



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

**Analýza a modelace úniku nebezpečné chemické látky ze  
stacionárního zařízení**

**Analysis and Modeling of Emergency Event with Leakage  
of Dangerous Chemical Substance from Stationary Facility**

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Marie Schmidtová, DiS.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Staněk



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Schmidtová** jméno: **Marie** Osobní číslo: **456722**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**  
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza a modelace úniku nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení**

Název diplomové práce anglicky:

**Analysis and Modeling of Emergency Event with Leakage of Dangerous Chemical Substance from Stationary Facility**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude modelace a analýza dopadů mimořádné události s únikem nebezpečné látky z vybraného stacionárního zařízení. V teoretické části budou uvedeny příslušné právní předpisy, které se vztahují k problematice prevence závažných havárií a chemické bezpečnosti a následně bude vymezena problematika chemických havárií a nebezpečných chemických látek, včetně jejich havarijních projevů při mimořádných událostech. Dále bude popsán provoz daného chemického podniku s důrazem na používané nebezpečné chemické látky a jejich vlastnosti. V praktické části bude zpracována předběžná a multikriteriální analýza rizik stanoveného chemického podniku. Následně bude s pomocí specializovaných softwarových nástrojů modelován možný únik vybraných nebezpečných chemických látek z podniku a analyzovány jejich dopady v okolí podniku, včetně určení ohrožených oblastí a možných následků simulované havárie. Výstupem práce bude stanovení doporučení pro zvýšení chemické bezpečnosti daného podniku a jeho okolí.

Seznam doporučené literatury:

- [1] LACINA, Petr, MIKA, Otakar, JIŘÍ, ŠEBKOVÁ, Kateřina, Nebezpečné chemické látky a směsi. Brno: Masarykova univerzita, 2013, ISBN 978-80-210-6475-1
- [2] ANTUŠÁK, Emil, Krizový management: hrozby - krize - příležitosti. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2009, ISBN 978-80-7357-488-8
- [3] SKŘEHOT, Petr a kol., Rozptýl těžkého plynu v atmosféře: teorie - modely - experimenty. Praha: T-SOFT, 2018, ISBN 978-80-905401-2-5

Jméno a příjmení vedoucího diplomové práce:

**Ing. Martin Staněk**

Jméno a příjmení konzultanta(eky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.09.2020**


Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2022**

  
prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.  
předseda vedoucí katedry

  
prof. MUDr. Josef Rosina, Ph.D., MBA  
předseda fakulty

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinen(a) vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(eky)

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem **Analýza a modelace úniku nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení** vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Kladně dne 30.04.2021

Bc. Marie Schmidtová, DiS.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych touto cestou poděkovala především svému vedoucímu práce panu Ing. Martin Staňkovi, za trpělivé a příkladné vedení a za kritické hodnocení a připomínky, které mi umožnili práci vypracovat co nejlépe. Dále bych touto cestou chtěla poděkovat panu RNDr. Tomáši Holcovi za poskytnutí materiálů pro zpracování praktické části práce.

## **ABSTRAKT**

Předmětem práce je analýza úniku nebezpečné chemické látky z plnárny technických plynů Messer Technogas s.r.o., jejichž pobočka se nachází v Kladně. V teoretické části jsou popsány základní údaje týkající se mimořádných událostí s únikem nebezpečné chemické látky a směsi. Navíc jsou dále uvedeny statistiky a příklady nejčastějších způsobů úniků a havarijních projevů úniku nebezpečných chemických látek a směsí a to jak z České republiky, tak z Evropy.

Dále jsou v práci rozebrány jednotlivé právní předpisy, které se týkají problematiky úniku chemických látek ze stacionárního zařízení a jsou zde okrajově zmíněny i předpisy týkající se přepravy nebezpečných věcí. Součástí práce je popis vybraného podniku, včetně popisu jeho okolí, chemických látek, které jsou v něm skladovány, jejich vlastností a havarijních projevů.

Výsledky práce jsou prezentovány v praktické části, pomocí multikriteriální analýzy s případnými návrhy na nápravná opatření pro dané zařízení. Tato analýza se skládá z předběžné analýzy a pak samotné multikriteriální analýzy, kdy byly jednotlivé zdroje ohrožení, vybraného stacionárního zařízení, rozděleny na faktory vnější a vnitřní.

Na základě výše zmíněné multikriteriální analýzy jsou pak tvořeny jednotlivé modelace úniků vybraných nebezpečných chemických látek a směsí a jejich případné projevy jsou navíc zaneseny do mapových podkladů pro lepší představu o možných následcích mimořádné události. Díky poznatkům v rámci multikriteriální a předběžné analýzy a způsobům projevů daných látek a směsí, byly k modelacím jako nejrizikovější vybrány acetylen, amoniak a oxid siřičitý.

### **Klíčová slova**

Chemické látky; modelace; multikriteriální analýza; stacionární zařízení; chemická bezpečnost.

## **ABSTRACT**

The subject of the thesis is the analysis of the leakage of a hazardous chemical substance from the Messer Technogas Ltd. technical gases filling plant, whose branch is in Kladno. The theoretical part describes the basic data relating to emergency with the release of a hazardous chemical substances and mixtures. In addition, statistics, and examples of the most common means of release and emergency manifestations of releases of hazardous chemicals and mixtures will be described, both from the Czech Republic and from Europe.

Furthermore, the various pieces of legislation on the issue of chemical leakage from stationary facility are discussed in the thesis and the transport of dangerous substances is also mentioned marginally. The thesis includes a description of the selected holding, including a description of its surroundings, the chemicals stored in it, their properties, and the emergency manifestations.

The results of the thesis are presented in the practical part, using a multi-criteria analysis with possible proposals for corrective actions for the facility. This analysis consists of a preliminary analysis and then the multi-criteria analysis itself, when the different sources of threat, for the selected stationary equipment, were divided into external and internal factors.

Based on the above-mentioned multi-criteria analysis, individual release models of selected hazardous chemicals and mixtures are then formed, and their possible manifestations are furthermore included in the map materials to better imagine the possible consequences of the incident. Information from the multi-criteria and preliminary analysis and the modes of expression of the substances and mixtures, acetylene, ammonia, and sulphur dioxide were selected for the models as the most hazardous substances.

### **Keywords**

Chemicals; Modelling; Multi-Criteria Analysis; Stationary Facility; Chemical Safety.

# Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce a hypotézy .....	11
3	Přehled současného stavu.....	12
3.1	Úvod do problematiky chemických havárií .....	12
3.1.1	Mimořádná událost.....	12
3.1.2	Hrozba a riziko .....	14
3.1.3	Vymezení pojmu havárie .....	14
3.1.4	Analýza chemických havárií .....	16
3.2	Základní právní předpisy, vztahující se k problematice prevence závažných havárií a chemické bezpečnosti.....	21
	Zákon o prevenci závažných havárií.....	21
	Vyhláška o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B .....	22
	Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktuře .....	22
	Zákon o chemických látkách a chemických směsích .....	23
	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU .....	23
3.3	Rozdělení podniků na skupiny A a B .....	24
3.3.1	Podniky skupiny A .....	25
3.3.2	Podniky skupiny B.....	25
3.4	Nebezpečné chemické látky a směsi.....	26
3.4.1	Vlastnosti chemických látek a směsí.....	26

3.4.2	Havarijní projevy úniku nebezpečných chemických látek .....	28
3.5	Messer Technogas s.r.o. ....	29
3.5.1	Pobočka v Kladně.....	30
3.5.2	Acetylen .....	32
3.5.3	Amoniak .....	33
3.5.4	Kyslík .....	35
3.5.5	Oxid dusný .....	36
3.5.6	Oxid siřičitý .....	37
3.5.7	Oxid uhelnatý .....	38
3.5.8	Propan-butan .....	39
3.5.9	Propylen.....	41
3.5.10	Vodík .....	42
4	Metodika.....	44
4.1	Předběžná a multikriteriální analýza .....	44
4.1.1	Předběžná analýza .....	44
4.1.2	Multikriteriální analýza.....	46
4.1.3	Výpočet multikriteriální analýzy .....	47
4.2	Softwarové nástroje .....	48
4.2.1	ALOHA.....	48
4.2.2	CameoChemicals .....	50
4.2.3	MARPLOT.....	51
4.2.4	RMP*Comp .....	52
4.2.5	TerEx.....	53
5	Výsledky.....	54



5.1	Podkladová data .....	54
5.2	Předběžná a multikriteriální analýza .....	59
5.2.1	Předběžná analýza .....	60
5.2.2	Vnější ohrožení podniku .....	60
5.2.3	Vnitřní ohrožení podniku .....	61
5.2.4	Detailní multikriteriální analýza vnější faktory ohrožení .....	63
5.2.5	Detailní multikriteriální analýza vnitřní faktory ohrožení .....	64
5.2.6	Vyhodnocení analýz .....	66
5.3	Modelace úniků nebezpečných chemických látek a směsí.....	68
5.3.1	Únik acetylenu .....	69
5.3.2	Únik amoniaku .....	78
5.3.3	Únik oxidu siřičitého .....	82
5.4	Vyhodnocení hypotéz .....	86
5.4.1	Doporučení pro zvýšení bezpečnosti plnírny technických plynů Messer Technogas s.r.o.....	87
6	Diskuze .....	88
7	Závěr .....	99
8	Seznam použitých zkratk.....	100
9	Seznam použité literatury .....	101
10	Seznam použitých obrázků .....	109
11	Seznam použitých tabulek.....	111
12	Seznam Příloh.....	112

# 1 ÚVOD

Tato práce se zaměřuje na únik nebezpečných chemických látek ze stacionárního zařízení, a to konkrétně plírnou technických plynů Messer Technogas s.r.o., která se nachází v Kladně. Diplomová práce má v plánu se zaměřit především na hledisko havarijních projevů a šíření nebezpečných chemických látek a směsí do okolí zařízení.

V dnešní době je téma chemické bezpečnosti stále více skloňováno a proto je dobré se orientovat v tom, jaké hrozby se v našem okolí nachází a jak případně co nejvíce zamezit dopadům jejich negativních vlivů ať už na nás samotné nebo i na naše nejbližší okolí. Na omezení výše zmíněných negativních skutečností má velký vliv, mimo jiné, i krizové řízení jako takové a preventivní opatření, která jsou v rámci něj přijímána. Jako příklad můžeme uvést značné množství zákonů, směrnic a vyhlášek, které se velice úzce vážou k chemické bezpečnosti a kterým je v rámci této práce věnována samostatná kapitola.

Dle obvyklých zkušeností bývají modelace a simulace zaměřeny vždy na jednu konkrétní látku, ale již nebývá brán v potaz vznik domino efektu, při úniku většího množství chemických látek a směsí nebo při jejich možném smísení.

Podniky, které spadají do skupiny A, také nemají, na rozdíl od podniků skupiny B, povinnost poskytovat údaje HZS pro zpracování vnějšího havarijního plánu. Ovšem i ten by byl možná v některých případech vhodný, neboť povaha skladovaných látek, může být značně destruktivní pro své okolí a způsobit nemalé škoda na zdraví, životech a majetku nebo životním prostředí.

V rámci této diplomové práce si můžeme pokusit utvořit obrázek o tom, jaké nebezpečí může představovat konkrétní podnik skupiny A z hlediska havarijních projevů látek, které se v něm skladují, a o tom, jaké příčiny a okolnosti by mohly vést k úniku těchto látek a směsí.

## 2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem této práce je zjistit jaký dopad může mít únik nebezpečných chemických látek a směsí ze stacionárního zařízení typu A a jejich následných projevů na své okolí, potvrdit nebo vyvrátit níže uvedené hypotézy a případně vytvořit doporučení pro zvýšení chemické bezpečnosti podniku.

Dílčí cíle práce jsou shrnout problematiku chemické bezpečnosti v ČR a problematiku chemických havárií. Dále analyzovat vybraný podnik a provést pro něho multikriteriální analýzu, ke zjištění jaké faktory jej nejvíce ohrožují. Dále vytvořit modelace úniku vybraných chemických látek z daného podniku, analyzovat jejich dopady a navrhnout doporučení ke zvýšení chemické bezpečnosti podniku.

Hypotéza 1 – Plnírna technických plynů Messer Technogas s.r.o. nepředstavuje významný zdroj ohrožení pro své okolí.

Hypotéza 2 – Únik nebezpečné chemické látky, z analyzovaného zařízení, nedosahuje dle modelací nebezpečných koncentrací vně areálu zařízení.

## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

### 3.1 Úvod do problematiky chemických havárií

Problematika chemických havárií je problematikou poměrně rozsáhlou. V minulosti jsme byli svědky mnoha závažných havárií, které měly za následek rozsáhlé škody, jak na majetku, tak i na životech a zdraví civilního obyvatelstva v různých částech světa. Avšak právě tyto havárie v minulosti postupně přispěly ke zlepšování opatření v oblasti chemické bezpečnosti. Abychom však byli schopni ponořit se hlouběji do této problematiky, je třeba si na začátek osvojit několik základních pojmů.

#### 3.1.1 Mimořádná událost

V rámci krizového řízení nám pojem mimořádná událost definuje zákon č. 239/2000 Sb. o Integrovaném záchranném systému (dále jen IZS). Dle tohoto zákona je „*mimořádnou událostí škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací*“ [1].

Z výše uvedeného popisu tedy vyplývá ta skutečnost, že se jedná o takové typy událostí mimořádně závažného charakteru, která nás mohou ovlivnit v rámci našeho každodenního života. Pro velkou část mimořádných událostí, kde je třeba společné koordinace jednotlivých složek IZS při zásahu, existuje typ dokumentů, který nazýváme tzv. typovými činnostmi. V současné době je typových činností celkem sedmnáct, při čemž typová činnost číslo 16 se nám dělí na dvě podkategorie – A a B. V souvislosti s chemickou bezpečností jsou významné pouze dvě z výše zmíněných typových činností, a to konkrétně STČ 09/IZS Zásah složek IZS u mimořádné události s velkým počtem zraněných osob a STČ 14/IZS Reakce na chemický útok v metru. V naléhavých případech v souvislosti s výše uvedenými typovými činnostmi, je samozřejmě možnost

využít ještě jedné z typových činností – STČ 12/IZS Při poskytování psychosociální pomoci [2].

Charakter mimořádných událostí, kdy dochází ke zranění velkého počtu civilního obyvatelstva, mají obecně za následek dopady na postižené osoby i po psychické stránce, a proto je jistě důležité tento stav nepodceňovat a psychosociální intervence na místě události plně využívat. Pokud se jedná o zvláště závažnou událost, kdy je mezi postiženými i třeba velký počet dětí, je nezbytně nutné dbát i o psychickou stránku jednotlivých zasahujících členů IZS.

Zákon č. 239/2000 Sb. udává ještě dva důležité pojmy v souvislosti s mimořádnými událostmi a to jsou tzv. záchranné a likvidační práce. V rámci tohoto zákona se myslí „záchrannými pracemi činnost k odvrácení nebo omezení bezprostředního působení rizik vzniklých mimořádnou událostí, zejména ve vztahu k ohrožení života, zdraví, majetku nebo životního prostředí, a vedoucí k přerušení jejich příčin“ a „likvidačními pracemi činnosti k odstranění následků způsobených mimořádnou událostí“ [1].

Výše uvedené úkony jsou nezbytně nutné ke zmírnění, odvrácení či odstranění následků a dopadů mimořádné události. Bez využití těchto prostředků by dopady na náš každodenní životy mohly mít velké množství neblahých důsledků. Chemické havárie obecně mívají za následek vznik velkých škod v oblasti životního prostředí, jako příklad můžeme uvést nedávný únik nebezpečných látek do řeky Bečvy, případně jako příklad ze zahraničí poslouží únik chemikálií v roce 2016 do oceánu ve Vietnamu. V oblasti životů a zdraví se občas také dochází ke ztrátám, v lepších případech pouze ke zranění zasažených osob. Z výše uvedených důvodů jsou tudíž záchranné a likvidační práce klíčovou součástí této oblasti a nesmí být opomenuty [3,4].

### 3.1.2 Hrozba a riziko

Hrozba a riziko jsou dva hlavní důležité faktory, které musíme řešit v rámci bezpečnosti a bezpečnostních strategií vůbec. Pod pojmem hrozba si můžeme představit jakýkoliv fenomén, který má potencionální schopnost poškodit zájmy a hodnoty chráněného subjektu. Hrozeb je mnoho druhů, ať už jsou buď přírodního, sociálního, společenského charakteru nebo souvisí s lidskou činností, případně se jedná o hrozby vnitřní či vnější [5].

Co se rizika jako pojmu takového týče, tak obecně lze riziko považovat za pojem, který je spíše abstraktního charakteru. Riziko se velmi úzce váže právě k výše míněnému pojmu hrozba a je od ní odvozeno. Představuje možnost vzniku mimořádné události pomocí matematické či statistické roviny a pravděpodobnosti [5].

### 3.1.3 Vymezení pojmu havárie

Havárie je taková mimořádná událost, která má negativní dopad na zdraví, životy či majetek a je časově a místně ohraničená. Jedním z typů havárií je i tzv. průmyslová havárie, která je z hlediska této práce pro nás asi nejzajímavější. Průmyslová havárie je taková havárie, která byla způsobena průmyslovou činností. Havárie tohoto charakteru můžeme rozdělit i podle zdroje úniku, a to konkrétně na zdroje stacionární a mobilní [6].

Stacionární zdroje jsou veškeré zdroje, kde jsou chemické látky dlouhodobě skladovány či používány k dalšímu účelu, chemické podniky, sklady, ale i zařízení využívající chemické látky jako prostředek k další činnosti např. chladiřny a mraziřny, pivovary, hokejové a plavecké stadiony a další [7].

Jako zdroj mobilní naopak označujeme ty zdroje nebezpečí, které jsou „pohyblivé“. Zde se jedná o různé zdroje nebezpečí v dopravě a při přepravě nebezpečných látek. Tyto jasně definují mezinárodní dohody pro přepravu

nebezpečných chemických látek a věcí, které navíc definují i způsoby přepravy a opatření k tomu se vztahující. Pro přepravu nebezpečných látek existuje mnoho standardů, nařízení, zákonů a směrnic. Jako příklad můžeme uvést ADR z anglického „*Accord Dangerous Route*“ (silniční přeprava), RID (železniční přeprava), IATA DRG (letecká přeprava), IMDG Code (lodní přeprava po mořích) a ADN (lodní přeprava po vnitrozemských vodních cestách) [7].

Průmyslovou havárii s přítomností nebezpečných chemických látek, můžeme též označit jako tzv. chemickou havárii. Dle OECD (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) je chemická havárie: „*Jakákoliv neplánovaná událost spojená s přítomností nebezpečných látek, která způsobuje nebo je schopna způsobit poškození zdraví, životního prostředí nebo majetku. Toto vylučuje jakékoliv dlouhodobé jevy (jako je chronické znečištění)*“ [8, str. 147] [9].

Zákon 224/2015 Sb. O prevenci závažných havárií nám definuje ještě jeden z pojmů, které se vztahují k problematice havárií, a to konkrétně pojem tzv. závažná havárie. Pro účely tohoto zákona se rozumí: „*závažnou havárií mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, zejména závažný únik nebezpečné látky, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu, vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážným následkům na životech a zdraví lidí a zvířat, životním prostředí nebo majetku a zahrnující jednu nebo více nebezpečných látek*“ [10].

Obecně lze tuto definici považovat za asi nejvíce přesnou z hlediska naší terminologie.

Chemické havárie jsou na území ČR identifikovány jako potencionálně významný zdroj ohrožení. Je zcela nezbytné uvést, že tato hrozba představuje dle Analýzy hrozeb pro ČR z roku 2015 významné riziko. Jedná se konkrétně o únik nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení. V rámci této analýzy byla rovněž analyzována hrozba úniku nebezpečné chemické látky při přepravě, ale byla hodnocena jako výrazně nižší riziko. Úniku nebezpečných chemických

látek ze stacionárního zařízení se rovněž věnuje významný bezpečnostní dokument, kterým je Audit národní bezpečnosti. Na základě výsledků Analýzy hrozeb pro ČR byly hrozby představující významné riziko zapracovány do typových plánů na úrovni ministerstev a jednotlivých krajů, kde je tato hrozba aktuální. Na úrovni ministerstev se jedná konkrétně o typový plán č. 14, Únik nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení, který rozpracovalo Ministerstvo životního prostředí.

### 3.1.4 Analýza chemických havárií

Jak už bylo zmíněno výše, zjednodušeně lze říct, že chemická havárie je jakákoliv neplánovaná událost s přítomností nebezpečné látky a jejím únikem do prostředí. Vzhledem k povaze těchto havárií nabývají dopady a škody těchto událostí většinou značných rozměrů.

Jedná se o škody hned v několika oblastech – škody na zdraví, životě a majetku civilního obyvatelstva, ekonomické dopady, škody na životním prostředí apod. Z hlediska projevů nebezpečných chemických látek a havárií, které jsou jimi způsobeny, můžeme tyto závažné havárie rozdělit do několika skupin.

- Požáry,
- výbuchy,
- otravy lidí uniklými látkami,
- kontaminace či jiné poškození životního prostředí [11].

Ostatně pro příklady těchto projevů, nemusíme nutně chodit do zahraničí, neboť i na území České republiky došlo v minulosti k událostem s výše popsanými projevy. V roce 1993 došlo k rozsáhlému požáru ve spalovně nebezpečných odpadů Motorpal Jihlava, nebo ve Spolaně Neratovice. V roce 1997 došlo k explozi a následně požáru ve spalovně nebezpečných odpadů Emseko Zlín, v roce 1998 po dobu jednoho týden hořel sklad Linde – Frigera v Berouně,



v letech 2002–2009 došlo minimálně ke 39 požárům a na některých místech dokonce opakovaně [12].

Doposud nejtragičtější událostí tohoto typu v historii České republiky je výbuch v Kralupech nad Vltavou v roce 2018, kde bylo usmrceno 6 osob a další dva lidé byli vážně raněni [13].

Jako další příklad pak můžeme uvést i úniky toxických látek. V podniku Spolana, který se nachází v Neratovicích, došlo již několikrát k únikům chlóru, který si v roce 2002 dokonce vyžádal evakuaci místního obyvatelstva. V roce 2000 (okres Praha-východ) a 2001 (Cheb) došlo několikrát k úniku čpavku, kdy si obě tyto události vyžádaly evakuaci stovek obyvatel [14].

Pokud se podrobněji zaměříme na výčet výše uvedených událostí, je více než jasné, že na našem území bývá nejčastějším projevem závažné havárie s přítomností nebezpečné chemické látky je její únik, kdy dalšími následnými a nejničivějšími projevy bývají exploze nebo požár. Příčinami těchto havárií bývají zpravidla lidský faktor, technické závady nebo nedostatečná bezpečnostní opatření.

Pro ucelenější přehled tohoto typu havárií je však dobré se podívat i na celoevropské měřítko a porovnat nejčastější příčiny nehod s přítomností chemické látky. K těmto účelům vhodně poslouží systém eMars („*The Major Accident Reporting System*“), který vznikl v roce 1982 za účelem hlášení a zaznamenávání nehod s únikem chemické látky, jejich příčin a prevenci. V eMARS jsou navíc odkazy na další národní nebo mezinárodní databáze, kde je možné nalézt více informací o chemických haváriích. Databáze eMARS je vhodná především z hlediska statistik a grafů, které zde můžeme nalézt, a celkově si udělat ucelenější přehled v oblasti prevence chemických havárií [15].

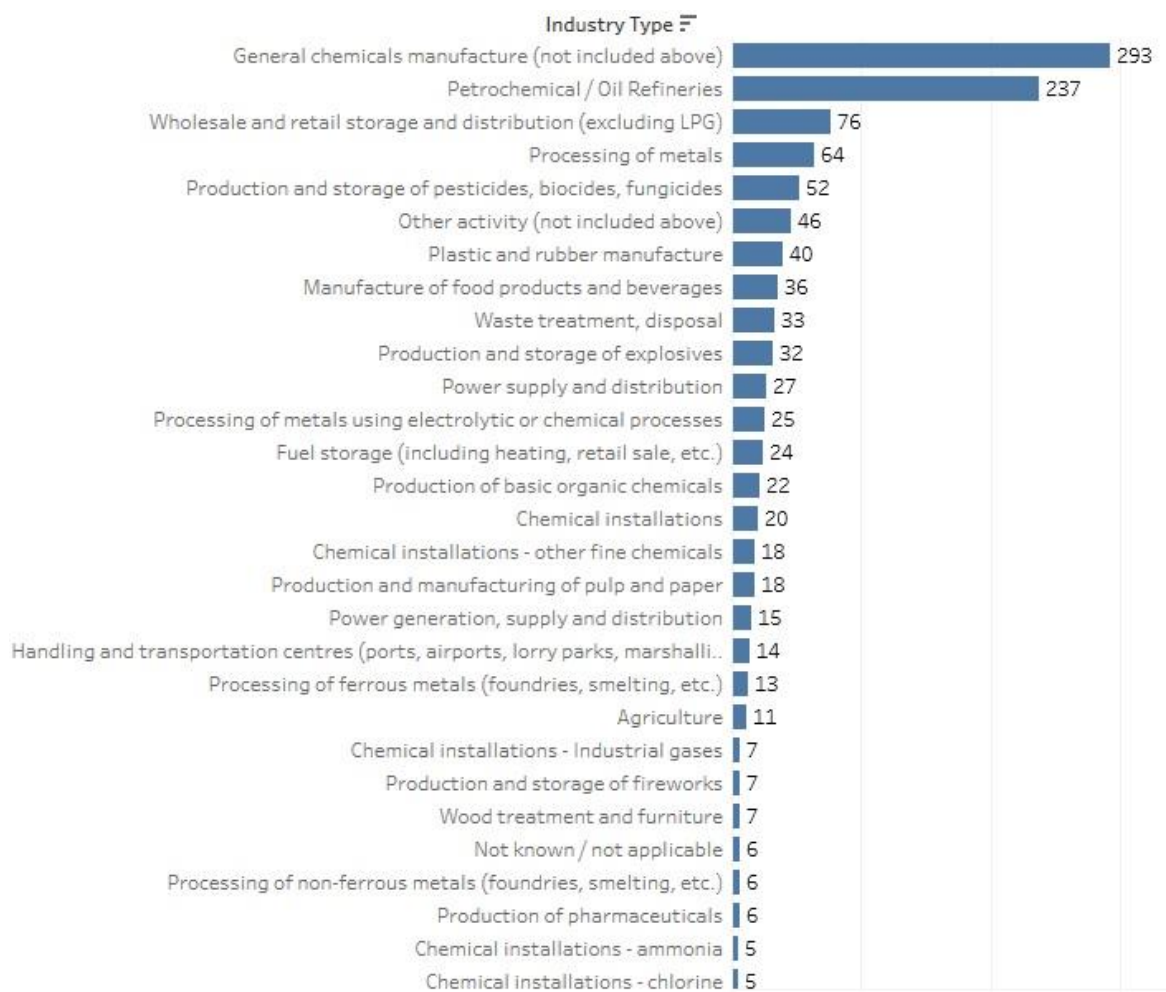
Další databází, kterou lze využít k účelu porovnání nehod s přítomností chemické látky je francouzská databáze ARIA („*Analysis, Research and Information*“)

on Accidents“). Ta je k dispozici ve dvou jazycích a to konkrétně angličtině a francouzštině. V této databázi je možné díky poměrně robustnímu filtru zadávat určité parametry k událostem dle jejich rozsahu, typu konkrétní chemické látky a jejích projevů, počtu obětí, rozsahu škod, regionu apod. Databáze potom na základě zadaných parametrů vyhledá konkrétní události, které jsou zde následně popsány. Hlavním přínosem databáze jsou souhrnné a hodnotící zprávy jednotlivých událostí, které se věnují příčinám, průběhu, dopadům i následným opatřením z jednotlivých havárií, kterých databáze obsahuje přes 50 tis. Významné je rovněž unifikované hodnocení událostí dle závažnosti a dopadů, k čemuž slouží prezentovaná Evropská škála industriálních havárií [16].

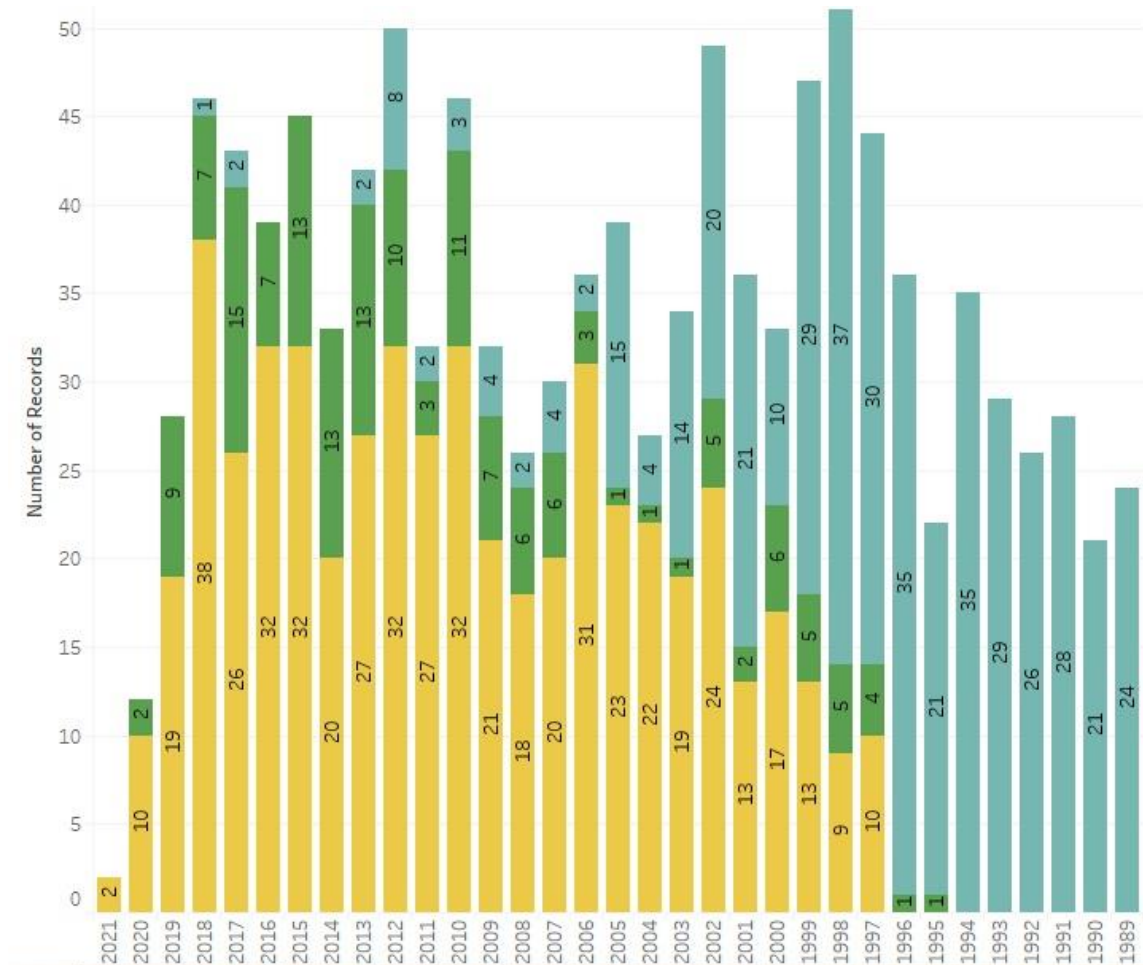
Je ovšem nutno podotknout, že obě tyto databáze jsou limitovány skutečností, že poskytují informace pouze o událostech, které byly v rámci těchto databází reportovány. Dle dostupných informací v současnosti neexistuje jednotná celosvětová databáze, ve které by bylo možné dohledat všechny druhy mimořádných událostí s únikem nebezpečné chemické látky.

V souvislosti s databázemi chemických havárií je třeba ještě okrajově zmínit DOK MD, což je český informační systém, který spadá pod Ministerstvo dopravy a slouží pro reportování havárií s přítomností nebezpečných chemických látek v dopravě [17].

Na obrázku č. 1 můžeme vidět statistiku z eMARS od roku 1979 po současnost. Do databáze jsou hlášeny pouze havárie z chemických podniků a stacionárních zdrojů, čímž jsou míněny chemické závody a podniky, kde dochází k výrobě a zpracování chemických látek. Obrázek č. 2 ukazuje množství nehod od roku 1989 po současnost dle rozsahu jejich dopadu dle SEVESO klasifikace. Žlutě jsou označeny události vyššího rozsahu, zeleně nižšího rozsahu a modře ty události, které nebylo možno klasifikovat, neboť k nim neexistuje dostatek informací.



Obrázek 1 - eMARS typy událostí dle typu průmyslu [15]



Obrázek 2 - eMARS statistika dle klasifikace rozsahu událostí SEVESO [15]

Z přiložených statistik také vyplývá skutečnost, že ač se neustále zvedají standardy v oblasti prevence závažných havárií, jejich počet je i nadále z celoevropského hlediska poměrně vysoký. Také si nelze nevšimnout, že poslední 3 roky dle statistik eMARS jsou, co se počtu závažných havárií, výrazně podprůměrné proti předchozím letům. Tuto skutečnost lze vysvětlit tím, že zde nemusí být zaznamenány všechny havárie, neboť u nich ještě stále může probíhat vyšetřování a zpravidla se do databáze zanaší až po jejich uzavření. Je ovšem také pravděpodobné, že roky 2019, 2020 a 2021 budou i tak podprůměrné, co do počtu nehod, v souvislosti s rapidním útlumem chemické výroby a transportu nebezpečných látek kvůli s pandemií COVID-19, která v těchto letech probíhala.

### **3.2 Základní právní předpisy, vztahující se k problematice prevence závažných havárií a chemické bezpečnosti**

Chemická bezpečnost a prevence závažných havárií je problematikou poměrně dosti rozsáhlou. Obzvláště v současnosti při snaze k co nejefektivnější ochraně životů, zdraví, majetku a životního prostředí, případně i k ochraně před ekonomickými dopady havárií tohoto typu. To bylo ostatně důvodem k ustanovení nových zákonů a vyhlášek v této oblasti v roce 2015 na našem území, a to konkrétně zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií a vyhlášky č. 225/2015 Sb. o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B a vyhláška č. 226/2015 Sb. o zásadách vymezení zóny havarijního plánování, které doplnily nový chemický zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích v reakci na vznik SEVESO III.

#### **Zákon o prevenci závažných havárií**

Zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi, ve znění pozdějších předpisů, vznikl na základě Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES [10].

Zákon č. 224/2015 Sb. především „stanoví systém prevence závažných havárií pro objekty, ve kterých je umístěna nebezpečná látka, s cílem snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a majetek v těchto objektech a v jejich okolí“ [10].

Tento zákon udává především komplexní stanovení a definice chemické bezpečnosti, kdy pro dělení povinností objektů skupiny A a skupiny B vychází z evropské směrnice SEVESO III., dle množství a druhů skladovaných látek a

následných povinností, které z těchto skutečností vyplývají. Podrobným rozdělením podniků na jednotlivé skupiny se budeme zabývat v rámci této práce později.

### **Vyhláška o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B**

Vyhláška č. 225/2015 Sb. o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A nebo skupiny B, v platném znění, určuje především úkony a opatření, potřebné k zabezpečení fyzické ochrany podniku s přítomností nebezpečných chemických látek. Zaměřuje se především na rozsah analýzy možností neoprávněných činností a provedení případného útoku, režimová opatření (které rozděluje na stálá a doplňková), zajištění fyzické ostrahy, vymezení technických prostředků a způsob stanovení bezpečnostních opatření v objektu [18].

### **Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury**

Vyhláška č. 226/2015 Sb. o zásadách pro vymezení zón havarijního plánování a postupu při jejich vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury, v platném znění, zpracovává, stejně jako zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií, příslušnou směrnici Evropské unie (dále jen EU). Tato vyhláška upravuje především zásady pro vymezení zóny havarijního plánování, určení výchozí a stanovení vnější hranice a jejich vztahy. Dále nám upravuje a určuje strukturu obsahu vnějšího havarijního plánu [19].

Za pozornost stojí také přílohy této vyhlášky. Příloha č. 1, kde jsou uvedeny způsoby určení a výpočtů efektivního množství látky či stanovení různých parametrů, modifikačních faktorů a scénářů k určení výchozí hranice [19].

Příloha č. 2 určuje náležitost a strukturu obsahu vnějšího havarijního plánu, včetně podrobného popisu jednotlivých částí, jako jsou část informační, operativní a plány konkrétních činností, které jsou zde velice podrobně rozepsány [19].

### **Zákon o chemických látkách a chemických směsích**

Zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích, ve znění pozdějších předpisů, jinak také označovaný jako chemický zákon, udává práva a povinnosti právnických osob a podnikajících fyzických osob v oblasti zacházení s chemickými látkami a směsi a také upravuje působnost správních orgánů v oblasti zajišťování ochrany před škodlivými účinky chemických látek a směsí. Příloha č. 1 tohoto zákona definuje minimální koncentrace nebezpečných látek obsažených ve směsi, které se berou v úvahu při klasifikaci směsí. Příloha č. 2 tohoto zákona udává limitní koncentrace nebezpečných chemických látek pro změnu klasifikace nebezpečných směsí [20].

### **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU**

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU je také označována pod názvem SEVESO III. Jak je již z názvu patrné, tato směrnice vešlo v platnost v roce 2012 a byla zároveň důvodem ke vzniku nového zákona č. 224/2015 a vyhlášek č. 225/2015 Sb., a č. 226/2015 Sb., o čemž jsme se zmiňovali v předchozích kapitolách. Tato směrnice měla zásadní dopad na oblast prevence závažných havárií.

Hned v článku 2 je vymezena působnost této směrnice a jsou zde jasně stanoveny případy, na které se tato směrnice nevztahuje např. na *„dopravu nebezpečných látek po silnici, železnici, vnitrozemských vodních cestách, po moři nebo vzduchem a přímo související dočasné meziskladování, včetně nakládání a vykládání a dopravy do a z jiných dopravních prostředků v docích, vykládacích nábřežích nebo seřadovacích nádražích, mimo závody, na které se vztahuje tato směrnice“* a dále

„dopravu nebezpečných látek v potrubích, včetně čerpacích stanic, mimo závody, na které se vztahuje tato směrnice“ [21].

Dále se tato směrnice zabývá politikami prevence závažné havárie, udává povinnost provozovatelům jednotlivých podniků povinnost zpracovat bezpečnostní zprávu, kterou musí jednou za pět let revidovat a aktualizovat, upravuje způsoby nakládání s informacemi pro veřejnost a dotčené orgány, způsoby vyrozumění příslušných orgánů při vzniku mimořádné události a jejich povinnosti s tím spojené [21].

Důležitou součástí výše zmíněného dokumentu je především *Příloha I*, která v části jedna, udává jednotlivé nebezpečné látky a požadavky pro jejich nadlimitní a podlimitní množství, dle jejich havarijních projevů a chemických vlastností, která je shodná s tabulkou v přílohách zákona č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií [21].

### **3.3 Rozdělení podniků na skupiny A a B**

Podniky s přítomností nebezpečné chemické látky jsou rozděleny do tří základních skupin, a to konkrétně skupin A, skupina B a objekty nezařazené. Pro každou skupinu podniků z tohoto rozdělení vyplývají různé povinnosti na způsoby uskladnění, zacházení, a především prevenci v oblasti chemických havárií. Povinnosti, související s touto problematikou, nám udává zákon č. 224/2015 Sb. Je třeba zde zmínit ovšem tu skutečnost, že určité povinnosti z tohoto zákona vyplývají i pro podniky, kde se nachází menší množství nebezpečné látky nebo látek, než je třeba pro zařazení do skupiny A (kde se nachází méně nebezpečných látek než v podnicích skupiny B). V těchto případech má provozovatel povinnost zpracovat tzv. protokol o nezařazení. V opačných případech je provozovatel povinen zpracovat protokol o zařazení podniku do skupiny A nebo B [10].



### 3.3.1 Podniky skupiny A

Podniky skupiny A jsou takové podniky, v nichž se nachází vyšší množství látky, než je uvedeno v tabulkách I nebo II zákona č. 224/2015 Sb., sloupec 2 a zároveň nižší množství, než je uvedeno ve sloupci 3 těchto tabulek. Pokud ovšem množství látky nepřekračuje tyto hodnoty, ale v podniku se nachází více nebezpečných látek, je třeba využít vzorec pro sčítání poměrných množství. Na základě daného výpočtu bude rozhodnuto o zařazení/nezařazení podniku do skupiny A, příslušným správním úřadem [10].

Provozovatel skupiny A musí, dle zákona č. 224/2015 Sb., vypracovat především posouzení rizik závažné havárie, bezpečnostní program, plán fyzické ochrany a musí mít pojištění odpovědnosti pro případ vzniku průmyslové havárie [10].

### 3.3.2 Podniky skupiny B

Podniky skupin B jsou takové podniky, v nichž se nachází vyšší množství látky, než je uvedeno v tabulkách I nebo II zákona č. 224/2015 S., sloupec 3. Dále se zařazení podniku do skupiny B řídí dle výpočtu pomocí vzorce pro sčítání poměrných množství, stejně jako v případě skupiny A. O zařazení podniku do skupiny B rozhoduje příslušný správní úřad [10].

Provozovatel skupiny B musí, dle zákona č. 224/2015 Sb., vypracovat posouzení rizik závažné havárie, bezpečnostní zprávu, zprávu o posouzení bezpečnostní zprávy, plán fyzické ochrany, vnitřní a vnější havarijní plán a stejně jako podniky skupiny A, musí mít pojištění odpovědnosti pro případ vzniku průmyslové havárie [10].

Provozovatel skupiny B má navíc povinnost předložit příslušnému HZS (dále jen hasičský záchranný sbor) podklady pro tvorbu havarijního plánu a stanovení zóny havarijního plánování. Pro výpočet zóny havarijního plánování je využít výpočet dle vyhlášky č. 226/2015 Sb. a jako doplňující prostředek je k stanovení

zóny havarijního plánování využíván počítačový program OPTIZON, který umožňuje optimalizaci těchto zón [10,19].

### **3.4 Nebezpečné chemické látky a směsi**

V dnešní době, která obecně vede k rozšiřování využití nových technologií, zároveň stoupá využívání různých chemických látek, pro usnadnění a zkvalitnění způsobu života. To ovšem s sebou nese velká rizika, neboť zároveň touto skutečností stoupá množství možných neblahých projevů těchto látek a následným průmyslovým haváriím.

Za nebezpečné chemické látky obecně považujeme ty látky nebo směsi, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností, jako jsou např. toxicita, hořlavost, výbušnost, jedovatost nebo jiná nebezpečnost [10,22,23].

Důležitým faktorem při úniku nebezpečné látky a následné průmyslové havárii jsou ovšem i vlastnosti jednotlivých chemických látek a způsob, jakým se chovají v prostředí a šíří se do nejbližšího okolí. To je vyjádřeno souborem jejich fyzikálních a chemických vlastností [24,25].

#### **3.4.1 Vlastnosti chemických látek a směsí**

Mezi důležité fyzikální a chemické vlastnosti nebezpečných látek patří především relativní molekulová hmotnost, bod tání, bod varu, hustota, hutnota, maximální koncentrace, tlak nasycených par, rozpustnost, viskozita, povrchové napětí, výparné teplo, teplota rozkladu a bod samovznícení [26,27].

Relativní molekulová hmotnost se značí  $M_r$  a jedná se o poměr průměrné hmotnosti částice odpovídající chemickému vzorci k jedné dvanáctině hmotnosti atomu nuklidu  $^{12}\text{C}$ , navíc se tato veličina shoduje s hodnotou molové hmotnosti  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Díky znalosti relativní molekulové vlastnosti, můžeme určit další z vlastností látek jako jsou hutnota, maximální koncentrace nebo tlak nasycených par [26,28].

Bod tání (tuhnutí) je teplota, při níž látka přechází z pevného skupenství do kapalného a naopak. Čisté látky mívají většinou určitou konkrétní hodnotu bodu tání, naopak směsi se pohybují většinou v rozmezí více teplot. Tyto hodnoty se zpravidla udávají ve °C a jejich znalost nám pomáhá určit, jak se bude daná látka chovat v prostředí za určitých klimatických podmínek [26,28].

Bod varu je teplota, opět udávaná ve °C, kdy tlak nasycených par dosahuje tlaku okolního prostředí. Znalost této veličiny nám umožňuje odhadnout stálost nebo těkavost chemické látky [26,28].

Hustota látky vyjadřuje hmotnost určitého objemu látky a do částečně nám ovlivňuje chování aerodisperzních soustav. Naopak hustota látky, označovaná též jako relativní hustota par, je veličina, která udává poměr hustoty chemické látky v plynném stavu a hustoty vzduchu. Znalost této veličiny umožňuje odhadnout to, jak se bude látka chovat v plynném stavu a její stabilitu v přízemních vrstvách atmosféry [26,28].

Maximální koncentrace, která se značí  $c_{max}$ , je veličina, která vyjadřuje hodnotu hmotnosti par chemické látky v určitém objemu vzduchu v těsné blízkosti kapalně fáze. Zpravidla její hodnota vypovídá o koncentraci plynů a par nad kontaminovaným prostorem v závislosti na meteorologických podmínkách. Jedná se o nejvyšší možnou koncentraci, v níž se mohou plyny a páry nacházet [26,28].

Tlak nasycených par udává maximální tlak chemické látky nad kapalinou za určité teploty nebo v rovnovážném stavu. Zpravidla se tato veličina udává v Pascalech (Pa) [26,28].

Rozpustnost látky je její maximální hodnota obsažená v určitém objemu roztoku nebo rozpouštědla a vyjadřuje se v  $g.l^{-1}$  nebo v procentech ve vztahu k teplotě. Tato vlastnost je důležitá především z toxikologického hlediska, kdy potřebujeme znát převážně rozpustnost látky ve vodě a tucích [26,28].

Tepelná stálost chemické látky značí především stálost a odolnost látky vůči tepelnému působení, což umožňuje posoudit stabilitu látky při určitých teplotních podmínkách, například při výbuchu nebo hoření [26,28].

### 3.4.2 Havarijní projevy úniku nebezpečných chemických látek

Havarijní projevy úniku nebezpečných chemických látek a směsí jsou důležité především pro představu, jakým způsobem se budou nebezpečné chemické látky šířit do okolí a k určení možných následků těchto projevů. Jako příklad můžeme uvést způsoby úniků u látek hořlavých, neboť, jak jsme uváděli již dříve v této práci, únik nebezpečné látky, její následné zahoření a případně výbuch tvoří velkou část průmyslových havárií [29].

U úniku hořlavé látky záleží často, na způsobu iniciace, která může být buď okamžitá nebo opožděná. U iniciace okamžité rozlišujeme především na požár tuhé látky (Fire in Solid), tryskový plamen (Jet Fire), mžikový požár (Flash Fire), ohnivou kouli (Fire Ball), požár kaluže (Pool Fire) a výbuch vroucí kapaliny (BLEVE). Ovšem obecně největší riziko, z hlediska nebezpečnosti, představují úniky toxických plynů, které je možné někdy těžko identifikovat, ale jejich následky mohou být katastrofální [7,30,31].

Rozhodujícím faktorem v těchto případech je především skutečnost, zda se jedná únik jednorázový, kontinuální či pomalý nebo rychlý odpar kapaliny. Jednorázový únik představuje především tzv. model PUFF, kdežto kontinuální únik, případně odpařování kapaliny, bývá reprezentováno modelem úniku typu PLUME, kdy může zároveň docházet ke kumulaci plynů v nízkých vrstvách atmosféry a vytvoření oblaku nebezpečné látky. Výbuchy plynů, par či prachů bývají zpravidla doprovázeny tlakovou vlnou nebo explozí, což může mít za následek fatální poškození budov, objektů a předmětů v dosahu. Tyto havarijní projevy, jak již bylo zmíněno výše, bývají často doprovázeny následným požárem, což může mít za následek další škody na životech, zdraví a majetku. [7,29].

Dalším, již zmiňovaným havarijním projevem je var kapaliny s postupným zvyšováním tlaku uvnitř zásobníku, kdy při překročení maximálního tlaku dojde k výbuchu zásobníku a následnému uvolnění vroucí nebezpečné látky ven, což vede k vytvoření ohnivé koule. Tento model se nazývá BLEVE z anglického „*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*“ [7,30].

U požárů plynů a par, které se projevují dlouhotrvajícím masivním únikem se zahořením se projevují převážně modely typu „*Jet Fire*“. Charakteristickými projevy tohoto typu úniku bývají poranění teplem zářením a možností vzniku požáru v okolí. Naopak model „*Pool Fire*“ představuje hoření louže kapaliny nebo případně pevné látky, pro které bývají typická ohrožení tepelným zářením nebo zplodinami [7,30].

### 3.5 Messer Technogas s.r.o.

Společnost Messer Technogas s.r.o. je německá společnost, která existuje více než 100 let a má silné zastoupení i v České republice. Tato společnost se zaměřuje především na oblast technických, medicínálních a speciálních plynů pro jejichž využití má poměrně širokou klientelu, jak v zahraničí, tak u nás, viz. obrázek č. 3. Sídlo společnosti se v současné době nachází v Bad Sodenu v Německu [32].



Obrázek 3 - Messer Technogas s.r.o. celosvětově [32]

### 3.5.1 Pobočka v Kladně

Kladenská pobočka společnosti Messer Technogas s.r.o slouží především jako sklad a plnírna technických a medicínálních plynů. Nejedná se tedy o výrobu těchto nebezpečných chemických látek. Dle zákona č. 224/2015 Sb. byla zařazena mezi podniky skupiny A [33,34].

V okolí Kladna se nacházejí pouze dva podniky, které spadají do kategorie A, dle zákona o prevenci závažných havárií – Messer Technogas a plynová elektrárna Alpiq generation (CZ) s.r.o. Oba tyto podniky spadají stejně, do již výše zmiňované skupiny A, jak můžeme spatřit na obrázku č. 4 níže. Obrázek č. 5 ukazuje přímo areál a jeho popis na stránkách Krajského úřadu Středočeského kraje [34,35].

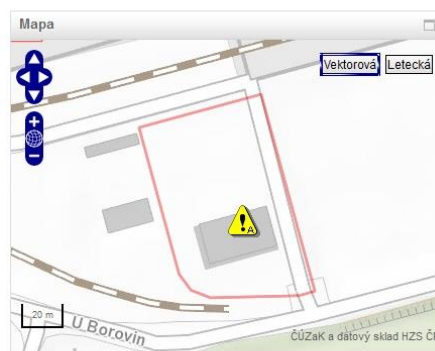


Obrázek 4 - Kladno, podniky skupiny A [34]



## Plnárna technických plynů

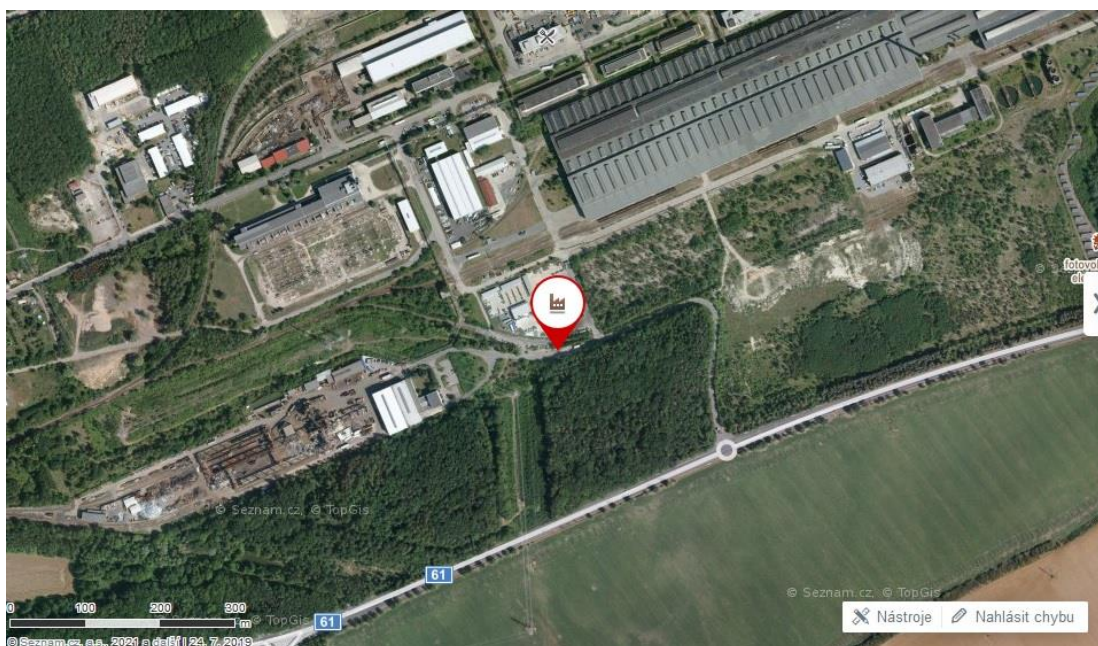
Základní údaje	
Název	Plnárna technických plynů
Typ	výrobní provozovna
Provozovatel	Messer Technogas s.r.o.
Zařazení dle 224/2015 Sb.	skupina A



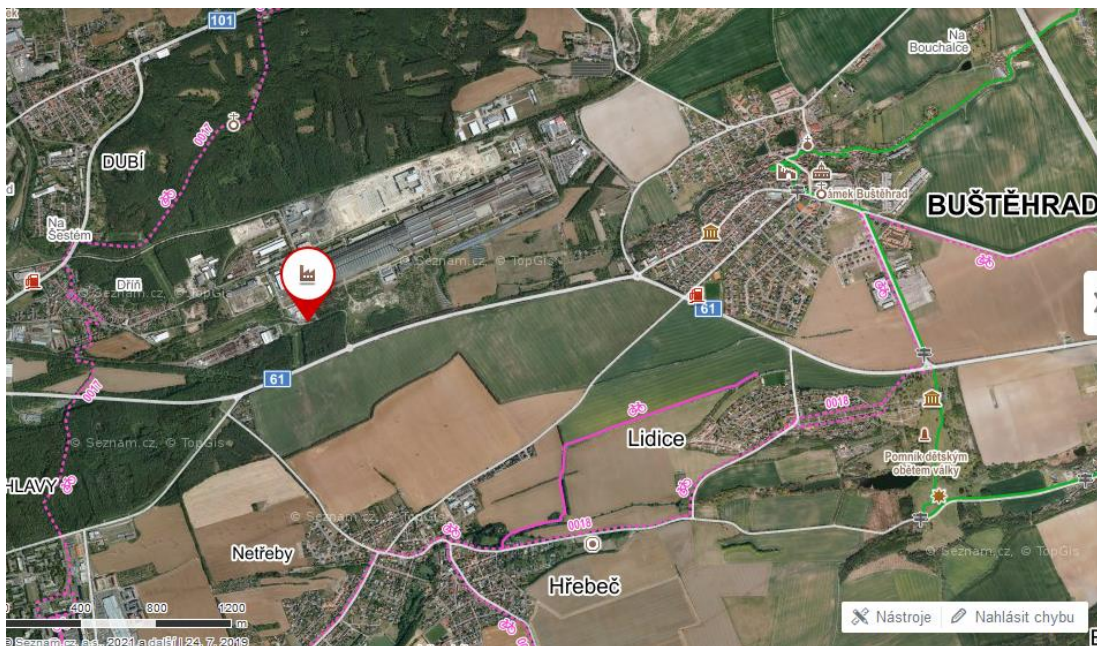
[Mapa stránek](#) [RSS](#)

Obrázek 5 - Messer Technogas, skupina A [34]

Tato pobočka se nachází v průmyslovém areálu Poldi Dříň, Kladno-Dubí. Nejblíže obydleny oblastmi v blízkosti areálu je tudíž část města Kladna a obce Netřeby a Buštěhrad. V těsné blízkosti areálu se nachází další průmyslové zóny jiných společností (např. plynová elektrárna Alpiq generation (CZ) s.r.o.) a lesní porost, jak je možno vidět na níže přiložených mapách [36].



Obrázek 6 - nejbližší okolí podniku [36]



Obrázek 7 - širší okolí podniku [36]

Společnost Messer Tecnogas s.r.o. na své pobočce v Kladně uchovává několik nebezpečných látek, jsou to – acetylen, amoniak, argon, kyslík, oxid dusný, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, propan-butan, propylen, vodík a motorovou naftu. Těmito látkami se budeme zabývat v následujících podkapitolách [37].

### 3.5.2 Acetylen

Acetylen, někdy označovaný též jako ethyn, je bezbarvý, extrémně hořlavý plyn, jehož zápach připomíná vůni česneku. Jeho chemický vzorec je  $C_2H_2$  a nejčastěji se skladuje jako rozpuštěný plyn v acetonu. Bod tání této látky je  $-80,8\text{ }^{\circ}C$ , bod varu  $-84\text{ }^{\circ}C$ , kritická teplota je  $35\text{ }^{\circ}C$  a teplota samovznícení  $305\text{ }^{\circ}C$ . Acetylen je látkou, která může velice bouřlivě reagovat i za nepřítomnosti vzduchu, se kterým za normálních okolností vytváří výbušné směsi. Také velice bouřlivě reaguje s oxidačními činidly a je neslučitelný s některými materiály, především mědí, stříbrem a rtuť, se kterými vytváří výbušné acetyly. Acetylen se nejčastěji používá v průmyslu na výrobu PVC a jiných organických sloučenin a dále ke sváření kovů [38,39,40].



Nejvhodnějšími hasivky pro tuto látku jsou vodní sprej, vodní mlha nebo suchý prášek. Nehodnými jsou naopak oxid uhličitý a vodní proud. Při spalování acetyleny se uvolňuje oxid uhelnatý a pokud dojde k vystavení nádob s touto látkou otevřenému ohni, může dojít k výbuchu [40].

Ze zdravotního hlediska nepředstavuje acetylen, v porovnání s jinými, tak závažnou látku. Problémy mohou nastat po jeho vdechnutí, kdy může dojít až k zástavě dechu při velkých koncentracích. Obecně acetylen působí jako anestetikum, kdy mohou nastat problémy se ztrátou vědomí nebo pohyblivosti. Při zasažení kůže nebo očí nejsou popsány žádné závažné účinky na zdraví [40] [41].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou ochrana dýchacích cest – pro zasahující složky IZS izolační dýchací přístroj a dále ochranné brýle a rukavice pro manipulaci s nádobami. Pokud je acetylen užíván k řezání nebo svařování kovů, doporučují se nehořlavý ochranný oděv a dostatečná ochrana zraku [40].

Tabulka 1 - Hodnoty indexů acetylen [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	2,5 %
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	100 %
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	N/A
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs)</i>	N/A
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	N/A

### 3.5.3 Amoniak

Bezvodý amoniak, jiným názvem též označován jako čpavek, je bezbarvý, štiplavý, hořlavý a toxický plyn. Jeho chemický vzorek je  $\text{NH}_3$  a nejčastěji se skladuje jako zkapalněný plyn. Standardní koncentrace, která se u této látky

užívá je 99,8 %, bod tání je - 77,7 °C, počáteční bod varu – 33,3 °C a teplota samovznícení 651 °C. Amoniak sám o sobě nemá žádné oxidační vlastnosti, ale pokud je vystaven teplotám nad 450 °C, vzniká vysoce hořlavý vodík. Při teplotách nad 690 °C nebo za přítomnosti elektrické jiskry se amoniak rozkládá na vodík a dusík a dochází ke vzniku výbušných směsí se vzduchem. Amoniak se nejčastěji využívá ve farmaceutickém, potravinářském, zemědělském a textilním průmyslu a k výrobě hnojiv [38,39,43].

Při jeho použití a manipulaci je třeba se vyvarovat styku s oxidačními činidly, neboť může dojít k nebezpečným, výbušným, chemickým reakcím, především při styku s alkalickými kovy, mědí, stříbrem, cínem, alkoholy, aldehydy apod. Nejvhodnějšími hasivy jsou těžká pěna, vodní sprcha nebo mlha, naopak zcela nevhodný je přímý vodní proud [43].

Amoniak je vysoce toxický pro životní prostředí, především pro vodní organismy, a to i z dlouhodobého hlediska. Při styku s kůží způsobuje poleptání, díky své velké žíravosti, a při zasažení očí může způsobit dokonce oslepnutí. Při pobytu ve vysokých koncentracích a následnému vdechnutí může dojít ke smrti zasažené osoby, neboť amoniak dráždí dýchací cesty a leptá sliznice, kde může způsobit edém plic a následnou zástavu dechu. Vzhledem k tomu, že se jedná o plyn, který je nutný skladovat hluboko pod bodem mrazu, styk s ním, mimo jiné, může způsobovat omrzliny, které se projevují zblednutím či zarudnutím zasažené kůže. Při úniku se tento plyn šíří na velké vzdálenosti a při styku s vodou, vytváří zásadité leptavé směsi, a to i když dojde k jeho velkému naředění [41,43].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou především ochrana dýchacích cest – maska s filtrem, případně izolační dýchací přístroj; ochrana očí a obličeje – ochranné brýle nebo štít; ochrana rukou – ochranné rukavice z nitrilu nebo butylu, chránící proti chladu a omrzlinám a případně ochrana jiných částí těla – antistatický nehořlavý ochranný oděv nebo oděv protichemický [43].

Tabulka 2 - Hodnoty indexů amoniak [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky			
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	16 %			
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	25 %			
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	300 ppm			
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)</i>	<b>Doba expozice</b>	<b>AEGL-1</b>	<b>AEGL-2</b>	<b>AEGL-3</b>
	10 minut	30 ppm	220 ppm	2700 ppm
	30 minut	30 ppm	220 ppm	1600 ppm
	60 minut	30 ppm	160 ppm	1100 ppm
	4 hodin	30 ppm	110 ppm	550 ppm
	8 hodin	30 ppm	110 ppm	390 ppm
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	<b>ERPG-1</b>	<b>ERPG-2</b>	<b>ERPG-3</b>	
	25 ppm	150 ppm	1500 ppm	

### 3.5.4 Kyslík

Kyslík je bezbarvý plyn bez zápachu, který se v průmyslu vyskytuje hned ve dvou skupenstvích, a to konkrétně plynné a kapalné. Jeho sumární vzorec je  $O_2$  a pokud jej chceme skladovat ve zkapalněném stavu, je třeba jej zchladit hluboko pod bod mrazu. Kyslík má bod tání - 219 °C, bod varu - 183 °C a jeho kritická teplota činí - 118 °C. Standardní koncentrace, která se v průmyslu používá je 100 % [38,39,44,45].

Kyslík sám o sobě není hořlavou látkou, ale za to je velmi silným oxidačním činidlem, což je důvodem, proč může podporovat a urychlovat hoření. Nejčastěji se využívá v průmyslu jako testovací nebo kalibrační plyn, k řezání a sváření kovů, pro výrobu fotovoltaiky nebo pro laboratorní účely. Nejvhodnějšími hasivými jsou vodní sprej nebo mlha, nevhodný je naopak proud vody [44,45].

Kyslík sám o sobě nemá velké množství neblahých účinků na lidské zdraví, pokud dojde k delší expozici v koncentracích nad 75 % a následnému nadýchání, může způsobovat nevolnosti, ospalost, dýchací potíže nebo křeče. U zkapalněné varianty pak může dojít při úniku do okolního prostředí ke vzniku omrzlin, které se projevují zarudnutím nebo zbělením kůže, neboť jak už jsme uvedli výše, zkapalněný kyslík se skladuje zchlazený hluboko pod bodem mrazu [41,44,45].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou pro manipulaci s nádobami ochranné rukavice a ochranné brýle, případně je na zvážení vzhledem k tomu, že kyslík podporuje hoření, použití ohnivzdorného obleku [44,45].

### 3.5.5 Oxid dusný

Oxid dusný, někdy označovaný též jako tzv. rajský plyn, je bezbarvý, nehořlavý plyn s lehce nasládlou vůní. Jeho sumární vzorec je  $N_2O$  a často se skladuje ve zkapalněném stavu. Oxid dusný má bod tání  $-90,81\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bod varu  $-88,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a kritická teplota činí  $36,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nejčastěji se užívá jako testovací nebo kalibrační plyn, dále k chemickým syntézám, jako hnací plyn aerosolech, pro výrobu fotovoltaiky, k laboratorním účelům, v medicíně či v potravinářském průmyslu [38,39,45].

Tato látka je velice silný oxidant, a to převážně ve vztahu s organickými materiály, zároveň může velice bouřlivě reagovat s hořlavinami, neboť podporuje hoření. Za normálních okolností je celkem stabilní a při teplotách nad  $575\text{ }^{\circ}\text{C}$  se rozkládá na kyslík a dusík. Vhodnými hasivy jsou především vodní mlha nebo sprej, a naopak nevhodný je proud vody [46].

Co se týče účinků na lidské zdraví, tak oxid dusný může při nízkých koncentracích způsobovat ospalost, bolesti hlavy, nevolnost, ztrátu koordinace a působit narkoticky. Při vyšších koncentracích může díky svým narkotickým účinkům způsobit až zástavu dechu. Vzhledem k tomu, že se často uchovává

hluboko pod bodem mrazu, může způsobovat omrzliny, které se projevují zarudnutím nebo zbělením kůže [41,46].

Doporučenými ochrannými prostředky je pro zásah IZS nebo krizovou situaci izolační dýchací přístroj. Pro manipulaci s nádobami jsou vhodné ochranné rukavice, štíty nebo brýle [46].

### 3.5.6 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je bezbarvý, jedovatý plyn s nepříjemným štiplavým zápachem. Jeho sumární vzorec je  $\text{SO}_2$  a bod tání  $-75,5\text{ }^\circ\text{C}$ , bod varu  $-10,05\text{ }^\circ\text{C}$  a kritická teplota činí  $157,5\text{ }^\circ\text{C}$ . Jeho nejčastějším způsobem využití je výroba kyseliny siřičité a kyseliny sírové, výroba odlévacích jader, doplňování chladících zařízení ve vinařství nebo jako konzervační činidlo [38,39,47].

Tento plyn má dvakrát vyšší hustotu než vzduch, proto vytváří nebezpečné oblaky u země, kde vniká do kanálů, sklepů nebo jam, kde se hromadí. Při kontaktu s vodou vytváří kyselinu sírovou, což je velice silná žíravina. Další nebezpečné reakce vytváří s amoniakem, kde tvoří velice silný oxidační činidlo. Za obecně neslučitelné materiály se považuje voda a kovy a v případě požáru může vznikat síra a její oxidy [47].

Vhodnými hasivy jsou vodní postřikovací paprsek, pěna, suchý hasicí prášek a oxid uhličitý. Páry je třeba srazit pomocí vodní mlhy [47].

Oxid siřičitý způsobuje při vdechnutí dýchací potíže, kašel a otok sliznic což může vést až akutní zástavě dechu. Dalšími projevy jsou těžké poleptání kůže a poškození očí, kdy vyvolává silné slzení, pálení nebo jejich zarudnutí. Dále je oxid siřičitý vysoce toxický pro životní prostředí, především pro vodní organismy [41,47].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou především izolační dýchací přístroj, ochranné rukavice s rezistenční dobou více než 8 hodin, těsně přiléhající ochranné brýle a ochranný pracovní oděv [46].

Tabulka 3 - Hodnoty indexů oxid siřičitý [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky			
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	N/A			
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	N/A			
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	100 ppm			
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)</i>	<b>Doba expozice</b>	<b>AEGL-1</b>	<b>AEGL-2</b>	<b>AEGL-3</b>
	10 minut	0.2 ppm	0.75 ppm	30 ppm
	30 minut	0.2 ppm	0.75 ppm	30 ppm
	60 minut	0.2 ppm	0.75 ppm	30 ppm
	4 hodin	0.2 ppm	0.75 ppm	19 ppm
	8 hodin	0.2 ppm	0.75 ppm	9.6 ppm
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	<b>ERPG-1</b>	<b>ERPG-2</b>	<b>ERPG-3</b>	
	0.3 ppm	3 ppm	25 ppm	

### 3.5.7 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je bezbarvý, extrémně hořlavý, toxický plyn, bez výrazného zápach. Jeho sumární vzorec je CO a jeho bod tání činí – 205 °C, bod varu – 192 °C, kritická hodnota – 140 °C a teplota samovznícení je 620 °C. Oxid uhelnatý je hojně využíván v chemickém a potravinářském průmyslu dále jako palivo [38,39,48].

Jedná se o extrémně hořlavý plyn, který pod tlakem může vybuchnout z tohoto důvodu by měl být skladován při teplotách do 50 °C. Za běžných podmínek se jedná o celkem stabilní plyn, ale se vzduchem může vytvářet výbušné směsi a zároveň může bouřlivě reagovat za přítomnosti oxidačních činidel. K hašení je možné užít všech běžně dostupných prostředků [48].

Při vdechnutí oxidu uhelnatého se mohou projevit bolesti hlavy, ospalost, nevolnost nebo ztrátu koordinace. Tento plyn se projevuje akutní toxicitou, kdy při prodloužené expozici může způsobit poškození orgánů. Dalším z jeho

projevů je akutní toxicita pro plod v těle matky. Asi nejnebezpečnější vlastností oxidu uhelnatého je jeho velká afinita (schopnost se vázat) na hemoglobin (červené krvinky) v těle, kdy je tato jeho vlastnost vyšší než u kyslíku, který se tím pádem nemůže v těle správně vázat. V těle postiženého se tudíž vytváří tzv. karboxyhemoglobin. Tato vlastnost se u postiženého projevuje výrazným zarudnutím kůže do tmavě červené barvy. Tento stav může vést až ke smrti zasažené osoby [41,48].

Doporučeným ochranným prostředkem je především izolační dýchací přístroj a pro případnou manipulaci s nádobami jsou vhodné ochranné rukavice a brýle [48].

Tabulka 4 - Hodnoty indexů oxid uhelnatý [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky			
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	12 %			
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	75 %			
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	1200 ppm			
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)</i>	<b>Doba expozice</b>	<b>AEGL-1</b>	<b>AEGL-2</b>	<b>AEGL-3</b>
	10 minut	N/A	420 ppm	1700 ppm
	30 minut	N/A	150 ppm	600 ppm
	60 minut	N/A	83 ppm	330 ppm
	4 hodin	N/A	33 ppm	150 ppm
	8 hodin	N/A	27 ppm	130 ppm
<i>Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs)</i>	<b>ERPG-1</b>	<b>ERPG-2</b>	<b>ERPG-3</b>	
	200 ppm	350 ppm	500 ppm	

### 3.5.8 Propan-butan

Jedná se o směs dvou bezbarvých, zkapalněných plynů, někdy je také označována zkratkou LPG – z anglického „*Liquified Petroleum Gases*“. Sumární

vzorec propanu je  $C_3H_8$  a butanu  $C_4H_{10}$  a v této směsi se užívají primárně z důvodu jejich lepších vlastností, kdy složení bývá zpravidla zhruba 10 % butanu a 90 % propanu. Bod tání propanu se pohybuje v rozmezí:  $-188\text{ °C}$  až  $-138\text{ °C}$ , bod varu  $-42,1\text{ °C}$ , bod vzplanutí  $-104\text{ °C}$  až  $-60\text{ °C}$ , kritická teplota  $96,7\text{ °C}$  a teplota samovznícení činí  $470\text{ °C}$ . Jedná se o extrémně hořlavou směs plynů, proto se nejčastěji v průmyslu používá jako plynné palivo/topný plyn nebo jako pohonná hmota pro motorová vozidla [38,39,49].

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o extrémně hořlavou směs látek, která může velmi rychle přecházet do plynného stavu, čímž dochází k vytvoření chladných mlh, které jsou těžší než vzduch. Tyto mlhy se šíří daleko do okolí, čímž vytváří se vzduchem výbušnou směs. Skladovat tuto látku se doporučuje v ocelových nádobách do teploty  $50\text{ °C}$ . Za normálních podmínek se jedná o vcelku stabilní směs, ale může bouřlivě reagovat při styku s oxidačními činidly, zvláště s oxidem chloričitým [49].

Vhodnými hasivými jsou především střední pěna, hasící prášky, vodní mlha, tříštěné vodní proudy, oxid uhličitý. Naopak zcela nevhodným hasivem je proud vody, který se doporučuje užívat pouze na chlazení nádob [49].

Tato látka velice dobře vytěsňuje kyslík, což může mít za následek ospalost, malátnost, únavu, ztrátu koordinace či pochybené v úsudku. Postižená osoba si vůbec nemusí uvědomovat, že se dusí, což znamená, že rychle může dojít ke ztrátě vědomí a následnému udušení zasažené osoby. Dále může dojít ke vzniku omrzlin, neboť se látka skladuje hluboko pod bodem mrazu, které se projevují zarudnutím nebo zbělením kůže [41,49].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou pro zásahy IZS izolační dýchací přístroj, protichemický nebo protipožární oblek. Pro běžnou manipulaci nejsou žádné speciální prostředky vyžadovány [49].



Tabulka 5- Hodnoty indexů propan-butan [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	propan 2,2 % butan 1,8 %
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	Propan 9,5 % Butan 8,4 %
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	2000 ppm
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs)</i>	N/A
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	N/A

### 3.5.9 Propylen

Propylen, jiným názvem též propen, je bezbarvý, vysoce hořlavý plyn bez typického zápachu. Jeho sumární vzorec je  $C_3H_6$ , teplota tání činí  $-185\text{ }^\circ\text{C}$ , teplota varu  $-48\text{ }^\circ\text{C}$  a teplota samovznícení  $455\text{ }^\circ\text{C}$ . V průmyslu se nejčastěji průmyslu využívá jako monomer pro následnou polymeraci na polypropylen a k výrobě organických látek jako je například aceton či kumen [38,39,50,51].

Propen je za normálních okolností celkem stabilní látkou, ovšem při hoření za nedostatku vzduchu, může uvolňovat oxid uhelnatý, dále se neslučuje s oxidačními činidly, se kterými může bouřlivě reagovat, navíc se vzduchem vytváří výbušnou směs [50].

Nejvhodnějšími hasivky jsou vzduchová hasící pěna, hasící prášek a oxid uhličitý. Zcela nevhodný vodní proud, který se opět doporučuje pouze na chlazení nádob v případě požáru [50].

Páry propylenu mají narkotické účinky a u vyšších koncentrací mohou způsobovat bolesti hlavy, kašel, nevolnost, a dechové obtíže, které mohou vést až k zástavě dechu a smrti postižené osoby [41,50].

Doporučenými ochrannými prostředky jsou úniková maska s filtrem proti organickým plynům a parám, ochranné brýle proti chemickým vlivům, ochranné rukavice a oděv [50].

Tabulka 6 - Hodnoty indexů propylen [42]

Jednotlivé indexy	Hodnoty látky
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	2 %
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	11,1 %
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	N/A
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)</i>	N/A
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	N/A

### 3.5.10 Vodík

Vodík je bezbarvý plyn bez typického zápachu, který hoří namodralým plamenem a jeho chemická značka je H<sub>2</sub>. Bod tání vodíku činí – 259 °C, bod varu – 253 °C, kritická teplota je – 240 °C a teplota samovznícení 560 °C. V průmyslu se nejčastěji užívá jako testovací/kalibrační plyn, k chemickým syntézám, jako palivo, ochranný plyn ke svařování, případně k laboratorním účelům [38,39,52].

Za normálních okolností se jedná o stabilní plyn, ovšem se vzduchem vytváří výbušnou směs a také bouřlivě reaguje s oxidačními činidly. Za vhodná hasiva se považují především vodní sprej, vodní mlha nebo suchý prášek. Nevhodnými hasivy jsou naopak oxid uhličitý a proud vody [52].

Vodík se sám o sobě neprojevuje žádnými zvláštními účinky na zdraví, ale vzhledem ke skutečnosti, že se skladuje zchlazený hluboko pod bodem mrazu, mohou při neopatrné manipulaci vznikat omrzliny, které se projevují zarudnutím nebo zbělením kůže [41,52].

Doporučenými ochrannými prostředky pro manipulaci s nádobami jsou ochranné brýle, štíty a rukavice, případně antistatický oděv [52].

Tabulka 7 - Hodnoty indexů vodík [42]

<b>Jednotlivé indexy</b>	<b>Hodnoty látky</b>
<i>Lower Explosive Limit (LEL)</i>	4 %
<i>Upper Explosive Limit (UEL)</i>	75 %
<i>Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)</i>	N/A
<i>Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs)</i>	N/A
<i>Emergency Response Planning Guidelines (EPGs)</i>	N/A

## 4 METODIKA

### 4.1 Předběžná a multikriteriální analýza

#### 4.1.1 Předběžná analýza

Předběžná analýza rizik je založena především na vztahu pravděpodobnosti a následků, přičemž jejich vztah následně udává míru rizika. Pravděpodobnost vzniku daného rizika si je možné představit jako frekvenci/ výskyt události v časovém horizontu. Pravděpodobnost je v rámci této práce označována jako P a následky na jako N. Jejich vztah je potom vyjádřen následovně jako  $R = P \times N$ , kdy R představuje výsledné riziko.

Tabulka 8 - Označení frekvence vzniku událostí [53]

Pravděpodobnost vzniku události	Slovní komentář	Hodnotící škála
Častý výskyt (1krát za měsíc)	Událost se vyskytuje velmi často, opakuje se	6
Častější výskyt (1krát za 6 měsíců)	Událost se vyskytuje už méně často, ale také se opakuje	5
Občasný výskyt (1krát za rok)	Událost se vyskytuje občas, již ne v takové míře	4
Možný výskyt (1krát za 5 let)	Vznik události není zcela vyloučen, ale pravděpodobnost vzniku zde je	3
Ojedinělý výskyt (1krát za 10 let)	Událost se vyskytuje velmi ojediněle, spíše vzácně	2
Téměř nemožný výskyt (1krát za 50 let)	Vznik události je spíše jen teoretický	1

Tabulka 9 - Označení následků události [53]

Následky události	Slovní komentář	Hodnotící škála
Katastrofické	Velice rozsáhlé škody na životech, zdraví, majetku nebo životním prostředí	4

<b>Významné</b>	Větší dopad na životy, zdraví, majetek a životní prostředí	<b>3</b>
<b>Nízké</b>	Jedná se o malý lokální dopad na životy, zdraví, majetek a životní prostředí	<b>2</b>
<b>Zanedbatelné</b>	Dopady na životy, zdraví, majetek a životní prostředí jsou velmi malé až zanedbatelné	<b>1</b>

Jak již bylo zmíněno výše, pro každý typ události je třeba stanovit míru rizika, kterou představuje, dle výše uvedeného vzorce. Tyto údaje jsou následně sumarizovány do matice rizik, která je uvedena níže. Dále dle matice rizik jsou jednotlivá rizika rozdělena na jednotlivé úrovně přijatelnosti.

Tabulka 10 - Matice hodnocení rizik [53]

Frekvence výskytu	Závažnost následků			
	1 Zanedbatelné	2 Nízké	3 Významné	4 Katastrofické
<b>1 Téměř nemožný výskyt</b>	1	2	3	4
<b>2 Ojedinelý výskyt</b>	2	4	6	8
<b>3 Možný výskyt</b>	3	6	9	12
<b>4 Občasný výskyt</b>	4	8	12	16
<b>5 Častější výskyt</b>	5	10	15	20
<b>6 Častý výskyt</b>	6	12	18	24

Tabulka 11 - Úroveň rizika [53]

Úroveň rizika	Rozsah	Slovní komentář
Nízké	1-3	Riziko je považováno za velmi nízké, zanedbatelné a akceptovatelné
Střední	4-6	Riziko je možné snížit opatřeními s nízkou náročností, i bez opatření je akceptovatelné
Vysoké	7-10	Riziko je možné snížit opatřeními s vyšší náročností z dlouhodobého hlediska je neakceptovatelné
Velmi vysoké	11-15	Riziko je dlouhodobě nepřijatelné a je třeba zahájit kroky k jeho odstranění
Kritické	16-24	Riziko je zcela nepřijatelné a je třeba jej okamžitě odstranit

#### 4.1.2 Multikriteriální analýza

Multikriteriální analýza rizik slouží především k posouzení všech možných faktorů, které nám mohou ovlivnit vznik mimořádné události s únikem nebezpečné chemické látky a k posouzení jejich možných následků. Jako první krok je třeba provést především předběžnou analýzu rizik, kdy posuzujeme vzájemný vztah mezi pravděpodobností vzniku události a jejími následky, díky čemuž je možné míru rizika. Tato rizika je třeba rozdělit dle úrovně přijatelnosti, a navíc je lze rozdělit na rizika vnitřní a vnější [54,55].

Jako další krok pak následuje samotná multikriteriální analýza, kdy je třeba zjistit vztahy mezi rizikem, frekvencí možného vzniku události a jejími následky ve vztahu k potřebným koeficientům jako jsou např. dopady na životy a zdraví osob nebo na životní prostředí a jejich váhové koeficienty. Na základě těchto vztahů pak dojde k vyhodnocení samotných rizik [54,55].

### 4.1.3 Výpočet multikriteriální analýzy

Výsledky předchozí předběžné analýzy jsou následně zpracovány v analýze multikriteriální, kdy se počítá se vztahem  $R = F \times N$ , kde R je výsledné riziko, F frekvence, který vyjadřuje koeficient četnosti možného typu nebezpečí a N jsou následky, které vyjadřují nepříznivé účinky mimořádné události. N je navíc vyjádřeno vztahem  $N = (K_Z \times VK_Z) + (K_O \times VK_O) + (K_{\text{ŽP}} \times VK_{\text{ŽP}}) + (K_E \times VK_E)$ ,

kde

$K_Z$  – koeficient dopadu na životy a zdraví zaměstnanců;  $K_Z = (K_{Z1} + K_{Z2}) / 2$

$K_O$  – koeficient dopadu na životy a zdraví obyvatelstva;  $K_O = (K_{O1} + K_{O2}) / 2$

$K_{\text{ŽP}}$  – koeficient dopadů na životní prostředí

$K_E$  – koeficient ekonomických dopadů

$VK_x$  – váhový koeficient.

Tabulka níže uvádí váhové koeficienty chráněných zájmů, kdy největší váha je kladena na ochranu života a zdraví osob.

Tabulka 12 - Váhové koeficienty [53]

Chráněný zájem	Váhový koeficient	
	Označení	Hodnota
Životy a zdraví zaměstnanců	$VK_Z$	0,4
Životy a zdraví obyvatelstva	$VK_O$	0,4
Ekonomika a majetek	$VK_E$	0,2
Životní prostředí	$VK_{\text{ŽP}}$	0,2

Hodnotové vyjádření koeficientů pro stanovení úrovně rizika jednotlivých koeficientů jsou uvedeny v Příloze č. 2. Výsledné úrovně rizika byly rozřazeny dle kritérií v následující tabulce.

Tabulka 13 - Hodnocení výsledné úrovně rizika [53]

Riziko velmi vysoké	R = 41 a více
Riziko vysoké	R = 31–40
Riziko střední	R = 21–30
Riziko malé	R = 11–20
Riziko zanedbatelné	R = do 10

## 4.2 Softwarové nástroje

Důležitou součástí této práce jsou bezpochyby softwarové nástroje, které je možné použít k vytvoření simulací průmyslové havárie s únikem nebezpečné látky. Je třeba zdůraznit, že se ve všech případech bude jednat pouze o simulace a mimořádná událost pak může probíhat jinak. Tyto nástroje nám však mohou velmi dobře posloužit, abychom vytvořili ty nejpravděpodobnější scénáře průběhu mimořádné události a tudíž, abychom mohli být na její projevy a následky připraveni, případně, abychom mohli provést opatření, která mají vést ke zmírnění dopadů takovéto události nebo k úplnému zabránění jejího vzniku. Úplné zabránění vzniku mimořádné události tohoto typu je samozřejmě velmi nesnadné, možná téměř nemožné, avšak díky připravenosti na tyto situace, můžeme tuto možnost a s tím související riziko, snížit na minimum.

### 4.2.1 ALOHA

ALOHA je softwarový nástroj, který slouží k modelaci průběhu úniku nebezpečné chemické látky, včetně jeho projevů. Zkratka ALOHA vychází z anglického „Area Locations of Hazardous Atmospheres“. Celý program je v anglickém jazyce, proto je k jeho použití třeba celkem dobrá znalost tohoto jazyka, ale jeho ovládání je vcelku intuitivní. Program je volně ke stažení, ale protože se jedná o software, který byl vyvinut v Americe, je nejlépe



přizpůsoben na tamější podmínky. Navíc ALOHA je na trhu více než 25 let a za tu dobu prošla značným vývojem a rozšířením funkcionalit [30,56,57,58].

ALOHA umožňuje, pomocí modelací, vytvoření zón ohrožení (tzv. „*threat zones*“), které je pak možné pomocí jiných softwarových nástrojů převést na mapový podklad, takže celkový obrázek možného scénáře je ucelenější a přesnější. Zóny jsou označeny barevně, kdy každá barva udává, jak vysoké nebezpečí se zde nachází. Červená zóna představuje největší úroveň nebezpečí s největšími dopady úniku, oranžová a žlutá zóna nám představují zóny s klesajícím nebezpečím. V rámci modelací byl program ALOHA využit k vytvoření těchto zón [56,57].

Program ALOHA pracuje především se dvěma základními algoritmy rozptylu, a to jsou Gaussovský model a model rozptylu těžkého plynu. Navíc ALOHA je určena pro odhad zasažené oblasti a koncentrace nebezpečné chemické látky v ní pouze pro okruh 10 kilometrů, kdy maximální doba expozice, se kterou ALOHA počítá činí 1 hodinu [30].

Pro výpočet scénáře v programu, je třeba mít dostatečné množství vstupních informací. Mezi tyto informace patří především druh nebezpečné chemické látky, její množství, způsob skladování, teplota, skupenství a případně další doplňující údaje. Dalšími důležitými faktory, pro správný výpočet, jsou rychlost a směr větru, teplota vzduchu a o jaký druh krajiny se jedná – otevřená krajina, les, město, otevřená vodní hladina, případně je možné zadat svou vlastní hodnotu dle koeficientu robustnosti [30,59].

Dále je třeba zadat, jak vysoká je oblačnost, vlhkost vzduchu, zda je inverze, či nikoliv. Důležitým faktorem, který je třeba určit je i tzv. třída stability prostředí, která nabývá hodnot A až F, kdy A označuje třídu vysoce nestabilní a F naopak vysoce stabilní [30,59].

V rámci ALOHA je třeba ještě zadat poměrně přesné údaje, které se vztahují ke zdroji úniku nebezpečné chemické látky. V programu je možné volit hned z několika zdrojů – zdroj přímý, kde můžeme určit, zda se jedná například o únik trvající nebo jednorázový a k tomu dodat další potřebné údaje, dále zda zdrojem je kaluž, ze které se látka odpařuje a její parametry, zda se jedná o nádrž, kde je třeba doplnit její rozměry (s tím, že pokud máme alespoň 2 z údajů jako je výška, šířka a objem nádoby, ALOHA umí třetí údaj sama vypočítat a doplnit) a posledním možným zdrojem úniku je potrubí, kdy je samozřejmě třeba taktéž dodat další potřebné údaje [59].

Jako poslední údaj, který do ALOHA zadáváme je způsob úniku, o kterých jsme hovořili výše. Po zadání všech těchto popsaných údajů, ALOHA zobrazí zóny ohrožení, které převede do jednoduchého grafického znázornění. Toto grafické znázornění lze díky programu MARPLOT převést do konkrétního mapového podkladu, kdy MARPLOT využívá k tomuto zobrazení Google Maps. V souvislosti s ALOHA a MARPLOT je třeba zmínit ještě program CameoChemicals, který je s ALOHA propojen a je možné si zde najít bližší informace k dané chemické látce a jejím vlastnostem [59].

#### **4.2.2 CameoChemicals**

CameoChemicals je databází nebezpečných chemických látek. Jak bylo zmíněno výše, tato databáze je propojena s programem ALOHA a při jejím otevření se zobrazují tři základní moduly, a to konkrétně Search, My Chemicals a Reactivity. Jak název samotného programu a modulů napovídá, CameoChemicals je, stejně jako ALOHA, v anglickém jazyce [42] [58].

První z uvedených modulů Search je určen pro vyhledávání nebezpečných chemických látek v databázi CameoChemicals. Látky je možné vyhledávat dle několika parametrů, a to je název látky, zadáním kódů CAS nebo zadáním UN/NA kódů [42,58].

Poslední z modulů Reactivity je zajímavý především tím, že umožňuje zkoumat látky z hlediska potencionálních rizik, pokud dojde ke styku dvou a více nebezpečných chemických látek a k jejich případné následné reakci. Zde je ovšem nutné zdůraznit, že tento modul je navázaný na předchozí a bez zadání látek do modulu MyChemicals není funkční. Po úspěšném propojení s předchozím modulem ovšem dokáže zjistit reaktivitu zadaných látek a zároveň zobrazí dokumentaci k případné nově vzniklé látce nebo látkám [42,58].

V této práci je program CameoChemicals použit k doplnění informací o jednotlivých látkách např. určení hodnoty jejich AEGL, LEL apod.

### 4.2.3 MARPLOT

Softwarový nástroj MARPLOT patří do stejné skupiny nástrojů jako ALOHA a CameoChemicals a tudíž je s nimi propojen. Jeho název vychází ze zkratky „*Mapping Application for Response, Planning, and Local Operation Tasks*“ a již z něj je patrné zaměření tohoto nástroje. MARPLOT je mapovou aplikací a jako základ dnes užívá převážně Google Maps, kde umožňuje jak tzv. street zobrazení, tak i zobrazení satelitní. Je to skvělý pomocný nástroj, který umožňuje převedení simulace z ALOHA na mapový podklad, a tudíž zpřesnění představy a důsledků mimořádné události [60,61].

Program byl vyvinut, stejně jako oba předchozí programy, ve Spojených státech amerických, a tudíž pro oblast USA má větší množství funkcionalit, které ovšem na naše podmínky užít nelze. Mezi tyto funkcionality patří například demografické informace o vybrané oblasti a dopad události na zasažené obyvatelstvo, nouzové kontakty či plány daných lokalit. Kromě toho mohou být na mapách zobrazeny oblasti kontaminované možnými nebo skutečnými scénáři uvolňování chemických látek, aby se určily možné dopady a pomohly uživatelům při rozhodování o stupni nebezpečí, které úniky představují [60,61].

V práci je program MARPLOT využit k přenesení výsledků modelací z ALOHA na mapový základ.

#### 4.2.4 RMP\*Comp

Program RMP\*Comp je software, který je volně k dosažení a jeho provozovatelem je v současnosti EPA (*United States Environmental Protection Agency*) a je taktéž v anglickém jazyce. Přístup do tohoto programu je umožněn pomocí internetového prohlížeče a v současnosti je kompatibilní s Explorerem, Mozilla Firefox, Chrome a Safari. Dříve bylo umožněno si program stáhnout do svého počítače, to ovšem v současnosti již není možné [63,64].

Program v porovnání s předchozími obecně neposkytuje takové možnosti simulací úniků nebezpečných chemických látek, nicméně jej lze použít jako vhodný doplněk pro ověření výsledků. Jeho databáze je také oproti CameoChemicals značně omezena, takže ověření výsledků pomocí tohoto programu se může vztahovat pouze na některé látky. RMP\*Comp ovšem nabízí možnost vybrat si, zda chceme modelovat únik čisté látky, případně směs hořlavých látek. Při modelaci samotného úniku, je zde také možné zvolit si, zda chceme modelovat nejhorší možný scénář, případně jiný, alternativní [50].

Aby bylo možné modelaci zadat, je třeba znát druh nebezpečné látky, jejíž únik chceme modelovat, její koncentraci, teplotu, jaké množství látky uniklo a do jakého prostředí (zde je možné si vybrat, zda se jedná o město – „urban“, či venkov – „rural“). Jako další možnosti navíc se nabízí zaškrtnutí úniku látky do zkosené oblasti nebo uvnitř budovy [64].

Po zadání následujících údajů program vypočítá odhadovanou vzdálenost, kde se budou projevat toxické vlastnosti látky, dobu úniku, rychlost, jakou látka unikala apod. Je třeba zdůraznit, že RMP\*Comp počítá obecně s větrem o rychlosti 1,5 m/s a teplotou okolního prostředí 25 °C [64]. V práci je výše uvedený program využit pro srovnání zón, se zónami, které určila ALOHA a TerEx.

#### 4.2.5 TerEx

TerEx je softwarový nástroj, který byl vyvinut v České republice. Jeho název je zkratkou pro Teroristický Expert a obecně je tento program určen k rychlému odhadu a vyhodnocení následků průmyslových havárií, úniků nebezpečných chemických látek, teroristických útoků, případně útoků chemickými, biologickými nebo jadernými zbraněmi. V současnosti je program hojně využíván především IZS a armádou, neboť je schopen poskytovat výsledky i při neúplném množství vstupních informací [65].

Nespornou výhodou, kromě českého jazyka tohoto programu, je model Průvodce pro rychlý odhad, který umožňuje bez hlubší znalosti problematiky vyhodnotit dopady a projevy mimořádné události. Navíc je zde i možnost přidat mimořádnou událost do Databáze mimořádných událostí a kdykoliv v budoucnosti tuto událost vyhledat provést porovnání s událostí jinou [65].

Software TerEx je mimo jiné také napojen na geografický informační systém a Google Maps, takže je možné výsledky převést na mapový podklad a udělat si tak ucelenější přehled o celé mimořádné události [65].

Tento program v rámci modelací poskytuje poměrně velké množství důležitých informací, které jsou vhodné pro včasné řešení na místě mimořádné události. Mezi tyto informace patří například grafy časové závislosti úniku, nezbytné evakuace, letální dávky a koncentrace apod. [65,66]. V práci je program TerEx použit k vytyčení zón úniku a ke srovnání s výsledky z ALOHA a MARPLOT.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Podkladová data

Jako podkladová data jsou převážně využity dva základní dokumenty, a konkrétně Bezpečnostní program prevence závažné havárie Messer Technogas s.r.o. z roku 2018 a Posouzení rizik závažné havárie, taktéž z roku 2018. Dle dostupných informací se nejbližší obytná zástavba nachází zhruba 560 m jihozápadně ve směru Kladno – Buštěhrad (na mapě níže značeno červeně) a dále 665 m západně v oblasti Kladno – Dubí, Dříň (značeno modře). Tuto zástavbu tvoří převážně rodinné domy. Dále se ve vzdálenosti 165 m nachází ubytovna Jiří Obrusník (značeno zeleně). Co se týče rizik pro oblast životního prostředí, tak přímo s areálem nesousední žádné vodní plochy. Nejbližší vodní plocha se nachází ve vzdálenosti 525 m v podobně retenční nádrže, dále ve vzdálenosti 770 m od plínny se nachází Buštěhradský potok (značeno oranžově). Podnik přímo sousedí s lesním porostem ve vzdálenosti 80 m a jako poslední je třeba zmínit ÚSES – lokální biocentrum v lokalitě U Jana ve vzdálenosti 805 m [37,67].



Obrázek 8 - Okolí podniku [53]

Areál se v současnosti skládá ze dvou hal, tří skladů a volného prostranství. Podrobný obrázek je možné nalézt v Příloze č. 1. Obě haly slouží především jako plnárny technických plynů, a to konkrétně kyslíkem, dusíkem, argonem a oxidem uhličitým, a to při provozní teplotě plnění cca 15 °C a tlaku 15–30 MPa. Nádoby s těmito plyny se nachází vně haly v podobě velkých zásobních tanků válcovitého tvaru o velikosti zhruba 4×1,6 m. Dále tyto haly slouží jako technické a sociální zázemí pro zaměstnance, kterých je na jedné směně vždy jedenáct. První z venkovních skladů slouží pro uskladnění amoniaku, oxidu uhličitého a propan-butanu. Druhý ze skladů slouží jako sklad a plnárna technických plynů kyslíku a oxidu dusného. Poslední z venkovních skladů slouží jako sklad toxických látek, konkrétně oxidu siřičitého [37].

Volné prostranství slouží převážně k uskladnění tlakových lahví, a to buď prázdných nebo naplněných, které jsou ovšem dle povahy plynu v nich skladovány odděleně. Takto na volném prostranství jsou skladovány vodík, acetylen a motorová nafta, která se nachází v jihovýchodní části areálu u vrátnice, zcela oddělena od skladů s plyny. První následující tabulka uvádí celkové množství, druh látky a skupenství, ve kterém je v rámci Messer Technogas s.r.o. skladována a využívána, druhá tabulka pod ní uvádí maximální množství látek dle místa, kde jsou skladována [37,67].

Tabulka 14 – Celkové množství a druh látek skladovaných areálu [67]

Látka	Množství (kg)	CAS číslo	Fyzikální forma látky
Kyslík	78 812	7782-44-7	kapalný + plynný
Acetylen	3 960	74-86-2	rozpuštěný
Vodík	72	1333-74-0	plynný
Propan-butan (popř. propan)	2 000	Směs (74-98-6)	zkapalněný pod tlakem
Propylen	972	115-07-1	zkapalněný pod tlakem

Oxid dusný	3 000	10024-97-2	plynný
Amoniak	6 560	7664-41-7	zkapalněný pod tlakem
Oxid siřičitý	24 360	7446-09-5	zkapalněný pod tlakem
Oxid uhelnatý	25	630-08-0	plynný
Nafta motorová	574	směs	kapalný

Tabulka 15 – Maximální množství látek dle místa a způsobu skladování [67]

Umístění	Plyn	Rozsah balení plynů [kg]	Počet nádob [ks]	Celkem plynu/látky/velikost balení[kg]	Celkem plynu/látky[kg]
Zásobníky	kyslík	21 970+38 840	2	60 810	60 810
	dusík	13 970+24 260	2	38 230	38 230
	argon	32 730+20 980	2	53 710	53 710
	oxid uhličitý	15 800+23 300 +27 910	3	67 010	67 010
Zpevněná plocha	kyslík 50/200	14,2	600	8 520	
	kyslík 20/200	5,6	120	672	
	kyslík 12x50/300	255	30	7 650	
	kyslík 10/150	2,2	100	220	17 062
	dusík 50/200	11,5	120	1 380	
	dusík 12x50/300	170	30	5 100	
	dusík 20/200	4,5	240	1 080	7 560
	helium 50/200	1,54	180	277	
	helium 12x50/300	27,6	5	138	415
	argon 50/200	17,8	144	2 563	
	argon 20/200	6,8	48	326	
	argon 12x50/300	303,6	10	3 036	5 925
	argon-směs 50/200	17,8	348	6 194	
	argon směs20/200	6,8	48	326	
	argon směs12x50/300	303,6	30	9 108	15 628
	acetylen 12x50 (svazek)	108	16	1 728	
	acetylen	10	150	1 500	
	acetylen	6	72	432	
	acetylen	4	48	192	
	acetylen	1,8	60	108	3 960
Vodík	0,8	60	48		
vodík – směs (N, Ar) 2 až 20 % vodíku	0,2	120	24	72	
Zastřešený sklad 1	oxid uhličitý	450	6	2 700	
	oxid uhličitý	6	30	180	
	oxid uhličitý	10	48	480	
	oxid uhličitý	20	120	2 400	
	oxid uhličitý	30	86	2 580	8 340
	propan-butan	33	30	990	
	propan-butan	10	101	1 010	2 000
	propylen	54	16	972	972

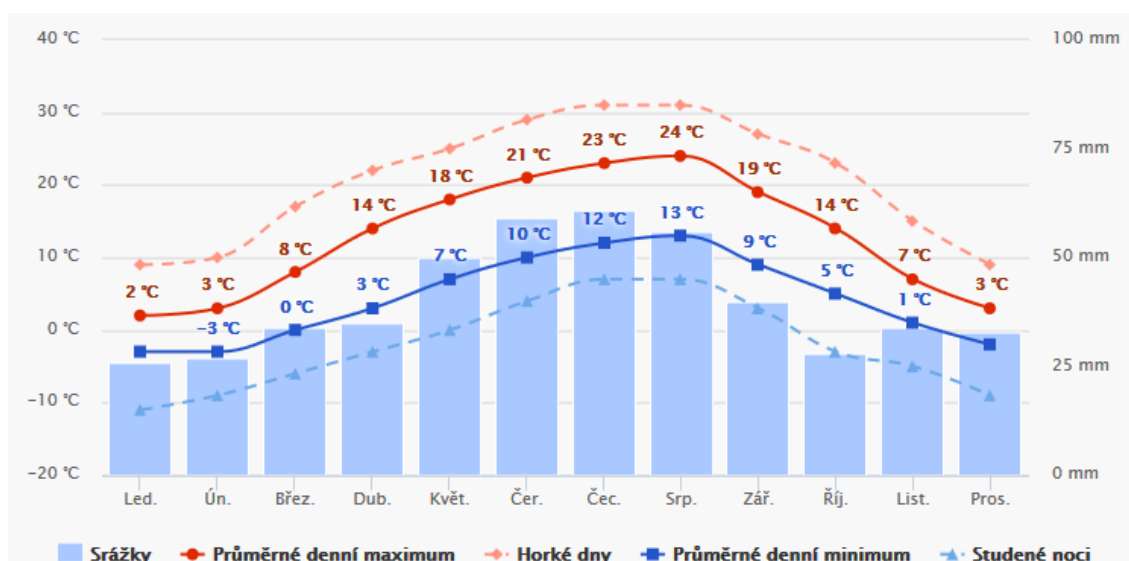


	amoniak TL	40	14	560	
	amoniak sudy	500	12	6 000	6 560
<b>Zastřešený sklad 2</b>	kyslík med. 50/200	14,2	48	682	
	kyslík med.2/200	0,5	120	60	
	kyslík med. 10/150	2,2	90	198	940
	oxid dusný 10/150	7,5	100	750	
	oxid dusný 50/200	37,5	60	2 250	3 000
skladování pomocného materiálu a nevyužitých zásob					
<b>Zastřešený sklad 3</b>	oxid siřičitý TL	40	24	960	
	oxid siřičitý TL	100	36	3 600	
	oxid siřičitý sudy	990	20	19 800	24 360
	oxid uhelnatý 10/200	5	5	25	25
<b>Autocisterny</b>	Kyslík	26 500	1	26 500	26 500
	Dusík	19 200	1	19 200	19 200
	Argon	33 600	1	33 600	33 600
	oxid uhličitý	24 000	1	24 000	24 000
<b>Zpevněná plocha</b>	nafta motorová	574	1	574	574

V rámci této práce je třeba se také zaměřit na zabezpečení ochrannými prostředky proti vzniku mimořádné události. V celém areálu se nachází pět hydrantů, kdy dva z nich jsou v hale č. 1, jeden v hale č. 2 a čtvrtý a pátý z nich se nachází na volném prostranství u haly č. 1 u vykládky lahví a minitanků. Dalším zabezpečovacím prostředkem je vodní sprcha, které jsou v celém areálu dvě, a to v halách č. 1 a č. 2. V areálu jsou navíc umístěny ruční hasicí přístroje (dále jen RHP), kdy osm z nich je práškových a tři sněhové a všechny se nacházejí buď v hale č. 1 nebo v hale č. 2 [37].

Důležitým faktorem, se kterým je třeba při modelacích úniku nebezpečné chemické látky počítat, jsou hydrometeorologické podmínky. Zde se vycházelo ze zjištění Českého hydrometeorologického ústavu pro Kladno-Buštěhrad, kdy toto měření větrné růžice je platné pro výšku měření 10 metrů nad zemí a označení světových stran je označení směru odkud vítr vane, což znamená, že účinky se budou projevovat na straně opačné. Potřebná data je možné nalézt v Příloze č. 3, kdy obrázek ukazuje četnosti větru v procentech v návaznosti na třídy stability prostředí [37].

Dalšími údajem, se kterým je třeba pracovat, je průměrná denní teplota. V následujícím obrázku je pomocí červené plné čáry zobrazeno průměrné denní



Obrázek 9 - Průměrné teploty a srážky za posledních 30 let [36]

maximum v jednotlivých měsících v roce a pomocí plné modré čáry naopak denní minimum, modré sloupce pak označují průměrné srážky. Všechny tyto údaje jsou počítány průměrně za posledních 30 let [37].

Vzhledem ke skutečnosti, že v areálu nedochází k žádné výrobě, ale primárně k plnění a skladování nebezpečných chemických látek, je chyba a následný únik nebezpečné chemické látky nebo směsi, která by souvisela s výrobou, zcela irelevantní.

Důležitým a jedním z největších zdrojů rizika je samozřejmě únik nebezpečné chemické látky, která může být způsobena dalšími faktory, jako jsou chyba lidského faktoru, nedodržování bezpečnostních předpisů, nedostatečné revize opotřebených materiálů a zásobníků, nedostatečná kontrola těsnosti a integrity obalových materiálů, dopravní nehoda v areálu, požár, závada na elektroinstalaci, poškození zásobníků nárazem, případně sabotáž [37,67].

Jako možnost vzniku mimořádné události se tedy nejpravděpodobněji může jevit ta skutečnost, že dojde k poškození některého ze zásobníků a následnému úniku chemické látky. Jako další možný zdroj ohrožení, můžeme považovat

nehodu při manipulaci s tlakovými lahvemi pomocí vysokozdvížných vozíků, případně nehodu při manipulaci s autocisternou nebo nákladním automobilem. Silniční autocisterny mohou v jednom okamžiku pojmout až 26 500 kg zkapalněného plynu [37,67].

Jako nejnebezpečnější látky, nacházející se v areálu lze jednoznačně určit amoniak a oxid siřičitý. Je samozřejmě důležité vzít v úvahu i tu skutečnost, že v areálu plnárny se nachází obrovské množství kyslíku, který je velice silným oxidačním činidlem, a tudíž v případě, že by došlo ke smísení s některými skladovanými látkami, mohla by tato skutečnost mít za následek značně negativní reakce. Kyslík navíc podporuje hoření, takže v případě požáru může dojít k jeho rychlejšímu šíření, k vyšší teplotě plamene, a navíc k poklesu teploty potřebné ke vznícení, což může mít za následek zahoření dalších skladovaných látek a směsí [52].

Obecně jako za největšího iniciátora vzniku požáru, můžeme považovat únik acetyleny, který může vést s největší pravděpodobností ke vzniku úniku typu Fire Ball a Jet Fire. Z tohoto důvodu budou v rámci modelací modelovány jak úniky jednotlivých látek, tak i jejich následný požár a k modelacím byly vybrány acetylen, amoniak a oxid siřičitý [67].

Pro samotné modelace byly stanoveny fiktivní průměrné hodnoty. Atmosférické podmínky, v jednotlivých modelacích, byly zvoleny běžný letní den, teplota 20 °C, síla větru 2 m/s, směr větru z východu, třída atmosférické stálosti D, oblačnost průměrná.

## **5.2 Předběžná a multikriteriální analýza**

V rámci předběžné a multikriteriální analýzy plnárny technických plynů Messer Technogas s.r.o. byly zvoleny nejrizikovější faktory a události, které by mohly vést k úniku nebezpečných chemických látek a směsí, které jsou

v kladenské pobočce skladovány. Rizika byla v rámci této práce rozdělena na vnější a vnitřní.

### **5.2.1 Předběžná analýza**

V následující předběžné analýze byly typy ohrožení rozděleny na vnější a vnitřní faktory. Jednotlivé výsledky jsou seřazeny do tabulek sestupně dle výsledného rizika. Tyto výsledky budou následně na závěr práce porovnány s výsledky multikriteriální analýzy.

### **5.2.2 Vnější ohrožení podniku**

Jako vnější ohrožení podniku pokládáme především ty faktory, které vznikají mimo areál plnírny plynů. Mezi tyto skutečnosti považujeme ty které by svým charakterem mohly negativně ovlivnit chod podniku, těsnost obalových materiálů nebo jinak zapříčít uvolnění nebezpečných chemických látek do okolí.

Mezi tyto faktory mohou patřit například náhlé a nepředvídatelné atmosférické jevy, silný vítr, působení slunečního záření, teploty vzduchu, povodně apod.

Další faktory, které mohou negativně ovlivnit vývoj událostí, jsou spojené s lidskou činností jako je například pád letadla, neboť na Kladně se nachází malé letiště, zvláštní povodně, exploze nebo požár v okolí podniku, případně terorismus.

Požáry obecně představují opravdu velké nebezpečí, protože většina materiálů, která je na pobočce v Kladně skladována, jsou látky hořlavé. Pokud by došlo k požáru těchto látek, následky spojené s takovou událostí by pravděpodobně byly velice rozsáhlé a negativní.

V následující tabulce je uveden výpočet rizika pro dané druhy ohrožení. Tabulka je seřazena sestupně od nejvyššího rizika po nejnižší.

Tabulka 16 - Vnější ohrožení analýza rizik [53]

Druh ohrožení	Vzorec výpočtu Riziko = pravděpodobnost × následek	Výsledné hodnota rizika
Požár velkého rozsahu	$R = 5 \times 4$	20
Exploze mimo areál	$R = 3 \times 4$	12
Přívalové deště	$R = 5 \times 2$	10
Silný vítr	$R = 5 \times 2$	10
Zvláštní povodeň	$R = 3 \times 3$	9
Pád letadla do areálu	$R = 2 \times 4$	8
Pád meteoritu	$R = 2 \times 4$	8
Atmosférické výboje	$R = 2 \times 4$	8
Teroristický útok	$R = 2 \times 4$	8
Narušení dodávek elektrické energie	$R = 3 \times 2$	6
Přirozená povodeň	$R = 3 \times 2$	6
Účinky železniční nebo silniční dopravy	$R = 2 \times 3$	6
Zemětřesení	$R = 2 \times 3$	6
Sněhová kalamita	$R = 5 \times 1$	5
Vysoké teploty nad 65 °C	$R = 1 \times 3$	3

### 5.2.3 Vnitřní ohrožení podniku

Vnitřní ohrožení podniku jsou takové faktory, které vznikají uvnitř podniku při jeho každodenním chodu. Můžeme sem zařadit technické závady, chyby zaměstnanců nebo třeba i sabotáž. Plnírna technických plynů pracuje s mnoha nebezpečnými látkami a tento druh práce klade velký důraz na dodržování předpisů a technické dokumentace. Nicméně i když jsou opatření sebelepší, mohou nastat nepředvídatelné situace, které pak vedou k ohrožení jak samotných osob uvnitř objektu, tak i k případnému ohrožení okolí areálu.

Tabulka 17 – Vnitřní ohrožení analýzy rizik [53]

Druh ohrožení	Vzorec výpočtu Riziko = frekvence × následek	Výsledné hodnota rizika
Únik chemické látky	$R = 6 \times 4$	24
Požár velkého rozsahu	$R = 5 \times 4$	20
Náraz při neopatrné manipulaci	$R = 6 \times 3$	18
Poškození obalových materiálů	$R = 6 \times 3$	18
Exploze uvnitř areálu	$R = 4 \times 4$	16
Dopravní nehoda uvnitř areálu	$R = 5 \times 3$	15
Nedodržení bezpečnostních předpisů	$R = 6 \times 2$	12
Poškození potrubí	$R = 4 \times 3$	12
Převrácení automobilové cisterny	$R = 3 \times 4$	12
Technická závada na zařízení	$R = 4 \times 3$	12
Uvolnění a pád zásobníku	$R = 3 \times 4$	12
Nedostatečná revize zařízení	$R = 5 \times 2$	10
Nezjištěná koroze na obalových materiálech	$R = 5 \times 2$	10
Poškození nádob letícími předměty (úlomky, trosky)	$R = 3 \times 3$	9
Manipulace s otevřeným ohněm	$R = 2 \times 4$	8
Sabotáž	$R = 2 \times 4$	8
Selhání bezpečnostních zařízení	$R = 2 \times 2$	4

## 5.2.4 Detailní multikriteriální analýza vnější faktory ohrožení

V následující tabulce jsou seřazeny jednotlivé druhy vnějšího ohrožení, dle výpočtu výsledného rizika, od nejvyššího po nejnižší.

Tabulka 18 - Multikriteriální analýza vnější faktory [53]

Druh ohrožení	Výsledné riziko	Slovní komentář	Navrhovaná opatření
Požár velkého rozsahu	43,2	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek.	Kontaktovat HZS a chladit zásobní nádoby.
Silný vítr	40	Může mít vliv na uvolnění předmětů, které mohou za letu poškodit zásobníky.	Zajistit, aby nedošlo k poškození obalů letícími předměty (přesunout zásobníky do krytých skladů).
Exploze mimo areál	38,4	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek.	Kontaktovat HZS a chladit zásobní nádoby, zkontrolovat integritu obalů.
Přívalové deště	25,6	Mohou způsobit zatopení areálu a teoreticky porušení integrity obalů.	Přesun zásobníků do bezpečné zóny.
Pád letadla do areálu	25,2	Může způsobit zahoření a únik skladovaných látek. V Kladně se nachází letiště, takže je zde určitá pravděpodobnost.	N/A
Sněhová kalamita	16	Může způsobit pád sněhu na zásobníky ze střechy a narušit tak jejich integritu. Případně může vést ke vzniku dopravní nehody v areálu.	Pravidelné odstraňování sněhové pokrývky ze střech, úprava silničních komunikací v areálu.
Teroristický útok	13,6	Nízké riziko vzniku, ale následky mohou mít závažné.	Dostatečná bezpečnostní opatření pro zamezení vstupu cizí osoby do areálu.

<b>Účinky železniční nebo silniční dopravy</b>	<b>9,6</b>	Riziko zanedbatelné, v blízkosti areálu se nachází železniční trať, ale ta se již nevyužívá a silnice č. 61 je od areálu poměrně vzdálená.	N/A
<b>Narušení dodávek elektrické energie</b>	<b>8</b>	Mohou mít vliv na chod plnění a proces plnění, při kterém by mohlo dojít k úniku látek.	Zajištění dodávek elektrické energie pomocí záložních dieselagregátů.
<b>Zemětřesení</b>	<b>6,6</b>	Nízké riziko vzniku, v našich podmínkách se téměř nevyskytují.	Zajištění zásobníků proti pohybu.
<b>Atmosférické výboje</b>	<b>5,6</b>	Blesk může způsobit zahoření skladovaných látek nebo jejich okolí.	Zajistit dostatek RHP, při požáru chladit zásobníky.
<b>Vysoké teploty nad 65 °C</b>	<b>3,2</b>	Velmi nízké, téměř nulové riziko. V našich podmínkách se tak vysoké teploty nevyskytují.	Chlazení zásobníků proudem vody.
<b>Pád meteoritu</b>	<b>0,8</b>	Může způsobit zahoření a únik skladovaných látek.	N/A

### 5.2.5 Detailní multikriteriální analýza vnitřní faktory ohrožení

V následující tabulce jsou seřazeny jednotlivé druhy vnitřního ohrožení, dle výpočtu výsledného rizika, od nejvyššího po nejnižší.

Tabulka 19 - Multikriteriální analýza vnitřní faktory [53]

<b>Druh ohrožení</b>	<b>Výsledné riziko</b>	<b>Slovní komentář</b>	<b>Navrhovaná opatření</b>
<b>Únik chemické látky</b>	<b>57,6</b>	Při úniku chemické látky ze zařízení dochází k vysokému ohrožení okolí.	Kontaktovat HZS, zamezit co nejrychleji úniku chemické látky.
<b>Požár velkého rozsahu</b>	<b>46,8</b>	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek.	Kontaktovat HZS, okamžitě začít likvidovat požár a chladit zásobní nádoby.



<b>Manipulace s otevřeným ohněm</b>	<b>41,4</b>	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek. Může dojít k jejich zahoření.	Zákaz manipulace s otevřeným ohněm a kouření v celém areálu.
<b>Exploze uvnitř areálu</b>	<b>36</b>	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k domino efektu.	Kontaktovat HZS, okamžitě začít likvidovat požár, chladit zásobní nádoby a zkontrolovat integritu obalů.
<b>Technická závada na zařízení</b>	<b>36</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Provádění pravidelných a důkladných kontrol a servisů zařízení.
<b>Nedodržení bezpečnostních předpisů</b>	<b>32</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k poškození obalových materiálů, případně jiné negativní události	Pravidelná školení o bezpečnosti práce důsledná kontrola dodržování předpisů.
<b>Dopravní nehoda uvnitř areálu</b>	<b>30,4</b>	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Úprava maximální povolené rychlosti v areálu, dodržování dopravních předpisů.
<b>Náraz při neopatrné manipulaci</b>	<b>30</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k poškození obalových materiálů.	Zajistit dodržování bezpečnosti práce a manuálů pro zacházení s nebezpečnými látkami.
<b>Selhání bezpečnostních zařízení</b>	<b>29,4</b>	Může mít vliv na pozdní odhalení mimořádné události, možnost je ovšem velmi nízká.	Pravidelné revize bezpečnostních zařízení.
<b>Nedostatečná revize zařízení</b>	<b>25,6</b>	Má zásadní vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Provádění pravidelných a důkladných kontrol a servisů zařízení.
<b>Poškození obalových materiálů</b>	<b>23,4</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Provádění pravidelných a důkladných kontrol a revizí obalových materiálů.
<b>Nezjištěná koroze na obalových materiálech</b>	<b>19,8</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Provádění pravidelných a důkladných kontrol a revizí obalových materiálů.

<b>Poškození potrubí</b>	<b>19,2</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Provádění pravidelných a důkladných kontrol a servisů potrubí.
<b>Sabotáž</b>	<b>17,6</b>	Může mít vliv na poškození obalových materiálů a způsobit únik látek do okolí.	Dostatečná bezpečnostní opatření pro zamezení vstupu cizí osoby do areálu.
<b>Převrácení automobilové cisterny</b>	<b>16</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Úprava maximální povolené rychlosti v areálu, dodržování dopravních předpisů.
<b>Uvolnění a pád zásobníku</b>	<b>10,4</b>	Má vliv na bezpečnost skladování látek, může dojít k úniku látek do okolí.	Důkladné zajištění zásobníků proti uvolnění.

### 5.2.6 Vyhodnocení analýz

V předchozích podkapitolách byly detailně rozebrány různé druhy ohrožení a míru rizika jakou pro plnění technických plynů Messer Technogas s.r.o. představují, které byly následně analyzovány v rámci předběžné analýzy a multikriteriální analýzy. Druhy ohrožení jsou rozděleny dle toho, zda se jedná o faktory vnější nebo vnitřní. V analýze vnějších faktorů jako největší hrozba vyšel požár velkého rozsahu, což je hrozba velmi závažného charakteru, neboť v areálu společnosti se nachází velká množství vysoce hořlavých látek, která pak mohou mít za následek výbuch a poškození bližšího i vzdálenějšího okolí areálu. Zvyšující se teplota v okolí zásobníků navíc může mít za následek samotný únik chemické látky, neboť zvyšujícím se tlakem v nádobách, může dojít k jejich roztržení a explozi. Jako největší zdroj ohrožení, související s vnitřními faktory, však vyšel únik chemické látky jako takové. Jeho skóre v multikriteriální analýze vyšlo na 57,6. To je v rámci analýzy jak vnějších, tak vnitřních faktorů vůbec nejvyšší skóre. Na základě těchto výsledků je více než jasné, že únik chemické látky z areálu je vůbec největší hrozbou pro okolí podniku. Zároveň výše

uvedená skutečnost slouží jako dobrý podklad pro modelace v následujících kapitolách.

Jako střední hrozby se jeví převážně ty okolnosti, které by mohly vést k poškození obalových materiálů nebezpečných látek a zapříčinit tak jejich únik do okolí, případně jako druhotný efekt zahořet. Jak bude možné vidět v rámci modelací v následujících kapitolách, nebezpečné látky se za příznivých podmínek mohou šířit i na poměrně velké vzdálenosti a tudíž může dojít k ohrožení běžného obyvatelstva nebo životního prostředí.

Nízké hrozby byly v rámci těchto analýz charakterizovány především těmi událostmi, které jsou spíše vzácné, jako třeba teroristický útok, sněhová kalamita apod. Tyto hrozby vyšly jako nižší stupeň ohrožení právě z toho důvodu, že jejich výskyt je velice nízký, i když jejich dopady, v případě že by nastaly, nejsou zcela zanedbatelné.

Jako téměř zanedbatelné vyšly hrozby typu vysoké teploty nad 65 °C, zemětřesení, pád meteoritu nebo účinky silniční a železniční dopravy. Tyto jevy jsou charakteristické tím, že je téměř nemožná šance, že by k těmto okolnostem došlo.

V rámci multikriteriální analýzy byl navíc přidán slovní komentář, jaký efekt a projevy by nastalá situace mohla mít v rámci areálu plnirny a byla též přidána doporučená opatření pro zamezení šíření mimořádné události nebo k jejímu úplné likvidaci.

Je důležité si povšimnout, že mnoho vnitřních zdrojů ohrožení souvisí s lidskou činností a chybou lidského faktoru. Jak bylo zmíněno v praktické části, lidský faktor je jednoznačně na prvním místě při vzniku mimořádných událostí. V rámci obou analýz vycházely tyto chyby jako poměrně závažné nebo střední riziko a tudíž by se předcházení vzniku těchto událostí mělo věnovat značnou pozornost.

Veškeré hrozby, které byly v rámci analýz studovány, představují riziko především pro podnik jako takový a pro způsob a bezpečnost jejich skladování. Řada hrozeb má jako přímý následek převážně únik skladovaných látek, s jejich případným zahořením. To je důvodem, proč jsou v rámci analýzy zkoumány především takové okolnosti, které mohou vést právě k uvolnění skladovaných látek a jejich následným havarijním projevům, kterým budou věnovány následující kapitoly.

Jako nejpravděpodobnější scénáře, které budou v rámci následných modelací uvažovány především skutečnosti, kdy by mohlo dojít ke vzplanutí skladovaných látek případně k úniku na základě poškození zásobníků.

K těmto skutečnostem, jak vyšlo v analýzách, by mohlo dojít převážně při požáru velkého rozsahu, jak v areálu, tak mimo něj nebo při neopatrné manipulaci s otevřeným ohněm, kdy dochází k celkovému ohřevu dané látky v zásobníku, zvýšení tlaku v něm a následné explozi. Dalším velmi pravděpodobným scénářem je poškození zásobníků a únik skladované látky. K takovému scénáři by mohlo dojít především v případě silného větru, dopravní nehody uvnitř areálu, neopatrné manipulaci v okolí nebo přímo se zásobníkem.

### **5.3 Modelace úniků nebezpečných chemických látek a směsí**

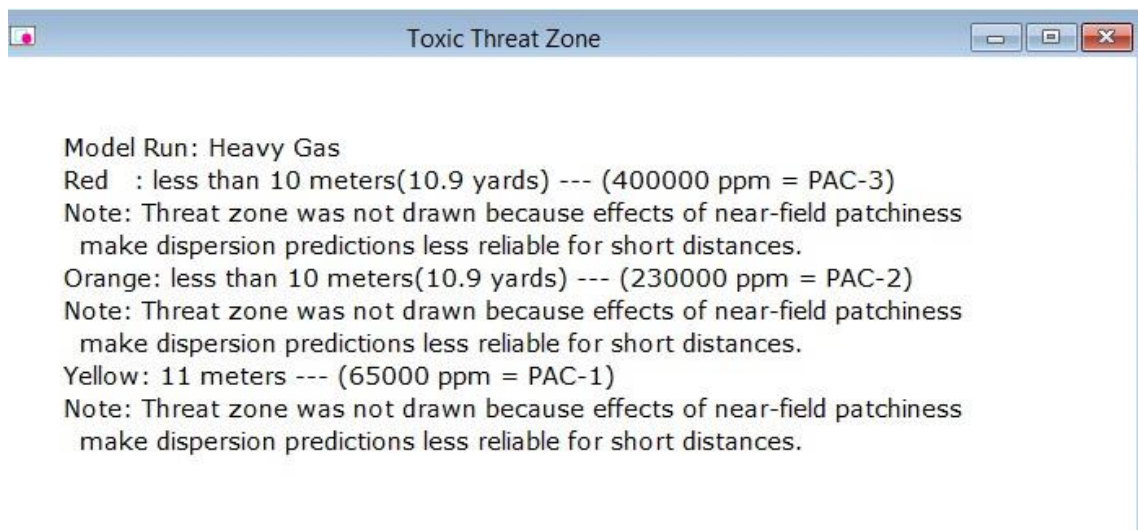
V následujících kapitolách budou modelovány nejpravděpodobnější scénáře úniků nebezpečných chemických látek z plnírny technických plynů Messer Technogas s.r.o. K těmto modelacím budou užity především nástroje ALOHA, MARPLOT, RMP\*Comp, TerEX a CameoChemicals (který slouží spíše jako doplněk k informacím o jednotlivých látkách). Modelovány budou tři skladované látky, které se z hlediska bezpečnosti a jejich havarijních projevů, zdají jako nejrizikovější. Vybranými látkami tedy jsou acetylen, amoniak a oxid siřičitý.

### 5.3.1 Únik acetylenu

Pro následující modelace jsou v ALOHA relevantní především modely úniku typu „Jet Fire“, BLEVE a obyčejný únik do prostředí. Tyto druhy úniků představují velké riziko především z toho důvodu, že acetylen je vysoce hořlavý, s nízkou iniciační teplotou samovznícení a tudíž může být iniciátorem tzv. domino efektu a představuje velký zdroj ohrožení. Obrázek se zadáním parametrů do ALOHA se nachází v Příloze č. 4.

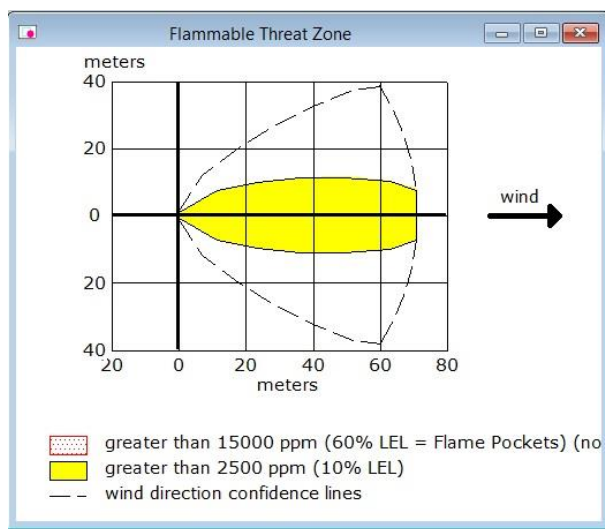
Jako atmosférické podmínky byl zvolen běžný letní den, teplota 20 °C, síla větru 2 m/s, směr větru z východu, třída atmosférické stálosti D, oblačnost průměrná, zásobník byl naplněn z 90 %, velikost zásobníku byla 0,22×1,3m, objem 50 l. Pro únik byla zvolena trhlina, kulatého tvaru o velikosti 2 cm.

Možných způsobů, jak by mohlo dojít k narušení zásobníku, je hned několik – neopatrná manipulace, pád tlakové lahve, koroze obalového materiálu. V tomto případě bylo jako příklad vybráno poškození v oblasti ventilu.

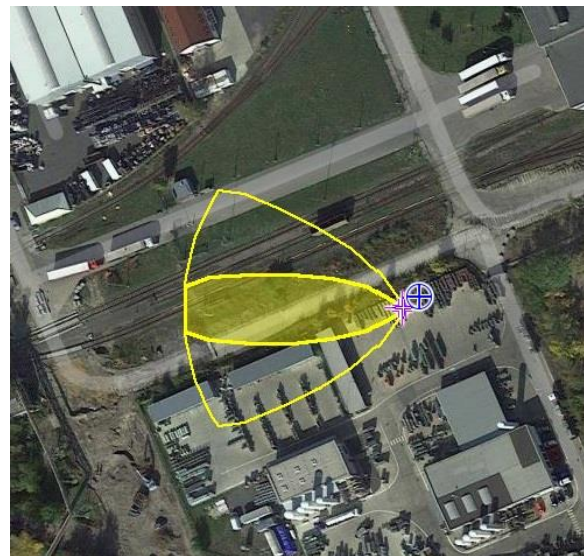


Obrázek 10 - Acetylen ALOHA threat zone obyčejný únik [53]

Na prvním obrázku je vidět obyčejný únik do okolí a vytyčené zóny ohrožení toxickým oblakem. Červená a oranžová zóna ohrožení činí méně než 10 m, žlutá méně než 11 m. Zóna ohrožení nebyl programem ALOHA nakreslena z důvodu že nebylo možné spolehlivě určit předpověď rozptylu na krátké vzdálenosti. Další obrázky, níže, ukazují vytyčené zóny ohrožené hořlavým oblakem par, nejdříve v ALOHA a pak přenesené do mapového podkladu díky MARPLOT. Jak můžeme na obrázku vidět, krajní zóny dosahují vzdálenosti až 75 m.



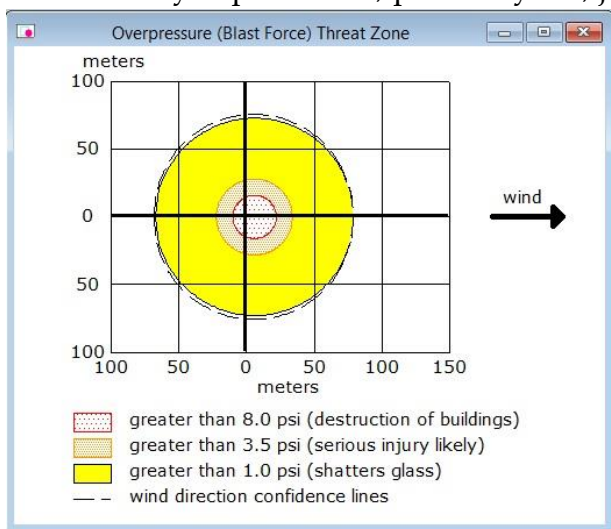
Obrázek 11 – Acetylen obyčejný únik: flammable area ALOHA [53]



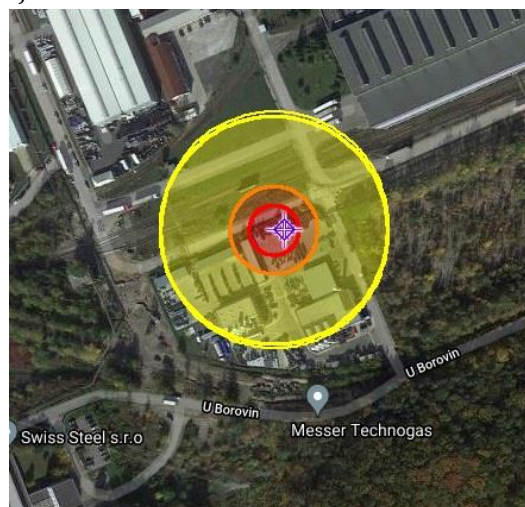
Obrázek 12 – Acetylen obyčejný únik: flammable area MARPLOT [53]



V případě přetlaku by havarijní projevy úniku acetyleny, dle výše nastavených podmínek, probíhaly tak, jak je možné vidět v obrázcích níže.

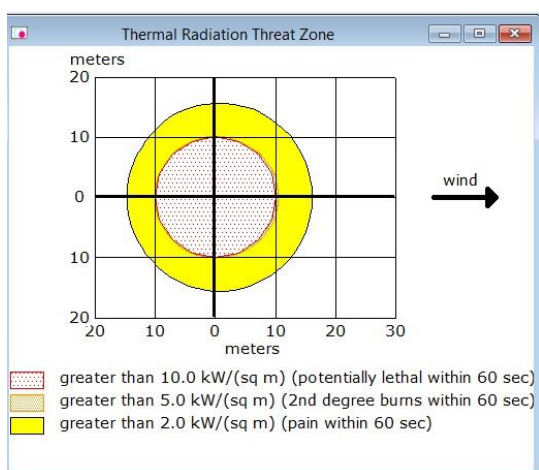


Obrázek 13 – Acetylen overpreassure ALOHA [53]

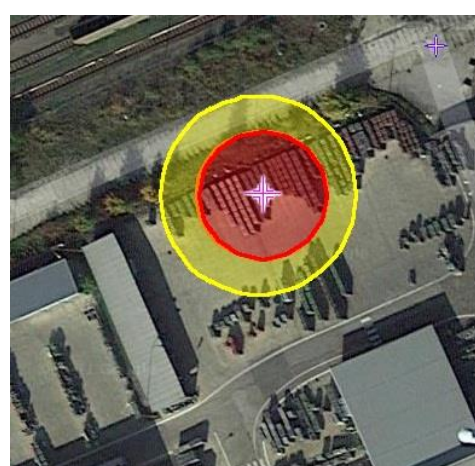


Obrázek 14 - Acetylen overpreassure MARPLOT [53]

Dalším modelovaným typem úniku je „Jet Fire“. Na obrázcích níže můžeme vidět, že průměr zóny tepelného ohrožení činí téměř 40 m. V obrázku z ALOHA je pak vidět, že osoby, které by se nacházely v první zóně, by pravděpodobně zemřely do jedné minuty a osoby ve druhé zóně by utrpěly minimálně popáleniny druhého stupně. Dále je pak opět výstup z ALOHA převeden na mapový podklad MARPLOT.

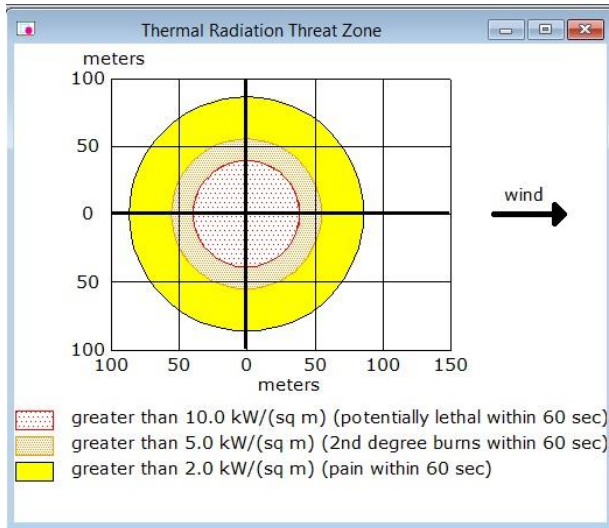


Obrázek 16 - Acetylen "Jet Fire" ALOHA [53]

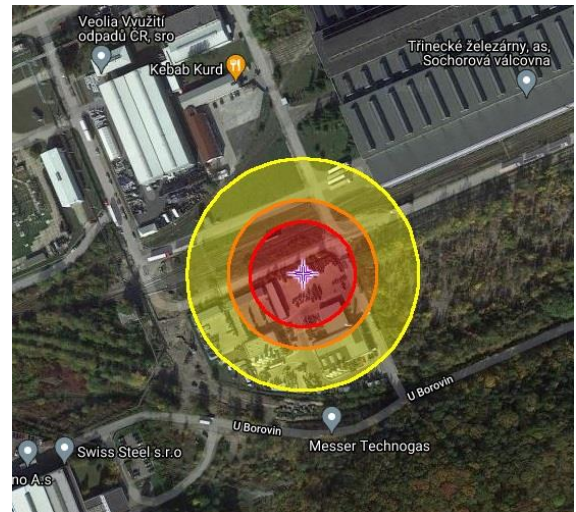


Obrázek 15 - Acetylen "Jet Fire" MARPLOT [53]

Dalším výstupem z ALOHA a MARPLOT je pak model typu „BLEVE“. Můžeme si povšimnout, že výsledky vycházejí srovnatelně jako u modelu „Jet Fire“, akorát průměr zón ohrožení je mnohem větší, neboť se pohybuje cca kolem 100 m.



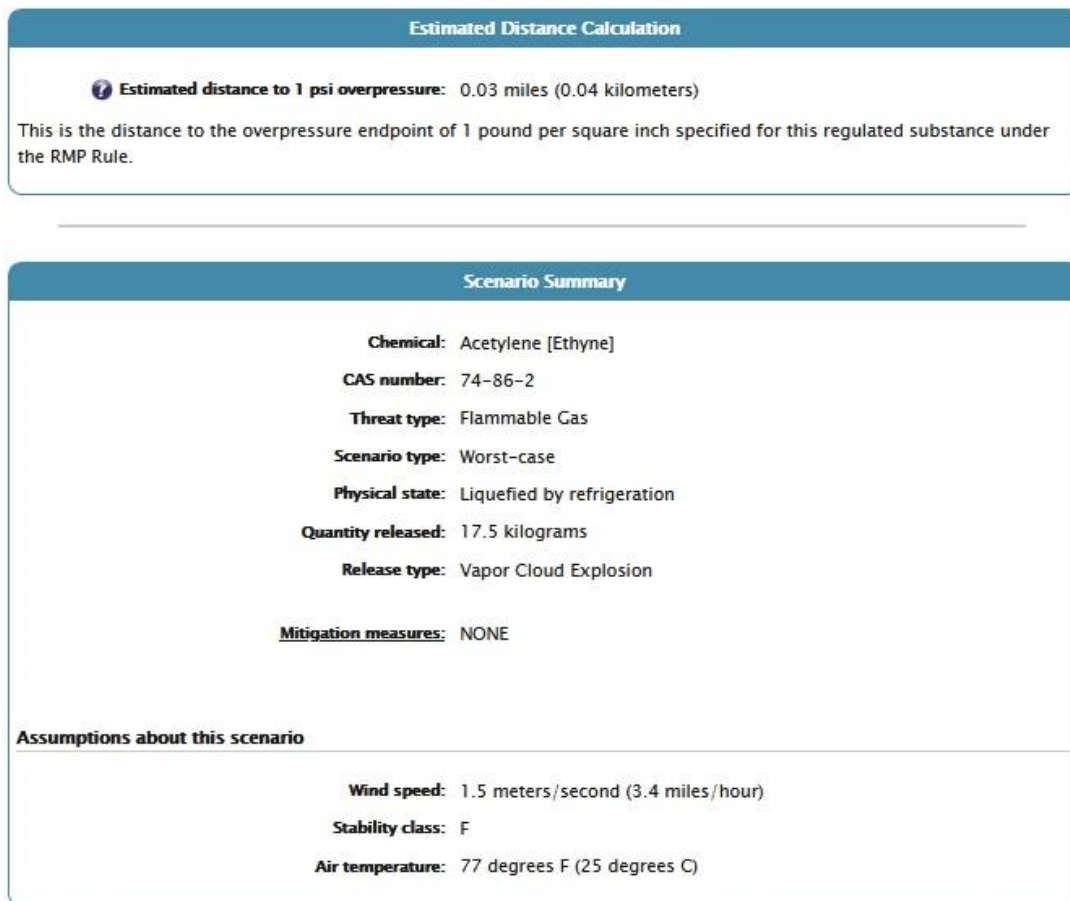
Obrázek 18 - Acetylen BLEVE ALOHA [53]



Obrázek 17 - Acetylen BLEVE MARPLOT [53]

Pro porovnání výpočtu ohrožené zóny jsme využili navíc ještě program RMP\*Comp, ale jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, výpočet RMP\*Comp je nepřesný a slouží opravdu jen k orientačnímu porovnání. Tento program odhadl zónu ohrožení na cca 0,04 km.

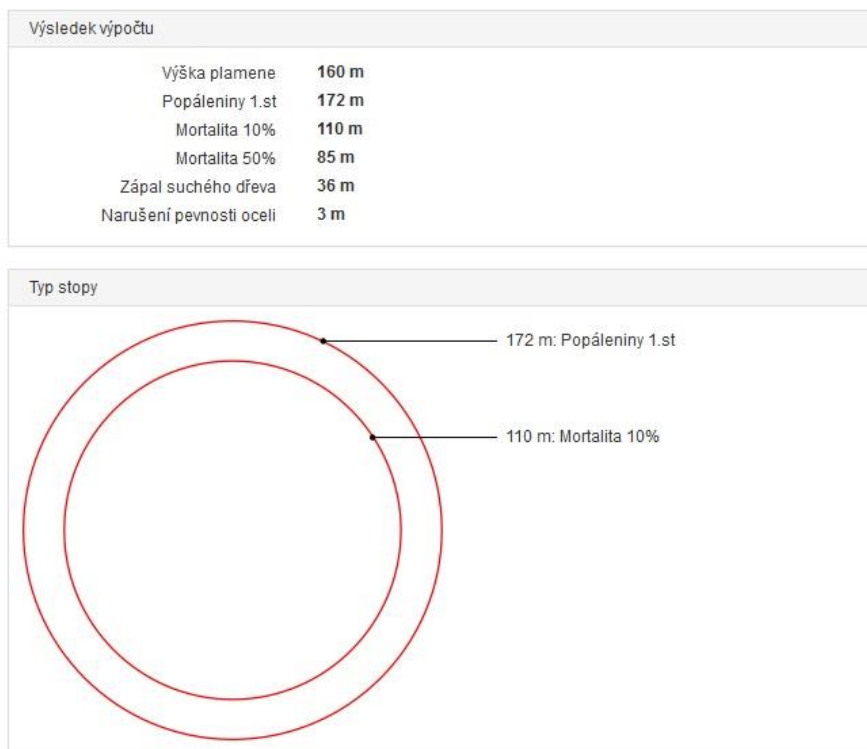




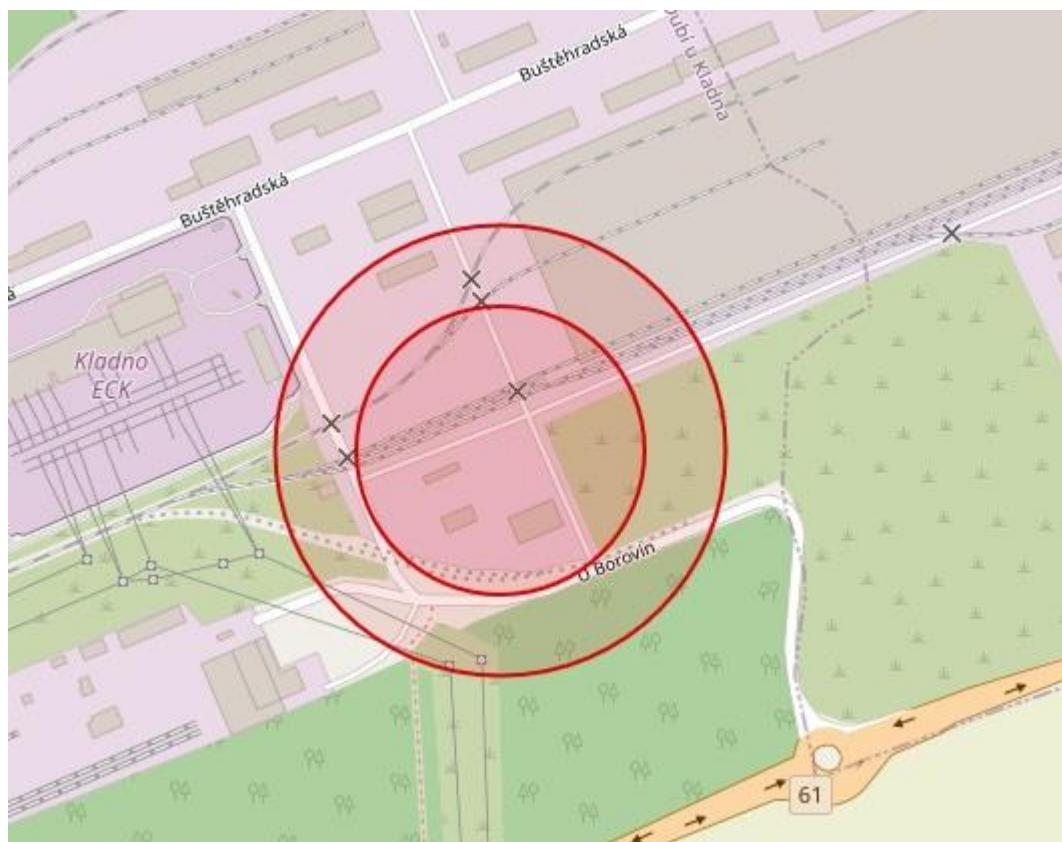
Obrázek 19 - Acetylen výpočet RMP\*Comp [53]

Jedním z dalších nástroj, který byl použit na modelaci úniku acetyleny je program TerEx. Ten poskytuje kromě možnosti promítnout si výsledek na mapu i možnost zobrazení detailních grafů. V programu TerEx bylo využito typu modelací „Jet Fire“ a DEGAS.

První z obrázků ukazuje vytyčení zón při úniku typu „Jet Fire“, můžeme si všimnout, že výška plamene by dosahovala 160 m, popáleniny prvního stupně by se nacházely u obětí ve vzdálenost 172 m, 10 % mortalita ve vzdálenosti 110 m a 50 % mortalita ve vzdálenosti do 85 m. Zajímavý je i fakt narušení oceli do 3 m, vzhledem ke skutečnosti, že uvažujeme o domino efektu u ostatních látek. Na dalším obrázku je výsledek přenesen na mapový podklad.



Obrázek 20 - Acetylen "Jet Fire" TerEx zóny [53]

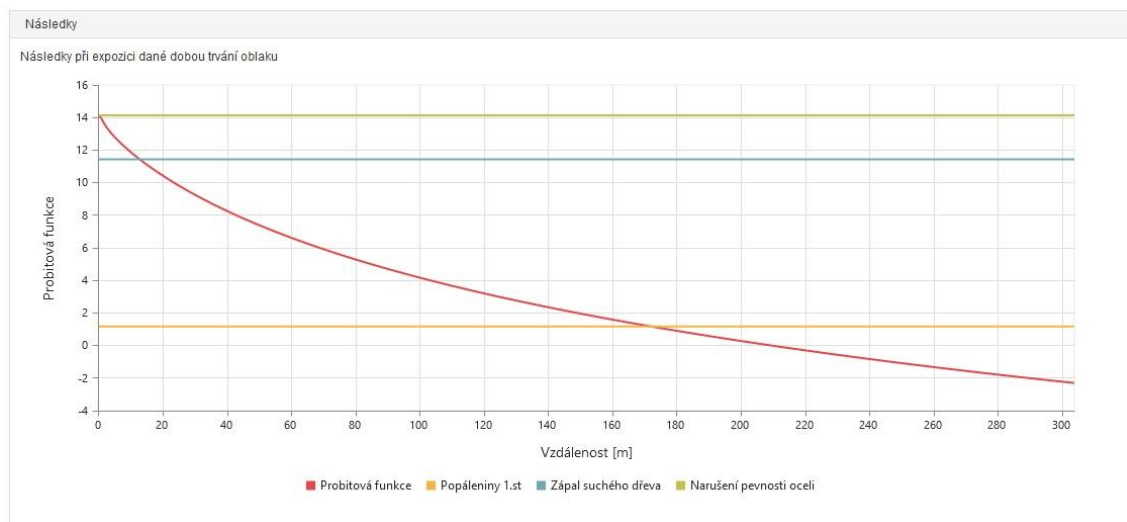


Obrázek 21 - Acetylen "Jet Fire" TerEx mapa [53]

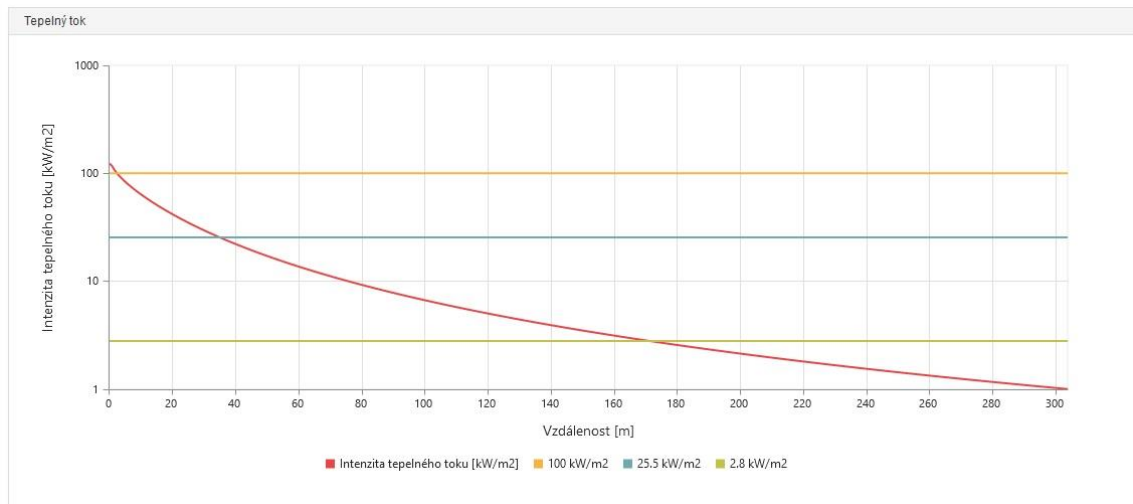
V následujících grafech z programu TerEx je znázorněna mortalita zasažených osob v procentech v porovnání se vzdáleností od místa výbuchu. Z grafu lze vyčíst, že mortalita do vzdálenosti zhruba 45 m je 100 % a se zvyšující se vzdáleností se snižuje. Na dalším grafu jsou znázorněny následky výbuchu dle expozice a doby trvání. Na posledním grafu můžeme vidět závislost intenzity tepelného záření ve vztahu ke vzdálenosti od místa iniciace.



Obrázek 22 - Acetylen graf mortality TerEx „Jet Fire“ [53]



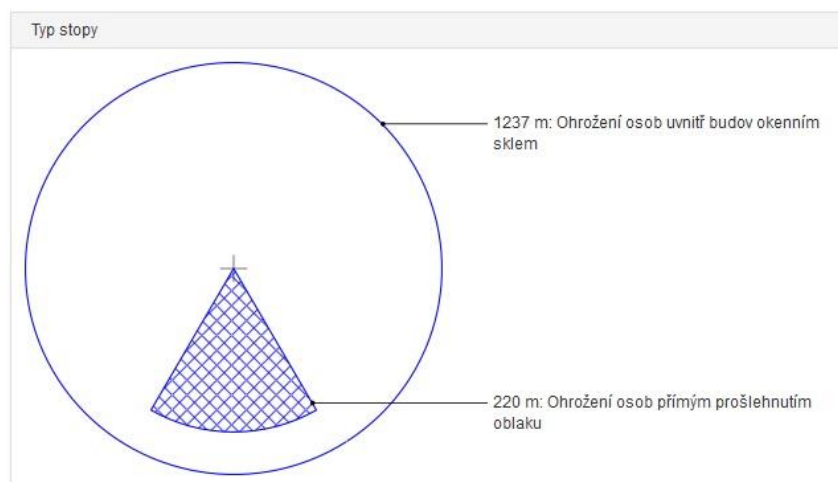
Obrázek 23 - Acetylen graf následků TerEx „Jet Fire“ [53]



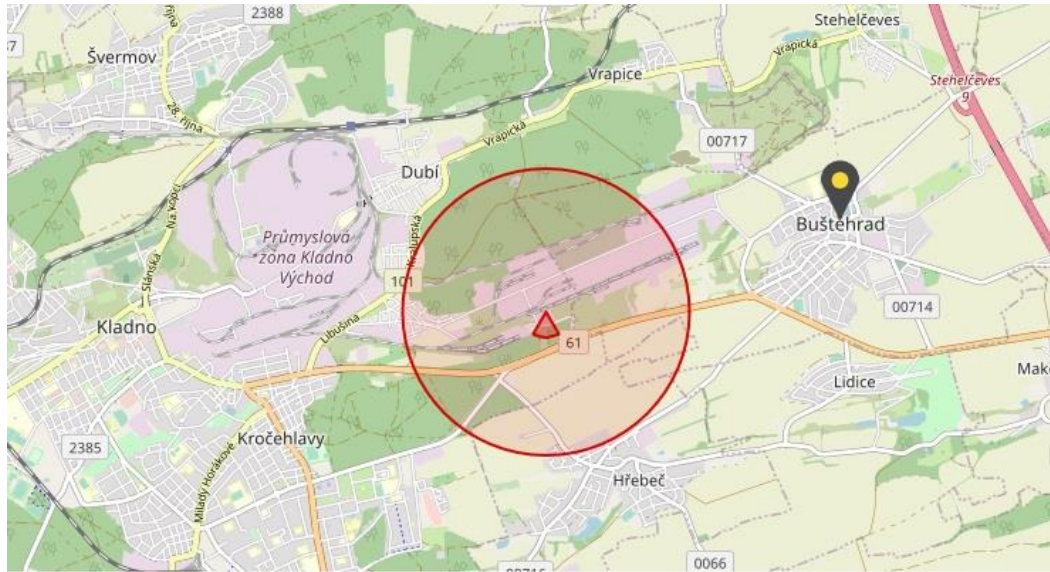
Obrázek 24 - Acetylen graf tepelného toku TerEx „Jet Fire“ [53]

Druhým z projevů, který byl modelován v programu TerEx byl DEGAS. První z obrázků opět ukazuje zóny ohrožení a vzdálenosti, ve kterých může dojít k poškození budov (447 m), ohrožení zasažených osob uvnitř budov okenním sklem (1237 m), ohrožení osob mimo budovy (667 m) a ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku (220 m). Další obrázek ukazuje zóny na mapě.

Výsledek výpočtu	
<b>Hodnocená látka nemá závažné toxické účinky na lidský organismus</b>	
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	220 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	667 m
Závažné poškození budov	447 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	1237 m

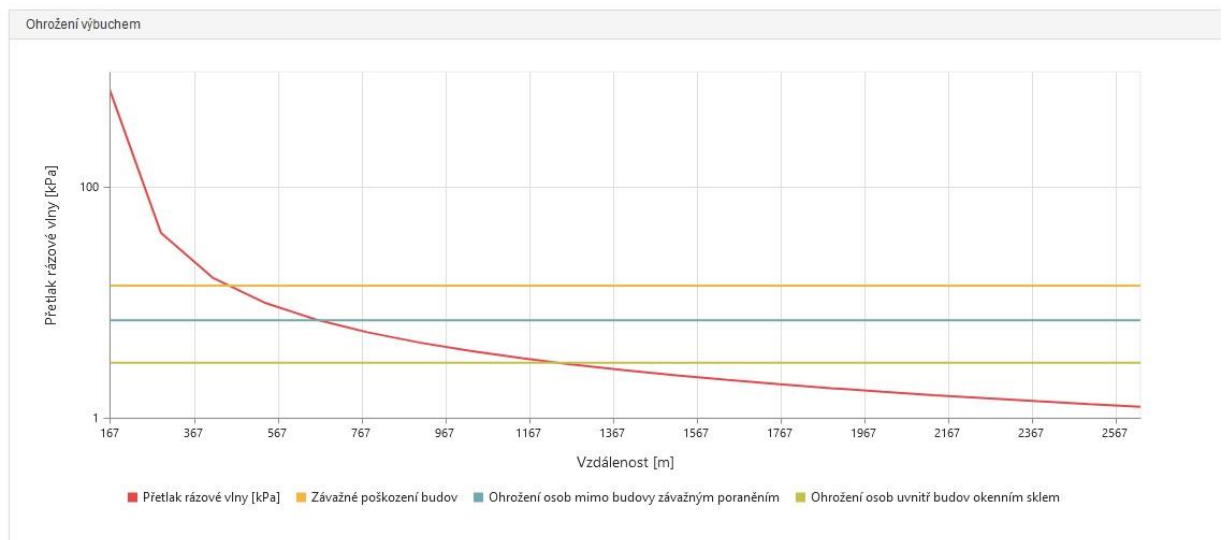


Obrázek 25 - Acetylen DEGAS zóny TerEx [53]

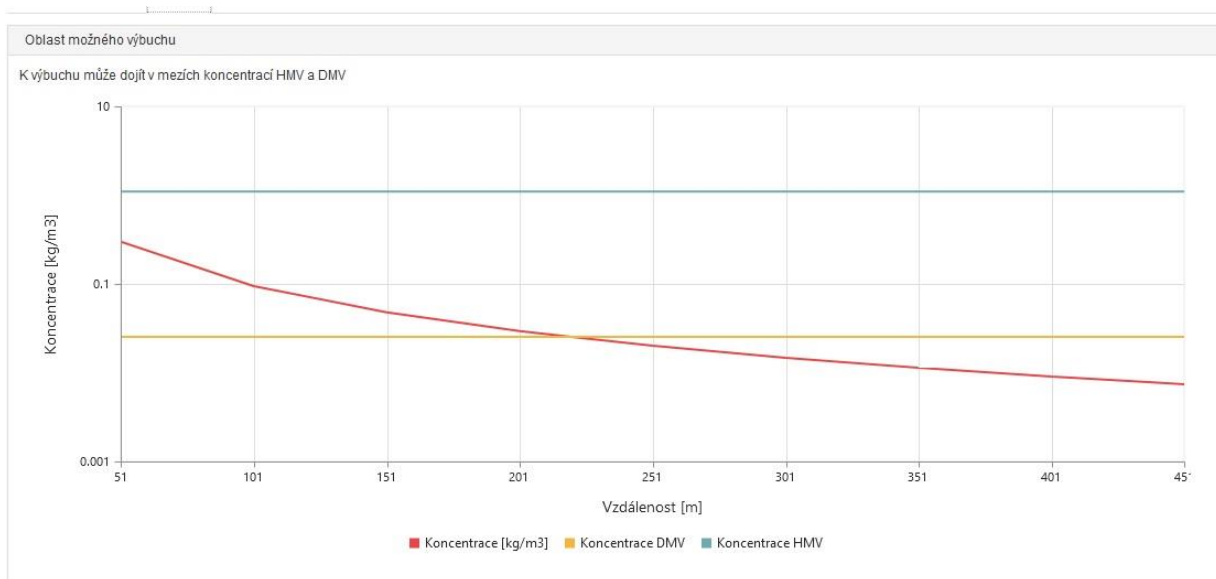


Obrázek 26 - Acetylen DEGAS zóny TerEx mapa [53]

Následující grafy ukazují ohrožení výbuchem ve vztahu ke vzdálenosti od místa výbuchu a oblasti možného výbuchu vzhledem ke koncentracím látky a vzdálenosti od místa úniku.



Obrázek 27 - Acetylen DEGAS graf ohrožení výbuchem TerEx [53]



Obrázek 28 - Acetylen DEGAS graf možného výbuchu TerEx [53]

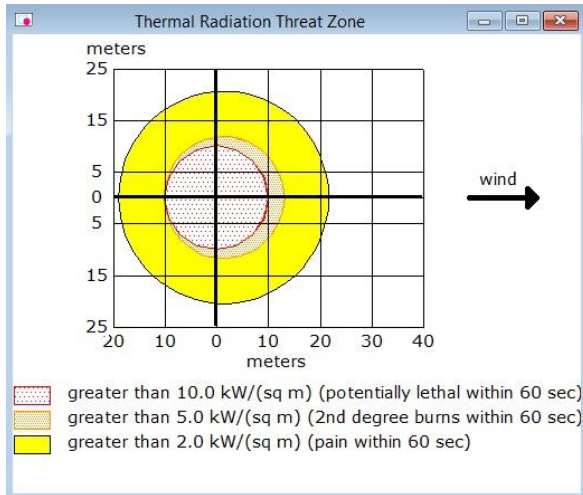
Z výše uvedených zjištění je více než patrné, že možný únik acetyleny představuje obrovské riziko, neboť samo o sobě se jedná o velice hořlavou látku. Pokud vezmeme v potaz skutečnost, že hned vedle zásobníků s acetylenem se nacházejí zásobníky s kyslíkem a nedaleko od nich sklad č. 3, ve kterém je skladován amoniak, možná by stálo za úvahu neskladovat jej pouze na volném prostranství, nýbrž jej přesunout do zastřešeného skladu. Riziko následného domino efektu, který může nastat je poměrně značné, když se podíváme na skutečnost, jak moc dokáže být výbuch acetyleny ničivý.

### 5.3.2 Únik amoniaku

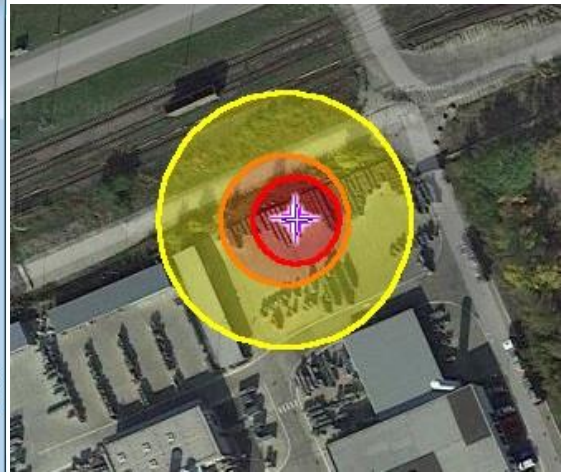
Pro následující modelace jsou v ALOHA relevantní především modely úniku typu „Jet Fire“ a BLEVE. Stejně jako u acetyleny byly zvoleny atmosférické podmínky pro běžný letní den, teplota 20 °C, síla větru 2 m/s, směr větru z východu, třída atmosférické stálosti D, oblačnost průměrná, zásobník byl naplněn z 90 %, velikost zásobníku byla 0,75×1 m, objem 442 l. Pro únik byla zvolena trhlina kulatého tvaru o velikosti 2 cm, kdy k jejímu vzniku mohlo dojít obdobnými způsoby jako u předchozí modelace acetyleny. Obrázek se zadáním parametrů do ALOHA se nachází v Příloze č. 4.



Následující výpočty z ALOHA a MARPLOT ukazují zónu ohrožení tepelným zářením, která má v průměru kolem 40 m, červená a oranžová zóna ukazují nejhorší možné následky pro osoby v těchto zónách.

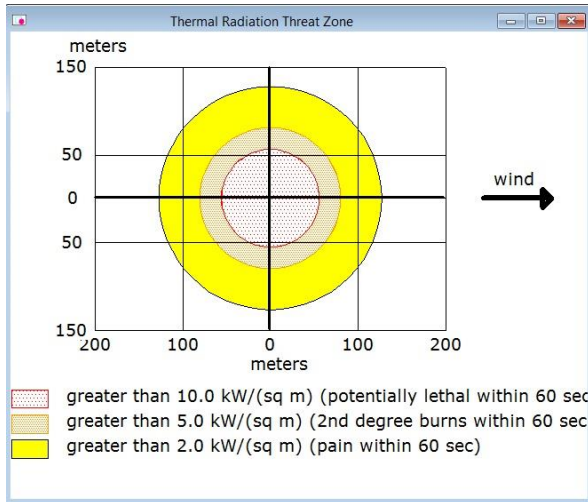


Obrázek 29 - Amoniak „Jet Fire“ zóny ALOHA [53]

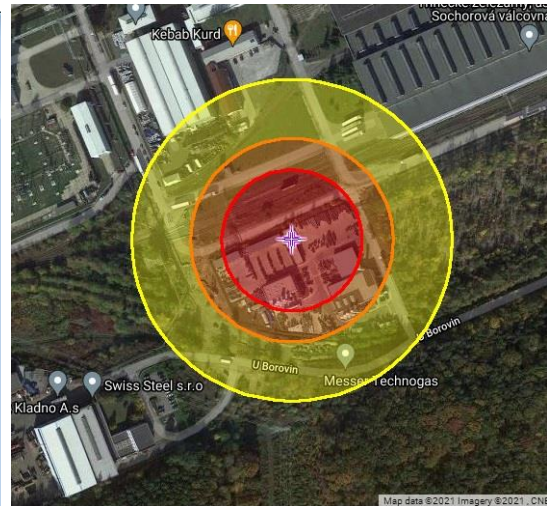


Obrázek 30 - Amoniak „Jet Fire“ zóny MARPLOT [53]

Poslední z úniků amoniaku je typ BLEVE, u kterého byl určen průměr zasažených zón cca 220 m a opět zóny s nejhrošími dopady. Tyto výsledky byly znovu přeneseny na mapový podklad.

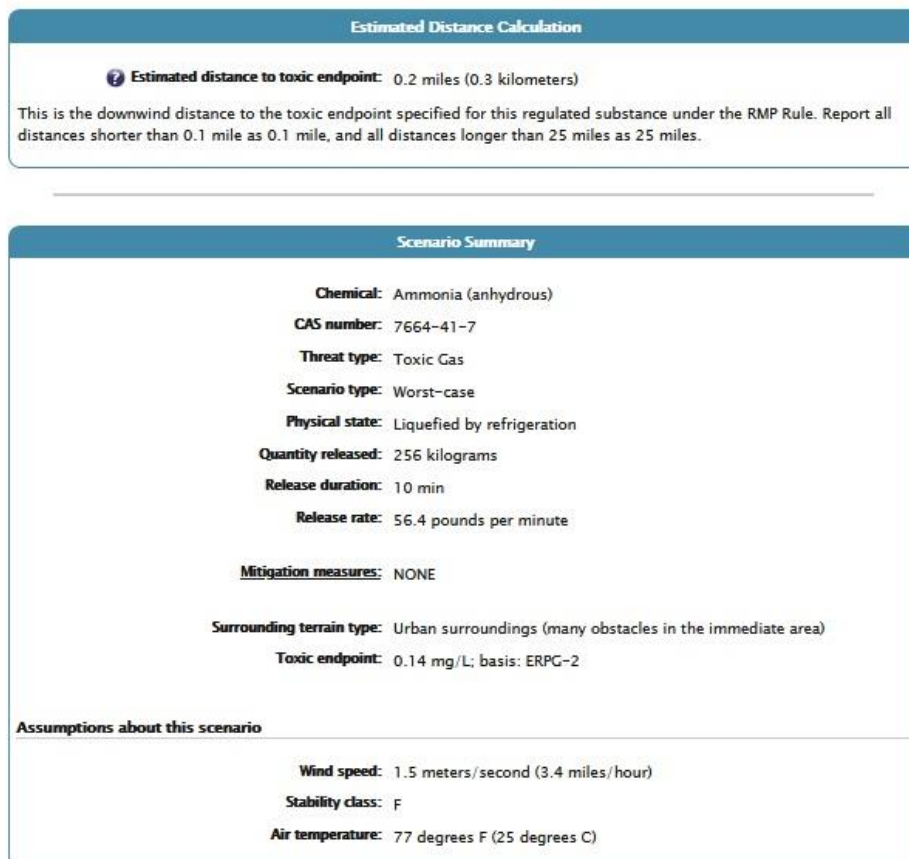


Obrázek 31 - Amoniak BLEVE ALOHA [53]



Obrázek 32 - Amoniak BLEVE MARPLOT [53]

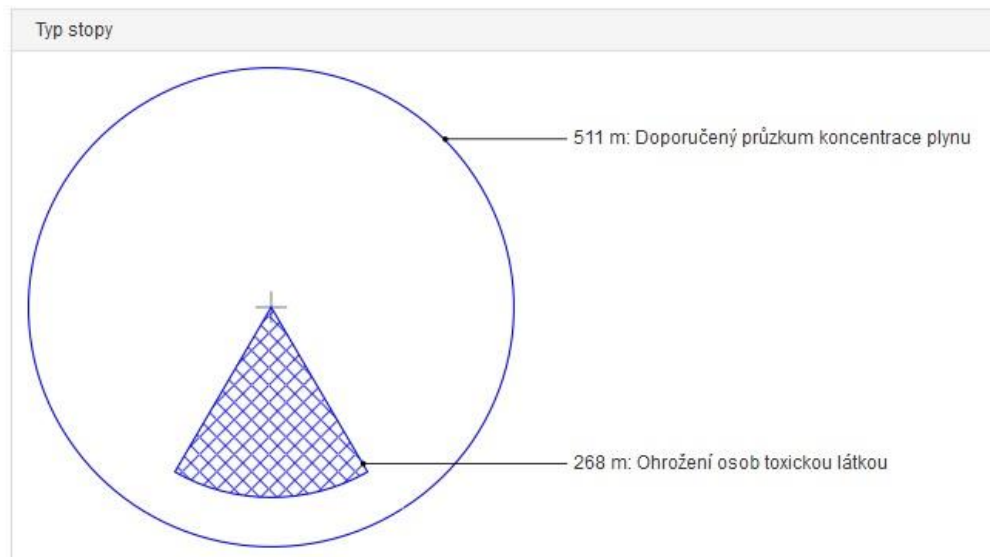
Pro porovnání výsledků byl opět proveden výpočet v programu RMP\*Comp, který určil toxickou zónu do vzdálenosti 0,3 km.



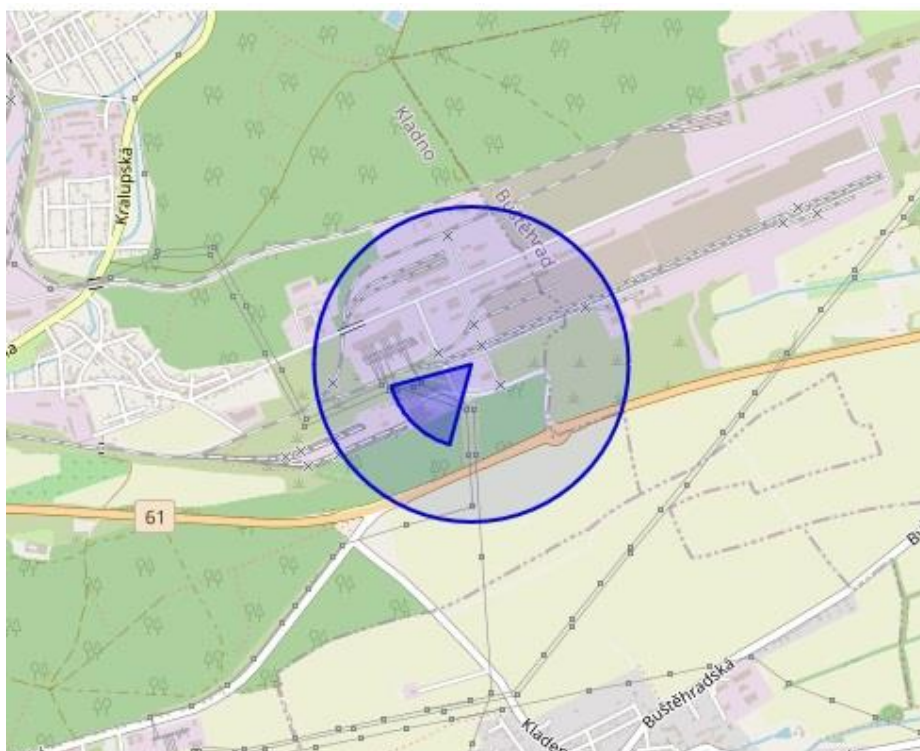
Obrázek 33 - Amoniak RMP\*Comp zóny [53]



Jako další podklad byl využit program TerEx, který ovšem u amoniaku umožňuje vypočítat pouze model úniku typu DEGAS. Dle tohoto scénáře je ohrožení osob toxickou látkou 268 m a doporučený průzkum koncentrace plynu do vzdálenosti 511 m. Dále je připojena mapa, která ukazuje únik v reálném měřítku.

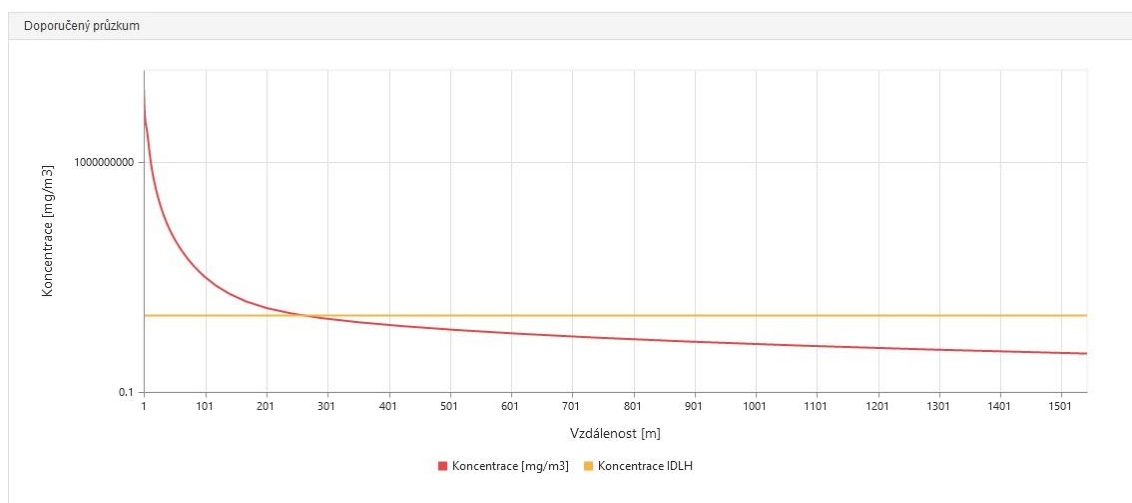


Obrázek 34 - Amoniak DEGAS TerEx zóny [53]



Obrázek 35 - Amoniak DEGAS TerEx zóny mapa [53]

Na dalším obrázku je související graf, který ukazuje doporučený průzkum ve vztahu vzdálenosti od místa úniku v souvislosti s hodnotou IDLH.

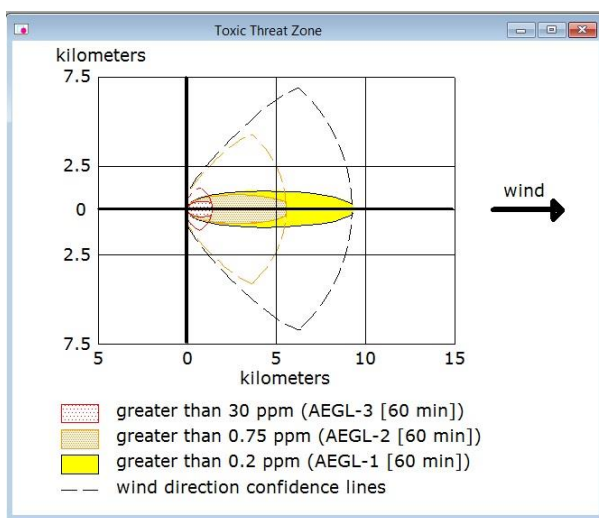


Obrázek 36 – Amoniak DEGAS doporučený průzkum [53]

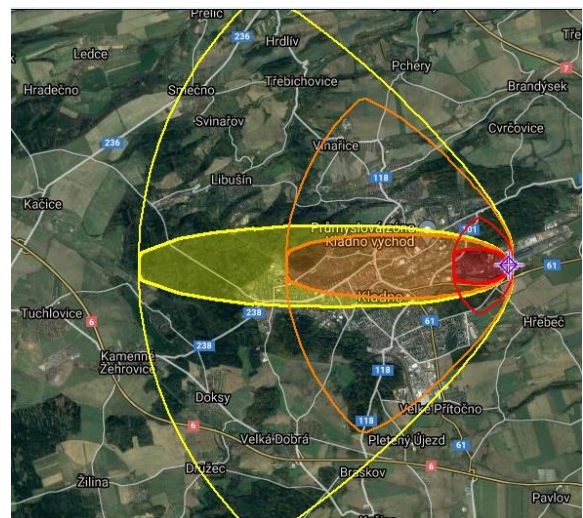
### 5.3.3 Únik oxidu siřičitého

Třetí z vybraných látek pro modelaci, které jsou nevíce nebezpečné, je oxid siřičitý. Pro výpočet v ALOHA byly použity následující parametry běžný letní den, teplota 20 °C, síla větru 2 m/s, směr větru z východu, třída atmosférické stálosti D, oblačnost průměrná, zásobník byl naplněn z 90 %, velikost zásobníku byla 0,8×1,59 m, objem 50 l. Pro únik byla zvolena trhlina, kulatého tvaru o velikosti 2 cm, stejně jako u předchozích modelací, viz. Příloha č. 4.

Následující modelace v ALOHA a MARPLOT ukazují, jak by vypadal scénář pokud by došlo ke kompletnímu a rychlému úniku oxidu siřičitého pouze z jednoho tanku, ve kterém se nachází množství 990 kg. Jak si lze všimnout výsledná zóna zasažená jedovatým oblakem by činila téměř 10 km. Je samozřejmě potřeba brát v úvahu i povětrnostní podmínky, neboť za silnějšího větru by došlo k rozptýlení oblaku rychleji. Navíc v porovnání s hodnotami z ostatních programů, se výsledek ALOHA zdá být značně nepravděpodobný.



Obrázek 38 - Oxid siřičitý PUFF ALOHA [53]



Obrázek 37 - Oxid siřičitý PUFF MARPLOT [53]

Pro porovnání byl využit opět program RMP\*Comp, který vypočítal toxickou zónu ve vzdálenost 2,1 km. Zde se značně s výpočtem z ALOHA rozchází, avšak i tak je zasažená zóna značného rozsahu. Výsledek výpočtu programu RMP\*Comp je vidět v následujícím obrázku.

**Estimated Distance Calculation**

**Estimated distance to toxic endpoint:** 1.3 miles (2.1 kilometers)

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

---

**Scenario Summary**

**Chemical:** Sulfur dioxide (anhydrous)  
**CAS number:** 7446-09-5  
**Threat type:** Toxic Gas  
**Scenario type:** Worst-case  
**Physical state:** Liquefied by refrigeration  
**Quantity released:** 990 kilograms  
**Release duration:** 10 min  
**Release rate:** 218 pounds per minute

**Mitigation measures:** NONE

**Surrounding terrain type:** Urban surroundings (many obstacles in the immediate area)  
**Toxic endpoint:** 0.0078 mg/L; basis: ERPG-2

**Assumptions about this scenario**

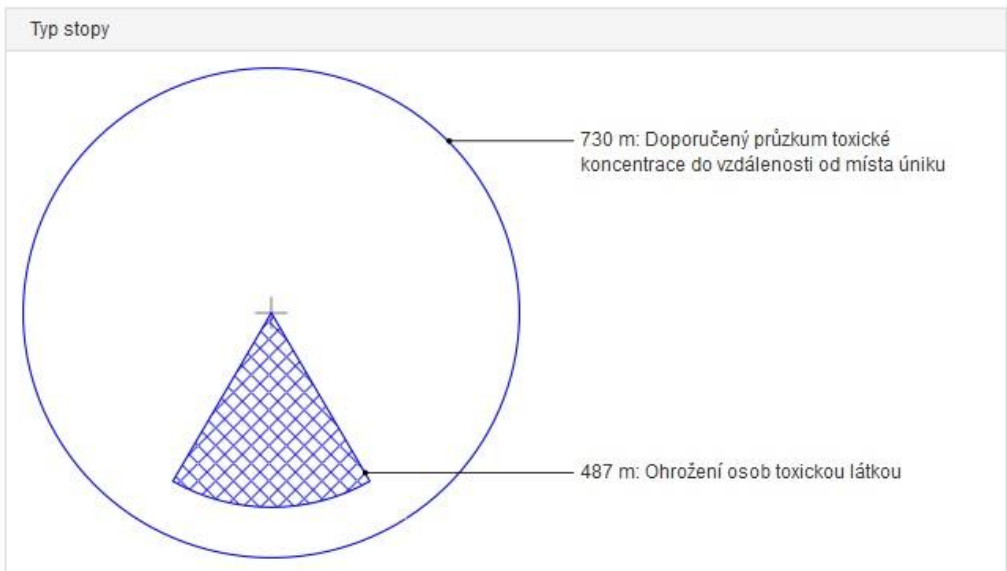
---

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

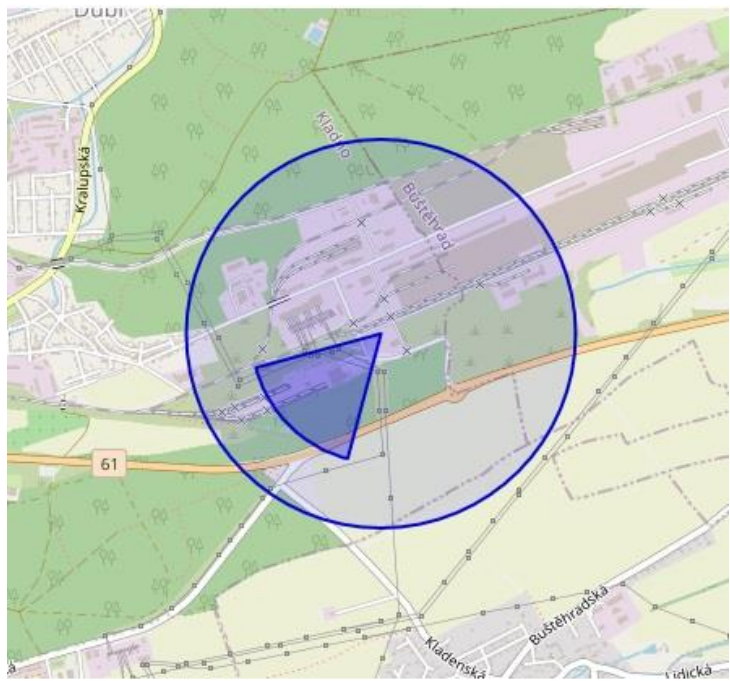
Obrázek 39 - Oxid siřičitý zóna RMP\*Comp [53]

Jako další prostředek byl opět využit program TerEx, který vypočítal ohrožení osob toxickou látkou ve vzdálenosti 487 m a doporučený průzkum toxické koncentrace ve vzdálenosti 730 m, což je znázorněno i na grafu níže.

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	487 m [Koncentrace: 261,62 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	730 m [Koncentrace: 87,05 mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Hodnocená látka nemá při havarijním úniku exothermní projevy typu UVCE a Flash Fire</b>	

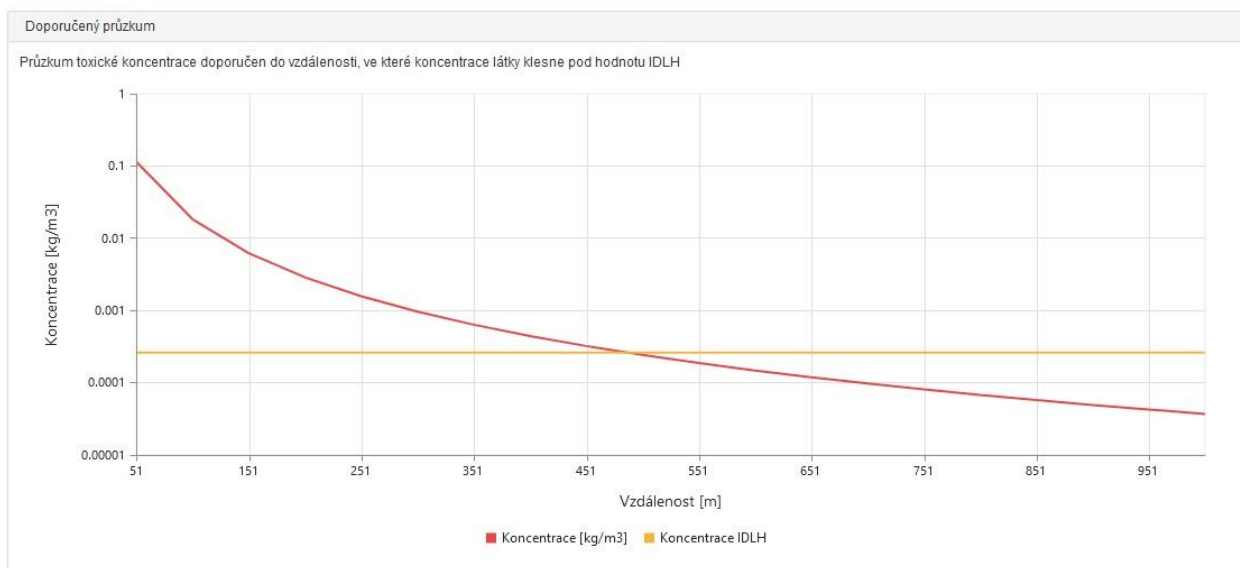


Obrázek 41 - Oxid siřičitý PUFF zóny TerEx [53]



Obrázek 40 - Oxid siřičitý PUFF TerEx mapa [53]





Obrázek 42 - Oxid siřičitý graf doporučeného průzkumu TerEx [53]

## 5.4 Vyhodnocení hypotéz

V rámci kapitoly 2 byly stanoveny tři hypotézy, které budou v této kapitole vyhodnoceny.

Hypotéza 1 hovořila o tom, že plniřna technických plynů Messer Technogas s.r.o. nepředstavuje významné riziko pro své okolí. Tato hypotéza byla vyvrácena v rámci multikriteriální analýzy i samotných modelací. Dle výsledků je více než patrné, že množství skladovaných látek a jejich případný únik, představuje riziko samo o sobě. V okolí podniku se nachází například potok, který by v případě zamoření amoniakem nebo oxidem siřičitým, mohl vést ke značným škodám na vodních organismech a místním ekosystému.

Hypotéza 2 hovořila o tom, že v případě úniku skladovaných látek do širšího okolí, nedojde k ohrožení vně areálu, neboť podnik se nachází v průmyslové zóně. Tato hypotéza byla v rámci této práce potvrzena, neboť z modelací jasně vyplývá, že skladované látky se mohou šířit i do širokého okolí a obytných zón, kde ovšem nepředstavují značné riziko pro místní obyvatelstvo. To znamená, že podnik pravděpodobně nepředstavuje žádné reálné nebezpečí pro blízkou obytnou zónu, ale může se stát, že při úniku chemické látky může být tato oblast

v minimální koncentraci, která nebude nebezpečná, zasažena a bude zde doporučeno nevětrat a nevycházet.

#### **5.4.1 Doporučení pro zvýšení bezpečnosti plnírny technických plynů Messer Technogas s.r.o.**

Níže je uveden seznam doporučení pro zlepšení bezpečnosti výše uvedeného podniku:

- Upravení a aktualizace bezpečnostní dokumentace s ohledem na samotné modelace úniků nebezpečných chemických látek.
- Zpřísnění podmínek pro skladování jednotlivých zásobníků a tlakových lahví tak, aby bylo docíleno skladování po menších počtech a v delší vzájemné vzdálenosti, aby se zamezilo případnému vzniku domino efektu při zahoření látek nebo explozi.
- Výstavba nových skladovacích hal, aby došlo k omezení šíření skladovaných látek na volném prostranství, v případě jejich úniku.
- Výstavba střešních, otevřených konstrukcí, aby došlo k ochraně tlakových lahví s těkavými látkami, před nepřízní meteorologických podmínek.
- Častější a důkladnější školení zaměstnanců v BOZP, aby se předešlo chybám lidského faktoru.

## 6 DISKUZE

Tato část diplomové práce se soustředí především na interpretaci výsledků, jejich komentáře a zasazení do kontextu současných problémů, které se obecně váží k chemické bezpečnosti. V rámci těchto skutečností musíme vzít v potaz samotné zaměření práce, která měla za cíl převážně zhodnotit možnou nebezpečnost podniku skupiny A, když se nachází tak blízko obytné zástavbě.

Během modelací úniků jednotlivých nebezpečných látek je více než jasné, že ano. Je třeba vzít v potaz tu skutečnost, že byly modelovány pouze částečné úniky jednotlivých látek, zpravila pouze z jednoho zásobníku, ale i tak výsledky hovoří jasně. Pokud se navíc vezme v potaz ta skutečnost, že by pravděpodobně došlo ke vzniku domino efektu, kde by došlo k mnohem masivnějšímu úniku nebezpečné látky, neboť jsou skladovány v poměrně těsné blízkosti, mohou být následky takové události velice zásadní pro okolní krajinu a obyvatele.

V rámci práce byly uvažovány primárně scénáře, kdy by mohlo dojít zahoření nebo poškození zásobníků, jak bylo uvedeno v kapitole 5.2.6.

### **Komparace modelací a jejich výsledků**

Pokud se zaměříme hned na první modelaci, kdy bylo počítáno s únikem acetyleny pouze z jedné láhve o objemu 50 l, je pravděpodobné, že by došlo k úniku typu „Jet Fire“ nebo BLEVE. Jako jeden z projevů, lze očekávat poměrně masivní výbuch, který by pravděpodobně poškodil i ostatní lahve acetyleny. Ten je zde totiž skladován ve svazcích po dvanácti kusech, takže se bavíme teoreticky o úniku a následném výbuchu téměř 600 l zkapalněného acetyleny a to je brán v potaz pouze jeden svazek. U výbuchu pouze jediné modelované lahve, byl největší průměr zasažené zóny nějakých 180 metrů. Výbuch jednoho svazku by se tudíž dal uvažovat jako nejhorší možná varianta, která ovšem v rámci této práce nebyla modelována, neboť programy, které jsou v práci použity jsou značně limitovány a takovýto scénář tudíž není možné zcela dobře zkoumat.



Je třeba brát v potaz i tu skutečnost, že takovýto masivní únik acetyleny, by pravděpodobně poškodil i zásobníky s dalšími skladovanými látkami. Hned vedle acetyleny je totiž skladován i vysoce hořlavý kyslík, který zároveň působí jako oxidační činidlo a snižuje teplotu, která je třeba k iniciaci požáru dané látky. Pokud budeme brát v úvahu, že by nedošlo k tak dramatickým projevům úniku acetyleny, přesto je počet osob, které jsou v ohrožení poměrně vysoký. V samotné plniřně plynů pracuje za normálních podmínek 11 zaměstnanců, v okolních podnicích se tento počet pohybuje mezi 10 a 20 zaměstnanci. Dalšími potenciálně ohroženými osobami jsou lidé, kteří jsou ubytováni v místní ubytovně, kde se za standardních podmínek pohybuje okolo 75 osob [38]. Když tedy budeme hovořit o tom, že potenciální únik nebezpečné látky, ohrozí pouze osoby, které se nachází v průmyslovém areálu, bavíme se o zhruba 100–200 lidech, kteří jsou vystaveny tomuto riziku.

Jako další variantu je také třeba vzít v úvahu, že v poměrně blízké vzdálenosti se nachází i obytné zástavby s rodinnými domy. Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, tyto obytné zóny se nachází cca 500–600 metrů od areálu podniku.

Program ALOHA vypočítal zóny ohrožení, jak již bylo uvedeno, zhruba do vzdálenosti 180 m, tento výsledek je u programu TerEx v případě úniku typu „*Jet Fire*“ velmi podobný (takže k zasažení obytných zón by nedošlo). TerEx nabízí pro únik acetyleny ještě jeden model a to konkrétně model DEGAS, ovšem výsledky se jen těžko porovnávají.

Jako druhá modelovaná látka byl zvolen amoniak, neboť i jeho havarijní projevy mohou být značně dynamické. Je třeba opět brát v úvahu tu skutečnost, že byl modelován únik pouze z jednoho zásobníku o 90% objemu látky, která se v zásobníku může nacházet. Jako u acetyleny jsou zásobníky amoniaku skladovány ve velmi těsné blízkosti, takže lze předpokládat, že pokud by došlo k extrémně dramatickým podmínkám nebo nedostatečné rychlosti zásahu a chlazení zásobních nádob, následky úniku by byly mnohem horší. V areálu

plnárny je skladováno v těsné blízkosti například hned 12 zásobních sudů, který každý obsahuje 500 kg amoniaku, což dohromady činí neuvěřitelných 6000 kg této vysoce toxické a hořlavé látky.

U typů úniků „*Jet Fire*“ a BLEVE v programu ALOHA se zasažené zóny pohybují v rámci průmyslové zóny, takže se zde bavíme opět o ohrožení cca 100 až 200 lidí v tomto areálu. Program TerEx ukazuje ve svých modelacích podobné výsledky jako program ALOHA. TerEx určil oblast průzkumu toxické koncentrace dokonce do vzdálenosti 4,8 km od místa výbuchu a zasažené by v tomto případě bylo téměř celé město Kladno a dále obce Hřebeč, Buštěhrad, Lidice a další. V případě takto závažného průběhu mimořádné události se již bavíme o tisících ohrožených civilistů toxickou látkou.

Poslední z nebezpečných látek, jejíž únik byl v rámci této práce modelován je oxid siřičitý. Tento plyn je skladovaný v nádobách, které pojmu 990 kg této nebezpečné látky a ve skladu je těchto nádob 20, což činí celkově 19 800 kg. V rámci modelací byl počítán únik poloviny obsahu jednoho takového zásobního sudu.

Ze všech modelů a scénářů, které byly v rámci této práce provedeny, se zdá únik oxidu siřičitého jako jedno z nejvážnějších ohrožení pro civilní obyvatelstvo. Dle výpočtů z programu ALOHA by se jedovatý mrak mohl šířit až do vzdálenosti více než 10 km. Zde je třeba opět zmínit, že program ALOHA počítá maximálně do vzdálenosti 10 km, tudíž je v tomto ohledu lehce limitován. Výše uvedená vzdálenost se může zdát opravdu enormní, ale musíme vzít v úvahu, že množství uniklé látky bylo 990 kg.

Výše uvedené výsledky modelací se značně liší od modelací, které byly provedeny v rámci Bezpečnostní analýzy Messer Technogas s.r.o. Toto zjištění však není nikterak překvapivé, když vezmeme v úvahu skutečnost, že v modelaci stačí změnit nebo upravit i minimálně vstupní údaje a výsledky jsou odlišné. Bezpečnostní analýza Messer Technogas s.r.o. počítá například s letním

dnem a teplotou 8 °C. Taková teplota se ovšem při pohledu na průměrnou teplotu za posledních 30 let v oblasti během letních měsíců zdá zcela irelevantní, neboť ta se pohybuje kolem 23 °C. Teplota okolního prostředí má zásadní vliv na šíření nebezpečných látek a je tudíž jedním z rozhodujících faktorů pro modelace tohoto typu.

Rozdíly v modelacích úniků nebezpečných chemických látek vyvolávají otázku, zda by společnosti, které s nimi nakládají neměly věnovat větší pozornost a klást vyšší důraz na bezpečnost v této oblasti a nebrat jako stěžejní pouze jeden zdroj a způsob modelací, nýbrž vycházet z různých zdrojů a více nezávislých analýz. Takové výsledky by jistě dokázaly vytvořit mnohem přesnější obrázek o celkové potřebě zabezpečení a možnosti zmírnění takových dopadů na životy, zdraví, majetek a životní prostředí, ze kterých by se okolí mimořádné události jen stěží vzpamatovávalo.

### **Havarijní projevy chemických látek**

Pokud se zaměříme z obecného hlediska na havarijní projevy chemických látek a bezpečnost v této oblasti, v dnešní době je jim věnována značná pozornost. V minulosti měly nehody podobného typu, jaké byly modelovány v rámci této práce, za následek značné škody na životech, zdraví, majetku a životním prostředí. Takovými havarijními projevy a jejich následky se zabývají například knihy *Chemical Process Safety, Process Safety and Environmental Protection, Hazardous Chemical Handbook* nebo *Risk Management of Chemicals* [68,69,70,71].

Výše uvedené publikace podrobně rozebírají problematiku chemické bezpečnosti, rizikové chování chemických látek a směsí a způsoby ochrany před jejich projevy. Tato skutečnost dokazuje, že výše uvedené téma, je více než aktuální. Zvláště patrná je problematika spojená se zahořením chemických látek a jejich případnou explozí, která bývá často jedním z doprovodných efektů. Ostatně následky takového chování byly dobře zdůrazněny v samotných modelacích této práce. Dané publikace upozorňují na problematiku chemické

bezpečnosti nebo třeba způsoby prevence závažných havárií s únikem nebezpečné chemické látky. Navíc publikace *Chemical Process Safety*, upravuje a navrhuje způsoby vnitřních opatření pro zamezení vzniků událostí podobného charakteru, což podporuje skutečnosti, uvedené v této práci.

Jako další příklad řešení této problematiky můžeme uvést knihu *Handbook of Fire and Explosion Protection of Engineering Principles*. Tato kniha se taktéž zabývá incidenty v chemickém průmyslu a následnými doporučeními, které je třeba zavádět, aby k mimořádným událostem podobného charakteru vůbec nedocházelo [71].

Další publikací, která jen potvrzuje potřebu vytváření podobných prací, jako je tato diplomová práce, je kniha *Personnel Protection and the Safety Equipment for the Oil and Gas Industries*. Kniha se zabývá sice převážně ochrannou v petrochemickém průmyslu, avšak bezpečnostní doporučení, které jsou v ní uvedeny, je docela dobře možné aplikovat i na chemické závody jako je Messer Technogas s.r.o. Ostatně podobným tématem se zabývá i kniha *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities*. Bezpečnostní inženýrství a analýzy rizik jsou základním stavebním kamenem toho, aby k průmyslovým haváriím s únikem nebezpečné chemické látky vůbec nedocházelo, což umožňuje v dostatečné míře chránit nejenom zaměstnance takovýchto podniků, ale především civilní obyvatelstvo, které žije v okolí [72,73].

Modelace, které jsou uvedeny v této práci jasně ukazují, jak málo stačí k tomu aby mohlo dojít k nečekané tragédii. Bezpečnostní inženýrství, které je úzce spojeno s chemickou bezpečností, je třeba neustále rozvíjet a posouvat s ohledem na rizikové faktory, které tento druh průmyslové činnosti doprovází. O potřebě řešení chemické bezpečnosti v mezinárodním měřítku se zmiňuje i článek *Chemical Safety in a Vulnerable World*, který se pojí s pořádáním fóra na toto

téma v Bangkoku v roce 2003, na základě kterého Evropská unie později přijala opatření, která se promítla i do současných legislativ [74].

Jako další podkladová data v oblasti chemické bezpečnosti mohou posloužit *Chemical Safety Data*, kde je možné nalézt podklady, jak zacházet s určitým typem chemických látek a směsí a tyto údaje potom promítnout do problematiky chemické bezpečnosti. Podobným podkladovým prvkem pak může posloužit ještě *Chemical Safety Information Databases*, která celkově doplňuje předchozí publikaci [75,76].

Velice zajímavé poznatky k celkové problematice chemické bezpečnosti, můžeme nalézt také v americkém článku *Should engineers have more influence on safety? A view from a member of the United States Chemical Safety Board* z roku 2019. Tento článek se zabývá tím, že v současném USA mají bezpečnostní inženýři poměrně malé pravomoci v oblasti chemické bezpečnosti. Dle autora článku by bezpečnostní inženýři měli mít výrazně vyšší vliv na ovlivňování způsobu procesu výroby a s tím spojených rizikových oblastí, aby docházelo k postupnému zvyšování prevence závažných havárií. Dle autora článku se v USA bezpečnostní inženýři potýkají s poměrně závažným nedostatkem financí na zavádění preventivních opatření a změn [77].

Informace z výše uvedeného článku částečně odpovídají i zjištěním v této práci. Průmyslové podniky, které pracují s nebezpečnými chemickými látkami by zřejmě měly vynaložit větší množství úsilí a prostředků na zabezpečování výroby a prevence závažných havárií. Pokud se vychází pouze z jednoho jediného zdroje, který posuzuje možná rizika, může snadno dojít k zanedbání určitých faktorů, které se v budoucnu mohou projevit zcela mimo očekávání.

Podobně znepokojující informace je možné nalézt i v článku *The chemical safety and hazard investigation board: Thinking strategically in investigating (and preventing) chemical accidents*. Článek se zmiňuje o skutečnosti, že v USA mnoho společností v chemickém průmyslu sice vykazuje „zájem“ o problematiku chemické

bezpečnosti, avšak téměř žádná z nich se skutečně aktivně nepodílí na prevenci závažných havárií [78].

### **Předběžná a multikriteriální analýza**

V rámci diplomové práce byly provedeny dvě analýzy – předběžná a multikriteriální, které poukazují na zajímavé výsledky. Není úplným překvapením, že stejné faktory vyšly v obou analýzách rozdílně, neboť každá z analýz využívá pro své výpočty jiné způsoby a matice.

Co se týče nejnebezpečnějších faktorů, ovšem v obou analýzách vyšly výsledky shodné, a to konkrétně požáry velkého rozsahu, jak uvnitř, tak vně areálu. Vzhledem ke skutečnosti, že se v areálu plnirny technických plynů nachází velké množství vysoce hořlavých toxických látek, bylo možné takovýto výsledek předpokládat.

U méně závažných faktorů se však obě analýzy již rozcházejí, avšak i zde je možné nalézt společný jmenovatel. V obou analýzách obecně, události, které by mohly vézt ke vzniku závažné mimořádné havárie, jsou spojené s lidskou činností a chybou lidského faktoru. Zvláště u událostí, které byly označeny jako vnitřní faktory, hraje výše uvedená skutečnost zásadní roli.

U předběžné analýzy vnitřních faktorů vyšly jako velmi závažné události například náraz při neopatrné manipulaci, dopravní nehoda uvnitř areálu nebo nedodržení bezpečnostních předpisů. Jako velmi rizikový faktor se jeví i technická závada na zařízení, což je možné též dávat do souvislosti s nedostatečnou technickou revizí a tím pádem chybou lidského faktoru.

U multikriteriální analýzy některé z výše uvedených faktorů vyšly shodně jako u analýzy předběžné jako vysoce rizikové, některé naopak již jako středně rizikové. Ovšem, stejně jako u předchozí analýzy, obecně si vedly hůře faktor vnitřní, u nichž se ukázala míra rizika výrazně větší. Jednalo se převážně o faktory typu nedostatečná revize zařízení, dopravní nehoda uvnitř areálu, náraz

při neopatrné manipulaci, poškození obalových materiálů, nedodržení bezpečnostních předpisů, technická závada na zařízení, uvolnění a pád zásobníku. Naopak samotná chyba zaměstnance u této analýzy vyšla jako riziko nízké, což je velice zajímavé.

Dle dostupných informací je lidský faktor jeden z nejrizikovějších faktorů vůbec a jak bylo zmíněno výše, faktory související s lidskou činností, obecně v analýzách vycházely spíše hůře. Je proto velmi zvláštní, že samotná chyba zaměstnance vyšla tak nízká. Možná je k zamyšlení, to, jakým způsobem se v otázce samotné lidské chyby přistupuje ke škodám, které z ní mohou plynout. To je samozřejmě velmi individuální a proto je možné tento faktor označit jako velmi proměnlivý.

Ostatně článek *Investigating beyond the human machinery: A closer look at accident causation in high hazard industries* jasně hovoří o tom, že lidská chyba není příčinou, ale pouze příznakem základních problémů. Je v něm snaha upozornit na skutečnost, že v rámci chemické bezpečnosti je třeba klást velký důraz i na ostatní faktory, které mohou ovlivňovat zaměstnance. Podobnou myšlenku prosazuje i článek *Human error: A myth eclipsing real causes*, který spojuje mimořádné události a jejich vznik s kulturními, technickými, situačními, psychologickými, procedurálními a organizačními aspekty, které mají tendenci zůstat na pozadí. Tento článek hovoří o tom, že prostředí a jeho náročnost mohou mít zásadní vliv na chybu člověka [79,80].

Naopak článek *Improving process safety by addressing the human element: A myth eclipsing real causes*, se zaměřuje především na způsob operačního řízení provozu a na jeho vylepšování, aby se předešlo vzniku nebezpečných incidentů a došlo k celkovému zlepšení výkonnosti pracovníků a jejich postupnému správnému výcviku. Dalo by se tedy říct, že tento článek naopak přisuzuje chyb lidského faktoru mnohem vyšší význam než články předešlé [81].

Dalšími články, které podporují myšlenku toho, že lidský faktor stojí za většinou mimořádných událostí s únikem nebezpečné chemické látky jsou *Human Error Reduction* a *Human Error Avoidance and Reduction*, které se taktéž snaží nalézt způsoby, jak redukovat a zmírnit dopady chyby lidského faktoru [82,83].

Naopak článek *Realistic human error rates for process hazard analyses: A myth eclipsing real causes*, se zdá být ze všech asi nejvíce univerzální, neboť se zabývá oběma stranami mince, a to jak prostředím, které může mít zásadní vliv na lidský faktor, tak na samotnou četnost a způsob jeho výskytu. Pracuje s myšlenkou, která tvrdí, že lidská chyba je do jisté míry nevyhnutelná a že nemusí být ovlivněna pouhou nedisciplinovaností pracovníků [84].

Když ale stejné výsledky porovnáme s výsledky z multikriteriální analýzy, uvedené v této práci, jeví se nedodržování pracovních předpisů a postupů jako značně rizikové ve vztahu s bezpečností podniku.

Pokud se vrátíme k původnímu záměru této práce, kterou je analýza dopadů úniku nebezpečné chemické látky z plnárny technických plynů Messer Technogas s.r.o. a promítneme celou situaci na modelace, které během této práce vznikly, je více než jasné, že přítomnost takového zařízení v blízkosti obydlených zón je více než rizikové. Možná by stálo za úvahu do budoucna umístění takovýchto zařízení více regulovat s cílem, co nejvíc snížit možné dopady na životy, zdraví, majetek a životní prostředí v případě úniku chemických látek.

Podobnou problematikou se zabývá i článek *Selecting a Facility Location*. Ten se snaží do výběru správné lokace pro zařízení podobného charakteru zahrnout všechny vnější a podobné faktory, které by mohly mít za následek únik nebezpečné látky, tak i pokud by k takovému úniku došlo, to, jak moc by taková havárie ovlivnila nejbližší okolí. Tento článek velice dobře koresponduje se skutečnostmi, které byly uvedeny v rámci této diplomové práce a počítá, stejně jako tato práce s faktory vnitřními a vnějšími [85].



V rámci této práce byl několikrát zmíněn i tzv. domino efekt. Vzhledem k tomu, jak nebezpečné látky se v zařízení nacházejí – amoniak, oxid siřičitý, acetylen apod. a k jejich vlastnostem, je více než na místě zmínit literaturu, která se podobnou problematikou téže zabývá. Látky jako tyto totiž představují opravdu obrovské riziko pro své okolí samy o sobě, natož v případě, že dojde k jejich vzájemné reakci a vzniku domino efektu. Bohužel zde jsme opět, v rámci modelací, limitováni technikou, neboť v současnosti nejsou programy na tento jev zcela připraveny a schopny jej modelovat. To ovšem neznamená, že v rámci bezpečnostní dokumentace, by se nemělo s tímto možným havarijním projevem počítat.

Na vlastnosti a způsoby projevu, které takové látky mohou mít na své okolí upozorňuje článek *Explosive and Chemical Safety* a dále *Application of Graph Theory to Cost-Effective Fire Protection of Chemical Plants During Domino Effects*. Především druhý z článků je založen na důkladné multikriteriální analýze pro nákladově efektivní protipožární ochranu chemických zařízení, která jsou vystavena dominovým efektům vyvolaným požárem. Modelováním dominových efektů v chemických zařízeních jako cíleného grafu lze určit skóre uzavřeného a mezilehlého pohybu a určit zařízení, která hrají klíčovou roli při iniciování a šíření potenciálních dominových efektů. Dle článku je prokázáno, že aktivní protipožární ochrana zařízení s nejvyšším skóre uzavřeného prostředí a pasivní protipožární ochrana zařízení s nejvyšším skóre vzájemného působení jsou neúčinnějšími strategiemi pro snížení zranitelnosti chemických zařízení vůči dominovým účinkům vyvolaným požárem [86,87].

Výše uvedené poznatky je dost dobře možné aplikovat i na pobočku Messer Technogas s.r.o. v Kladně, kde by opatření takového druhu, mohla mít za následek výrazné snížení možného rizika pro své okolí. V rámci podobných opatření by jistě stálo za úvahu, že u zařízení, která mají podobný charakter jako

toto, ač spadají do skupiny A, by bylo vhodné i tak vytvoření vnějšího havarijního plánu.

V rámci České republiky nejsou u podniků skupiny A stanovovány zóny havarijního plánování (dále jen ZHP). Jako jedno z doporučených opatření pro zvýšení bezpečnosti podniku, by mohlo být stanovení individuální bezpečnostní zóny, v rámci níž by docházelo k nezbytným opatřením a informování místního obyvatelstva, případně nácviku evakuace v případě úniku nebezpečné chemické látky.

Vytvoření vnějšího havarijního plánu by mohlo být dobrým iniciačním opatřením, které by vedlo k celkovému zlepšení bezpečnosti okolí podniku, proto je třeba, aby podobné nezávislé analýzy na podobné podniky i nadále vznikaly. Oblast chemické bezpečnosti je poměrně rozsáhlá a příliš náročná na to, aby bylo možné se spoléhat pouze na jeden zdroj, jako tomu je v současnosti u společnosti Messer Technogas s.r.o. Jak je vidět z této práce, tak výsledky jednotlivých modelací se mohou velice snadno lišit a tudíž i závěry z takovýchto modelací vyplývající, což může mít za následek nedostatečná bezpečnostní opatření pro zamezení vzniku mimořádné události s únikem nebezpečné chemické látky a nežádoucího ohrožení okolí. Navíc v rámci této práce navíc došlo k potvrzení všech hypotéz v samostatné kapitole 5.4.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit jaký dopad může mít únik nebezpečných chemických látek a směsí ze stacionárního zařízení typu A a jejich následných projevů. V rámci modelací byl analyzován dopad na nejbližší okolí podniku Messer Technogas s.r.o.

Dopady v případě úniku amoniaku a oxidu siřičitého byly poměrně značných rozsahů s velkými dopady na civilní obyvatelstvo a životní prostředí. Dále bylo potvrzeno, že vznik domino efektu, je v těchto podmínkách možný.

V rámci multikriteriální analýzy se došlo k závěru, že faktorů, které mohou ovlivnit únik nebezpečné chemické látky z plnírny je poměrně velké množství s tím, že zásadní roli hraje lidský faktor, u něhož byly zjištěny vyšší možné frekvence potenciálního vzniku. Z tohoto důvodu byla v rámci výše uvedené analýzy navržena bezpečnostní opatření, pro zmírnění případné mimořádné události.

Jako jeden ze závěrů této práce je možné též prezentovat skutečnost, že pokud si podnik nechává zpracovávat bezpečnostní analýzu, je dobré vycházet z většího množství nezávislých zdrojů, neboť ty se mohou ve svých závěrech i poměrně dosti lišit.

## **8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

IZS – Integrovaný záchranný systém

EU – Evropská unie

HZS – Hasičský záchranný sbor

RHP – Ruční hasicí přístroj

ZHP – Zóna havarijního plánování

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. 239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>
2. Dokumentace IZS - Hasičský záchranný sbor České republiky. *Úvodní strana - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Copyright © 2020 Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/dokumentace-izs-587832.aspx>
3. Determination of emergency assembly point for industrial accidents with AHP analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021, **69**, 69. ISSN 09504230. Dostupné z: doi:10.1016/j.jlp.2020.104386
4. VAN TRUONG, Tuyen, Melissa MARSCHKE, Tuan Viet NGUYEN, Georgina ALONSO, Mark ANDRACHUK a Phuong LE THI HONG. Household recovery from disaster: insights from Vietnam's fish kill. *Environmental Hazards*. , 1-16. ISSN 1747-7891. Dostupné z: doi:10.1080/17477891.2021.1873098
5. ANTUŠÁK, Emil. *Krizový management: hrozby - krize - příležitosti*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2009. ISBN isbn978-80-7357-488-8.
6. BOOR, Vladimír. *Havárie v ochraně životního prostředí z pohledu práva*. Praha, 2012. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce JUDr. Karolína Žáková, Ph.D.
7. STANĚK, Martin. *Praktické a simulované metody řešení CBRN událostí: FBMI*. Kladno, 2020. Přednáška. České vysoké učení technické v Praze.
8. *OECD.org - OECD* [online]. Copyright ©.E [cit. 11.03.2021]. Dostupné z: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/chemical-accidents/34014622.pdf>
9. THOMSON, Bruce J. International co-operation in hazardous materials accident prevention. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 1999, **12**(3), 217-225. ISSN 09504230. Dostupné z: doi:10.1016/S0950-4230(98)00052-7
10. 224/2015 Sb. Zákon o prevenci závažných havárií. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 11.03.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-224>
11. DASHÖFER, Verlag. Nebezpečné projevy chemických látek při závažné havárii. *ENVI: profi.cz* [online]. 2006, 5.5.2006, **2006**(5), 2 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.enviprofi.cz/33/nebezpecne-projevy->

[chemických-latek-pri-zavazne-havarii-uniqueidgOke4NvrWuOKaQDKuox\\_Z8wJyBFUNOLs0oUE2CKf3T4/](https://arnika.org/havarie-a-pozary)

12. Havárie a požáry - Arnika. *Hlavní stránka - Arnika* [online]. Copyright © 2014 Arnika [cit. 11.03.2021]. Dostupné z: <https://arnika.org/havarie-a-pozary>
13. IDnes.cz. *IDnes.cz* [online]. 22.1.2019. 1 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/praha/zpravy/kralupy-nad-vlratvou-vybuch-chemicky-zanedbani-bezpecnosti.A190122\\_091013\\_praha-zpravy\\_rsr](https://www.idnes.cz/praha/zpravy/kralupy-nad-vlratvou-vybuch-chemicky-zanedbani-bezpecnosti.A190122_091013_praha-zpravy_rsr)
14. Úniky nebezpečných chemikálií si občas vynutí evakuaci obyvatel. *Arnika.org* [online]. [cit. 11.07.2021]. Dostupné z: <https://arnika.org/uniky-nebezpecnych-chemikalii-si-obcas-vynuti-evakuaci-obyvatel>
15. Major Accident Reporting System (eMARS) | Knowledge for policy. *Redirecting to https://knowledge4policy.ec.europa.eu/home\_en* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/projects-activities/major-accident-reporting-system-emars\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/projects-activities/major-accident-reporting-system-emars_en)
16. ARIA : Feedback on technological accidents - La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques. *ARIA - La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en>
17. Ministerstvo dopravy ČR - Informační systém DOK. *Ministerstvo dopravy ČR - Domovská stránka* [online]. Copyright © 2021 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Ministerstvo/DOK/Informacni-system-DOK?returl=/Dokumenty/Ministerstvo/DOK>
18. 225/2015 Sb. Vyhláška o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A.... *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 24.03.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-225>
19. 226/2015 Sb. Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležit.... *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 24.03.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-226>
20. 350/2011 Sb. Chemický zákon. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-350>
21. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/18/EU: o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES. In: Praha: Úřední věstník

- Evropské unie, 2012, ročník 2012, L 197. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0018&from=HU>
22. LACINA, Petr, MIKA Otakar J. a ŠEBKOVÁ Kateřina, Nebezpečné chemické látky a směsi, ed. 1., Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013, ISBN 978-80-210-6475-1
  23. HZS Moravskoslezského kraje - Nebezpečné látky - Hasičský záchranný sbor České republiky. *Úvodní strana - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Copyright © 2021 Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/nebezpecne-latky.aspx>
  24. SANDERS, Roy E. *Chemical Process Safety: 3rd Edition*. London: © Gulf Professional Publishing 2004, 2004. ISBN 9781493303021.
  25. JITENDRA, Saxena. *Hazard Assessment of Chemicals*. London: © Academic Press 1984, 1984. ISBN 9781483240176.
  26. *Toxikologické aspekty chemických havárií a zneužití chemických zbraní*. Kladno, 2016. Studijní opora. České vysoké učení technické v Praze.
  27. MACKAY, Don, Lynn S. MCCARTY a Matthew MACLEOD. On the validity of classifying chemicals for persistence, bioaccumulation, toxicity, and potential for long-range transport. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2001, 20(7), 1491-1498. ISSN 07307268. Dostupné z: doi:10.1002/etc.5620200711
  28. *Risk-Reduction Methods for Occupational Safety and Health*. Hoboken, NJ, USA, 2012. ISBN 9781118229439. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118229439.ch24>
  29. SCHUMMER, Joachim. *Philosophy of Chemistry. Philosophies of the Sciences*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010, , 163-183. ISBN 9781444315578. Dostupné z: doi:10.1002/9781444315578.ch7
  30. *Domů - Portál BOZP* [online]. Copyright © [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: [http://www.portalbozp.cz/wp-content/uploads/2014/09/Prevence-nehoda-havarii\\_2.dil\\_Kapitola-4.pdf](http://www.portalbozp.cz/wp-content/uploads/2014/09/Prevence-nehoda-havarii_2.dil_Kapitola-4.pdf)
  31. SKŘEHOT, Petr. *Rozptyl těžkého plynu v atmosféře: teorie - modely - experimenty*. V Praze: T-SOFT, 2018. ISBN 978-80-905401-2-5.
  32. Messer ve světě - Messer Technogas s.r.o. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. [cit.30.03.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/messer-ve-svete>
  33. Messer Technogas, s.r.o. - prodejní místo Kladno-Dubí - Info-Kladno.cz. *Info-Kladno.cz* [online]. [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://www.info-kladno.cz/messer-technogas-pobocka-klad/index.html>

34. Mapa | Portál krizového řízení. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://pkr.kr-stredocesky.cz/pkr/mapa/?fmt=map>
35. Rozcestník Plnírna technických plynů | Portál krizového řízení.[online]. Copyright © 2015 [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://pkr.kr-stredocesky.cz/pkr/objektyzarizeni-nakladajici-s-nebezpecnymi-chemick/7136/>
36. Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5045000&y=50.0804000&z=11>
37. Messer Technogas s.r.o. *Bezpečnostní program prevence závažné havárie: Plnírna technických plynů Kladno*. 5. vydání. Kladno, 2013.
38. ŠENOVSÝ, Michail. *Nebezpečné látky II*. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-000-5.
39. KIZLINK, Juraj. *Technologie chemických látek a jejich použití*. 4., přeprac. a dopl. vyd. V Brně: Vutium, 2011. ISBN 978-80-214-4046-3.
40. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright ©GeU [cit. 01.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385200/Acetylen+rozpu%C5%A1t%C4%9Bn%C3%BD.pdf/49b61fca-b3ef-3107-c43d-4aa9c48518f7?t=1590661820373>
41. KUBÁTOVÁ, Hana. *Průmyslová toxikologie a životní prostředí*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-210-8.
42. CameoChemicals® Software
43. Messer Technogas s.r.o. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: [https://www.messer.cz/documents/921887/2385218/Amoniak\\_CZ\\_8%283%29.pdf/152a3b79-b98d-9c66-855d-6eca4705b585?t=1590662220397](https://www.messer.cz/documents/921887/2385218/Amoniak_CZ_8%283%29.pdf/152a3b79-b98d-9c66-855d-6eca4705b585?t=1590662220397)
44. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright © [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385200/Kysl%C3%ADk+kapaln%C3%BD.pdf/da99f355-5424-714c-952b-dbb9065a75e0?t=1590661822687>
45. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright © [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385200/Kysl%C3%ADk+plynn%C3%BD.pdf/deb71d60-1ef0-e264-48d4-89ce90a422b9?t=1590661822833>



46. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright © [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385200/Oxid+dusn%C3%BD.pdf/2e1ce40b-3ce4-ca7e-9832-9428005d1ded?t=1590661823837>
47. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright © [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385218/SO2+CZ+Grillo.pdf/0862d988-8361-62e9-d6ed-968ad236f6b6?t=1590662222703>
48. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright ©S [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385218/Oxid-uhelnaty.pdf/afbb087f-fec5-7b08-ed0d-788d36328e8f?t=1590662222507>
49. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Dostupné z: [https://www.messer.cz/documents/921887/0/bl-propan+\(1\).pdf/10e0d4f1-b9d7-c350-998b-d0c03288d600?t=1612972379753](https://www.messer.cz/documents/921887/0/bl-propan+(1).pdf/10e0d4f1-b9d7-c350-998b-d0c03288d600?t=1612972379753)
50. *Document Moved* [online]. Copyright © [cit. 11.12.2020]. Dostupné z: [https://www.unipetrol.cz/CS/NabidkaProduktu/Jine/Dokumentace/Documents/2017/Propylen\\_7\(4\)\\_CZ.pdf](https://www.unipetrol.cz/CS/NabidkaProduktu/Jine/Dokumentace/Documents/2017/Propylen_7(4)_CZ.pdf)
51. *Organická Chemie: Nearomatické uhlovodíky – MojeChemie.* [online]. Dostupné z: [https://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1\\_Chemie: Nearomatick%C3%A9\\_uhlovod%C3%ADky](https://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie: Nearomatick%C3%A9_uhlovod%C3%ADky)
52. *Produkty & Služby - Messer Technogas s.r.o* [online]. Copyright © [cit. 03.04.2021]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/2385200/Vod%C3%ADk.pdf/29722e7e-a407-b6dd-cf6f-a42096e979f9?t=1590661824040>
53. Zdroj: vlastní
54. VOLRÁBOVÁ, Martina. *Optimalizace evakuačního plánu Interního oddělení Nemocnice Na Bulovce.* Kladno, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Martin Staněk.
55. HE, Haoyang, Timothy F MALLOY a Julie M SCHOENUNG. Multicriteria Decision Analysis Characterization of Chemical Hazard Assessment Data Sources. *Integrated Environmental Assessment and Management.* 2019, **15**(6),
56. ALOHA Software. IAFC | *International Association of Fire Chiefs* [online]. Copyright © 1999 [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.iafc.org/topics-and-tools/resources/resource/aloha-software>
57. ALOHA Software | CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations) | US EPA. *United States Environmental Protection Agency* | US EPA [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>

58. BARTA, Ing. Jiří a RNDr. Ing. Tomáš LUDÍK. *ALOHA–modelování a simulace: (Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNAŘE)* [online]. In: . Univerzita obrany, 2012, 2012, s. 39 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: [https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod\\_resource/content/1/Studijni\\_pomucka\\_Aloha.pdf](https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf)
59. ALOHA® Software
60. What is the CAMEO software suite? | CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations) | US EPA. *United States Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/what-cameo-software-suite>
61. MARPOT® Software
62. MARPLOT Software | CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations) | US EPA. *United States Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>
63. RMP\*Comp | Risk Management Plan (RMP) Rule | US EPA. *United States Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/rmp/rmpcomp>
64. RMP\*Comp Software
65. BARTA, Ing. Jiří a RNDr. Ing. Tomáš LUDÍK. *TerEx–modelování a simulace: (Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNAŘE)* [online]. In: . Univerzita obrany, 2012, 2012, s. 31 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: [https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod\\_resource/content/1/Studijni\\_pomucka\\_TerEx.pdf](https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_TerEx.pdf)
66. TerEx Software
67. STRAKOŠ, P. *POSOUZENÍ RIZIK ZÁVAŽNÉ HAVÁRIE: MESSER TECHNOGAS S.R.O. PLNÍRNA TECHNICKÝCH PLYNŮ Kladno*. 5. vydání. Kladno, 2018. 895-908. ISSN 1551-3777. Dostupné z: doi:10.1002/ieam.4182
68. ROY E., Sanders. *Chemical Process Safety*. 4. London: © Butterworth-Heinemann, 2015. ISBN 9780128044285.
69. AZAPAGIC, Adisa a Faisal KHAN. *Process Safety and Environmental Protection*. *Institution of Chemical Engineers*. 2015, 2015(1). ISSN 0957-5820.
70. CARSON, P. A. *Hazardous Chemicals Handbook*. 2. London: © Butterworth-Heinemann 2002, 2002. ISBN 9780080973951.
71. RICHARDSON, M. L. *Risk Management of Chemicals*. Cambridge: © Woodhead Publishing 1992, 1992. ISBN 9781855738126.
72. BAHADORI, Alireza. *Personnel Protection and Safety Equipment for the Oil and Gas Industries*. Houston: © Gulf Professional Publishing 2015, 2015. ISBN 9780128028148.

73. NOLAN, Dennis. *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities*. 3rd Edition. California: © William Andrew 2014, 2014. ISBN 9780128101414.
74. GÄRTNER, Sabine, Jens KÜLLMER a Ulrich SCHLOTTMANN. Chemical Safety in a Vulnerable World. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2003, **42**(37), 4456-4469 [cit. 2021-5-5]. ISSN 1433-7851. Dostupné z: doi:10.1002/anie.200300584
75. GÄRTNER, Sabine, Jens KÜLLMER a Ulrich SCHLOTTMANN. Chemical Safety Data. *A Guide to Safe Material and Chemical Handling* [online]. Hoboken, NJ, USA, 2010, 2010-04-29, **42**(37), 263-370 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9780470648247. ISSN 1433-7851. Dostupné z: doi:10.1002/9780470648247.ch6
76. GÄRTNER, Sabine, Jens KÜLLMER a Ulrich SCHLOTTMANN. Chemical Safety Information Databases. *Encyclopedia of Computational Chemistry* [online]. Hoboken, NJ, USA, 2010, 2010-04-29, **43**(38), 263-370 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9780470648247. ISSN 1433-7851. Dostupné z: doi:10.1002/0470845015.cda007
77. ENGLER, Rick. Should engineers have more influence on safety? A view from a member of the United States Chemical Safety Board. *Process Safety Progress* [online]. 2019, **38**(3) [cit. 2021-5-5]. ISSN 1066-8527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.12076
78. BERGESON, Lynn L. The chemical safety and hazard investigation board: Thinking strategically in investigating (and preventing) chemical accidents. *Environmental Quality Management* [online]. 2006, **16**(2), 81-88 [cit. 2021-5-5]. ISSN 10881913. Dostupné z: doi:10.1002/tqem.20123
79. MACKENZIE, Cheryl a Don HOLMSTROM. Investigating beyond the human machinery: A closer look at accident causation in high hazard industries. *Process Safety Progress* [online]. 2009, **28**(1), 84-89 [cit. 2021-5-5]. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.10283
80. ALONSO, Ignacio José a Mike BROADRIBB. Human error: A myth eclipsing real causes. *Process Safety Progress* [online]. 2018, **37**(2), 145-149 [cit. 2021-5-5]. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.11936
81. HAESLE, John, Chris DEVLIN a Jack L. MCCAVIT. Improving process safety by addressing the human element: A myth eclipsing real causes. *Process Safety Progress* [online]. 2009, **28**(4), 325-330 [cit. 2021-5-5]. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.10326
82. MANUELE, Fred A., Chris DEVLIN a Jack L. MCCAVIT. Advanced Safety Management Focusing on Z10 and Serious Injury Prevention: A myth eclipsing real causes. *Process Safety Progress* [online]. 2009, 2008-02-06, **28**(4), 325-330 [cit. 2021-5-5]. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/9780470192696
83. *Advanced Safety Management Focusing on Z10 and Serious Injury Prevention* [online]. 28. Hoboken, NJ, 2014 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9781118840900. ISSN 10668527. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118840900.ch4>

84. WINCEK, John C., Joel M. HAIGHT a Jack L. MCCAVIT. Realistic human error rates for process hazard analyses: A myth eclipsing real causes. *Process Safety Progress* [online]. Hoboken, NJ, 2007, 2014-04-04, **26**(2), 95-100 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9781118840900. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.10184
85. WINCEK, John C., Joel M. HAIGHT a Jack L. MCCAVIT. Selecting a Facility Location: A myth eclipsing real causes. *Guidelines for Siting and Layout of Facilities* [online]. Hoboken, NJ, USA, 2018, 2018-04-02, **26**(2), 42-106 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9781119474821. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/9781119474821.ch4
86. WINCEK, John C., Joel M. HAIGHT a Jack L. MCCAVIT. Explosive and Chemical Safety: A myth eclipsing real causes. *High Energy Materials* [online]. Weinheim, Germany, 2010, 2018-04-02, **26**(2), 413-447 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9783527628803. ISSN 10668527. Dostupné z: doi:10.1002/9783527628803.ch6
87. KHAKZAD, Nima, Gabriele LANDUCCI a Genserik RENIERS. Application of Graph Theory to Cost-Effective Fire Protection of Chemical Plants During Domino Effects. *Risk Analysis* [online]. Weinheim, Germany, 2017, **37**(9), 1652-1667 [cit. 2021-5-5]. ISBN 9783527628803. ISSN 02724332. Dostupné z: doi:10.1111/risa.12712

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - eMARS typy událostí dle typu průmyslu .....	19
Obrázek 2 - eMARS statistika dle klasifikace rozsahu událostí SEVESO .....	20
Obrázek 3 - Messer Technogas s.r.o. celosvětově .....	29
Obrázek 4 - Kladno, podniky skupiny A .....	30
Obrázek 5 - Messer Technogas, skupina A .....	31
Obrázek 6 - nejbližší okolí podniku .....	31
Obrázek 7 - širší okolí podniku .....	32
Obrázek 8 - Okolí podniku .....	54
Obrázek 9 - Průměrné teploty a srážky za posledních 30 let.....	58
Obrázek 10 - Acetylen ALOHA threat zone obyčejný únik.....	69
Obrázek 11 – Acetylen obyčejný únik: flammable area ALOHA .....	70
Obrázek 12 – Acetylen obyčejný únik: flammable area MARPLOT .....	70
Obrázek 13 – Acetylen overpressure ALOHA .....	71
Obrázek 14 - Acetylen overpressure MARPLOT .....	71
Obrázek 15 - Acetylen "Jet Fire" MARPLOT .....	71
Obrázek 16 - Acetylen "Jet Fire" ALOHA .....	71
Obrázek 17 - Acetylen BLEVE MARPLOT .....	72
Obrázek 18 - Acetylen BLEVE ALOHA .....	72
Obrázek 19 - Acetylen výpočet RMP*Comp .....	73
Obrázek 20 - Acetylen "Jet Fire" TerEx zóny .....	74
Obrázek 21 - Acetylen "Jet Fire" TerEx mapa .....	74
Obrázek 22 - Acetylen graf mortality TerEx „Jet Fire“ .....	75
Obrázek 23 - Acetylen graf následků TerEx „Jet Fire“ .....	75
Obrázek 24 - Acetylen graf tepelného toku TerEx „Jet Fire“ .....	76
Obrázek 25 - Acetylen DEGAS zóny TerEx .....	76
Obrázek 26 - Acetylen DEGAS zóny TerEx mapa .....	77
Obrázek 27 - Acetylen DEGAS graf ohrožení výbuchem TerEx .....	77

Obrázek 28 - Acetylen DEGAS graf možného výbuchu TerEx .....	78
Obrázek 29 - Amoniak „Jet Fire“ zóny ALOHA .....	79
Obrázek 30 - Amoniak „Jet Fire“ zóny MARPLOT .....	79
Obrázek 31 - Amoniak BLEVE ALOHA .....	80
Obrázek 32 - Amoniak BLEVE MARPLOT .....	80
Obrázek 33 - Amoniak RMP*Comp zóny .....	80
Obrázek 34 - Amoniak DEGAS TerEx zóny .....	81
Obrázek 35 - Amoniak DEGAS TerEx zóny mapa .....	81
Obrázek 36 – Amoniak DEGAS doporučený průzkum .....	82
Obrázek 38 - Oxid siřičitý PUFF MARPLOT .....	83
Obrázek 37 - Oxid siřičitý PUFF ALOHA .....	83
Obrázek 39 - Oxid siřičitý zóna RMP*Comp .....	84
Obrázek 41 - Oxid siřičitý PUFF zóny TerEx .....	85
Obrázek 40 - Oxid siřičitý PUFF TerEx mapa .....	85
Obrázek 42 - Oxid siřičitý graf doporučeného průzkumu TerEx .....	86

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

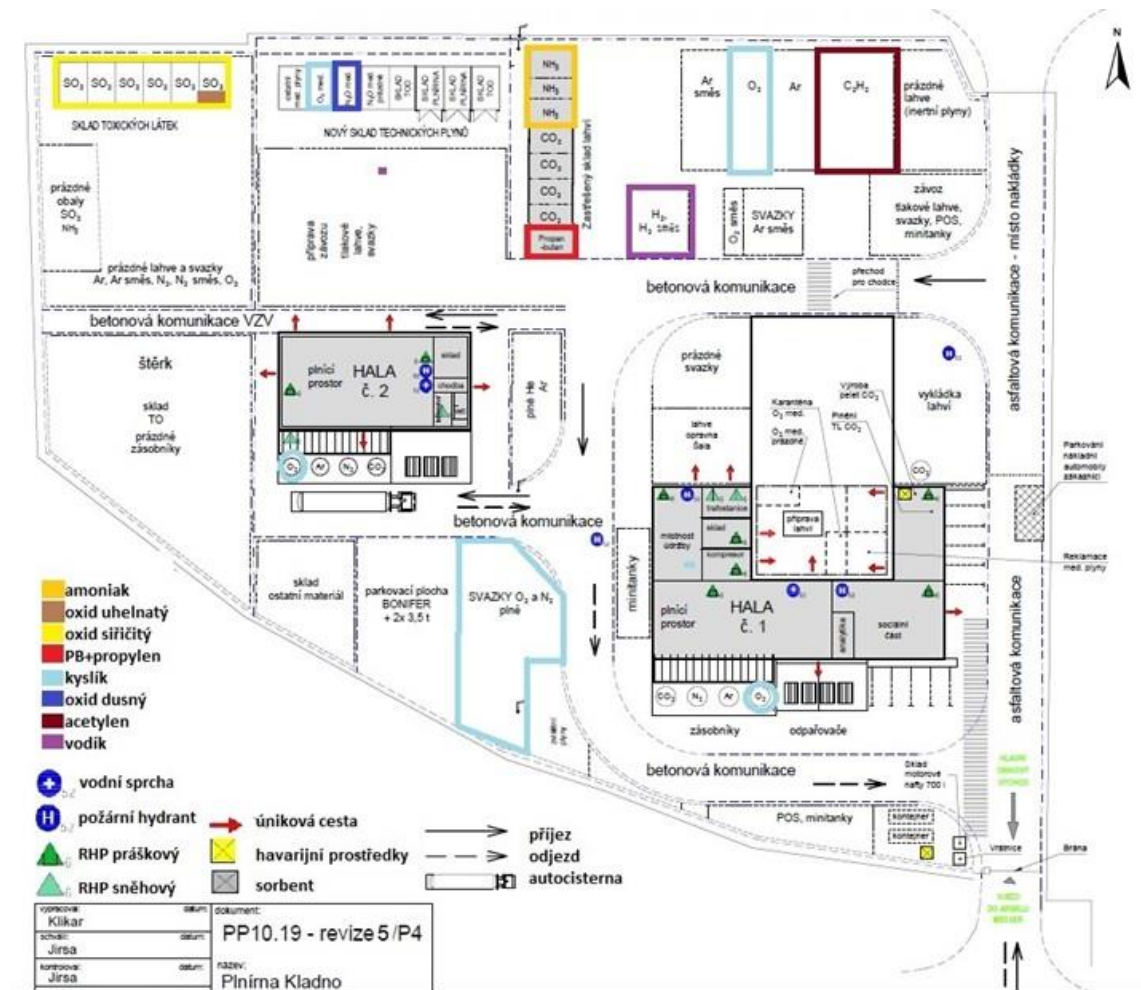
Tabulka 1 - Hodnoty indexů acetylen .....	33
Tabulka 2 - Hodnoty indexů amoniak .....	35
Tabulka 3 - Hodnoty indexů oxid siřičitý .....	38
Tabulka 4 - Hodnoty indexů oxid uhelnatý .....	39
Tabulka 5- Hodnoty indexů propan-butan .....	41
Tabulka 6 - Hodnoty indexů propylen .....	42
Tabulka 7 - Hodnoty indexů vodík .....	43
Tabulka 8 - Označení frekvence vzniku událostí .....	44
Tabulka 9 - Označení následků události .....	44
Tabulka 10 - Matice hodnocení rizik .....	45
Tabulka 11 - Úroveň rizika .....	46
Tabulka 12 - Váhové koeficienty .....	47
Tabulka 13 - Hodnocení výsledné úrovně rizika .....	48
Tabulka 14 – Celkové množství a druh látek skladovaných areálu .....	55
Tabulka 15 – Maximální množství látek dle místa a způsobu skladování .....	56
Tabulka 16 - Vnější ohrožení analýza rizik .....	61
Tabulka 17 – Vnitřní ohrožení analýzy rizik .....	62
Tabulka 18 - Multikriteriální analýza vnější faktory .....	63
Tabulka 19 - Multikriteriální analýza vnitřní faktory .....	64

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Plánek Plnárna plynů Messer Technogas s.r.o. ....	I
Příloha č. 2 – Hodnotové vyjádření koeficientů pro stanovení úrovně rizika pro výpočet multikriteriální analýzy .....	II
Příloha č. 3 – Třídy stability Kladno-Buštěhrad .....	V
Příloha č. 4 – Zadání parametrů do programu ALOHA .....	VI



# Příloha č. 1 - Plánek Plnárna plynů Messer Technogas s.r.o.



**Příloha č. 2 – Hodnotové vyjádření koeficientů pro stanovení úrovně rizika pro výpočet multikriteriální analýzy**

*Tabulka koeficientů frekvence*

Časové údobí frekvence možného vzniku MU	F
1 x za několik měsíců (cca 1-6 a častěji)	10
1 x za více měsíců až 1 rok (cca 7 až 12 měsíců)	9
1 x za několik málo let (cca 2-4 roky)	8
1 x za více let (cca 5-10 let)	7
1 x za několik málo desetiletí (cca 2-3 desetiletí = cca 1 generace)	6
1 x za více desetiletí (cca 4-9 desetiletí = cca 2-3 generace)	5
1 x za cca 100 let	4
1 x za několik málo století (cca 2-4 století)	3
1 x za více století	2
1 x za 1000 let a více	1

*Tabulka koeficientů dopadů na životy a zdraví zaměstnanců Kz1*

Smrtelné případy	Kz1
0 mrtvých	0
1–5 mrtvých	1
6–10 mrtvých	2
11–20 mrtvých	3
21–50 mrtvých	4
51–100 mrtvých	5
101–500 mrtvých	6

*Tabulka koeficientů ohrožení zaměstnanců Kz2*

Ohrožení zaměstnanců	Kz2
bez ohrožení	0
1–5 ohrožených osob	1

<b>6–10 ohrožených osob</b>	2
<b>11–20 ohrožených osob</b>	3
<b>21–50 ohrožených osob</b>	4
<b>51–100 ohrožených osob</b>	5
<b>101–500 ohrožených osob</b>	6

*Tabulka koeficientů dopadů na životy a zdraví obyvatelstva Ko1*

<b>Smrtelné případy</b>	<b>Ko1</b>
<b>0 mrtvých</b>	0
<b>1–10 mrtvých</b>	1
<b>11–20 mrtvých</b>	2
<b>21–50 mrtvých</b>	3
<b>51–100 mrtvých</b>	4
<b>101–500 mrtvých</b>	5
<b>501–1000 mrtvých</b>	6
<b>1001–5000 mrtvých</b>	7

*Tabulka koeficientů ohrožení obyvatelstva Ko2*

<b>Ohrožení osob</b>	<b>Ko2</b>
<b>bez ohrožení</b>	0
<b>1–10 ohrožených osob</b>	1
<b>11–20 ohrožených osob</b>	2
<b>21–50 ohrožených osob</b>	3
<b>51–100 ohrožených osob</b>	4
<b>101–500 ohrožených osob</b>	5
<b>501–1000 ohrožených osob</b>	6
<b>1001–5000 ohrožených osob</b>	7

*Tabulka koeficient životního prostředí K<sub>ZP</sub>*

Poškození a ohrožení životního prostředí	K <sub>ZP</sub>
bez poškození	0
malé poškození a ohrožení	2
střední poškození a ohrožení	4
velké poškození a ohrožení	6
velmi velké poškození a ohrožení	8

*Tabulka koeficientů ekonomických dopadů K<sub>E</sub>*

Přímé škody	K <sub>E</sub>
Do 100.000 Kč	1
100.001 - 300.000 Kč	2
300.001 - 500.000 Kč	3
500.001 - 1.000.000 Kč	4
1.000.001 - 5.000.000 Kč	5
5.000.001 - 10.000.000 Kč	6
10.000.001 a více	7

Příloha č. 3 – Třídy stability Kladno-Buštěhrad

Třída stability F - Velmi stabilní										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.88	1.27	5.32	0.48	1.32	8.11	5.77	2.49	1.20	26.84
5	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.70	0.10	0.00	0.00	0.94
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	0.89	1.31	5.35	0.51	1.35	8.81	5.87	2.49	1.20	27.78
Třída stability E - Lehce stabilní										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.11	0.22	0.12	0.02	0.07	2.09	0.54	0.06	0.00	3.23
5	0.05	0.08	0.05	0.05	0.07	2.29	0.47	0.04	0.00	3.10
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	0.16	0.30	0.17	0.07	0.14	4.38	1.01	0.10	0.00	6.33
Třída stability D - Neutrální podmínky										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	2.34	2.72	2.15	0.25	0.85	7.30	4.13	2.08	0.48	22.30
5	0.48	0.72	0.32	0.14	0.13	8.47	2.31	0.22	0.00	12.79
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.10	0.01	0.00	0.32
součet	2.82	3.44	2.47	0.39	0.98	15.98	6.54	2.31	0.48	35.41
Třída stability C - Lehce nestabilní										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	2.29	2.60	1.36	0.16	0.25	3.25	3.16	2.22	0.37	15.66
5	0.04	0.14	0.07	0.02	0.02	0.88	0.27	0.01	0.00	1.45
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	2.33	2.74	1.43	0.18	0.27	4.13	3.43	2.23	0.37	17.11
Třída stability B - Mírně nestabilní										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	1.61	2.42	0.69	0.08	0.13	2.07	1.67	1.06	0.14	9.87
5	0.03	0.17	0.07	0.01	0.01	0.17	0.18	0.00	0.00	0.64
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	1.64	2.59	0.76	0.09	0.14	2.24	1.85	1.06	0.14	10.51
Třída stability A - Velmi nestabilní										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	0.57	0.73	0.24	0.04	0.04	0.36	0.38	0.34	0.10	2.80
5	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.06
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
součet	0.57	0.76	0.24	0.04	0.04	0.38	0.39	0.34	0.10	2.86
celková růžice										
m.s <sup>-1</sup>	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	součet
1,7	7.80	9.96	9.88	1.03	2.66	23.18	15.65	8.25	2.29	80.70
5	0.61	1.18	0.54	0.25	0.26	12.53	3.34	0.27	0.00	18.98
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.10	0.01	0.00	0.32
součet	8.41	11.14	10.42	1.28	2.92	35.92	19.09	8.53	2.29	100.00

## Příloha č. 4 – Zadání parametrů do programu ALOHA

### Únik acetylenu – zadání údajů:

Text Summary

Location: ABERDEEN, MARYLAND  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.42 (unsheltered single storied)  
Time: July 20, 2021 1200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:|

Chemical Name: ACETYLENE  
CAS Number: 74-86-2                      Molecular Weight: 26.04 g/mol  
PAC-1: 65000 ppm    PAC-2: 230000 ppm    PAC-3: 400000 ppm  
LEL: 25000 ppm       UEL: 800000 ppm  
Ambient Boiling Point: -83.9° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)  
Wind: 2 meters/second from W at 3 meters  
Ground Roughness: open country                      Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C  
Stability Class: D (user override)  
No Inversion Height                                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:  
Leak from hole in vertical cylindrical tank  
Flammable chemical is burning as it escapes from tank  
Tank Diameter: 0.22 meters                      Tank Length: 1.3 meters  
Tank Volume: 49.4 liters  
Tank contains liquid                                      Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 0.020 tons                      Tank is 90% full  
Circular Opening Diameter: 2 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Flame Length: 4 meters                                      Burn Duration: 20 seconds  
Burn Rate: 11.2 kilograms/sec  
Total Amount Burned: 18.1 kilograms  
Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

<

### Únik amoniaku – zadání údajů:

Text Summary

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: -33.5° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)  
Wind: 2 meters/second from E at 3 meters  
Ground Roughness: open country                      Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C  
Stability Class: D (user override)  
No Inversion Height                                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:  
Leak from hole in vertical cylindrical tank  
Flammable chemical is burning as it escapes from tank  
Tank Diameter: 0.75 meters                      Tank Length: 1 meters  
Tank Volume: 442 liters  
Tank contains liquid                                      Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 0.27 tons                      Tank is 90% full  
Circular Opening Diameter: 10 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom

<

## Únik oxidu siřičitého – zadání údajů:

Text Summary		
<b>CHEMICAL DATA:</b>		
Chemical Name: SULFUR DIOXIDE		
CAS Number: 7446-9-5	Molecular Weight: 64.06 g/mol	
AEGL-1 (60 min): 0.2 ppm	AEGL-2 (60 min): 0.75 ppm	AEGL-3 (60 min): 30 ppm
IDLH: 100 ppm		
Ambient Boiling Point: -10.1° C		
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm		
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%		
<b>ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)</b>		
Wind: 2 meters/second from W at 3 meters		
Ground Roughness: open country	Cloud Cover: 5 tenths	
Air Temperature: 20° C		
Stability Class: D (user override)		
No Inversion Height	Relative Humidity: 50%	
<b>SOURCE STRENGTH:</b>		
Leak from hole in vertical cylindrical tank		
Non-flammable chemical is escaping from tank		
Tank Diameter: 0.8 meters	Tank Length: 1.6 meters	
Tank Volume: 804 liters		
Tank contains liquid	Internal Temperature: 20° C	
Chemical Mass in Tank: 1.10 tons	Tank is 90% full	
Circular Opening Diameter: 2 centimeters		
Opening is 0 meters from tank bottom		
Note: RAILCAR predicts a stationary cloud or 'mist pool' will form.		
Model Run: traditional ALOHA tank		
Release Duration: 4 minutes		
Max Average Sustained Release Rate: 301 kilograms/min		
(averaged over a minute or more)		
Total Amount Released: 998 kilograms		
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).		