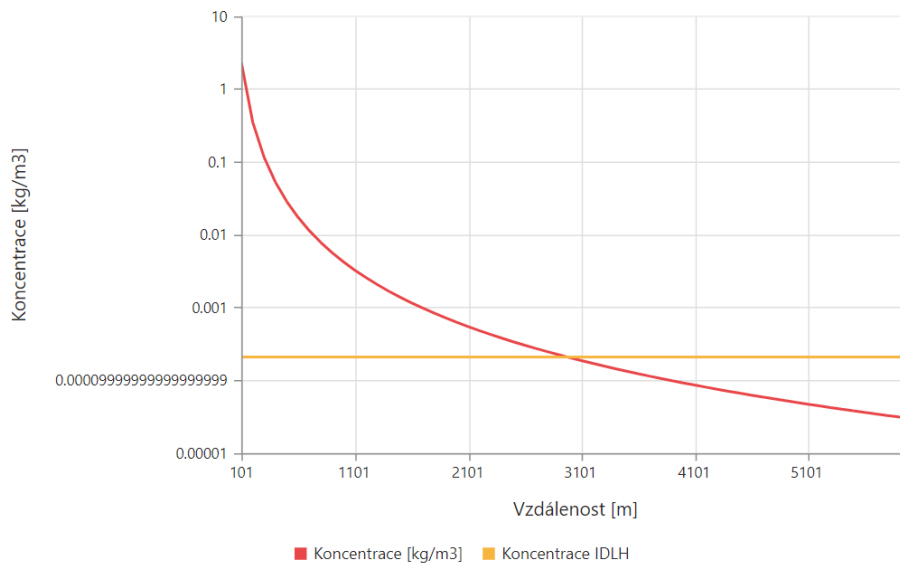


Obrázek 44 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik amoniaku

Program TerEx dále umožňuje grafické výstupy v podobě grafů, které zobrazují závislosti důležitých veličin na vzdálenosti od epicentra. Pro havarijní model PUFF byly programem zpracovány tyto grafy (obrázek 45, 46, 47):

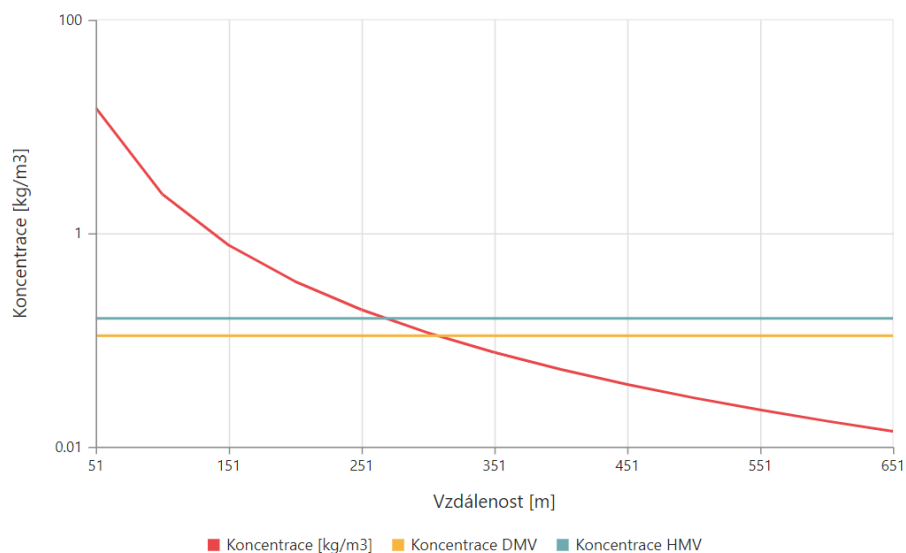
- doporučený průzkum (viz obrázek 45) – graf zobrazuje závislost koncentrace látky (kg/m^3) a vzdálenosti (m) od epicentra a znázorňuje oblast ohrožení toxickými vlastnostmi amoniaku. Koncentrace látky je zde prezentována červenou křivkou, koncentrace IDLH je označena žlutou přímkou. IDLH znamená koncentraci látky, která bezprostředně ohrožuje život a zdraví osob. Bod, ve kterém se protíná křivka s přímkou, označuje vzdálenost, do které musí být obyvatelé evakuováni, aby nedošlo k jejich ohrožení nebezpečnými účinky amoniaku. Hodnoty od

bodů protnutí směrem doprava značí vzdálenost doporučenou pro průzkum toxické koncentrace (snížení koncentrace látky pod hodnotu IDLH). Pro únik amoniaku se vyhodnotila vzdálenost 2978 m, ve které je nutná evakuace. Pro průzkum toxické koncentrace se určila vzdálenost 4467 m od epicentra.



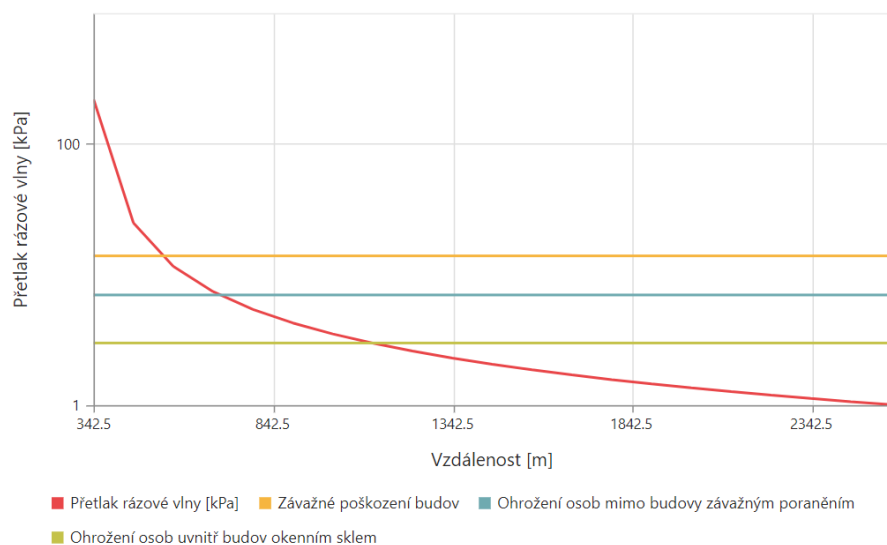
Obrázek 45 - Graf doporučeného průzkumu

- oblast možného výbuchu (viz obrázek 46) – graf zobrazuje závislost koncentrace amoniaku (červená křivka) a vzdálenosti od středu epicentra. Modrá přímka vyjadřuje koncentraci horní meze výbušnosti (HMV), žlutá přímka vyjadřuje koncentraci dolní meze výbušnosti (DMV). V rozmezí mezi průsečíkem modré a žluté přímky s červenou křivkou je oblast koncentrace výbušné směsi nebezpečné látky se vzduchem. Pro únik amoniaku je oblast možného výbuchu ve vzdálenosti přibližně 271–311 m.



Obrázek 46 - Graf oblasti možného výbuchu

- ohrožení výbuchem (viz obrázek 47) – graf zobrazuje závislost přetlaku rázové vlny (kPa) a vzdálenosti (m) z hlediska potenciálního poškození budov, ohrožení osob mimo budovy a poranění osob okenním sklem. Přetlak rázové vlny je znázorněn červenou křivkou, závažné poškození budov oranžovou přímkou, ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním modrou přímkou a ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem zelenou přímkou. Z grafu lze vyčíst, že do vzdálenosti 530 m může dojít k závažnému poškození budov, do vzdálenosti 694 m dojde k ohrožení osob mimo budovy a do vzdálenosti 1118 m mohou být ohroženy osoby střepy z okenního skla.



Obrázek 47 - Graf ohrožení výbuchem.

5.4.2 Modelace úniku methanolu

Výsledky modelace úniku methanolu jsou zobrazeny v textové nebo grafické formě. Textový výstup, obsahující vstupní a výstupní údaje společně s doporučenou vzdáleností pro provedení evakuace, je na obrázku 48.

Pro modelaci byl vybrán havarijní model PUFF (jednorázový únik plynu do oblaku), jelikož se předpokládá rychlý odpar látky do ovzduší vzhledem ke zvolenému scénáři. Dalším důvodem zvolení tohoto havarijního modelu je především průzkum chování a směr šíření par methanolu, které se odpařily a mohou mít negativní vliv na zdraví jedince. Množství odpařené látky činí přibližně 9,2 tun. Po výpočtu úniku látky se stanovila doporučená vzdálenost evakuace do 433 metrů.

Vstupní parametry

Látka	methanol
Celkové uniklé množství plynu	9229 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě	5 m/s
Pokrytí oblohy oblaky	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie	Den - léto
Typ atmosférické stálosti	Izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky	Průmyslová plocha

Výsledek výpočtu

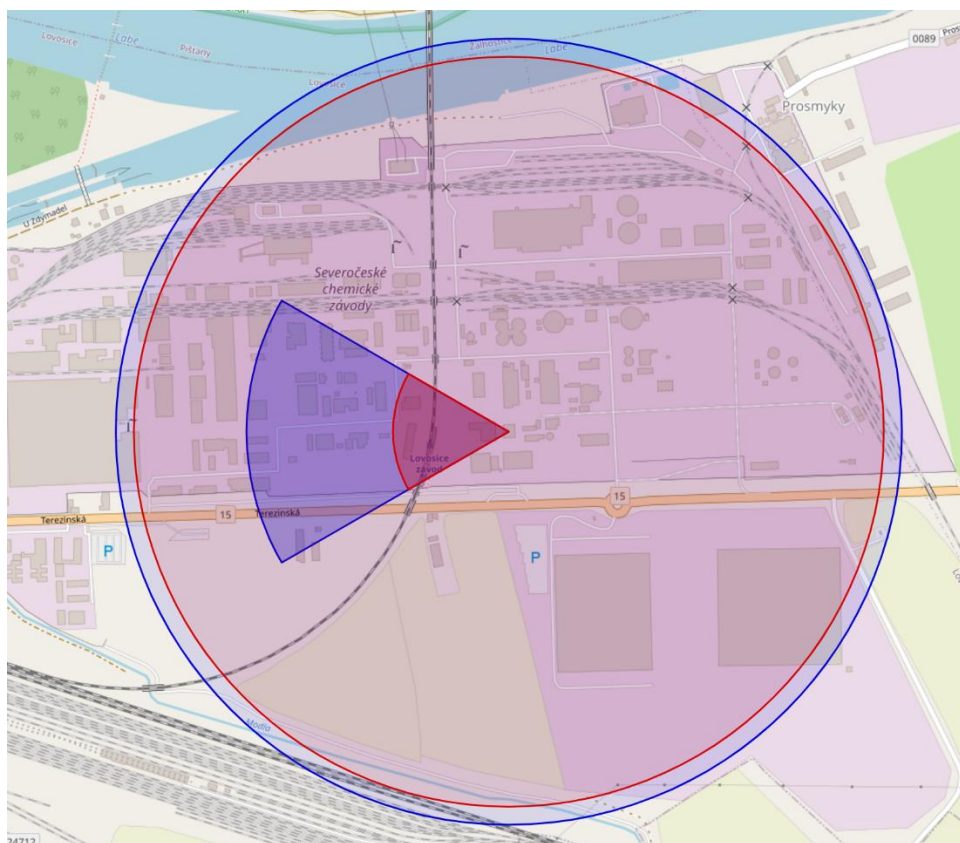
Ohrožení osob toxickou látkou	433 m [Koncentrace: 7,86 g/m3]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	650 m [Koncentrace: 2,57 g/m3]
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	191 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	377 m
Závažné poškození budov	283 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	620 m

EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI **433 m**

Obrázek 48 - Textový výstup z programu TerEx pro únik methanolu

Co se týče grafického výstupu, na obrázku 49 jsou na mapovém podkladě zobrazeny jednotlivé zóny ohrožení, kde:

- tmavě červená výseč značí oblast ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku do vzdálenosti 191 m,
- světle červený kruh značí oblast ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem do vzdálenosti 620 m,
- tmavě modrá výseč značí oblast ohrožení osob toxickou látkou do vzdálenosti 433 m a
- světle modrý kruh značí oblast pro doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti 650 m od místa úniku.



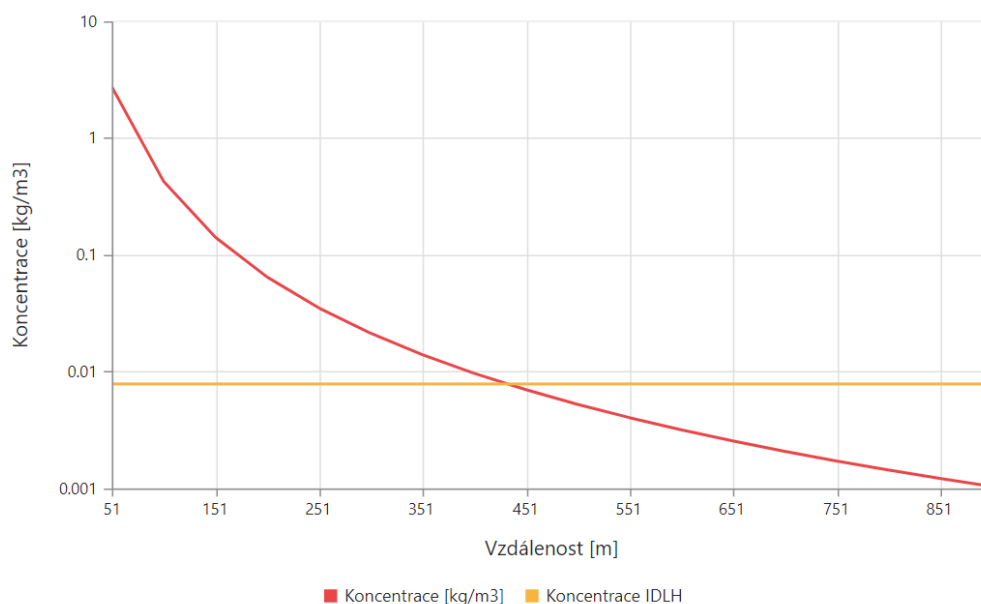
Obrázek 49 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik par methanolu

Podle výše uvedené mapy lze vyčíst, že evakuace by se týkala přibližně 200 zaměstnanců nacházejících se v areálu podniku Preol a Lovochemie. Při změně směru větru by negativní účinky methanolu zasáhly i logistický park P3 lokalizovaný vně areálu na jižní straně, kde v současné době pracuje 96 zaměstnanců. V budoucnu má však methanol potenciál ohrozit až 406 osob pohybujících se v logistickém parku.

Páry methanolu jsou nebezpečné nejen svými toxickými účinky, ale především i svou vysokou hořlavostí, která může být příčinou domino efektu v areálu. Podle obrázku 49 mnohem větší nebezpečí v případě úniku par methanolu hrozí osobám uvnitř budov, které mohou být ohroženy střepy okenního skla. Tento typ ohrožení je na mapě vyznačen světle červenou barvou a jeho rozsah je přibližně stejně velký jako oblast doporučeného průzkumu toxické koncentrace.

Další grafické výstupy modelace úniku methanolu tvoří tyto tři grafy (viz obrázky 50, 51, 52):

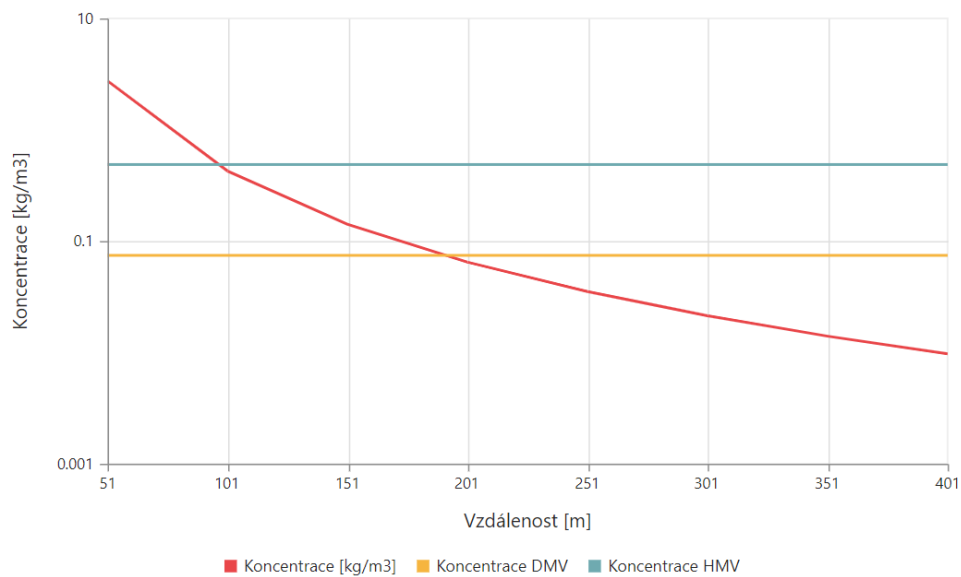
- doporučený průzkum (viz obrázek 50) – graf zobrazuje závislost koncentrace látky (kg/m^3) a vzdálenosti (m) od epicentra a znázorňuje oblast ohrožení toxickými vlastnostmi methanolu. Koncentrace látky je prezentována červenou křivkou, koncentrace IDLH je označena žlutou přímkou. Bod, ve kterém se protíná křivka s přímkou, označuje vzdálenost, do které musí být obyvatelé evakuováni, aby nedošlo k jejich ohrožení nebezpečnými účinky methanolu. Hodnoty od bodu protnutí směrem doprava značí vzdálenost doporučenou pro průzkum toxické koncentrace. Pro únik methanolu se vyhodnotila vzdálenost 433 m, ve které je nutná evakuace. Pro průzkum toxické koncentrace se určila vzdálenost 650 m od epicentra.



Obrázek 50 - Graf doporučeného výzkumu

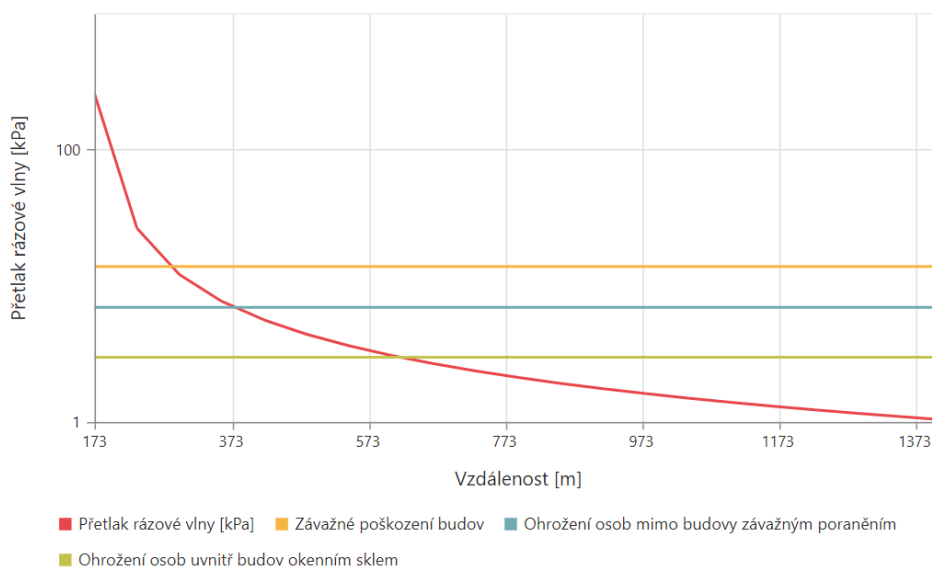
- oblast možného výbuchu (viz obrázek 51) – graf zobrazuje závislost koncentrace methanolu (červená křivka) a vzdálenosti od

středu epicentra. Modrá přímka vyjadřuje koncentraci horní meze výbušnosti (H MV), žlutá přímka vyjadřuje koncentraci dolní meze výbušnosti (D MV). V rozmezí mezi průsečíkem modré a žluté přímky s červenou křivkou je oblast koncentrace výbušné směsi nebezpečné látky se vzduchem. Pro únik methanolu je oblast možného výbuchu ve vzdálenosti přibližně 98–193 m.



Obrázek 51 - Graf oblasti možného výbuchu

- ohrožení výbuchem (viz obrázek 52) – graf zobrazuje závislost přetlaku rázové vlny (kPa) a vzdálenosti (m) z hlediska potenciálního poškození budov, ohrožení osob mimo budovy a poranění osob okenním sklem. Přetlak rázové vlny je znázorněn červenou křivkou, závažné poškození budov oranžovou přímkou, ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním modrou přímkou a ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem zelenou přímkou. Z grafu lze vyčíst, že do vzdálenosti 283 m může dojít k závažnému poškození budov, do vzdálenosti 377 m dojde k ohrožení osob mimo budovy a do vzdálenosti 620 m mohou být ohroženy osoby střepy z okenního skla.



Obrázek 52 - Graf ohrožení výbuchem

5.4.3 Modelace úniku sirouhlíku

Po zadání vstupních parametrů dle zvoleného scénáře se získá výstup v textové a grafické podobě. Na následujícím obrázku 53 je zobrazena textová podoba výsledku modelace úniku sirouhlíku.

Podle zvoleného scénáře byl vybrán havarijní model PUFF, jelikož se předpokládá rychlý odpar látky do ovzduší a zkoumá se především chování a směr šíření par sirouhlíku v prostředí. Množství odpařené látky je 19 683 kg, což je přibližně 19,7 tun. Pomocí programu TerEx se počítalo, že doporučená vzdálenost evakuace je do 1027 metrů.

Vstupní parametry

Látka	sirouhlík
Celkové uniklé množství plynu	19683 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě	5 m/s
Pokrytí oblohy oblaky	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie	Den - léto
Typ atmosférické stálosti	Izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky	Průmyslová plocha

Výsledek výpočtu

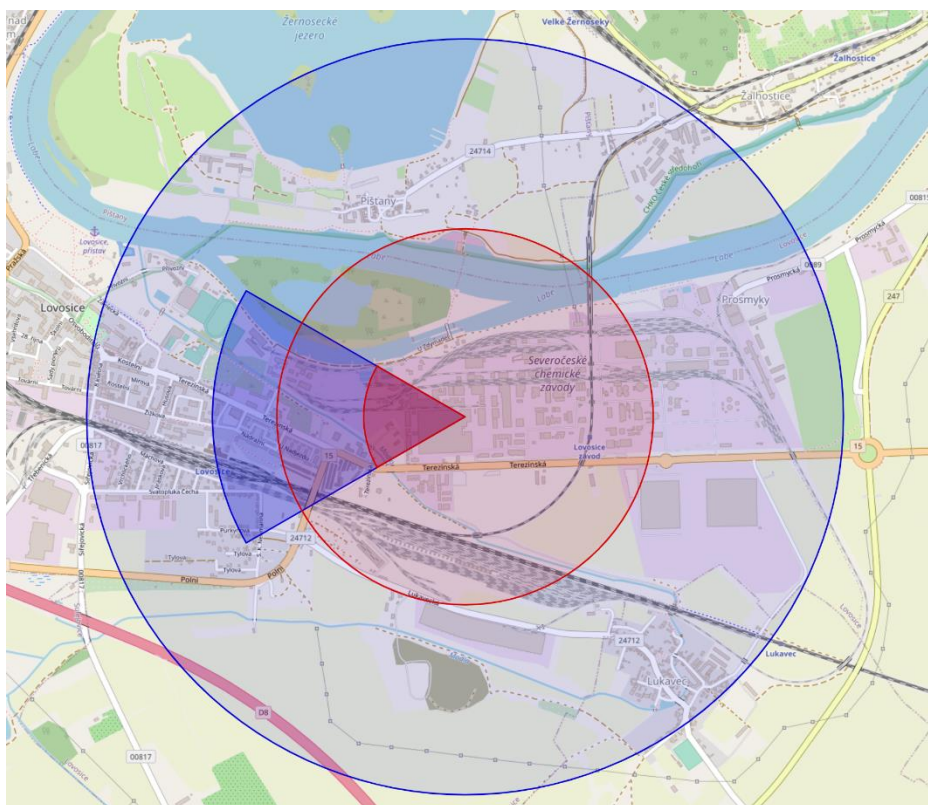
Ohrožení osob toxickou látkou	1027 m [Koncentrace: 1,55 g/m³]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	1540 m [Koncentrace: 506,63 mg/m³]
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	412 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	500 m
Závažné poškození budov	396 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	766 m

EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI **1027 m**

Obrázek 53 - Textový výstup z programu TerEx pro únik sirouhlíku

Dalším výstupem modelace je zhodnocení úniku methanolu v grafické podobě na mapovém podkladu (viz obrázek 54), kde jsou vykresleny tyto zóny ohrožení:

- oblast ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku do vzdálenosti 412 m (tmavě červená výseč),
- oblast ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem do vzdálenosti 766 m (světle červený kruh),
- oblast ohrožení osob toxickou látkou do vzdálenosti 1027 m (tmavě modrá výseč) a
- oblast pro doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti 1540 m od místa úniku (světle modrý kruh).



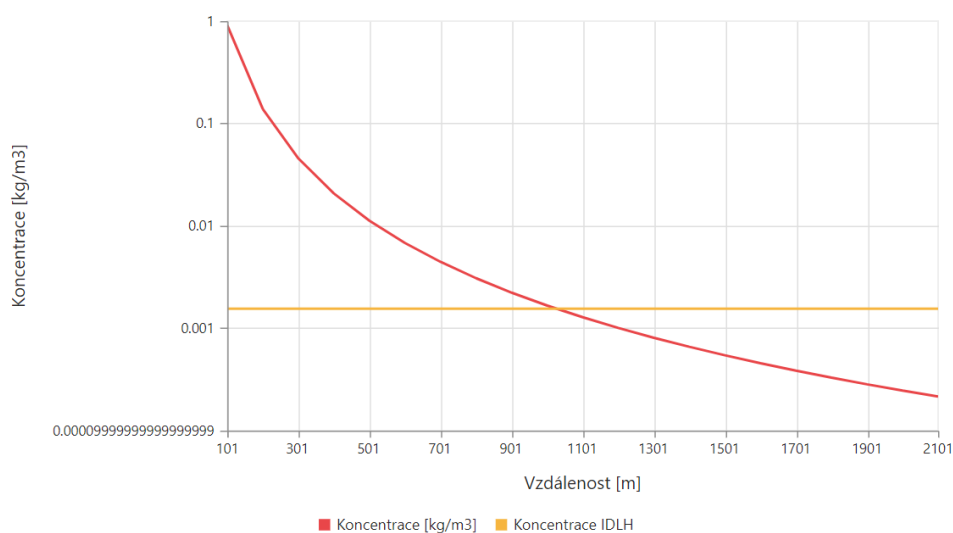
Obrázek 54 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik par sirouhlíku

Z mapy je vidět, že v případě východního směru větru by se evakuace týkala většiny areálu podniku Glanzstoff – Bohemia, dále panelových a obytných domů, firem (Brassica, GASO apod.), různých maloobchodů (Billa, Lilie), pneuservisů, čerpací stanice pohonných hmot MOL, hlavního nádraží apod. V takovém případě by se evakovalo více než 1000 osob. Z mapy je také patrné, že k zasažení centra města toxickými účinky sirouhlíku nedojde, jelikož je vzdálené od epicentra přibližně 1500 metrů. Do oblasti centra města zasahuje jen světle modrá zóna, ve které je doporučený průzkum toxické koncentrace. V této zóně obyvatelům nehrozí vážné zdravotní problémy.

V případě změny směru větru by došlo k zamoření celého průmyslového areálu a dalších objektů v okolí podniku. Jednalo by se o lékařský dům, lékárnu Lovoš, logistický park P3, maloobchod Lovomarket a bytové jednotky. Předpokládala by se evakuace více než 2000 osob.

Grafický výstup modelace úniku sirouhlíku tvoří i tyto tři grafy (viz obrázky 55, 56, 57):

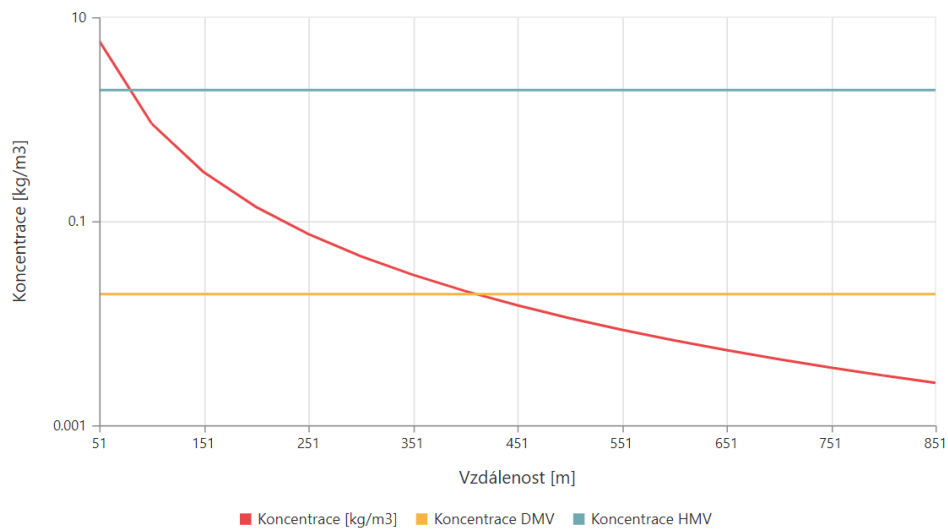
- doporučený průzkum (viz obrázek 55) – graf zobrazuje závislost koncentrace látky (kg/m^3) a vzdálenosti (m) od epicentra a znázorňuje oblast ohrožení toxickými vlastnostmi sirouhlíku. Koncentrace sirouhlíku je prezentována červenou křivkou, koncentrace IDLH je označena žlutou přímkou. Bod, ve kterém se protíná křivka s přímkou, označuje vzdálenost, do které musí být obyvatelé evakuováni, aby nedošlo k jejich ohrožení nebezpečnými účinky methanolu. Hodnoty od bodu protnutí směrem doprava značí vzdálenost doporučenou pro průzkum toxické koncentrace. Pro únik sirouhlíku se vyhodnotila vzdálenost 1027 m, ve které je nutná evakuace. Pro průzkum toxické koncentrace se určila vzdálenost 1540 m od epicentra.



Obrázek 55 - Graf doporučeného průzkumu

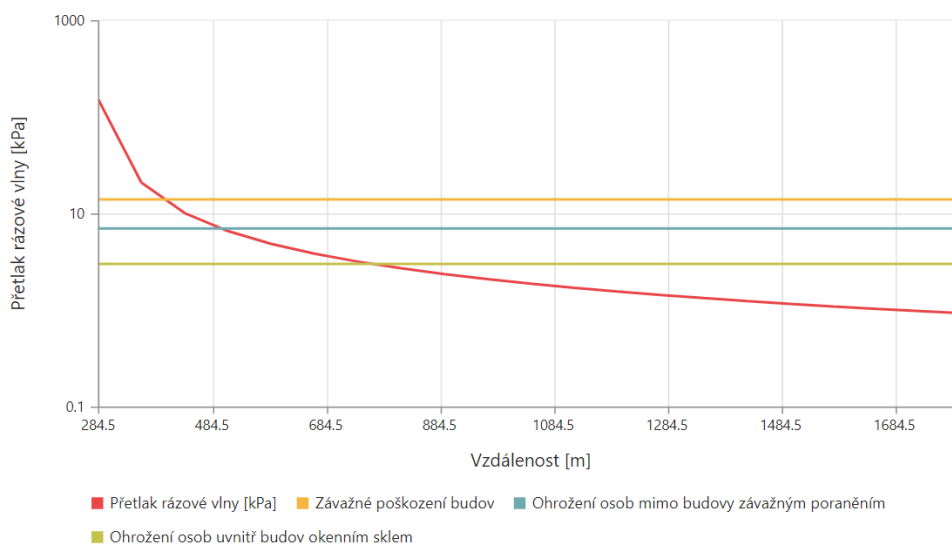
- oblast možného výbuchu (viz obrázek 56) – graf zobrazuje závislost koncentrace sirouhlíku (červená křivka) a vzdálenosti od

středu epicentra. Modrá přímka vyjadřuje koncentraci horní meze výbušnosti (H MV), žlutá přímka vyjadřuje koncentraci dolní meze výbušnosti (D MV). V rozmezí mezi průsečíkem modré a žluté přímky s červenou křivkou je oblast koncentrace výbušné směsi nebezpečné látky se vzduchem. Pro únik sirouhlíku je oblast možného výbuchu ve vzdálenosti přibližně 80–410 m.



Obrázek 56 - Graf oblasti možného výbuchu

- ohrožení výbuchem (viz obrázek 57) – graf zobrazuje závislost přetlaku rázové vlny (kPa) a vzdálenosti (m) z hlediska potenciálního poškození budov, ohrožení osob mimo budovy a poranění osob okenním sklem. Přetlak rázové vlny je znázorněn červenou křivkou, závažné poškození budov oranžovou přímkou, ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním modrou přímkou a ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem zelenou přímkou. Z grafu lze vyčíst, že do vzdálenosti 396 m může dojít k závažnému poškození budov, do vzdálenosti 500 m dojde k ohrožení osob mimo budovy a do vzdálenosti 766 m mohou být ohroženy osoby střepy z okenního skla.



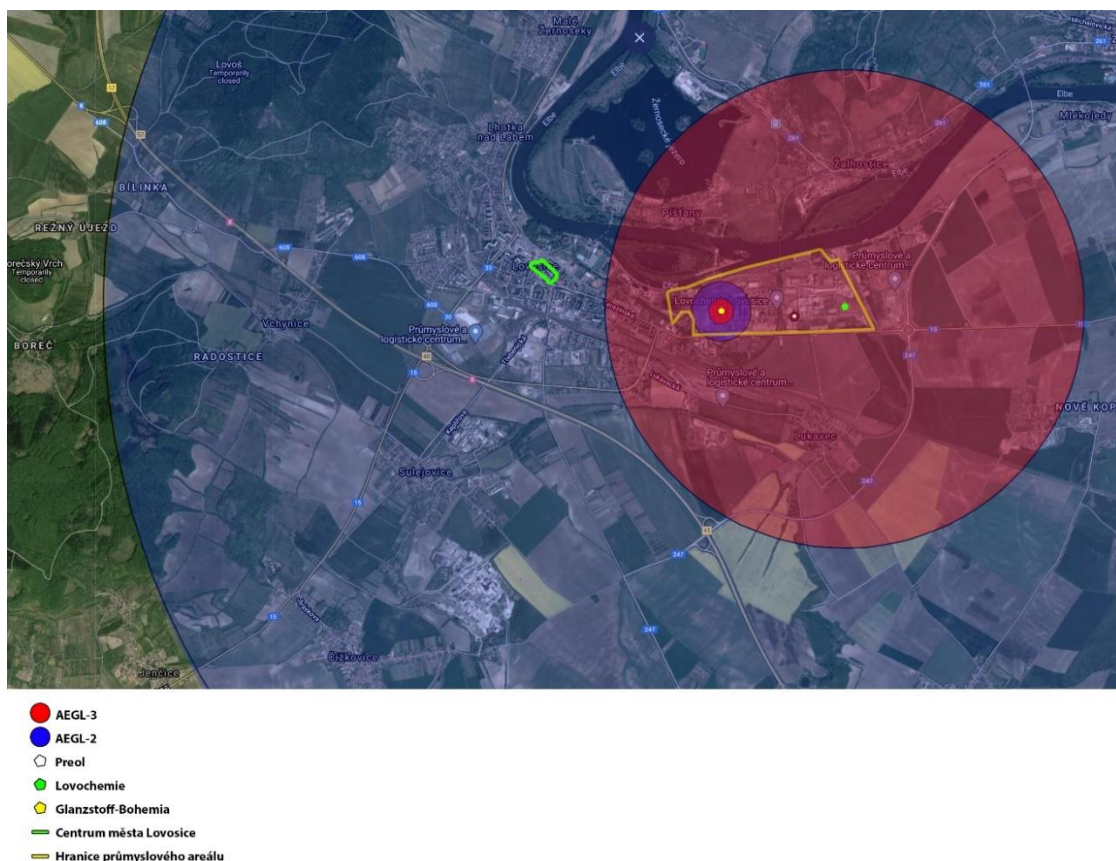
Obrázek 57 - Graf ohrožení výbuchem

5.5 Mapy rizik

V této kapitole budou vloženy výsledné mapy rizik, které byly zpracovány na základě modelace úniku vybraných nebezpečných chemických látek podle zvolených scénářů. Pro modelaci byly využity softwarové nástroje ALOHA a TerEx. Jelikož každý z těchto programů pracuje na odlišném principu, byly vytvořeny dvě mapy rizik, které jsou v následujících dvou podkapitolách.

5.5.1 Mapa rizik z programu ALOHA

Na následujícím obrázku 58 je na mapovém podkladě zobrazena přibližná mapa rizik vytvořená na základě modelací úniku nebezpečné látky v programu ALOHA. Mapa z dálky je v příloze 4.



Obrázek 58 - Mapa rizik z programu ALOHA

Jednotlivé zóny ohrožení mají různou koncentraci v závislosti na vybrané látce, která se v programu modelovala. Různé hodnoty koncentrací zón AEGL -3 a AEGL - 2 jsou zaneseny v následující tabulce 9.

Tabulka 9 - Hodnoty koncentrace jednotlivých zón ohrožení AEGLs

Zóna ohrožení	Barevné značení	Koncentrace amoniaku (ppm)	Koncentrace methanolu (ppm)	Koncentrace sirouhlíku (ppm)
AEGL - 3	červená	1100	7200	480
AEGL - 2	modrá	160	2100	160

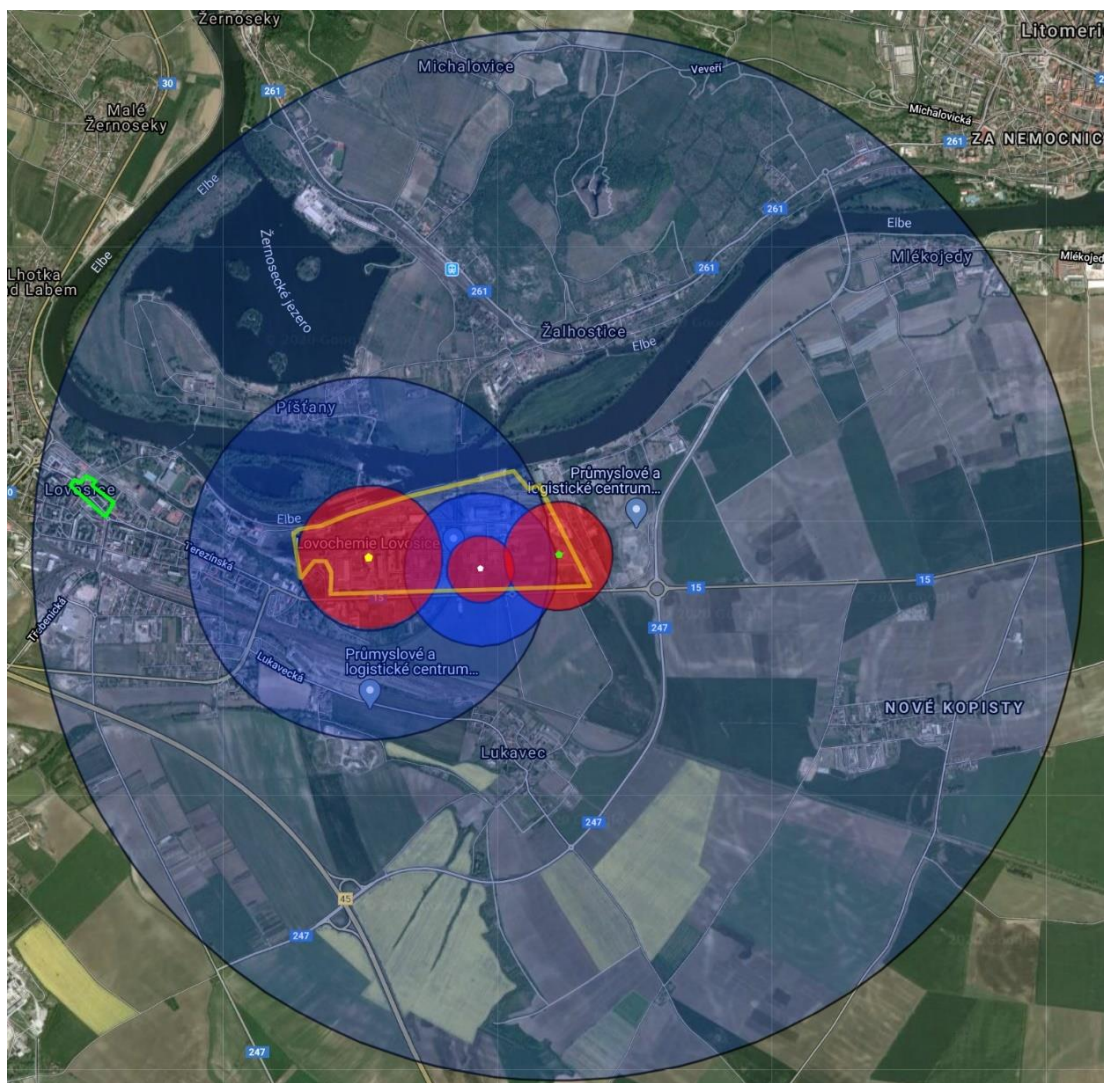
Na mapě rizik lze vyčíst, že dvě červené kružnice jsou umístěny v jedné velké červené kružnici. Obecně se předpokládá, že v místě překrývání červených

kružnic je zvýšené riziko ohrožení nebezpečnou látkou. V našem případě dochází k jejich překrývání uvnitř průmyslového areálu. To znamená, že zóna AEGL – 3 nezasáhne centrum města Lovosice. Jedinou ohrožující látkou je amoniak, jehož zóna AEGL – 3 přesahuje hranice průmyslového areálu a zasahuje do okolních oblastí. Jedná se o oblasti hlavního nádraží, supermarketu Billa, panelových a obytných domů, lékařského domu, lékárny, různých firem (Brassica, BestDrive aj.) a hlavní pozemní komunikaci vedoucí do centra Lovosic. Zóna AEGL – 3 dále zasahuje do obcí, které leží blízko Lovosic. Jedná se zejména o obce Lukavec, Žalhostice, Píšťany a Nové Kopisty.

5.5.2 Mapa rizik z programu TerEx

Na obrázku 59 lze vidět mapu rizik na mapovém podkladě. Mapa rizik byla vytvořena na základě modelací úniku nebezpečné látky v programu TerEx.

Na mapě jsou vykresleny zóny ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku a ohrožení osob toxickou látkou. Podle rozsahu těchto zón je patrné, že centrum města Lovosice bude zasaženo negativními účinky amoniaku. Rozptyl ostatních nebezpečných chemických látek sice přesahuje hranice průmyslové zóny, ale ohrožuje jen objekty v blízkém okolí. Jednalo by se o objekty nacházející se podél hlavní pozemní komunikace, například lékařský dům, lékárna, pneuservis, logistický park P3, čerpací stanice pohonných hmot, hlavní nádraží a panelové a obytné domy. Co se týče ohrožení okolních obcí, jedná se především o obce Lukavec, Nové Kopisty, Mlékojedy, Žalhostice a Píšťany. Pro tyto obce představuje největší nebezpečí amoniak. Z ostatních nebezpečných látek jediný sirouhlík může potenciálně ohrožovat obyvatelstvo, které se nachází v obci Píšťany.



- Zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku
- Zóna ohrožení osob toxickou látkou
- ◻ Preol
- ◻ Lovochemie
- ◻ Glanzstoff-Bohemia
- Centrum města Lovosice
- Hranice průmyslového areálu

Obrázek 59 - Mapa rizik z programu TerEx

6 DISKUZE

Cílem diplomové práce je analýza chemické bezpečnosti centra města Lovosice pro odhalení zdrojů s rizikem úniku nebezpečné chemické látky, která může způsobit vážné zdravotní problémy obyvatelstvu města. Výstupem je vytvoření mapy rizik pomocí softwarových nástrojů pro modelaci úniku nebezpečných látek a komparace bezpečnostních opatření zavedená v současné době a v minulosti, případně návrh na zlepšení těchto bezpečnostních opatření.

Po vlastním průzkumu bylo zjištěno, že jsou ve městě Lovosice tři stacionární zdroje, u kterých hrozí nebezpečí úniku nebezpečné chemické látky. Tyto objekty jsou podle zákona o prevenci závažných havárií zařazeny do skupiny A a B. Jejich způsob řazení a povinnosti byly vysvětleny v teoretické části. Teoretická část se dále zabývá fyzikálně-chemickými vlastnostmi a negativními účinky nebezpečných chemických látek, kterými jsou v tomto případě amoniak, methanol a sirouhlík. Pro porozumění odborným názvům byly vybrány základní pojmy vysvětleny v úvodu rešeršní části. Dále byly vybrány a rozebrány tři zahraniční havárie s únikem nebezpečné chemické látky se zaměřením na bezpečnostní opatření, která budou níže porovnávána s opatřeními zavedenými v jednotlivých podnicích pro prevenci a minimalizaci následků vzniku závažné havárie. Jelikož následky chemických havárií mohou být katastrofické, je důležité, aby se podnikla řada kroků k jejich zmírnění. Mezi ně patří například varování, vyrozumění, evakuace, prostředky individuální ochrany, uzavření postiženého území, regulace pohybu osob a vozidel apod.

Pro zhodnocení nebezpečí úniku chemických látek z jednotlivých stacionárních zdrojů byly použity dva softwarové programy, které jsou schopny podle zadaných vstupních údajů vypočítat a namodelovat chování dané nebezpečné látky v prostředí. Účelem těchto modelací je určení, zda únik nebezpečné chemické látky zasáhne oblast centra města Lovosice. Z mnoha

softwarových nástrojů byly zvoleny dva, ALOHA a TerEx, jelikož každý udává odlišné výsledky, a tím je umožněno vyhodnocení nebezpečí úniku z různých úhlů pohledu. Zatímco TerEx je založen na principu předvídání maximálních možných dopadů a následků (tzv. nejhorší scénář), ALOHA je přesnější z hlediska vyhodnocování průběhu chování nebezpečné látky v prostředí. Obecně patří mezi pokročilejší programy, kde je požadováno velké množství vstupních parametrů. Nevýhodou těchto programů je však vyšší citlivost na zadání nepřesných vstupních údajů a složité uživatelské rozhraní. V případě nástroje ALOHA je uživatelské rozhraní v anglickém jazyce, což může být omezující pro osoby s nedostatečnou znalostí anglického jazyka. Toto omezení však řeší nástroj TerEx, který je produktem české společnosti T-SOFT. Problémem je jeho dostupnost oproti programu ALOHA, který je volně dostupný na internetu. Přístup k softwaru TerEx se zajišťuje v rámci vzdělávacích institucí nebo se musí zakoupit licence k jeho využívání. Pro potřeby práce byl z důvodu situace COVID-19 umožněn vzdálený přístup prostřednictvím internetových stránek společnosti T-SOFT, kde je program limitován na základní funkce. Výhodou nástroje TerEx je jeho jednoduché ovládání, a i přes nedostatek přesných vstupních informací, dokáže generovat výsledky. Díky těmto vlastnostem je určen spíše pro rychlý odhad následků průmyslových havárií.

Výsledky jednotlivých modelací úniku nebezpečných chemických látek z těchto dvou softwarových programů nejsou v diplomové práci porovnávány mezi sebou, jelikož každý z nich vyžaduje jiná vstupní data, a tím uvádí odlišná výstupní data, respektive odlišné textové a grafické výstupy. V případě porovnání výsledků by bylo zapotřebí sjednotit určité parametry, podle kterých by to bylo možné. Program TerEx nevyžaduje například informace o tvaru a rozměru zásobníku, způsobu poškození zásobníku, datum a čas.

Hypotézy

Po vytyčení cílů práce byly stanoveny dvě hypotézy, které se na základě dosažených výsledků potvrdí nebo vyvrátí.

K potvrzení či vyvrácení hypotézy 1 „Při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky nedojde k ohrožení obyvatel nacházejících se v bezprostřední blízkosti hranic průmyslového areálu“ je zapotřebí vyhodnocení mapy rizik z programu ALOHA a TerEx. Jelikož oba programy vykazují odlišné výsledky, budou hodnoceny zvlášť.

Z mapových výstupů modelace úniku nebezpečné látky prostřednictvím programu ALOHA bylo zjištěno, že při závažné havárii chemického závodu Lovochemie s únikem par amoniaku dojde k zamoření oblasti mimo průmyslový areál bez ohledu na směr větru. Vzhledem k množství uniklé látky za krátkou dobu (9 tun za minutu) a rozsahu oblasti koncentrace AEGL – 3 se látka nestihne dostatečně smísit s ostatními plyny, a hrozí tak riziko závažných dopadů na obyvatelstvo nacházejících se v blízkosti areálu podniku.

V případě úniku sirouhlíku z chemického závodu Glanzstoff-Bohemia bylo na základě mapových výstupů zjištěno, že oblast koncentrace AEGL – 3 je převážně v areálu podniku, a tudíž i v areálu průmyslové zóny. Naopak oblast koncentrace AEGL – 2 mírně zasahuje za hranice průmyslového areálu. Vzhledem k vypařovanému množství (407 kg za minutu) a krátkému přesahu oblasti koncentrace AEGL – 2 nehrozí obyvatelům nacházejícím se v okolí objektu vážné zdravotní problémy. Důvodem je také fakt, že koncentrace sirouhlíku v oblasti AEGL – 2 není tak vysoká, a v důsledku větru dochází k naředění látky s ostatními plyny v ovzduší. Vzhledem ke zvoleným meteorologickým podmínkám a rychlosti větru se látka nemůže dostatečně rozptýlit, a tím je její nebezpečnost vůči obyvatelům snížena.

Jediná látka, která svým únikem jednoznačně neohrozí obyvatele v okolních budovách, je methanol. Modelace jejího úniku podle zvoleného scénáře ukázala, že oblasti AEGL – 3 a AEGL – 2 zasáhnou především areál podniku Preol ve vzdálenosti do 31 a 39 metrů. Ohroženou skupinou by byli zaměstnanci podniku, kteří by se pohybovali v bezprostřední blízkosti zásobníku.

Co se týče analýzy mapových výstupů z programu TerEx, bylo zjištěno, že k ohrožení obyvatel mimo hranice průmyslového areálu dojde v případě všech scénářů úniku nebezpečné látky z jednotlivých stacionárních zdrojů. Mapový výstup úniku amoniaku ukazuje, že oblast ohrožení přímým prošlehnutím oblaku přesahuje průmyslový areál při západním a severním směru větru. Větší problém může představovat zóna ohrožení osob toxickou látkou, která dosahuje až 2978 metrů od epicentra. Tato zóna označuje nejvyšší míru koncentrace látky v ovzduší, které může být vystaven zdravý člověk po dobu 30 minut, aniž by utrpěl trvalé poškození na zdraví. Vzhledem k rozsahu této zóny je vysoce pravděpodobné, že se obyvatelé nestihnou evakuovat a budou zasaženi toxickými účinky amoniaku.

V případě úniku sirouhlíku se stanovila zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku do vzdálenosti 412 metrů a přesahuje tak hranici průmyslového areálu a zasahuje až k obytným domům a místním obchodům. Oproti výsledku z programu ALOHA, v tomto případě osobám nacházejícím se v okolí průmyslového areálu hrozí vážné riziko smrtelného nebezpečí. Důvodem může být fakt, že TerEx pracuje s nejhorším scénářem úniku, což znamená, že předpokládá nejhorší následky a dopady. Co se týče úniku methanolu, zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku byla stanovena do vzdálenosti 191 metrů. To znamená, že k přesahu za hranice průmyslového areálu dojde jen při severním směru větru. Na mapě je vidět, že zóna zasáhne jen hlavní pozemní

komunikaci. Ohrožení by se tedy týkalo jen osob v autech. Je zde však malá pravděpodobnost vážného poškození na zdraví, jelikož by byli látce vystaveni jen po krátkou dobu nutnou k projetí této části komunikace. S postupem času osobám v autech nehrozí žádné poškození na zdraví, jelikož by došlo k odklonu dopravy složkou integrovaného záchranného systému.

Po analýze a zhodnocení mapových výstupů z jednotlivých programů se zjistilo, že k ohrožení obyvatel nacházejících se v blízkosti průmyslového areálu jednoznačně nedojde jen v případě úniku methanolu. V případě úniku sirouhlíku byl mezi výsledky z jednotlivých programů nalezen rozpor. Přikláním se však k výsledku z programu ALOHA, jelikož vyžaduje větší množství vstupních dat a udává tedy přesnější hodnoty pro konkrétní scénář úniku látky. K výsledku z programu TerEx bych se přiklonila v případě vytváření nových bezpečnostních opatření nebo při jejich úpravě, jelikož pracuje s principem prognózy nejhoršího scénáře. Největší nebezpečí pro obyvatele pohybující se v okolí představuje amoniak z důvodů, které byly zmíněny již výše. Na základě těchto tvrzení je tedy hypotéza 1 vyvrácena – při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky dojde k ohrožení obyvatel nacházejících se v bezprostřední blízkosti hranic průmyslového areálu.

Pro potvrzení či vyvrácení hypotézy 2 „Při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky je zapotřebí provést evakuaci obyvatel nacházejících se v centru města Lovosice“ je potřeba vyhodnotit mapy rizik z programu ALOHA a TerEx.

Z obou map rizik lze vyčíst, že oblasti úniku methanolu z podniku Preol a úniku sirouhlíku z podniku Glanzstoff-Bohemia jsou vyznačeny převážně v areálu průmyslové zóny a krátce přesahují do okolních objektů. Modelace úniku těchto dvou nebezpečných látek ukázala, že pro oblast centra města Lovosice

nepředstavují žádnou hrozbu. Největší nebezpečí zde představuje opět amoniak, jehož oblast zasažení dosahuje značné vzdálenosti. Na mapě rizik z programu ALOHA je oblast AEGL – 3 do 2,1 km od místa úniku, AEGL – 2 dosahuje až 6,5 km od epicentra. U programu TerEx jsou hodnoty podobné, zóna ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku je ve vzdálenosti 308 metrů od epicentra, a zóna ohrožení osob toxickou látkou dosahuje až 2978 metrů od zdroje úniku. Vzdálenost, kterou udává zóna ohrožení osob toxickou látkou, je doporučována samotným programem pro provedení evakuace obyvatel. Oblast centra města Lovosice patří do této zóny. Z pohledu mapy rizik z programu TerEx je tedy nutné provedení evakuace obyvatel nacházejících se v centru města Lovosice.

Co se týče mapy rizik z programu ALOHA, evakuace je nutná provést v oblasti AEGL – 3, kde je vysoká koncentrace amoniaku, která bezprostředně ohrožuje jedince na životě. V této oblasti neleží centrum města Lovosice, to znamená, že by teoreticky nemusela být nutná evakuace obyvatel. Je ovšem důležité brát v potaz vzdálenost centra města od zóny AEGL – 3, která činí pouze 350 metrů. Vzhledem k uniklému množství amoniaku se i v této vzdálenosti může stále vyskytovat poměrně vysoká koncentrace látky. V případě změny rychlosti větru by mohla zóna AEGL – 3 zasáhnout i část oblasti centra města. Navíc delší pobyt v koncentraci odpovídající úrovni AEGL – 2 způsobuje nevratné, dlouhodobé či jiné vážné zdravotní potíže. Jelikož se v centru města nacházejí tři základní školy, mateřská škola a gymnázium, pohybuje se zde velké množství osob mladšího věku, které nemusí mít plně vyvinutý imunitní systém. Pro takové osoby by tato koncentrace mohla mít život ohrožující následky, a proto je nutná evakuace osob v centru města Lovosice. Na základě těchto tvrzení je hypotéza 2 potvrzena – při závažné havárii s únikem nebezpečné chemické látky je zapotřebí provést evakuaci obyvatel nacházejících se v centru města Lovosice.

Následky závažných havárií mohou být fatální, proto je důležité klást důraz na prevenci závažných havárií a na minimalizaci dopadů v případě vzniku havárií. Předmětem práce je také komparace bezpečnostních opatření zavedená v současné době a v minulosti, případně návrh na zlepšení těchto opatření.

Komparace bezpečnostních opatření

V minulosti se stalo mnoho chemických havárií, které měly katastrofické dopady. Důležité bylo se z nich poučit a zavést vhodná bezpečnostní opatření, která by měla předcházet podobným událostem. Popis těchto opatření je obsažen v teoretické části, v kapitole 3. 4. 3.

Bezpečnostní opatření, která jsou v současné době zavedena v jednotlivých chemických závodech, jsou popsána v praktické části, v kapitolách 5. 1. 1 – 5. 1. 3. Vzhledem k rozsáhlosti opatření v bezpečnostních dokumentacích, byly vybrány a popsány jen ty nejdůležitější.

Po analýze bezpečnostních dokumentací a literárních zdrojů [12, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 67] za účelem komparace bezpečnostních opatření byla zjištěna vysoká úroveň zabezpečení pro případ vzniku a prevence závažných havárií. I přesto, že se shoduje většina opatření podniků s opatřeními zavedenými v minulosti, našly se mírné nedostatky. Například společnost Glanzstoff-Bohemia ve svých bezpečnostních dokumentacích zahrnuje jen jeden scénář úniku sirouhlíku, a to havárii cisterny obsahující danou chemickou látku. Podle opatření zavedených po chemické havárii ve francouzském Toulouse se doporučuje zahrnout do dokumentace více typů scénářů úniku nebezpečné látky. Dále bylo zjištěno, že ve společnosti Lovochemie se skladuje veliké množství amoniaku v jednotlivých zásobnících. V případě úniku amoniaku z jednoho z těchto zásobníků hrozí fatální následky na obyvatelstvo žijící v okolí podniku. Následky byly také modelovány v praktické části práce. Doporučuje se

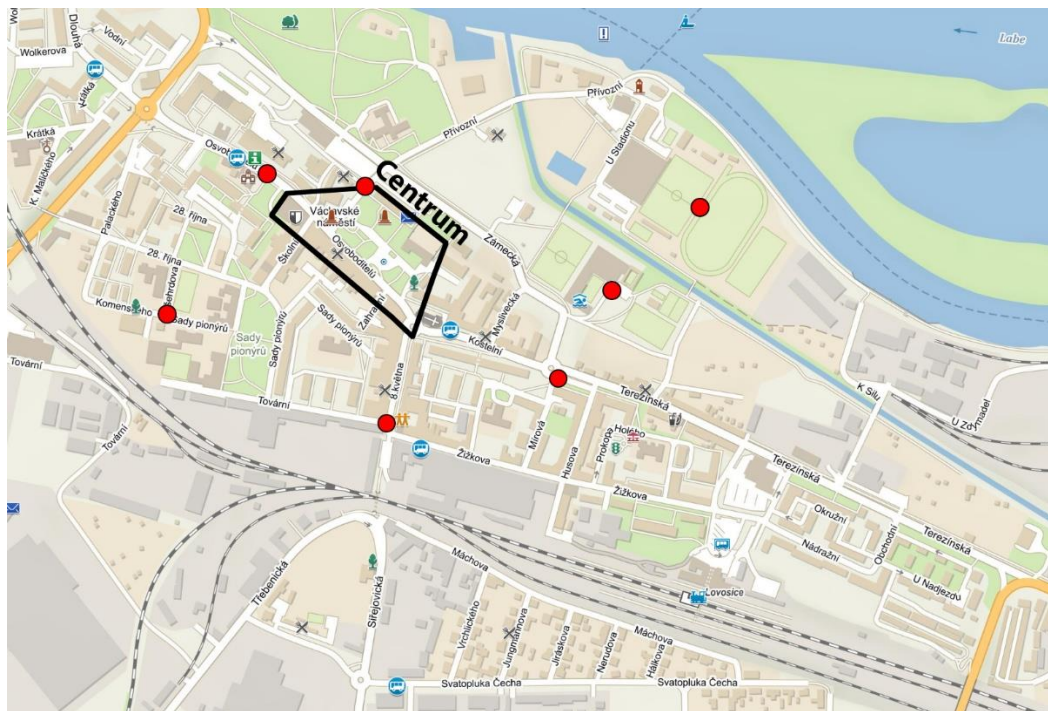
proto snížit celkové množství nebezpečné chemické látky v objektu na základě opatření zavedeného po průmyslové havárii v anglickém Flixborough. Dále je doporučeno skladovat menší množství nebezpečné látky ve více zásobnících. Tím se eliminuje riziko katastrofických následků v případě poruchy jednoho ze zásobníků. Co se týče územního plánování, bylo zjištěno, že v okolí průmyslového areálu se vyskytuje poměrně značné množství budov a objektů, včetně lékařského domu, lékárny, několika bytových jednotek apod. Také se na jižní straně za hranicemi průmyslového areálu buduje nový objekt, logistický park P3, ve kterém se bude nacházet až 400 zaměstnanců. V případě závažné havárie by všechny tyto objekty byly postiženy toxickým oblakem, který by ohrožoval na životě velké množství osob. Podle opatření zavedených na základě chemické havárie v americkém Westu se doporučuje, aby se omezily výstavby nových budov kolem areálu chemického podniku pro maximální snížení rizika ohrožení osob.

Návrh na zlepšení bezpečnostních opatření

Pro omezení následků vzniku chemické havárie se používá komplex opatření pro ochranu obyvatelstva, mezi které patří varování, vyrozumění, evakuace apod. Varování obyvatel se provádí prostřednictvím varovného signálu a světelné signalizace úniku amoniaku, které jsou umístěné na pozemní komunikaci. Světelné signalizace slouží především k odklonu dopravy a jsou lokalizovány na čtyřech místech – na kruhové křižovatce u Prosmyku, u výjezdu z obce Lukavec směrem k Lovochemii, u čerpací stanice pohonných hmot v Lovosicích, v ulici Lukavecká a na křižovatce ulic Terezínská a U Nadjezdu v Lovosicích (viz obrázek 27). Tyto světelné signalizace jsou umístěné jen v okolí průmyslového areálu na pozemních komunikacích, což může být nedostačující vzhledem k rozsahu uniklé nebezpečné látky. Také varování probíhá prostřednictvím KOPIS, které je vyrozuměno podnikovým dispečerem.

Prodleva, která vznikne komunikací mezi jednotlivými dispečery a aktivací varovného systému, může být dlouhá. Proto doporučuji umožnit aktivaci varovného systému již v areálu Lovochemie, například příkazem v počítačovém systému, tlačítkem apod. Dále je potřeba varovat obyvatele i ve vzdálenějších místech mimo pozemní komunikace, například centrum města Lovosice, aby se vyvarovali kontaktu s nebezpečnou látkou.

Navrhuji přidání více signalizačních zařízení do vzdálenějších míst od průmyslového areálu pro včasné varování obyvatelstva. Tato zařízení by měla být schopna světelně a akusticky varovat i handicapované obyvatele. Umístění dalších signalizačních zařízení by bylo ze všech stran pozemní komunikace a na pěších zónách kolem centra města. Na obrázku 60 je vyznačeno mnou navrhované umístění dalších signalizačních zařízení, které jsou na těchto místech – na kruhovém objezdu v ulici Kostelní, na křižovatce ulic Tovární, 8. května a Žižkova, ve sportovním areálu, na Václavském náměstí, v ulici Osvoboditelů a v pěší zóně – v ulici Sady pionýrů.



Obrázek 60 - Rozmístění světelné signalizace úniku amoniaku.

Dále bych doporučovala školení obyvatel pro lepší informovanost ohledně nebezpečí, které představují chemické závody a o žádoucím chování v případě vzniku chemické havárie. Na školení by se obyvatelé učili vytvářet prostředky improvizované ochrany nebo způsoby provedení první pomoci v případě zasažení nebezpečnou látkou.

Pro informování obyvatelstva zde slouží informační brožury, které jsou však pouze v českém jazyce a na internetu, na stránkách městského úřadu. Navrhuji, aby se tyto informační brožury vydávaly i na informačních centrech a v jiných jazycích, zejména v angličtině a v němčině, jelikož se zde nachází mnoho zahraničních turistů. Pro handicapované osoby bych navrhovala vytvoření informačních brožur obsahujících Braillovo písmo nebo určení odpovědných osob, které jsou vzdělány pro práci s handicapovanými osobami a ovládají znakovou řeč. Pro mentálně postižené osoby by se vytvořily brožury v obrázkové formě. Tyto informační brožury bych doporučila distribuovat do schránek v panelových a obytných domech. Dále navrhuji pravidelná cvičení evakuace týkající se především základních a středních škol pro lepší organizaci žáků, a tím umožnění rychlého přesunu ze zamořeného místa.

7 ZÁVĚR

Následky závažných havárií s únikem nebezpečných chemických látek jsou ve většině případů katastrofické. Aby se tyto dopady minimalizovaly, je klíčové zavedení a dodržování vhodných bezpečnostních opatření, která jsou zavedena na základě modelace chování úniku nebezpečných látek. Soubory těchto opatření slouží k zachování chemické bezpečnosti a ochrany života a zdraví obyvatel.

V teoretické části práce byl na základě analýzy literárních zdrojů popsán současný stav, včetně legislativy, fyzikálně-chemických vlastností látek a jejich negativních účinků na člověka. Dále byly vybrány a popsány tři zahraniční havárie se zaměřením na bezpečnostní opatření, která byla v další části práce komparována s bezpečnostními opatřeními vybraných chemických závodů ve městě Lovosice.

Předmětem praktické části byla modelace úniku nebezpečných látek z vybraných stacionárních zdrojů pomocí softwarových nástrojů ALOHA a TerEx. Výsledkem bylo vypracování mapy rizik za účelem odhalení následků závažné havárie na obyvatelstvo a potvrzení či vyvrácení stanovených hypotéz. Hypotéza 1 byla na základě analýzy mapy rizik vyvrácena, jelikož oblast šíření úniku amoniaku značně přesahovala hranice průmyslového areálu, a tím ohrožovala obyvatele v okolí na životě. Hypotéza 2 byla po zhodnocení mapových výstupů modelace potvrzena.

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení následků úniku nebezpečných látek ve městě Lovosice. Po konzultaci s městským úřadem budou tyto výstupy využity při zavádění nových či úpravě stávajících bezpečnostních opatření.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADR	Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě
AEGLs	Acute Exposure Guideline Levels (směrnice pro úrovně akutní expozice)
ALOHA	Area Location of Hazardous Atmospheres
CAS číslo	Mezinárodní číslo pro přesnou identifikaci chemické látky
CLP	Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures (Klasifikace, označování a balení chemických látek a směsí)
ERPGs	Emergency Response Planning Guidelines (směrnice pro plánování odezvy na případ nouze)
GHS	Globálně harmonizovaný systém
IATA	Dohoda o mezinárodní letecké přepravě nebezpečného nákladu
IDLHs	Immediately Dangerous to Life and Health limits (bezprostředně nebezpečné pro zdraví a život)
IMDG	Dohoda o mezinárodní námořní přepravě nebezpečného nákladu
IZS	Integrovaný záchranný systém

KOPIS	Krajské operační a informační středisko
OSN	Organizace spojených národů
PUFF	jednorázový únik plynu do oblaku, únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek)
RID	Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí
TEREX	Teroristický Expert

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. SKŘEHOT, Petr a Jan BUMBA. *Prevence nehod a havárií, 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. s. 11. ISBN 978-80-86973-73-9.
2. SKŘEHOT, Petr, Michaela MELICHAROVÁ, Zdeněk HON, et al. *Rozptyl těžkého plynu v atmosféře: teorie – modely – experimenty*. v Praze: T-SOFT, 2018. ISBN 978-80-905401-2-5.
3. MELKES, Vladimír, Otakar J. MIKA a Univerzita obrany. *Prevence závažných průmyslových havárií*. Brno: Univerzita obrany, 2005. s. 7. ISBN 80-7231-038-0.
4. International Programme on Chemical Safety: Chemical incidents and emergencies. WHO [online]. Geneva: WHO, 2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.who.int/ipcs/emergencies/en/>
5. SKŘEHOT, Petr. *Prevence nehod a havárií*. Česko: PINK PIG, 2009. ISBN 978-80-86973-70-8.
6. OECD. *Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. Guidance for Industry (including Management and Labour), Public Authorities, Communities and other Stakeholders*. 2 ed. OECD Environment, Health and Safety Publications, 2003. Dostupné také z: <http://www.oecd.org/env/ehs/chemical-accidents/Guiding-principles-chemical-accident.pdf>
7. Chemical safety. *World Health Organization* [online]. Geneva: WHO, c2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.who.int/health-topics/chemical-safety#tab=tab_1
8. Zákon č. 224/2015 Sb., *Zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů*

9. RICHTER, Rostislav. *Slovník pojmů krizového řízení*. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2018. ISBN 978-80-87544-91-4.
10. AUTOR NEUVEDEN. Havarijní plánování. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2019 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/krizove-rizeni-a-cnp-havarijni-planovani-havarijni-planovani.aspx>
11. BLAŽKOVÁ, Kateřina. Krizové a havarijní plánování. *Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje* [online]. Hasičská záchranná sbor Moravskoslezského kraje, c1999-2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.hzsmsk.cz/index.php?ID=1430>
12. PROCHÁZKOVÁ, Dana a Policejní akademie České republiky. *Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody*. Praha: Vydavatelství PA ČR, 2008. s. 34. ISBN 978-80-7251-275-1.
13. Zákon č. 240/2000 Sb. *Zákon o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)*.
14. Zákon č. 239/2000 Sb. *Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů*.
15. AUTOR NEUVEDEN. Nebezpečná chemická látka, nebezpečný přípravek. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, c2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/nebezpecna-chemicka-latka-nebezpecny-pripravek.aspx>
16. Riziko. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, c2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/riziko.aspx>
17. Pojmy a definice krizového řízení. *Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje* [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2019

- [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/krizove-rizeni-a-cnp-ke-stazeni-ff.aspx?q=Y2hudW09OA%3D%3D>
18. ČAPOUN, Tomáš. *Chemické havárie*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. s. 121. ISBN 978-80-86640-64-8.
 19. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: skripta*. Vydání první. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. ISBN 978-80-86466-62-0.
 20. Major accident hazards: The Seveso Directive – Summary of requirements. *European Commission: Environment* [online]. 2019 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/environment/seveso/legislation.htm>
 21. KOTEK, Luboš. Nové aspekty v prevenci závažných havárií (Seveso III). *Automa* [online]. 2015(12), 44-45 [cit. 2020-04-10]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <https://automa.cz/page-flip/casopis/automa/2015/12/index.html#page/46>
 22. Prevence závažných havárií. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2019 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/krizove-rizeni-a-cnp-prevence-zavaznych-havarii-prevence-zavaznych-havarii.aspx>
 23. Zákon č. 350/2011 Sb. *Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon)*.
 24. ŠÍN, Robin. *Medicína katastrof*. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-749-2295-4.
 25. Pracovní pomůcka k výkonu státního požárního dozoru: Chemické látky a směsi. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/pracovni-pomucka-chemicke-latky-a-smesi.aspx>.
 26. REACH — Regulation for Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. *European Agency for Safety and Health at*

- Work [online]. EU-OSHA, c2020 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/en/themes/dangerous-substances/reach>
27. Methyalkohol. : *Přírodovědecká fakulta UJEP* [online]. Ústí nad Labem, 2010 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: [https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Methyalkohol%20\(methanol\).pdf](https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Methyalkohol%20(methanol).pdf)
28. Nebezpečné chemické látky. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2020, 2012 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/docDetail.aspx?docid=21696875&doctype=ART&chnum=2#Amoniak>
29. Amoniak. *Krizport* [online]. c2018 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://krizport.firebrno.cz/ohrozeni/amoniak>
30. Methanol. *Krizport* [online]. c2018 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://krizport.firebrno.cz/ohrozeni/methanol>
31. Amoniak. *Integrovaný registr znečišťování: Ministerstvo životního prostředí České republiky* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/repository/látky/amoniak.pdf>
32. MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. *Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Zásahy s únikem čpavku (amoniaku)*. Praha, 2015, (15), 6 s.
33. KROUPA, Miroslav. Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2004 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/chovani-obyvatelstva-pdf.aspx>
34. Sirouhlík. *Katedra chemie: Přírodovědecká fakulta UJEP* [online]. 2010 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Sirouhl%C3%ADk.pdf>

35. Amoniak. *Katedra chemie: Přírodovědecká fakulta UJEP* [online]. 2010 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/amoniak.pdf>
36. CLP – Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures. *European Agency for Safety and Health at Work* [online]. EU-OSHA, c2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/en/themes/dangerous-substances/clp-classification-labelling-and-packaging-of-substances-and-mixtures>
37. Nebezpečné chemické látky. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prostredky-individualni-ochrany-nebezpecne-chemicke-latky.aspx>
38. BARTLOVÁ, Ivana a Karol BALOG. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií*. 2. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-005-0.
39. KRATOCHVÍLOVÁ, Danuše, Danuše KRATOCHVÍLOVÁ a Libor FOLWARCZNY. *Ochrana obyvatelstva*. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-134-7.
40. ŠENOVSKÝ, Michail, Vilém ADAMEC a Zdeněk HANUŠKA. *Integrovaný záchranný systém*. 2. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-007-4.
41. ŠTĚTINA, Jiří. *Zdravotnictví a integrovaný zachranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4578-7.
42. Nebezpečné látky. *Krizport* [online]. c2018 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://krizport.firebrno.cz/navody/nebezpecne-latky>
43. VENART, J.E.S. Flixborough: A final footnote. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2007, 20(4-6), 621-643 [cit. 2020-05-06]. DOI:

- 10.1016/j.jlp.2007.05.009. ISSN 09504230. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950423007000800>
44. HØISET, S, B.H HJERTAGER, T SOLBERG a K.A MALO. Flixborough revisited — an explosion simulation approach: A final footnote. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2000, 77(1-3), 1-9 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1016/S0304-3894(00)00197-7. ISSN 03043894. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389400001977>
45. VENART, J.E.S., B.H HJERTAGER, T SOLBERG a K.A MALO. Flixborough: the Explosion and its Aftermath. *Process Safety and Environmental Protection* [online]. 2004, 82(2), 105-127 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1205/095758204322972753. ISSN 09575820. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957582004711490>
46. GYENES, Zsuzsanna a Maureen Heraty WOOD. Lessons learned from major accidents involving fertilizers. *European Commission* [online]. European Commission, 2017 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/shorturl/minerva/lpb242pg15_fertiliserspdf?fbclid=IwAR39leTKlhOXo1uth94_X_Zi389AAqBCv_qlGgjh2ZLJNDZ_bMB-EQzKs
47. Explosion in the AZF fertilizer plant. *La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques* [online]. French Ministry of Sustainable Development, 2013 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/FD_21329_TOULOUSE_DP_JLC_GB_29072013.pdf?fbclid=IwAR2s7v_FfDoHe73OOUfWqd4mxRhXWx31du-y-j7ilB3ZaT2wcGRObBvs6-4
48. GYENES, Zsuzsanna. Chemical Accident Prevention & Preparedness. *European Commission* [online]. European Commission, 2017, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/shorturl/minerva/mahb_bulletin_no5_fin

al_forthewebpdf?fbclid=IwAR2AAxKc0RA8EtboS9bPxNqTMRgR35CHg5_Hx4Ry6P94y0GgU21eXxIy-Sg

49. PITTMAN, William, Zhe HAN, Brian HARDING, Camilo ROSAS, Jiaojun JIANG, Alba PINEDA a M. Sam MANNAN. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2014, **280**, 472-477 [cit. 2020-05-07]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.037. ISSN 03043894. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389414007006>
50. Továrnu ve Westu vyhodil do vzduchu dusičnan amonný. ČT24 [online]. Česká televize, c1996-2020, 7. 5. 2013 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1100134-tovarnu-ve-westu-vyhodil-do-vzduchu-dusicnan-amonny>
51. Deadly West, Texas, Fertilizer Plant Explosion Was 'Criminal Act': Feds. *NBC News* [online]. NBC Universal, c2020, 11. 5. 2016 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.nbcnews.com/news/us-news/deadly-west-texas-fertilizer-plant-explosion-was-criminal-act-feds-n572231>
52. West, Texas, fertilizer plant blast that killed 15 'preventable,' safety board says. *CNN International* [online]. CNN News Network, c2020, 23.4.2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://edition.cnn.com/2014/04/22/us/west-texas-fertilizer-plant-explosion-investigation/index.html>
53. BARTA, Jiří a Tomáš LUDÍK. *ALOHA – modelování a simulace (Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNAŘE)* [online]. Brno: Univerzita Obrany, 2012 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf
54. TERoristický EXpert. *T-SOFT* [online]. Praha: T-SOFT, c2017 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <http://www.tsoft.cz/teroristicky-expert/>
55. HAVLOVÁ, Michaela, Miroslava HRDLIČKOVÁ a Tomáš FRÖHLICH. *TerEx: Uživatelský manuál*. 3.1. Praha, 2012.

56. Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2020. *Český statistický úřad* [online]. Český statistický úřad, 2020, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/121739326/1300722003.pdf/f9160497-cec0-4750-a293-77ef7bce1092?version=1.1>
57. Strategický plán rozvoje města Lovosice. *Město Lovosice: Oficiální web* [online]. Lovosice: Městský úřad Lovosice, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.meulovo.cz/assets/File.ashx?id_org=8770&id_dokumenty=31543
58. *Mapy.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5148000&y=50.0766000&z=11>
59. Informace určená veřejnosti: v zóně havarijního plánování v okolí areálu průmyslové chemie Lovosice. *Město Lovosice: Oficiální web* [online]. Krajský úřad Ústeckého kraje, 2010 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://www.meulovo.cz/assets/File.ashx?id_org=8770&id_dokumenty=41021&fbclid=IwAR0ajAigL4U77P5ebAFs-ppSGQ-Xbr7a2PZdZGuatZvDp8G13lyKo6zDcKE
60. *Vnější havarijní plán: zóny havarijního plánování Lovochemie a. s. Lovosice*. Lovosice, 2019.
61. *Aktualizace bezpečnostní zprávy: objektu Lovochemie, a. s., Lovosice*. Lovosice, 2019.
62. *Aktualizace bezpečnostního programu: objektu PREOL, a. s., Lovosice*. Brno, 2016.
63. *Bezpečnostní program: Glanzstoff - Bohemia s. r. o., Lovosice*. Ostrava, 2002.
64. Vnitřní havarijní plán. *Lovochemie* [online]. Lovochemie, 2019 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: http://www.lovochemie.cz/sites/default/files/lovochemie/dokumenty/sm-pzh-036_vnitri_havarijni_plan.pdf?fbclid=IwAR3Mo7qcqhNYbdaXXD8fIX_0q4UDhEBIFjdioocpdxbc76nBV1A7XlWg2hc

65. MARÁDOVÁ, Eva. *Ochrana člověka za mimořádných událostí*. Praha: Vzdělávací institut ochrany dětí, 2007. ISBN 978-80-86991-24-5.
66. MIKA, Otakar, Otakar MIKA a Miloš ZEMAN. *Průmyslové havárie: příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo*. Praha: Triton, 2003. Řešení krizových situací. ISBN 80-725-4455-1.
67. PITTMAN, William, Zhe HAN, Brian HARDING, Camilo ROSAS, Jiaojun JIANG, Alba PINEDA a M. Sam MANNAN. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2014, **280**, 472-477 [cit. 2020-05-17]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.037. ISSN 03043894. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389414007006>

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Výstražné symboly dle CLP [19]	18
Obrázek 2: Proces zařazení provozovatele do příslušné skupiny (zjednodušeně) [22]	22
Obrázek 3: Přehled dokumentace vyžadované od provozovatelů objektu [22] .	27
Obrázek 4 - Vstupní data pro vyhledání lokality	50
Obrázek 5 - Nastavení času hledaného místa	50
Obrázek 6 - Typ zástavby	51
Obrázek 7 - Nastavení data a času	52
Obrázek 8 - Výběr chemické látky	52
Obrázek 9 - Nastavení atmosférických podmínek	53
Obrázek 10 - Nastavení atmosférických podmínek.....	54
Obrázek 11 - Volba typu zásobníku a jeho parametry	55
Obrázek 12 - Zadávání údajů o chemické látce uvnitř zásobníku	56
Obrázek 13 - Zadávání vstupních údajů o množství chemické látky v zásobníku	56
Obrázek 14 - Volba typu poškození zásobníku	57
Obrázek 15 - Rozměry poškození zásobníku.....	57
Obrázek 16 - Informace o otvoru zásobníku	58
Obrázek 17 - Předdefinované hodnoty pro jednotlivé zóny ohrožení.....	59
Obrázek 18 - Grafický výstup s označením jednotlivých zón ohrožení	60
Obrázek 19 - Výběr chemické látky a typu havarijního modelu	61
Obrázek 20 – Parametry potřebné pro upřesnění havarijního modelu	61
Obrázek 21 - Textový výstup	62
Obrázek 22 - Hranice města Lovosice [58]	63
Obrázek 23 - Mapa města Lovosice [58]	64
Obrázek 24 - Průmyslový areál [58].....	65

Obrázek 25 - Označení zóny havarijního plánování a centra města Lovosice [58]	67
Obrázek 26 - Poloha kulových zásobníků [58].....	68
Obrázek 27 - Umístění jednotlivých světelných signalizací úniku amoniaku [58]	69
Obrázek 28 - Lokalizace areálu objektu a umístění zásobníku [58]	71
Obrázek 29 - Areál Glanzstoff-Bohemia a umístění zásobníků [58]	72
Obrázek 30 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik amoniaku.....	75
Obrázek 31 - Grafický výstup z programu ALOHA pro únik amoniaku	76
Obrázek 32 - Rychlost úniku amoniaku ze zásobníku	77
Obrázek 33 - Mapový výstup modelace amoniaku.....	77
Obrázek 34 - Únik amoniaku v případě změny větru.....	78
Obrázek 35 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik methanolu	79
Obrázek 36 - Grafický výstup z programu ALOHA pro únik methanolu	80
Obrázek 37 - Mapový výstup úniku methanolu.....	81
Obrázek 38 - Mapový výstup úniku methanolu pro různé směry větru	81
Obrázek 39 - Textový výstup z programu ALOHA pro únik sirouhlíku	82
Obrázek 40 - Grafický výstup bez mapového podkladu pro únik sirouhlíku	83
Obrázek 41 - Mapový výstup úniku sirouhlíku z programu ALOHA	84
Obrázek 42 - Mapový výstup úniku sirouhlíku pro různé směry větru	85
Obrázek 43 - Textový výstup v programu TerEx pro únik amoniaku.....	86
Obrázek 44 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik amoniaku	88
Obrázek 45 - Graf doporučeného průzkumu.....	89
Obrázek 46 - Graf oblasti možného výbuchu.....	90
Obrázek 47 - Graf ohrožení výbuchem.....	91
Obrázek 48 - Textový výstup z programu TerEx pro únik methanolu	92
Obrázek 49 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik par methanolu.....	93
Obrázek 50 - Graf doporučeného výzkumu.....	94
Obrázek 51 - Graf oblasti možného výbuchu.....	95

Obrázek 52 - Graf ohrožení výbuchem.....	96
Obrázek 53 - Textový výstup z programu TerEx pro únik sirouhlíku.....	97
Obrázek 54 - Mapový výstup z programu TerEx pro únik par sirouhlíku	98
Obrázek 55 - Graf doporučeného průzkumu.....	99
Obrázek 56 - Graf oblasti možného výbuchu.....	100
Obrázek 57 - Graf ohrožení výbuchem.....	101
Obrázek 58 - Mapa rizik z programu ALOHA	102
Obrázek 59 - Mapa rizik z programu TerEx.....	104
Obrázek 60 - Rozmístění světelné signalizace úniku amoniaku.	113

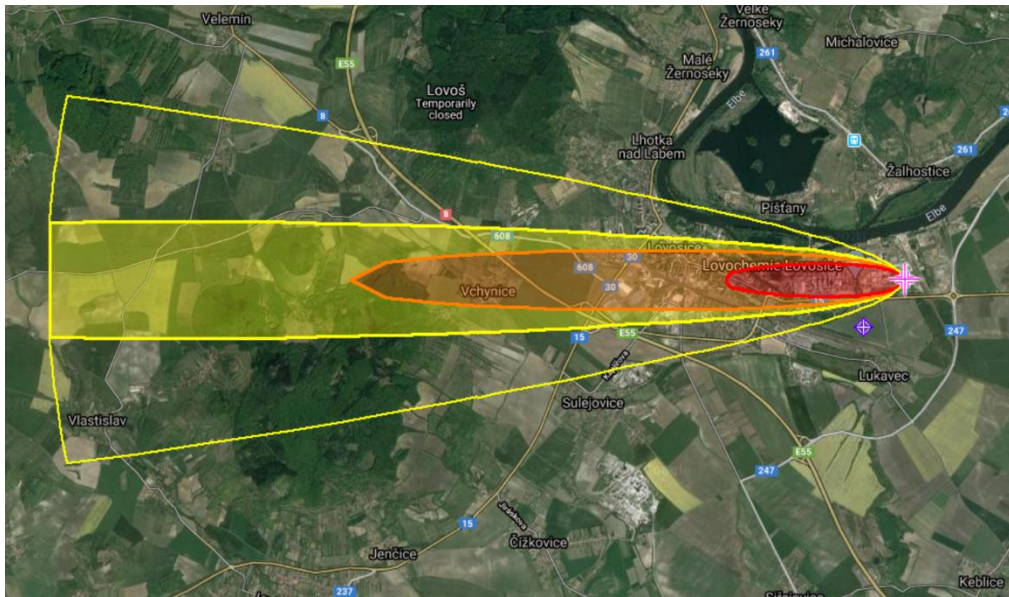
11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 – Kemlerův kód [převzato z 37].....	19
Tabulka 2 - Charakteristika amoniaku [převzato z 28, 29].....	29
Tabulka 3 - Charakteristika sirouhlíku [převzato z 28].....	31
Tabulka 4 - Charakteristika methanolu [převzato z 27, 30]	33
Tabulka 5 - Objekty v okolí průmyslového areálu	66
Tabulka 6 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik amoniaku	76
Tabulka 7 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik methanolu	80
Tabulka 8 - Zóny ohrožení AEGLs pro únik sirouhlíku.....	84
Tabulka 9 - Hodnoty koncentrace jednotlivých zón ohrožení AEGLs.....	102

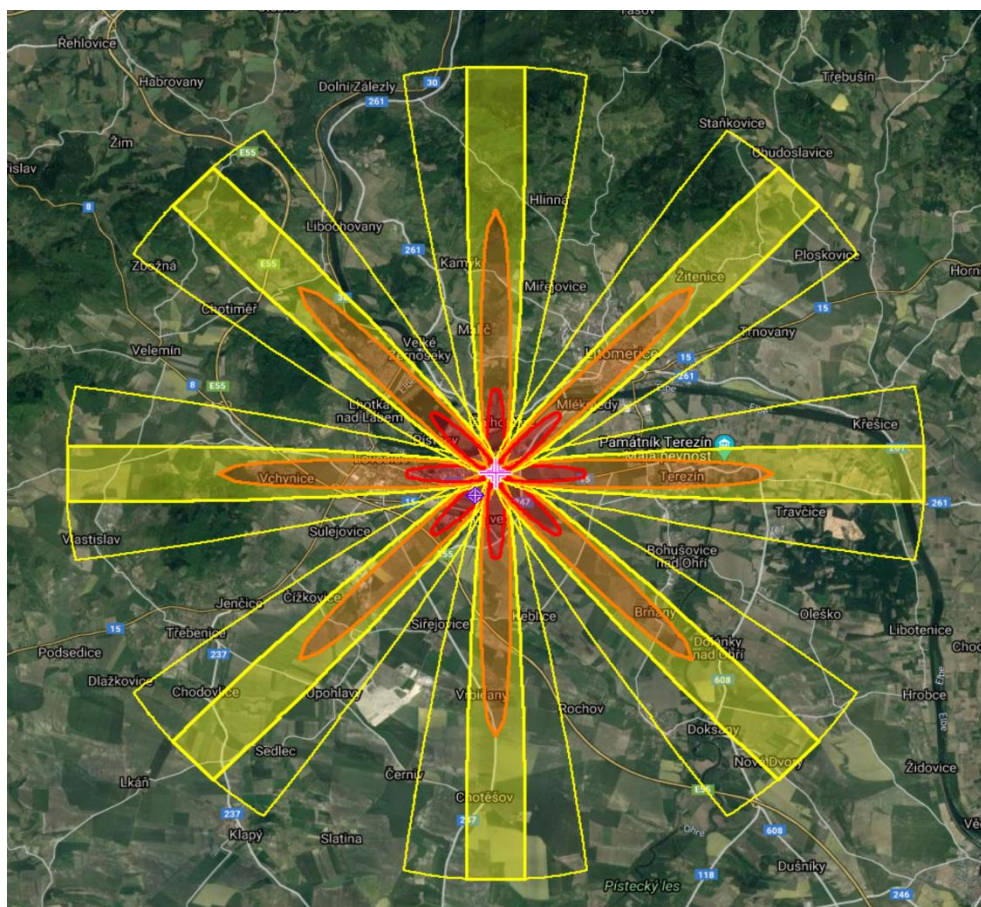
12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Mapový výstup pro únik amoniaku z programu ALOHA.	132
Příloha 2 - Mapový výstup pro různé směry větru úniku amoniaku z programu ALOHA.	132
Příloha 3 - Mapový výstup pro různé směry větru úniku sirouhlíku z programu ALOHA.	133
Příloha 4 - Mapa rizik z programu ALOHA.	134

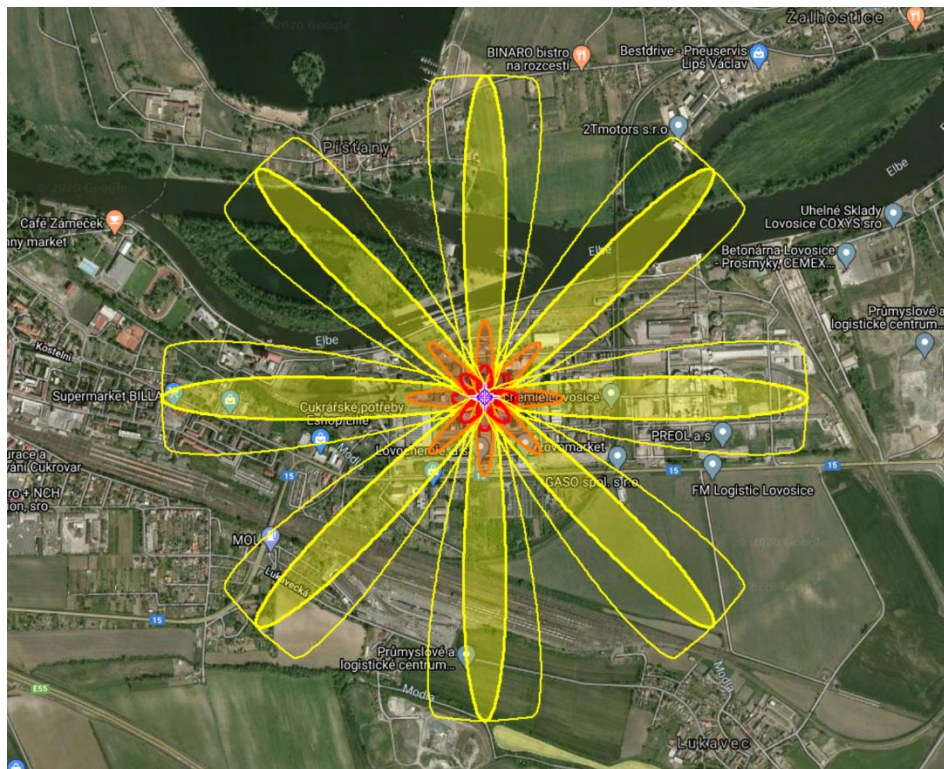
Příloha 1 - Mapový výstup pro únik amoniaku z programu ALOHA



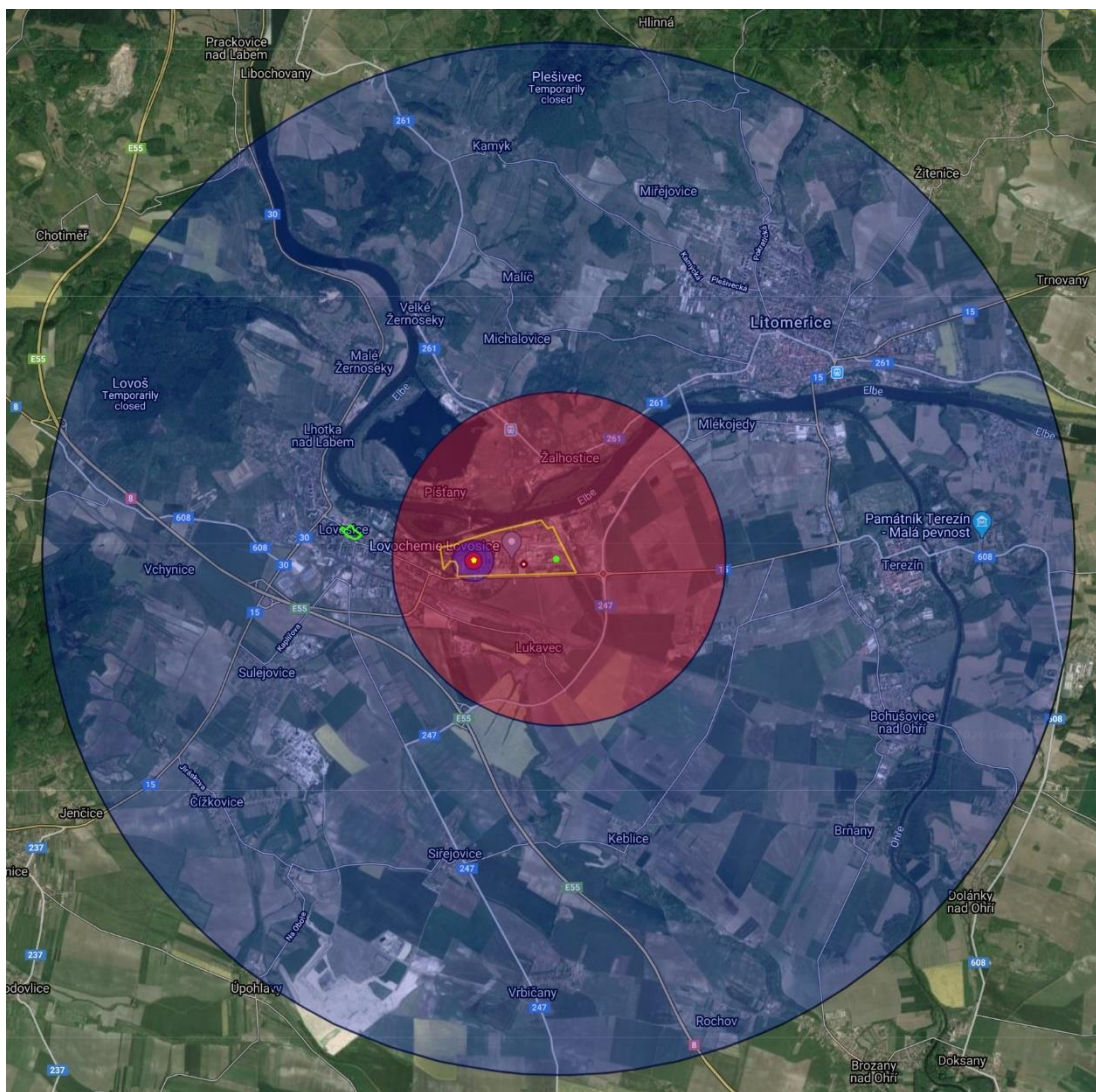
Příloha 2 - Mapový výstup pro různé směry větru úniku amoniaku z programu ALOHA



Příloha 3 - Mapový výstup pro různé směry větru úniku sirouhlíku z programu ALOHA



Příloha 4 - Mapa rizik z programu ALOHA



- AEGL-3
- AEGL-2
- ◻ Preol
- ◆ Lovochemie
- ◆ Glanzstoff-Bohemia
- Centrum města Lovosice
- Hranice průmyslového areálu