

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2018

**MICHAL
KOTRČ**

**Komparace výsledků modelování úniků nebezpečných chemických látek různými
softwarovými nástroji**

**Comparison of Leakage Evaluation of Hazardous Substances by Various Software
Tools**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování
Vedoucí práce: plk. RNDr. Tomáš Holec

Michal Kotrč

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2017/2018

Z a d á n í d i p l o m o v é p r á c e

Student: **Michal Kotrč**
Studijní obor: Civilní nouzové plánování
Téma: **Komparace výsledků modelování úniků nebezpečných chemických látek různými softwarovými nástroji**
Téma anglicky: Comparison of Leakage Modeling of Hazardous Substances by Various Software Tools

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

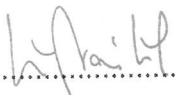
Předmětem diplomové práce bude komparace výsledků modelace úniků nebezpečných chemických látek různými softwarovými nástroji. Jedná se o softwarové nástroje Terex, Rozex Alarm, Optizon a Aloha. V teoretické části bude uveden přehled látek, které budou užity jako modelové příklady a také rozbor jejich vlastností a chování při úniku. Dále zde bude popsána charakteristika jednotlivých softwarových nástrojů. Praktická část bude obsahovat modelace úniku vybraných látek a vyhodnocení dat získaných z jednotlivých softwarových nástrojů. Následovat bude komparace výsledků, které poskytly jednotlivé nástroje. Na základě těchto výsledků bude pro jednotlivé softwarové nástroje zpracována SWOT analýza. Podle této analýzy bude vybrán nejvhodnější nástroj pro konkrétní případy úniku nebezpečných chemických látek. Výstupem práce bude zhodnocení silných a slabých stránek jednotlivých programů pro konkrétní scénáře mimořádných událostí. V rámci dostupných dat bude zvolen nejvhodnější program pro konkrétní činnost.

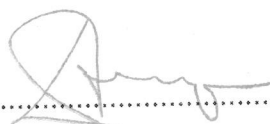
Seznam odborné literatury:

- [1] 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
- [2] SKŘEHOT, Petr, Prevence nehod a havárií, ed. 1., Česko: PINK PIG, 2009, 341 s., ISBN 978-80-86973-70-8
- [3] VILÁŠEK, Josef, Krizové řízení, ed. 1., Praha: Karolinum, 2009, 81 s., ISBN 978-80-246-1723-7

Vedoucí: RNDr. Tomáš Holec

Zadání platné do: 20.08.2019


.....
vedoucí katedry / pracoviště


.....
děkan

V Kladně dne 02.10.2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Komparace výsledků modelování úniků nebezpečných chemických látek různými softwarovými nástroji vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Praze dne 22.04.2018

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval plk. RNDr. Tomáši Holcovi za trpělivost, cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na komparaci výsledků modelací nebezpečných chemických látek různými softwarovými nástroji. V teoretické části se práce věnuje nebezpečným chemickým látkám a charakteristice jednotlivých softwarových nástrojů. Praktická část práce se věnuje modelaci úniků pomocí softwarových nástrojů Terex, Rozex Alarm, Optizon, Aloha. Na základě výstupů z modelací a zkušeností s uživatelským rozhraním jednotlivých nástrojů bude určen nejvhodnější program pro konkrétní činnosti.

Klíčová slova

Modelovací software, Aloha, Terex, Optizon, Rozex Alarm, Modelace úniků NCHL.

Abstract

The diploma thesis is focused on the comparison of the results of modelling of hazardous chemical substances with various software tools. In the theoretical part the thesis deals with dangerous chemical substances and the characteristics of individual software tools. Practical part deals with modelling of leakages using software tools Terex, Rozex, Optizon, Aloha. Based on outputs from modelling and user interface experience, the most appropriate program for the specific activity will be determined.

Keywords

Modelling software, Aloha, Terex, Optizon, Rozex Alarm, HCHS leakage modelling.

Obsah

1	Úvod	8
2	Současný stav	9
2.1	Základní pojmy	9
2.2	Legislativní rámec k nebezpečným chemickým látkám	13
2.2.1	Direktiva Seveso I, Seveso II a Seveso III	14
2.3	Havárie s únikem chemických látek	15
2.3.1	Následné děje po úniku NCHL do okolí	16
2.3.2	Rozdělení úniků podle vlastností unikající látky a prostředí	17
2.3.3	Odpařování látky	18
2.3.4	Rozptyl látky	19
2.3.5	Podmínky ovlivňující rozptyl látek v atmosféře	19
2.4	Software pro modelace úniků nebezpečných chemických látek	20
2.4.1	Terex	20
2.4.2	Rozex Alarm	22
2.4.3	Optizon	23
2.4.4	ALOHA	24
2.5	Nebezpečné chemické látky	25
2.5.1	Rozdělení Nebezpečných chemických látek podle zákona č.350/2011 Sb.	26
2.5.2	Brána vstupu	28
2.5.3	Ukazatele toxicity	28
2.6	Vlastnosti látek vybraných pro modelování	30
2.6.1	Amoniak	30
2.6.2	Chlor	32
2.6.3	Sarin	33
3	Cíl práce a hypotézy	35

3.1	Cíl práce	35
3.2	Hypotézy	35
4	Metodika	36
5	Výsledky	38
5.1	Vstupní údaje použité při modelacích	38
5.2	Výsledky modelací	41
5.2.1	Aloha	41
5.2.2	Terex	50
5.2.3	Rozex Alarm.....	55
5.2.4	Optizon	59
5.3	Komparace modelací	64
5.3.1	Chlor	65
5.3.2	Amoniak	66
5.3.3	Sarin.....	67
5.4	SWOT analýzy na základě výsledků modelací a práce s programy	69
5.4.1	SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Terex.....	69
5.4.2	SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Rozex alarm.....	70
5.4.3	SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Optizon.....	72
5.4.4	SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Aloha	73
5.5	Konkrétní případy úniku a výběr modelovacího softwaru	74
5.5.1	Únik nebezpečných látek při přepravě	74
5.5.2	Únik nebezpečných látek při technologické havárii	74
5.6	Konkrétní činnosti a výběr nejvhodnějšího softwarového nástroje	75
5.6.1	Zpracování plánovací dokumentace pro stacionární zařízení (objekty zařazené dle zákona do skupiny B).....	76
5.6.2	Zpracování havarijních karet	76
5.6.3	Hodnocení hrozícího nebo vzniklého úniku krizovými štáby	77

5.6.4	Modelování specifických úniků pro komerční účely	77
6	Diskuze	78
7	Závěr.....	82
8	Seznam použitých zkratk.....	84
9	Seznam použité literatury	85
10	Seznam použitých obrázků	88
11	Seznamu použitých tabulek	90
12	Seznam příloh.....	91
13	Přílohy.....	92

1 ÚVOD

Spolu s rychle vzrůstající průmyslovou výrobou v posledních 100 letech, stoupala také výroba v chemickém odvětví. Vysoká poptávka po různých chemických produktech, chemických látkách a směsích zapříčinila znatelných rozmach chemické výroby a tím se v našem okolí rapidně navýšila přítomnost chemických látek, bez kterých by se jen těžko zachovávala výrobní úroveň a efektivita.

Spolu s rostoucím množstvím látek, rostl také počet nebezpečných látek, které by mohli mít negativní dopad na zájmy obyvatelstva. Začala se tedy zavádět ochranná opatření, která by měla minimalizovat negativní dopady havárií s únikem nebezpečných chemických látek.

Při provádění protipatření je nutné co nejlépe znát látku, proti které se snažíme chránit a také možná fyzikálně-chemická rizika, jenž samotná látka způsobuje po nekontrolovatelném úniku do atmosféry. Pro adekvátní přípravu opatření je tedy nutné znát, jakým způsobem se látky rozptylují, jakých koncentrací při rozptylu dosahují a jaká rizika jsou s těmito koncentracemi spojena.

V současné době existuje několik modelovacích programů pro modelace úniku nebezpečných chemických látek. Tyto programy vznikly díky potřebám práce s riziky z důvodu možného provádění opatření, která odpovídají hrozícímu riziku. Tak, aby nedocházelo k přecenění nebo naopak znatelnému podcenění hrozících nebezpečí. Pro tyto účely bylo vytvořeno do této doby několik programů, jenž jsou zaměřením velmi podobné, ale přeci jen se liší jak v množství zadávaných informací, početním omezením vstupních dat, tak i samotným rozsahem výstupních hodnot a jejich interpretací.

Tato diplomová práce se zaměřuje na modelovací softwary, které umožňují odhadnout následky úniků nebezpečných chemických látek do ovzduší. Jedná se o vybrané softwarové nástroje Terex, Rozex Alarm, Optizon a Aloha. Tyto programy byly vytvořeny za účelem modelace, ale každý program poskytuje odlišné výstupy, různé možnosti a příležitosti, jejichž rozbor a komparace budou předmětem této práce.

Cílem práce je porovnání výstupů všech čtyř programů a na základě získaných dat a zkušeností s prací s programy výběr nejvhodnějšího programu pro různé modelovací případy a konkrétní činnosti, které by mohli uživatelé v praxi potkat.

2 SOUČASNÝ STAV

2.1 Základní pojmy

Hrozba

Hrozba je pojem, který může svou potencionální schopností poškodit objekty, subjekty nebo osoby zasažené. Jedná se o osobu, aktivitu nebo událost, jenž může poškodit zájmy a hodnoty chráněné státem. Míru hrozby určuje možná velikost způsobené škody a pravděpodobnost jejího vzniku.

Riziko

Riziko lze považovat za pravděpodobnost vzniku události, která poškodí chráněné hodnoty. Riziko můžeme také vidět jako odvozenou proměnou, která se dá odhadnout či přímo určit analýzou rizik.

Mimořádná událost

Mimořádná událost svým působením ohrožuje život, majetek, zdraví a životní prostředí. Lze popsat jako škodlivé působení rozličných sil. Toto působení škodlivých sil vyžaduje zahájení záchranných a likvidačních prací.

Krizová situace

Situace, při níž je vyhlášen stav nebezpečí, nouzový stav nebo stav ohrožení státu. Jedná se o mimořádnou událost, kterou nelze zvládnout standartními postupy, jenž následně zapříčiní vyhlášení jednoho z krizových stavů.

Chemická havárie

Chemická havárie je časově a prostorově ohraničená událost při níž došlo k úniku nebezpečných chemických látek, je zcela nebo částečně neovladatelná. Z pravidla se jedná o objekt, v němž se látka vyrábí, přepravuje, využívá k další výrobě nebo skladuje a její únik vede k bezprostřednímu nebo následnému ohrožení života a zdraví obyvatel, hospodářských zvířat, majetku nebo životního prostředí. (1)

Nebezpečná látka

NCHL a jejich směsi, které působí na své okolí negativně jednou nebo více nebezpečnými vlastnostmi. (1)

Stacionární a mobilní zdroje rizik

Stacionární i mobilní zdroje s sebou nesou určité množství rizika. Zatímco u mobilních zdrojů dochází k únikům častěji než u stacionárních, uniklé množství, je už z podstaty menšího rozsahu. U stacionárních zdrojů zpravidla dochází k ohrožení velkého rozsahu. Jako příklad můžeme uvést havárie v Bhópálu, Enschede, Toulouse a Sevesu. Na základě posledně jmenovaného vznikla direktiva Seveso 1-3, jenž se problematikou NCHL zabývá. Pro mobilní zdroje rizik platí v současné době vnitrozemské předpisy a mezinárodní dohody, které jsou závazné pro členské státy a jsou určitou zárukou jednotnosti bezpečnostního systému v manipulaci s NCHL. (3) (4)

Patří sem:

- ADR – Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí
- RID – Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí
- ADN – Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí po vnitrozemských vodních cestách,
- IMDG Code - Mezinárodní předpis pro námořní přepravu nebezpečných věcí,
- ICAO ANNEX L 18 - Bezpečná přeprava nebezpečného zboží vzduchem (2)

Integrovaný záchranný systém

Integrovaný záchranný systém České republiky dále jen IZS je vymezen zákonem č. 239/2000 Sb., o integrovaném systému a o změně některých zákonů. Zákon stanovuje složky IZS a jejich působnost, pravomoci a úkoly orgánů státních a územně samosprávních. Dále zákon stanovuje práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na mimořádné události, při záchranných a likvidačních pracích a při ochraně obyvatelstva před po dobu vyhlášení jednoho z krizových stavů.

Mezi základní složky IZS patří:

- Hasičský záchranný sbor ČR

- Jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje
- Zdravotnická záchranná služba
- Policie ČR

Mezi ostatní složky patří:

- Vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil
- Obecní policie
- Orgány ochrany veřejného zdraví,
- Havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby,
- Zařízení civilní ochrany,
- Neziskové organizace a sdružení občanů, která lze využít k záchranným a likvidačním pracím.

IZS lze charakterizovat jako koordinovaný zásah dvou nebo více složek IZS při řešení a přípravě na mimořádné události. Pro koordinaci jsou zřízena operačně informační střediska IZS, kam spadají střediska HZS jednotlivých krajů a středisko generálního ředitelství hasičského záchranného sboru.

Úkolem informačně operačních středisek je přijímat a vyhodnocovat informace o mimořádných událostech, komunikovat a zprostředkovávat organizaci plnění úkolů ukládaných velitelem zásahu, plnit úkoly řídicích orgánů, zajišťovat vyrozumění jednotlivých složek IZS. Dále operačně informační střediska zajišťují varování obyvatelstva na postiženém území. (3)

Hasičský záchranný sbor

Hasičský záchranný sbor ČR je z pravidla hlavním koordinátorem a velitelem zásahu. V praxi je tedy při zásahu více složek IZS velitelem zásahu zpravidla příslušník hasičského záchranného sboru. Následně řídí a koordinuje společný postup při záchranných a likvidačních pracích. Vyhlašuje odpovídající stupeň poplachu po zhodnocení situace v místě zásahu. (3)

Oprávnění velitele zásahu při provádění záchranných a likvidačních pracích:

- zakázat nebo omezit vstup osob na místo zásahu

- nařídit evakuaci osob nebo stanovit jiná dočasná omezení k ochraně života, zdraví, majetku a životního prostředí
- vyzvat právnické a fyzické osoby k poskytnutí osobní nebo věcné pomoci
- zřídit štáb velitele zásahu jako svůj výkonný orgán a určit náčelníka a členy štábu
- rozdělit místo zásahu na sektory (3)

Chemická služba

Chemická služba je součástí hasičského záchranného sboru. Je vymezena vyhláškou č.247/2001 Sb., o organizaci a činnosti jednotek požární ochrany.

Úkoly chemické služby v organizačním řízení:

- zajišťovat a udržovat provozuschopnost prostředků
- usměrňovat po odborné stránce činnost CHS v jednotkách PO
- podílet se na zpracování plánů odborné přípravy, na jejím provádění a ověřování
- poskytovat odbornou podporu při odborné přípravě jednotek PO a pro ochranu obyvatelstva
- provádět odbornou přípravu jednotek PO pro řešení mimořádných událostí s výskytem NL
- vést evidenci a v platných termínech provádět kontroly prostředků CHS
- udržovat v aktuálním stavu produkty odborné a informační podpory pro zásah jednotek PO v prostředí s výskytem NL a pro ochranu obyvatelstva

Úkoly chemické služby v operačním řízení:

- podílet se na průzkumu NL
- označování a vytyčování oblastí s výskytem NL na místě zásahu
- varování a evakuaci obyvatelstva
- poskytování odborné podpory při zásahu jednotek PO v prostředí s výskytem NL na místě zásahu a pro ochranu osob v místě zásahu, dekontaminaci hasičů a prostředků požární ochrany, zasažených osob v místě zásahu
- provádění záchranných a likvidačních prací při mimořádných událostech s výskytem NL

Havarijní karta

Komplexní a stručný dokument, který popisuje jak nebezpečné látky v zařízení či objektu tak charakterizuje vybrané havarijní projevy, jako například dosah nebezpečné koncentrace uniklé látky. V případě vzniku závažné havárie jsou pomůckou krizového štábu a slouží k rozhodování. Z praktických důvodů mívají tyto karty formát A4 **(4)**.

2.2 Legislativní rámec k nebezpečným chemickým látkám

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon)

Zákon zapracovává předpisy Evropské unie, upravuje práva a povinnosti právnických, fyzických a podnikajících fyzických osob při klasifikaci, výrobě, balení, testování, používání, označování, uvádění na trh, používání a transportování chemických látek nebo látek obsažených ve směsích nebo předmětech na území České republiky. Je zde také popsána působnost správních orgánů při zajišťování ochrany před škodlivými účinky látek a směsí a správná laboratorní praxe.

Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů

Jelikož v roce 2015 vstoupila v platnost závazná směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU (SEVESO III) o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES (SEVESO II) reagovala česká legislativa novelizací zákona. Tento zákon zapracovává dané směrnice Evropské unie, stanovuje systém prevence před závažnými haváriemi pro objekty, které obsahují nebezpečné látky, s cílem minimalizovat pravděpodobnost vzniku závažných havárií a omezit jejich následky. Zákon stanoví působnost orgánů veřejné správy při provádění úkolů prevence závažných havárií způsobené nebezpečnými látkami a povinnosti právnických, fyzických podnikajících osob při provádění činnosti v objektech s obsahem nebezpečných chemických látek.

Prováděcí vyhlášky k zákonu č. 224/2015 Sb.:

- **Vyhláška č. 227/2015 Sb., ze dne 24. srpna 2015**, o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku.
- **Vyhláška č. 228/2015 Sb., ze dne 24. srpna 2015**, o rozsahu zpracování informace veřejnosti, hlášení o vzniku závažné havárie a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie.
- **Vyhláška č. 229/2015 Sb., ze dne 24. srpna 2015**, o způsobu zpracování návrhu ročního plánu kontrol a náležitostech obsahu informace o výsledku kontroly a zprávy o kontrole.
- **Vyhláška č. 225/2015 Sb., ze dne 28. srpna 2015**, o stanovení rozsahu bezpečnostních opatření fyzické ochrany objektu zařazeného do skupiny A, nebo skupiny B.
- **Vyhláška č. 226/2015 Sb., ze dne 12. srpna 2015**, o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury (5)

2.2.1 Direktiva Seveso I, Seveso II a Seveso III

Po havárii dioxinu¹ na Území Itálie byla v tomto důsledku přijata na evropské úrovni direktiva Seveso I, následně došlo k jejímu přepracování do podoby směrnice Seveso II, která již byla zapracována do české legislativy a stejný postup se aplikoval na směrnici Seveso III v roce 2015, jenž nahradila směrnici Seveso II.

Seveso I – stanovuje povinnosti a postupy pro provozovatele a správní orgány. Díky této směrnici došlo z výraznému zlepšení průmyslové bezpečnosti především v oblasti prevence. Vychází z dosavadních zkušeností s řešením havárií. Zavádí:

- Oznamovací povinnost a povinnost zpracovat bezpečnostní studii

¹ Dioxiny jsou látky nebezpečné i ve stopovém množství, které vznikají například při spalování odpadu obsahujícího chlórované látky či jako vedlejší produkty v chemické výrobě, kde se používá chlór. Které v již velice malých dávkách způsobují hormonální poruchy, ohrožují reprodukci živočichů včetně člověka, mají na svědomí poškození imunitního systému a některé z nich způsobují rakovinu. Díky své chemické stabilitě setrvávají dlouho v prostředí a "putují" proto i tisíce kilometrů od zdrojů svého původu. (26)

- Povinnost vypracovat havarijní plány
- Povinnost poskytnout informace
- Povinnost provádět kontroly

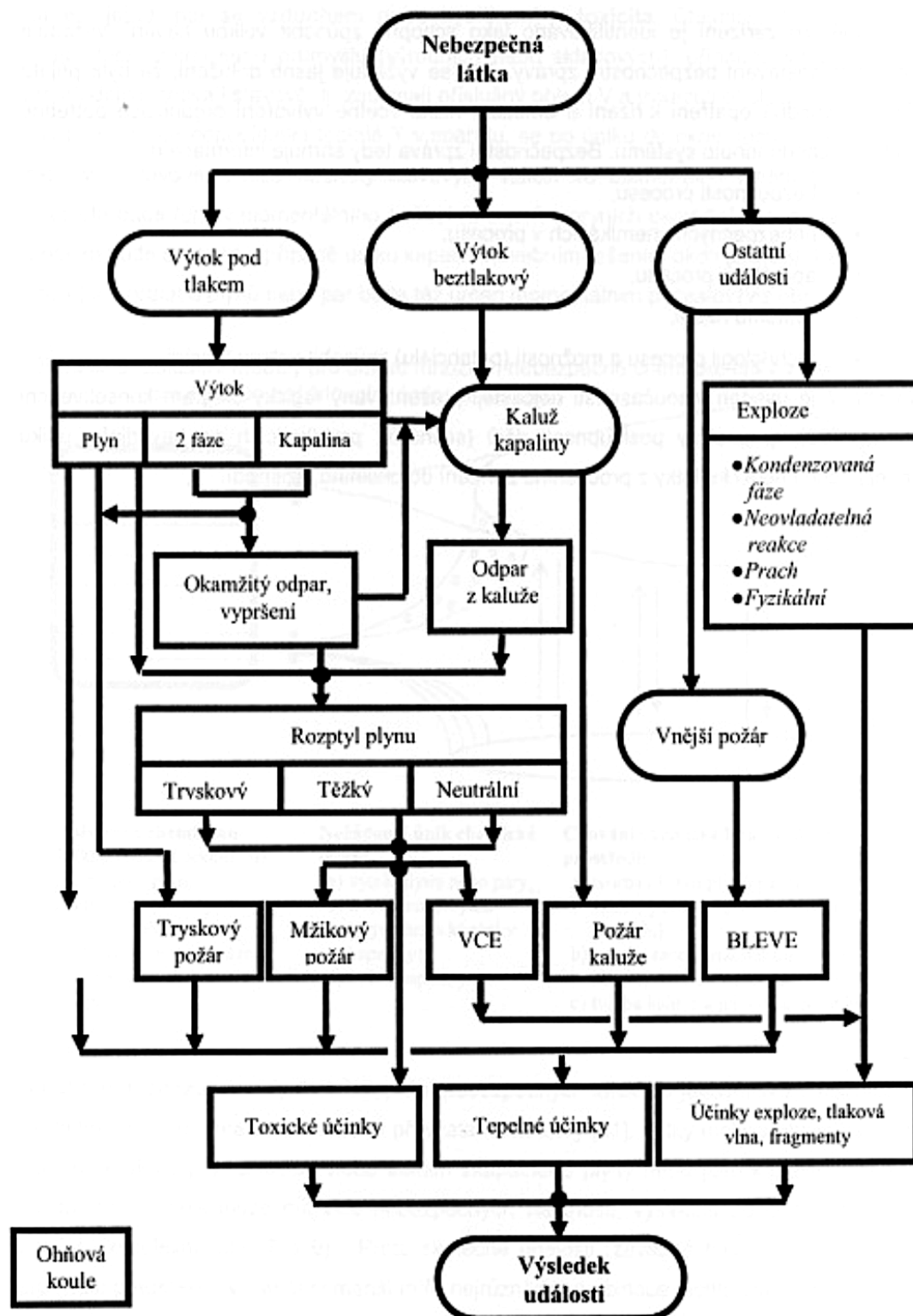
Seveso II – vychází ze zkušeností získaných po zavedení direktivy Seveso I, tedy s havárií, jež se odehrály po přijetí direktivy Seveso I. Nově neodkazuje na látky ve spojení s určitou výrobou, nýbrž na množství látky překračující prahová množství. Zaměřuje se na preventivní činnosti v podniku, na minimalizaci dopadů havárií na životní prostředí, na identifikaci hrožících domino-efektů, havarijní a územní plánování. Byla přijata v roce 1996 jako směrnice Rady EU 96/82/EC a následně novelizována v roce 2003 pod označením 2003/105/EC. Hlavním důvodem novelizace se staly havárie v Toulouse, nizozemském Enschede a protržení hráze odkaliště v rumunském Baia Mare. V novelizované podobě byly nově zahrnuty odkalovací nádrže, nový rozšířený seznam karcinogenů, přepracované kategorie výbušných a pyrotechnických látek, povinnost dodržet přiměřenou vzdálenost od zabydlených oblastí.

Seveso III – cílem nové směrnice Seveso III je revize dosavadní směrnice Seveso II. Tato směrnice 2012/18/EU upravuje především dosavadní klasifikaci, označování a balení nebezpečných látek a směsí. To se promítlo do jednotlivých kategorií látek toxicity, nyní označované jako akutní toxicita 1 až 3. Dále byly zavedeny dvě nové kategorie, samozápalné tuhé látky a hořlavé aerosoly. Směrnice SEVESO III nově rozšiřuje svoji působnost na podzemní zásobníky plynu. (6)

2.3 Havárie s únikem chemických látek

Havárie a následný únik NCHL může vzniknout z mnoha důvodů, k příčinám patří závada na technologickém zařízení, nehoda při přepravě, lidský faktor, selhání zařízení nebo únava materiálu. V prvním pololetí roku 2017 došlo na území České republiky celkem k 3364 úniků nebezpečných látek. Z tohoto počtu se jednalo v 2317 případech o úniky ropných produktů. V 830 případech se jednalo o úniky plynů a aerosolů, k úniku kapalin došlo ve 152 případech. Ve zbytku případů, tedy 68 případech došlo k úniku pevné látky nebo potravinářských produktů. Nejvyšší počet havárií se odehrál ve středočeském kraji, naopak nejnižší v kraji Zlínském. (7)

2.3.1 Následné děje po úniku NCHL do okolí



Obrázek 1: Schéma vývoje uniklé NCH ze zařízení (8).

2.3.2 Rozdělení úniků podle vlastností unikající látky a prostředí

1. Podle skupenství unikající látky:

- Plyn – unikající stlačený plyn
- Plyn + kapalina – unikající plyn zkapalněný chladem nebo tlakem
- Kapalina – unikající kapalina v rovnováze se svou nasycenou parou
- Pára + kapalina – unikající vroucí kapalina
- Pára – unikající horní vrstva vroucí kapaliny

Jelikož se látky skladují např. zkapalněné nebo za vysokého tlaku a teploty, v mnoha případech dochází ke kombinaci unikajících skupenství. Jako příklad můžeme uvést narušení obalu tlakové lahve v místě přechodu skupenství z kapalného na plynné. V případě působení nebezpečných vlastností hrozí nejenom intoxikace, ale také omrzliny po přímém kontaktu s kapalinou. (9)

2. Podle umístění úniku

- Únik ve vnitřním prostoru
- Únik na volném prostranství

Umístění havárie hraje velkou roli především ve vztahu k dosažené koncentraci NCHL. Ve venkovním prostředí hraje velkou roli na rychlost šíření a působení NCHL proudění vzduchu, stav atmosféry a tepelné záření slunce. Ve vnitřních prostorách jsou sice ve většině případů poryvy větru zanedbatelné, na druhou stranu uzavřené prostory dovolují navyšovat koncentrace NCHL rychleji do nebezpečných hodnot. (10)

3. Podle výšky bodu úniku

- Pod úrovní terénu
- V úrovni terénu
- V přízemní výšce

Výška bodu úniku hraje rovněž důležitou roli při posuzování nebezpečnosti havárie. Látka, jenž je těžší, než vzduch bude při úniku pod úrovní terénu v konkrétních případech méně nebezpečná než při úniku nad úrovní terénu nebo v přízemní vrstvě. (10)

4. Podle tlaku unikající látky

- Nízký tlak – nízká hybnost
- Vysoký tlak – vysoká hybnost (9) (10)

5. Podle typu zdroje

- Bodový zdroj
- Linie
- Plocha

Za bodový zdroj lze pro dobrou představu uvést komín, z něhož uniká kouř. Pro liniové zdroje platí, že se zjednodušeně jedná o bodové úniky, které jsou rozesety po určité linii, jako příklad by se dal uvést únik NCHL z narušeného ventilu cisterny. Pro plošné zdroje platí, že látka zabírá určitou plochu, z níž se odpařuje nebo působí na okolí přímo. (10)

2.3.3 Odpařování látky

Odpařování kapalně látky je děj, kdy se určitou rychlostí přeměňuje kapalná látka na oblak par, který se dále rozptyluje do okolí. Rychlost odpařování látky je ovlivněna především fyzikálně-chemickými vlastnostmi látky, okolní teplotou, obsahem plochy, ze které se látka odpařuje a atmosférickými podmínkami. Přenos tepla do odpařující se kapaliny je proveden především skrze tepelné sluneční záření, odčerpáním tepla z podkladu a vyčerpáním latentního tepla fázové přeměny.

Typy látek při odpařování:

- 1. Látka těkavá** – k relativně rychlému odparu dochází bez nutnosti většího přenosu tepelné energie
- 2. Přehřátá kapalina:**

- s nižším bodem varu, než je teplota okolí
- o vysoké teplotě a pod tlakem

3. Chladem zkapalněný plyn (10)

2.3.4 Rozptyl látky

V případě, že již látka opustila při havárii zamýšlený prostor, došlo k jejímu úniku a odpaření, následuje její rozptyl do okolí. Oblak, který je následně rozptylován do okolí je popsán třemi základními mechanismy, které se liší podle relativní hustoty látky.

1. Vznášivý rozptyl – pro plyny lehčí než vzduch
2. Neutrální rozptyl – pro plyny o stejné hustotě
3. Rozptyl těžkého plynu – pro plyny a směsi těžších než vzduch

Pro modelování rozptylu plynů v atmosféře je k dispozici velké množství typů modelů, jenž můžeme rozdělit na modely podle:

- Chování oblaku:
 - modely pro vznášivý rozptyl
 - modely pro rozptyl těžkého plynu
 - turbulentní modely
- Trvání úniku
 - modely pro okamžitý únik plynu
 - modely pro kontinuální únik plynu
- Typu a složitosti modelace
 - jednoduché
 - složité 3 D modely (10)

2.3.5 Podmínky ovlivňující rozptyl látek v atmosféře

1. Směr a rychlost vanutí větru

Jedná se o jeden z nejsilnějších vlivů na rozptyl látky. Proudění vzduchu má vliv na všechny fáze rozptylu. Rychlost větru je výškově proměnná, tudíž má proměnný

efekt při únicích o vysokém profilu, kde se spodní vrstva zpravidla opožďuje za horní.

2. Charakter proudění vzduchu – 3 třídy stability

- **Stabilní** – potlačení turbulencí, vysoká stálost koncentrací v oblaku úzké tenké oblaky, vlečky s vysokými koncentracemi
- **Neutrální** - středně rychlé promíchávání plynů tudíž i dosah toxického působení
- **Nestabilní** – rychlé promíchávání plynů, rychlé snižování přízemní koncentrace

3. Vlastnosti okolního terénu

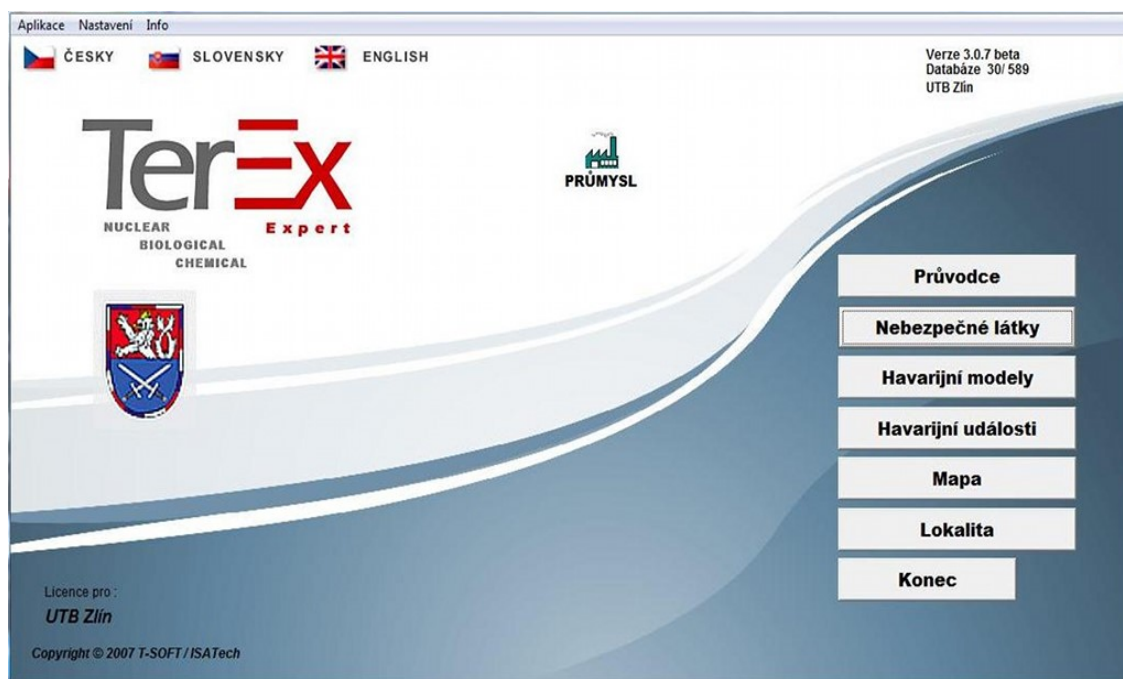
Rozptyl je z velké části ovlivňován charakterem okolního prostředí, jenž má vliv na proudění vzduchu i oblaku látky. Následně se tvoří lokality s vyšší a nižší koncentrací. Drsnost povrchu má tedy zásadní vliv především na rozptyl plynů těžších než vzduch a plynů, jež se pohybují těsně nad zemí, neboť vznikající turbulence na hranách překážek, které mají přímý vliv na promíchávání látky se vzduchem. (10)

2.4 Software pro modelace úniků nebezpečných chemických látek

Moderní technologie nabízí v současné době široké možnosti v oblasti softwarové modelace úniků nebezpečných látek. I když často modelace neodpovídá zcela skutečnosti, často vystačí potřebám jednotlivých uživatelů, kteří dokáží výsledky modelace správně interpretovat. Tato diplomová práce se zaměřuje na softwarové programy Terex, Aloha, Optizon a Rozex Alarm.

2.4.1 Terex

Program pro modelaci Terex je software, který vyvinula česká firma T-soft. Tento program se vyznačuje především přívětivým uživatelským rozhraním, které je přehledné a případnému uživateli značně ulehčuje cestu k cíli. Díky své přehlednosti je vhodný pro terénní použití složkami integrovaného záchranného systému. Terex dává uživateli možnost volby mezi základními havarijními situacemi – BLEVE, EXPLOSIVE, JET FIRE, PLUME, POOL FIRE, PUFF, SPREAD, SPREAD EXPLOSIVE. (8)



Obrázek 2: Screenshot úvodní obrazovky programu Terex

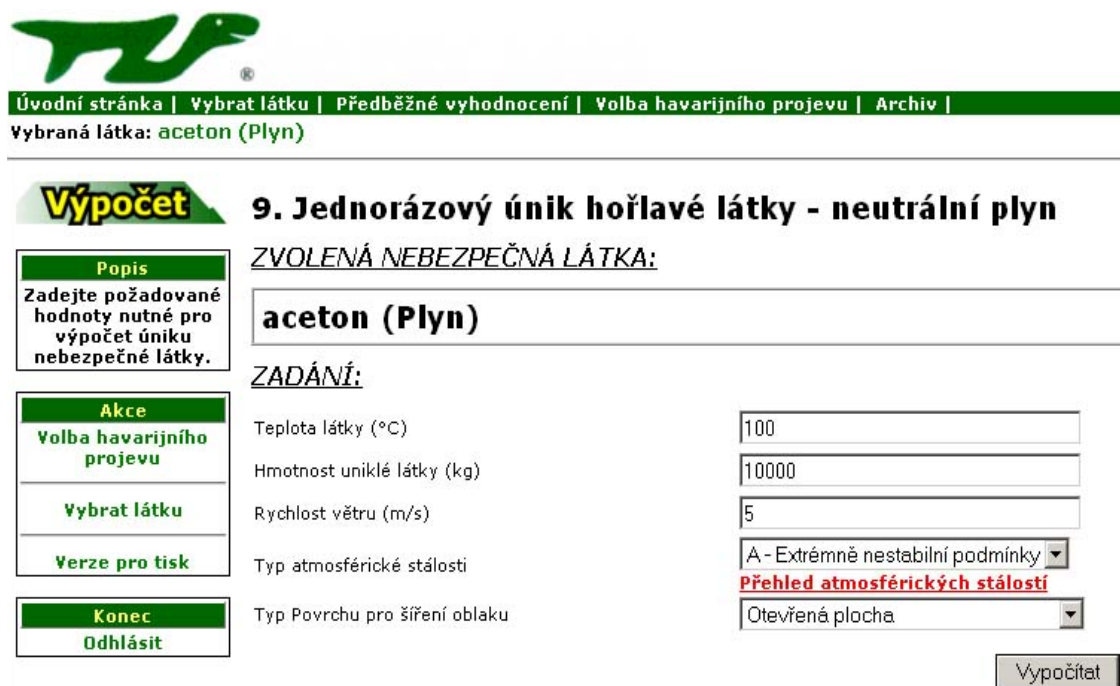
- BLEVE – ohrožení nádrže plošným požárem
- EXPLOSIVE – nástražný výbušný systém
- JET FIRE – Déletrvající masivní únik plynu se zahořením
- PLUME – déletrvající únik plynu do oblaku, déle trvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku, pomalý odpar kapaliny do oblaku
- POOL FIRE – hoření louže kapaliny nebo vroucí kapaliny
- PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku nebo jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku
- SPREAD – šíření prachových částic
- SPREAD EXPLOSIVE – šíření prachových částic s explozí (12)

Vstupní údaje nutné pro zhotovení modelu v programu Terex:

- kvantita uniklé látky
- rychlost větru v přízemní vrstvě
- teplota vzduchu
- typ povrchu převažujícího v místě úniku
- oblačnou pokrývku v procentech
- doba vzniku (12)

2.4.2 Rozex Alarm

Jedná se o softwarový nástroj, jenž se využívá k předpovědi chování uniklé NCHL. Efektivní modelování a stanovení rychlých prognóz pro vývoj dané havárie je efektivní především pro zasahující složky IZS. Rozex alarm využívá databázi cca 8000 látek, včetně jejich fyzikálně chemických vlastností, údajích o toxicitě, technické charakteristiky a informace o možnostech zdravotního ošetření po zasažení danou látkou. (13)



The screenshot shows the 'Výpočet' (Calculation) section of the Rozex Alarm software. The main heading is '9. Jednorázový únik hořlavé látky - neutrální plyn' (Single release of a flammable gas - neutral gas). Below this, the selected substance is 'aceton (Plyn)'. The 'ZADÁNÍ:' (Input) section includes fields for: Temperature (100 °C), Mass (10000 kg), Wind speed (5 m/s), Atmospheric stability (A - Extremely unstable conditions), and Surface type (Open area). A 'Výpočet' button is visible at the bottom right.

Výpočet

9. Jednorázový únik hořlavé látky - neutrální plyn

ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:

aceton (Plyn)

ZADÁNÍ:

Teplota látky (°C)	100
Hmotnost uniklé látky (kg)	10000
Rychlost větru (m/s)	5
Typ atmosférické stálosti	A - Extrémně nestabilní podmínky
Typ Povrchu pro šíření oblaku	Otevřená plocha

Výpočet

Obrázek 3: Screenshot uživatelského rozhraní programu Rozex Alarm

Program nabízí celkem 6 variant modelování rozptylu plynů v atmosféře při úniku.

- Jednorázový únik toxické látky – neutrální plyn: krátkodobý únik toxického plynu lehčího než vzduch
- Jednorázový únik toxické látky – těžký plyn: krátkodobý únik toxického plynu těžšího než vzduch
- Kontinuální únik toxické látky – neutrální plyn: dlouhodobý únik konkrétního množství toxické látky lehčí než vzduch
- Kontinuální únik toxické látky – těžký plyn: dlouhodobý únik konkrétního množství toxické látky těžší než vzduch
- Kontinuální únik toxické látky otvorem – neutrální plyn: dlouhodobý únik konkrétního množství toxické látky lehčí než vzduch skrze definovaný otvor

- Kontinuální únik toxické látky otvorem – těžký plyn: dlouhodobý únik konkrétního množství toxické látky těžší než vzduch skrze definovaný otvor

Vstupní údaje nutné pro zhotovení modelu v programu Rozex Alarm:

- Skupenství a teplotu unikající látky při úniku
- Tlak dané látky v zařízení
- Ekvivalentní obsah trhliny v kruhové ploše
- Výška hladiny kapaliny ve vztahu k umístění otvoru v zařízení
- Rychlost větru v přízemní vrstvě atmosféry a třídu atmosférické stability
- Převažující typ povrchu v místě úniku
- Koncentrace tvořící okraj toxického oblaku
- Teplota již vyteklé kapaliny a plocha, kterou obsáhne po úniku
- Celkové množství látky v zařízení při havárii

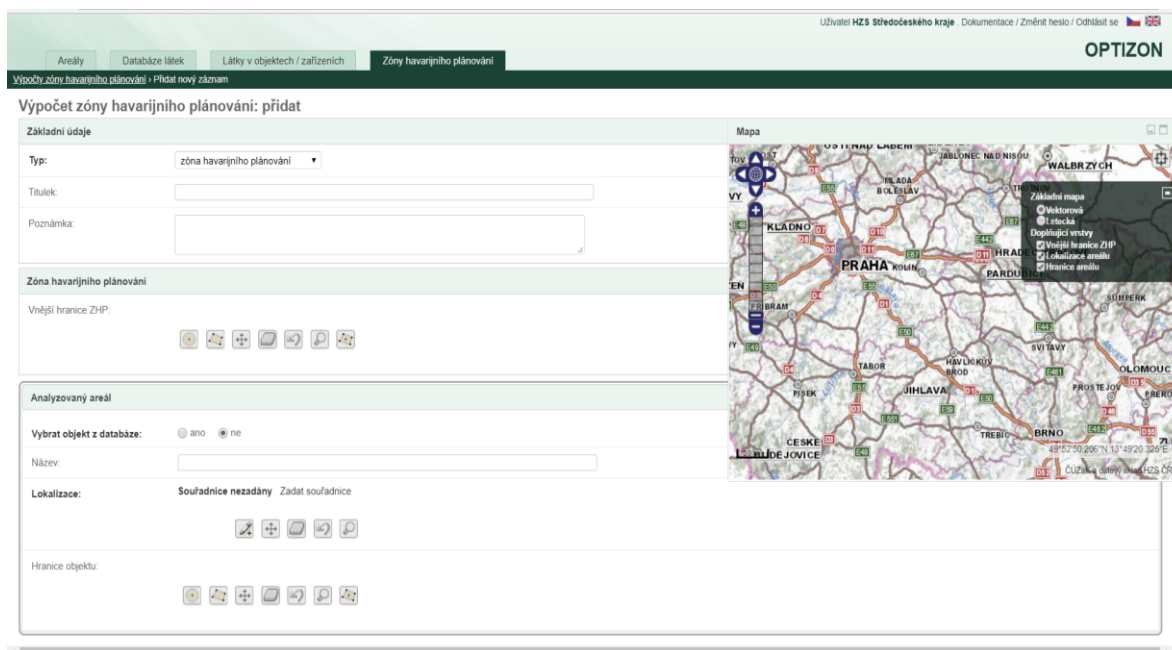
2.4.3 Optizon

Optimalizace stanovení zóny havarijního plánování a tvorby havarijních plánů na základě ohrožujících projevů nebezpečných chemických látek při provozních haváriích s ohledem na zvýšení ochrany obyvatelstva. Informační systém OPTIZON pro stanovení zóny havarijního plánování je rozdělen do několika spolupracujících modulů:

- Areály
- Databáze látek
- Látky v objektech/zařízeních
- Zóny havarijního plánování

Jedná se o informační systém sloužící k určení zóny havarijního plánování na základě ohrožujících projevů nebezpečných chemických látek při provozních haváriích s ohledem na zvýšení ochrany obyvatelstva umožňuje evidovat areály souladu s vyhláškou č. 226/2015 Sb.

(14)



Obrázek 4: Ukázka uživatelského prostředí rozhraní Optizon

Vstupní údaje nutné pro zhotovení modelu v programu Optizon

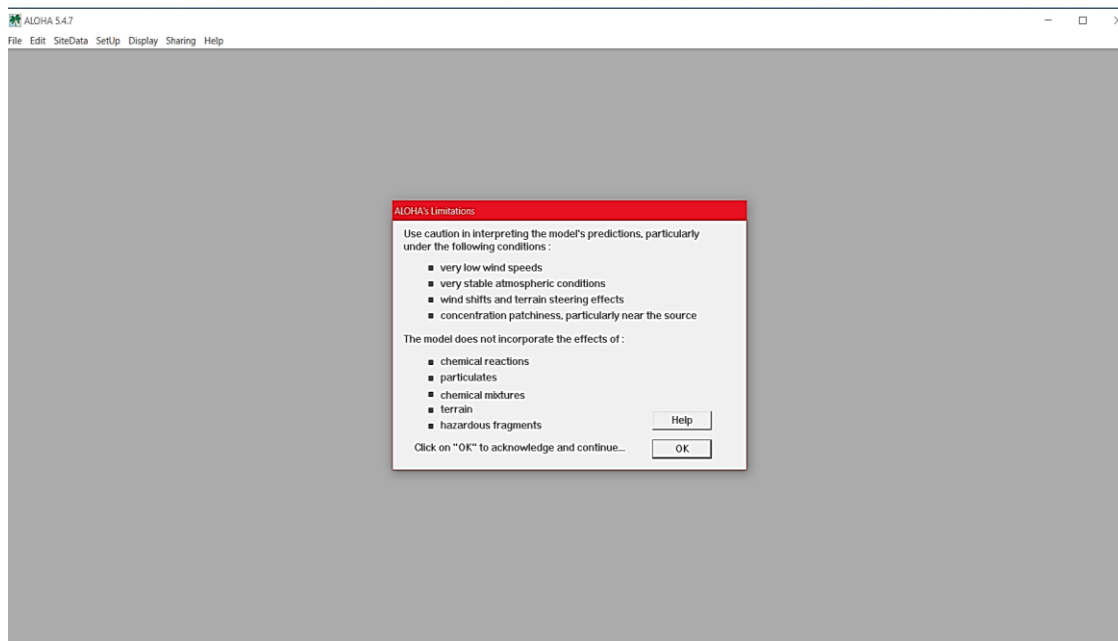
Optizon vyžaduje pro zhotovení zóny ohrožení, dva údaje. První vyžadovaný údaj je látka obsažená v zařízení a druhým údajem je kvantita dané látky v daném zařízení.

2.4.4 ALOHA

Softwarový nástroj ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres) (Obr. 5) je nástroj sloužící k modelaci úniků nebezpečných chemických látek. Uživatel má k dispozici databázi látek, následně volbu mezi druhy zdrojů úniku. Program počítá s množstvím vstupních dat jako jsou teplota okolí a uniklé látky, atmosférické podmínky, typ zdroje atd. (15)

Vstupní údaje nutné pro zhotovení modelu v programu ALOHA:

- Výběr konkrétní látky z databáze
- Určení třídy atmosférické stability
- Rychlost a směr větru
- Teplota vzduchu, drsnost zemského povrchu, oblačnost, vlhkost vzduchu
- Zdroj úniku



Obrázek 5: Úvodní obrazovka programu Aloha

2.5 Nebezpečné chemické látky

V současné době patří chemické látky neoddelitelně ke každé lidské činnosti, některé z nich mají ovšem neblahý vliv na zdraví osob. Je tedy nutné mít pořádek jak v samotné klasifikaci látek a také v společném přístupu k rizikům s nimi spojenými. S nastupujícím trendem globalizace se čím dál častěji do stávají látky z cizích zemí na území, ve kterém je důležité správně a jednotně interpretovat o jaký druh látky se jedná a jak s ním bezpečně zacházet. Z toho důvodů vzniká nařízení EP a Rady č. 1272/2008/ES o klasifikaci, označování a balení látek a směsí. Tyto požadavky na jednotný postup při manipulaci z nebezpečnými chemickými látkami byly převedeny do české legislativy zákonem č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a o chemických směsích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon upravuje práva a povinnosti právnických osob a podnikajících fyzických osob při výrobě, klasifikaci, zkoušení nebezpečných vlastností, balení, označování, uvádění na trh, používání, vývozu a dovozu chemických látek nebo látek obsažených ve směsích nebo předmětech, zkoušení nebezpečných vlastností, balení, označování a uvádění na trh chemických směsí na území České republiky. (16)

2.5.1 Rozdělení Nebezpečných chemických látek podle zákona č.350/2011 Sb.

- a) **Výbušné látky nebo směsi** – výbušné látky nebo směsi; výbušnou je pevná, kapalná, pastovitá nebo gelovitá látka nebo směs, která může exotermně reagovat i bez přístupu vzdušného kyslíku, přičemž rychle uvolňuje plyny, a která za definovaných zkušebních podmínek detonuje, rychle shoří nebo po zahřátí vybuchuje, pokud je v částečně uzavřeném prostoru
- b) **Oxidující látky nebo směsi** – oxidující je látka nebo směs, která vyvolává vysoce exotermní reakci ve styku s jinými látkami, zejména hořlavými
- c) **Hořlavé látky nebo směsi** – hořlavou je kapalná látka nebo směs, která má nízký bod vzplanutí
- d) **Vysoce hořlavé látky nebo směsi** – vysoce toxickou je látka nebo směs, která při vdechnutí, požití nebo při průniku kůží ve velmi malých množstvích způsobuje smrt nebo akutní nebo chronické poškození zdraví
- e) **Extrémně hořlavé látky nebo směsi**
- látka nebo směs, která se může samovolně zahřívat, a nakonec se vznítí ve styku se vzduchem při pokojové teplotě bez jakéhokoliv dodání energie
 - pevná látka nebo směs, která se může snadno zapálit po krátkém styku se zdrojem zapálení a která pokračuje v hoření nebo shoří po jeho odstranění,
 - kapalná látka nebo směs, která má velmi nízký bod vzplanutí, 4. látka nebo směs, která ve styku s vodou nebo vlhkým vzduchem uvolňuje vysoce hořlavé plyny v nebezpečných množstvích (16)
- f) **Zdraví škodlivé látky nebo směsi** – zdraví škodlivou je látka nebo směs, která při vdechnutí, požití nebo při průniku kůží může způsobit smrt nebo akutní nebo chronické poškození zdrav
- g) **Toxické látky nebo směsi**-toxickou je látka nebo směs, která při vdechnutí, požití nebo při průniku kůží v malých množstvích způsobuje smrt nebo akutní nebo chronické poškození zdraví

- h) Vysoce toxické látky nebo směsi** – vysoce toxickou je látka nebo směs, která při vdechnutí, požití nebo při průniku kůží ve velmi malých množstvích způsobuje smrt nebo akutní nebo chronické poškození zdraví
- i) Toxické pro reprodukci látky nebo směsi:**
- 1. kategorie:** toxická pro reprodukci kategorie 1 je látka nebo směs, pro niž existují dostatečné důkazy pro souvislost mezi expozicí člověka látce nebo směsi a poškozením fertility nebo vznikem vývojové toxicity,
 - 2. kategorie:** toxická pro reprodukci kategorie 2 je látka nebo směs, pro niž existují dostatečné důkazy pro poškození fertility nebo vznik vývojové toxicity na základě dlouhodobých studií na zvířatech,
 - 3. kategorie:** toxická pro reprodukci kategorie 3 je látka nebo směs, pro niž existují některé důkazy pro poškození fertility nebo vznik vývojové toxicity na základě studií na zvířatech, avšak tyto důkazy nejsou postačující pro zařazení látky nebo směsi do kategorie 2
- j) Senzibilující látky nebo směsi** – senzibilující je látka nebo směs, která může při vdechování, požití nebo při styku s kůží vyvolat přecitlivělost, takže při další expozici dané látce nebo směsi vzniknou charakteristické nepříznivé účinky
- k) Dráždivé látky nebo směsi** – dráždivou je látka nebo směs, která může při okamžitém, dlouhodobém nebo opakovaném styku s kůží nebo sliznicí vyvolat zánět a nemá žíravé účinky
- l) Žíravé látky nebo směsi** – žíravinou je látka nebo směs, která může zničit živé tkáně při styku s nimi
- m) Karcinogenní látky nebo směsi:**
- **karcinogenní kategorie 1** je látka nebo směs, u níž existuje průkazná souvislost mezi expozicí člověka látce nebo směsi a vznikem rakoviny,
 - **karcinogenní kategorie 2** je látka nebo směs, pro kterou existují dostatečné důkazy pro vznik rakoviny na základě dlouhodobých studií na zvířatech,
 - **karcinogenní kategorie 3** je látka nebo směs, pro kterou existují některé důkazy pro vznik rakoviny na základě studií na zvířatech, avšak tyto důkazy nejsou postačující pro zařazení látky nebo směsi do kategorie 2

n) **Mutagenní látky nebo směsi**

- **mutagenní kategorie 1** je látka nebo směs, pro niž existují dostatečné důkazy pro souvislost mezi expozicí člověka látce nebo směsi a poškozením dědičných vlastností
- **mutagenní kategorie 2** je látka nebo směs, pro niž existují dostatečné důkazy pro poškození dědičných vlastností na základě dlouhodobých studií na zvířatech
- **mutagenní kategorie 3** je látka nebo směs, pro niž existují některé důkazy pro poškození dědičných vlastností na základě studií na zvířatech, avšak tyto důkazy nejsou postačující pro zařazení látky nebo směsi do kategorie 2

o) Nebezpečné pro životní prostředí látky nebo směsi – nebezpečnou pro životní prostředí je látka nebo směs, která při vstupu do životního prostředí představuje nebo může představovat okamžité nebo pozdější nebezpečí pro jednu nebo více složek životního prostředí (16)

2.5.2 Brána vstupu

Místo, kterým látka vstupuje do organismu, se nazývá brána vstupu. Způsob, jakým se látka do organismu dostává výrazně ovlivňuje její další působení na organismus. Brána vstupu má vliv především na rychlost absorpce chemické látky a její další působení a biotransformaci v těle. Chemické látky mohou pronikat do těla:

- Inhalací (vdechováním)
- Parenterálně (absorpce přes narušenou tkáň)
- Perorálně (ústní požití)
- Perkutánně (absorpce přes nepoškozenou pokožku) (19)

2.5.3 Ukazatele toxicity

Základním předpokladem toxicity je interakce mezi látkou a živým organismem, tato interakce vyvolává účinek látky na organismus a následnou biotransformaci látky živým organismem. Pro objektivní posouzení toxicity látek jsou nejčastěji využívány hodnoty hmotnostních koncentrací vztažených na objem vzduchu nebo objemových jednotek.

- **IDLH** – Koncentrace nebezpečné látky, která bezprostředně ohrožuje zdraví nebo život a které může být osoba vystavena po dobu až 30 minut a je schopna opustit prostor bez nevratného poškození zdraví
- **LD50** – letální dávka, jenž u 50 % zasažených osob způsobí smrt do 24 hodin od expozice
- **ED50** – efektivní dávka, která vyvolá u 50 % zasažených jedinců plný toxický efekt
- **LC(t)50** – letální koncentrace chemické látky, která vyvolá v čase t úmrtí 50 % zasažených jedinců
- **EC(t)50** – efektivní koncentrace chemické látky, jenž po čase t vyvolá plný toxický efekt u 50 % zasažených jedinců

AEGL

Soubor hodnot úrovní akutní expozice, sloužící k popisu rizika působení chemických látek rozptýlených ve vzduchu na lidský organismus

- **AEGL-1** – taková koncentrace, jejíž účinky jsou vratné a přechodné po přerušení expozice. Počítá se s pocity podráždění, nepohodlí, symptomatickými příznaky.
- **AEGL-2** – koncentrace jejíž působení může běžné populace zapříčinit nevratné poškození, dlouhotrvající negativní zdravotní účinky a zhoršení schopnosti opustit zamořený prostor
- **AEGL-3** – při této koncentraci v ovzduší dochází k účinkům ohrožující zdravotní stav osob s možnými smrtelnými následky

Havarijní přípustné koncentrace a akční úrovně

Pro území České republiky byly stanoveny limitní koncentrace jak pro zasahující složky, tak pro osoby vystavené nebezpečné látce v ovzduší.

Pro zasahující složky platí:

- **HPK-10** – koncentrace v látky v ovzduší, jenž nesmí vyvolat nevratná onemocnění. Smí vyvolat adekvátní vratná onemocnění s ohledem na význam ochrany života a zdraví osob. Této koncentraci se smí záchranáři vystavit po dobu maximálně 10 minut bez prostředků individuální ochrany

- **HPK-60** - koncentrace v látky v ovzduší, jenž nesmí vyvolat nevratná onemocnění. Smí vyvolat adekvátní vratná onemocnění s ohledem na význam ochrany života a zdraví osob. Této koncentraci se smí záchranáři vystavit po dobu maximálně 60 minut bez prostředků individuální ochrany (20)

Pro obyvatelstvo platí:

- **HAU-20** – limitní koncentrace látky v ovzduší, při které musí být obyvatelstvo evakuováno ze zamořeného prostoru do 20 minut od začátku expozice. Koncentrace nesmí vyvolat nevratná onemocnění.
- **HAU-120** - limitní koncentrace látky v ovzduší, při které musí být obyvatelstvo evakuováno ze zamořeného prostoru do 120 minut od začátku expozice. Koncentrace nesmí vyvolat nevratná onemocnění. (20)

2.6 Vlastnosti látek vybraných pro modelování

2.6.1 Amoniak

Sumární vzorec:	NH ₃
Hustota:	0,73 kg/m ³
Bod varu:	- 33,34 °C
Bod tání:	- 77,73 °C
Tlak plynu při 20°C:	861 kPa

Fyzikálně-chemické vlastnosti a využití: amoniak je bezbarvý velmi štiplavý plyn zásadité povahy, lehce zkapalnitelný. Je lehčí než vzduch, snadno rozpustný ve vodě a většině organických rozpouštědel. Nejčastěji se skladuje zkapalněný v tlakových lahvích. Při změně skupenství z kapalného na plynné tvoří chladné páry těžší než vzduch. Používá se při výrobě výbušnin, hnojiv, v petrochemii a farmaceutickém průmyslu. Hojně se také využívá jako chladicí médium. Hlavní nebezpečí amoniaku vůči lidskému organismu spočívá v jeho toxicitě, která poškozuje vážně zdraví osob při jednodominutovém vystavení koncentraci 500mg/m³ v atmosféře. Spolu se vzduchem tvoří amoniak výbušnou směs, která vybuchuje při dosažení koncentrace 100 000 mg/m³. (21)

Tabulka 1: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku amoniak

Hodnota AEGL	Doba vystavení	Koncentrace (ppm) počet částic na milion
AEGL-1	60 min	30 ppm
AEGL-2	60 min	160 ppm
AEGL-3	60 min	1 100 ppm

Zdroj: Databáze programu Aloha

Dopady na lidský organizmus: nejčastější způsob kontaktu s amoniakem je jeho inhalace v plynné formě. Při nízké koncentraci dochází k dráždění dýchacích cest, při zvýšení koncentrace se pomalu dostavuje dyspnoe, sípot následující bolestí na hrudi a plicní edém. Při čpavku s kůží dochází k popáleninám vlivem mrazu, poleptání kůže, zarudnutí očí. V případě kontaktu se zkapalněnou látkou je největším rizikem vznik vážných omrzlin. (21)

První pomoc: zabránit dalšímu kontaktu s nebezpečnou látkou. Je nezbytné omýt oči, nos a ústa tekoucí vodou. Veškerá poleptaná místa omýt proudem vody. V případě, že není kontaminovaný oděv přimrzlý, co nejrychleji jej odstranit. V případě perorálního požití nevyvolávat zvracení, pouze vypláchnout dutinu ústní a následně vypít množství vody. V každém případě je nutné neprodleně vyhledat odbornou lékařskou pomoc.

Bezpečnostní značky:



T

N



(22)

Chování při úniku: Amoniak je za atmosférického tlaku v plynném skupenství a je lehčí než vzduch. Ovšem při úniku z tlakových lahví vytváří bílý mrak, který se pohybuje při zemi.

2.6.2 Chlor

Značka:	Cl ₂
Bod varu:	-34,3 °C
Bod tání:	-101,5 °C
Tlak plynu při 0oC:	101 kPa

Fyzikálně-chemické vlastnosti a využití: Chlor je plyn žlutozelené barvy, je prudce jedovatý se silnými korozivními účinky. Má silné oxidační, bělicí a dezinfekční vlastnosti. Chlor se užívá k výrobě umělých hmot, léčiv, rozpouštědel, jako sterilizační činidlo nebo jako základ bojových chemických látek atd. (23)

Tabulka 2: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku

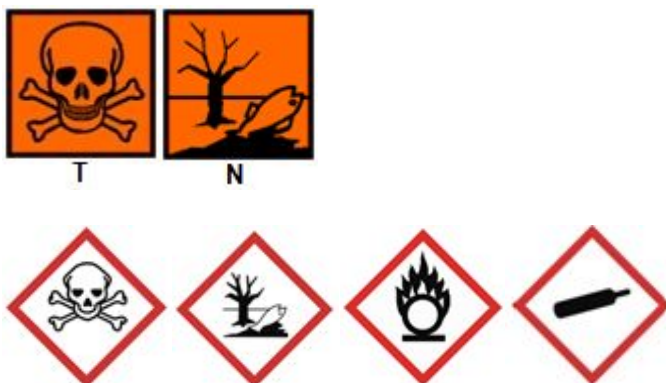
Hodnota AEGL	Doba vystavení	Koncentrace (ppm) počet částic na milion
AEGL-1	60 min	0,5 ppm
AEGL-2	60 min	2,0 ppm
AEGL-3	60 min	1,1 ppm

Zdroj: Databáze programu Aloha

Dopady na lidský organizmus: Chlor se řadí mezi látky dusivé. V případě zasažení dýchacích cest dochází k těžkému podráždění horních cest dýchacích a plic, expozice může vyústit až k plicnímu edému, a to až během časového období dvou dnů. Plyn také leptá oči a má dráždivé účinky na kůži, popř. způsobuje tvorbu puchýřů. Při styku se zkapalněným plynem hrozí vznik omrzlin.

První pomoc: První pomoc spočívá v zamezení působení látky, uložení osoby do stabilizované polohy, sejmutí zasažených oděvů. V případě zástavy dechu neprodleně poskytnout umělé dýchání. Dbát na vlastní bezpečnost za použití ochranných prostředků. Osobu transportovat ve stabilizované poloze. (23)

Bezpečnostní značky:



(22)

Chování při úniku: Chlor je těžší než vzduch, při úniku se šíří při zemi.

2.6.3 Sarin

Sumární vzorec: $C_4H_{10}FO_2P$

Hustota: $1,09 \text{ g/cm}^3$

Bod varu: $158 \text{ }^\circ\text{C}$

Bod tání: $-56 \text{ }^\circ\text{C}$

Tlak par při $25 \text{ }^\circ\text{C}$: $0,33 \text{ kPa}$

Fyzikálně-chemické vlastnosti a využití: Sarin je světle žlutá až žlutohnědá těkavá kapalina, bez intenzivního zápachu. Sarin je lehce cítit po esteru nebo po různých páchnoucích příměsích. Sarin se dobře rozpouští ve vodě a všech organických rozpouštědlech. Při zvýšené teplotě působí korozivně na ocel, měď, mosaz a olovo. Pro dlouhodobé uchování v ocelových nádobách se jako stabilizátor vlastností používá tributylamin. Sarin se používá jako nervově paralytická bojová látka. (25)

Dopady na lidský organizmus: Díky svým vlastnostem působí sarin skrze všechny brány vstupu. K nejrychlejší intoxikaci dochází při vdechování výparů. Následně dochází k rychlé inhibici enzymu acetylcholinesterázy, tento stav může během 15 minut skončit smrtí. Při vystavení menším dávkám se dostavuje zpočátku zúžení očních zornic, zvýšená sekrece

exokrinních žláz, křeče hladkého svalstva a poruchy dýchání. Vysoké dávky způsobují silné křeče kosterních svalů, koma, smrt v důsledku ochrnutí dýchacích svalů, paralýzou vitálních nervových center.

Tabulka 3: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku

Hodnota AEGL	Doba vystavení	Koncentrace (ppm) počet částic na milion
AEGL-1	60 min	0,00048 ppm
AEGL-2	60 min	0,0060 ppm
AEGL-3	60 min	0,022 ppm

Zdroj: Databáze programu Aloha

První pomoc: V případě zasažení sarinem je nejdůležitější co nejdříve postižené osobě aplikovat antidotum, které se aplikuje injekčně na přední stranu stehna poté následuje celková dekontaminace postižené osoby a další lékařské kroky.

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

3.1 Cíl práce

Diplomová práce je zaměřena na zhodnocení modelů havarijních projevů při úniku nebezpečných chemických látek pro různé softwarové nástroje. Následným porovnáním těchto modelů a práce s modelovacími nástroji bude vybrán nejvhodnější program pro vybrané činnosti.

Cíl č. 1 - Zpracování SWOT analýzy pro jednotlivé softwarové nástroje na základě práce s programem a výsledků modelací.

Cíl č. 2 – Komparace výsledků vzešlých z jednotlivých modelovacích nástrojů pro vybrané látky.

Cíl č. 3 - Na základě vzniklých modelů a práce s modelačním softwarem vybrat nejvhodnější program pro vybrané činnosti.

3.2 Hypotézy

Hypotéza č. 1

Předpokládáme, že výsledky jednotlivých programů se budou lišit.

Hypotéza č. 2

Předpokládáme, že jednotlivé programy nebudou vhodné pro celou veličinu vybraných činností.

Hypotéza č. 3

Předpokládáme, že jednotlivé softwarové nástroje budou limitovány svými funkcemi.

4 METODIKA

V první části diplomové práce je představen legislativní rámec k problematice NCHL, typy a průběh havárií NCHL, je přiblížen použitý software a popsáno použití NCHL. Teoretická část práce se bude především opírat o metodu deskripce a obsahové analýzy odborné literatury a legislativních textů, které budou vyhledávány, zhodnocovány, tříděny a budou vybrány relevantní informace z tuzemských i zahraničních odborných textů. Pomocí těchto metod práce bude provedeno vymezení základních teoretických pojmů. Bude představena problematika rozptylu NCHL po úniku a její modelace.

V praktické části bude k vyhodnocení využita metoda deskripce namodelovaných případů za použití softwarových nástrojů. Následně bude provedena syntéza a obsahová analýza těchto výsledků. Metoda komparace bude využita při hodnocení modelací vybraných NCHL. Metodou dedukce budou vybrány nejvhodnější softwarové nástroje pro konkrétní případy úniku a pro konkrétní činnosti se zapojením modelovacích nástrojů.

V závěru bude provedeno vyhodnocení modelací pomocí SWOT analýzy, jejíž výsledky povedou k výběru a následnému doporučení softwarových programů pro konkrétní činnosti.

První cíl práce, tedy zpracování SWOT analýzy pro jednotlivé softwarové nástroje bude řešen na základě uživatelské zkušenosti s danými programy, přičemž budou do programů zadány data v co možná nejvíce podobné kvalitě. Na základě výsledků a samotné práce s programem bude stanovena SWOT analýza pro každý jednotlivý program, přičemž se zde bude k hodnocení přistupovat relativně vzhledem ke schopnost všech čtyř programů.

Pro modelace je nutné obstarat přístup k jednotlivým programům, neboť pouze program Aloha je volně dostupný ze stránek amerického federálního úřadu EPA. Ostatní programy nejsou volně dostupné, tudíž bude nutné navštívit pracoviště krizové připravenosti HZS Kladno pro modelování v programech Optizon a Rozex Alarm. Na programu Terex bude modelováno v učebně ČVUT FBMI Kladno.

Aloha: verze 5.4.7

Optizon-aktuální verze programu pro rok 2018

Terex-verze 3.1.1.

Rozex Alarm-verze 2.1.399.

Pro modelování budou vybrány tři látky:

- amoniak (NH₃)
- chlor (Cl₂)
- sarin(C₄H₁₀FO₂P)

Při modelování bude záměr zadávat stejné hodnoty vstupních parametrů.

Pro zpracování komparace budou použity výstupy z jednotlivých modelací.

Očekávaným přínosem této práce je na základě všech nashromážděných informací a dat určit nejvhodnější program pro konkrétní činnosti. Tyto činnosti budou určeny na základě pozorování současné praxe.

5 VÝSLEDKY

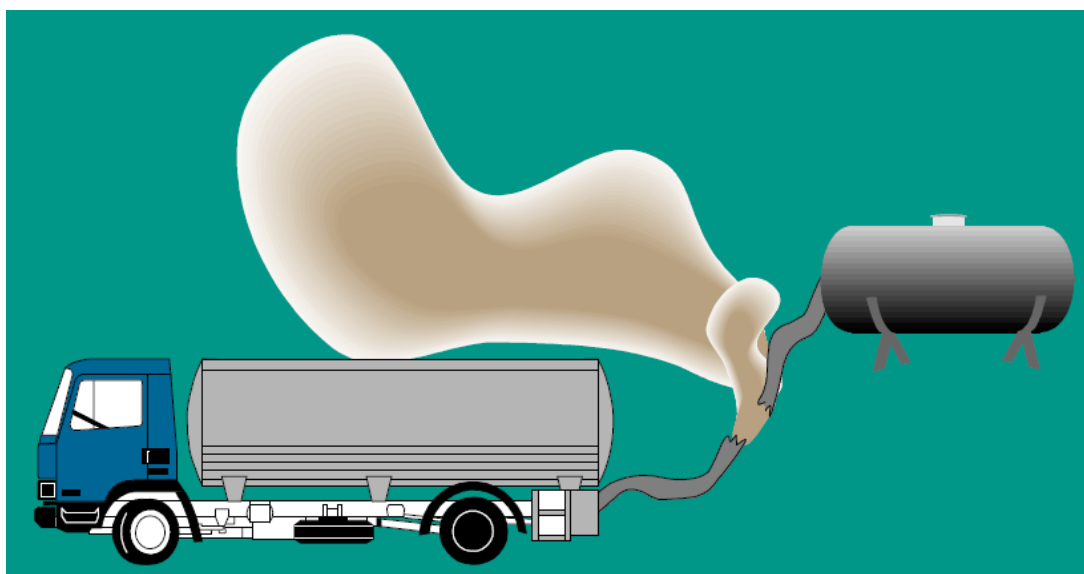
V této části se práce soustřeďuje na prezentaci výsledků z jednotlivých programů a hodnocení samotné práce s modelovacími programy. Pro zhotovení modelů úniků nebezpečných chemických látek byly vybrány tyto tři konkrétní látky:

- Chlor
- Amoniak
- Sarin

Důvodem pro výběr chloru a amoniaku je jejich časté použití v chemických výroбах a zároveň se jedná o látky, jenž unikají dle statistik HZS ČR ze stacionárních zdrojů nejčastěji. Sarin byl vybrán jako látka s odlišnými chemicko-fyzikálními vlastnostmi, jenž vykazuje vysokou neurotoxicitu a zároveň se v tuzemské výrobě prakticky nevyskytuje. Vlastnosti jednotlivých látek jsou popsány v teoretické části.

5.1 Vstupní údaje použité při modelacích

Jako příklady úniků nebezpečných chemických látek byly vybrány dva případy. V prvním případě se jedná o fiktivní únik ze stacionárního zdroje. Přičemž zadávané hodnoty byly odhadnuty na základě průměrných meteorologických hodnot pro dané období.



Obrázek 6: Grafické znázornění poruchy při přečerpávání (10) j:

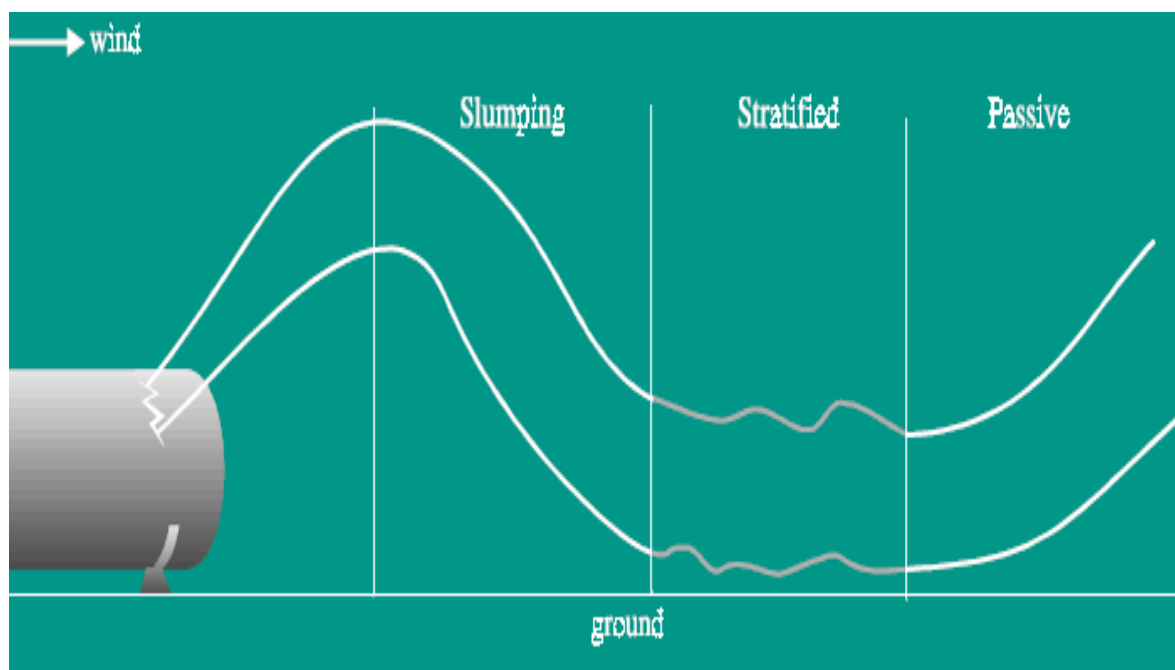
V modelovém příkladu dojde k úniku NCHL v průmyslovém zařízení, při přečerpávání látky ze zásobníku, hmotnost uniklé látky v narušené struktuře je 10 kg a všechny látky se nacházejí v kapalném skupenství. Další parametry, které programy ve specifických případech požadují pro vytvoření modelu budou konzervativně odhadnuty (Tab.4).

Tabulka 4: Hodnoty pro únik ze stacionárního zdroje

Hodnoty a podmínky při úniku ze stacionárního zdroje	
Typ zdroje	Jednorázový únik při porušení přečerpávací struktury
Hmotnost uniklé látky	10 kg jednorázově
Povrch	Zastavěná průmyslová plocha
Roční období a čas	léto; 10:00
Venkovní teplota	20° C
Teplota přečerpávané látky	20° C
Vítr v přízemní vrstvě:	5 m/s

Zdroj: Vlastní hodnoty vybrané pro modelaci

V druhém případě se jedná o únik při havárii cisterny přepravující NCHL. Kdy dojde k nehodě cisterny na volném prostranství a následnému úniku 200 kg látky z trhliny v plášti cisterny (Obr..7).



Obrázek 7 Grafické znázornění úniku NCHL z narušené cisterny (10)

Tabulka 5: Hodnoty pro únik z mobilního zdroje

Hodnoty a podmínky při úniku z mobilního zdroje	
Hmotnost uniklé látky	200 kg kapalné látky
Povrch	Volné prostranství
Roční období a čas	léto; 20:00
Venkovní teplota	15° C
Teplota přečerpávané látky	15° C
Vítr v přízemní vrstvě:	6 m/s

Zdroj: Vlastní hodnoty vybrané pro modelaci

Tato data (Tab.5) budou jednotlivě zadávána do programů Aloha, Terex, Rozex Alarm, Optizon, a následně budou mezi sebou výsledná data porovnána. Na základě těchto výsledků spolu s ostatními kritérii budou programy hodnoceny.

Kritéria pro hodnocení modelovacích programů:

- Celková uživatelská náročnost
- Nároky na znalosti uživatele
- Dostupnost softwarového nástroje
- Schopnost modelovat rozličné typy úniků
- Množství nutných vstupních údajů
- Omezení vstupních parametrů
- Schopnost zahrnout atmosférické vlivy
- Schopnost zahrnout vliv okolního terénu
- Kvalitu produkovaných dat a jejich praktické využití

5.2 Výsledky modelací

Kapitola modelování obsahuje výsledky měření, jenž vyprodukovaly programy.

5.2.1 Aloha

Program Aloha je volně dostupný, nicméně ve volně dostupné verzi chybí několik funkcí, např. přímé zanášení výsledků do mapového podkladu.

Při modelaci v programu Aloha se jako první jeví vhodné začít se zadáním atmosférických hodnot. Program Aloha vyžaduje množství dat, podle kterých stanoví třídu atmosférické stability. Zadává se rychlost větru v dané vrstvě, směr větru, drsnost okolního prostředí, pokrytí oblohy mraky, teplota okolního prostředí, stupeň inverze a výběr z 3 bodového označení vlhkosti vzduchu.

Dále pokročíme k zadání samotné chemické látky, kdy nám program nabízí obsáhlý, abecedně řazený seznam látek.

Po vybrání látky přistoupíme k výběru zdroje úniku. Pro náš únik NCHL zvolíme havarijní projev přímý zdroj a dále zadáme hmotnost uniklé látky a časový úsek úniku, zvolíme jednorázový únik. V opačném případě je nutné zadat po jakou dobu látka unikala. Nastavíme výšku úniku, kterou jsme konzervativně odhadli.

Program udává výsledky v yardech, 1 yard se přepočítává jako 0,9144 metru. Při přepočítávání byly výsledky upraveny na celé metry.

Chlor

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při zadání údajů pro únik chloru ze stacionárního zdroje (Obr. 8), dosáhne zóna ohrožení AEGL-3 (hodina, člověk) vzdálenosti 235 m. Program počítá, že následky úniků budou patrné až do vzdálenosti 1,6 km, při koncentraci AEGL-1 (hodina, člověk). Dále je možné sledovat (Obr. 9) jakým způsobem se bude látka šířit a jaký tvar bude mít toxický oblak vzhledem k nastaveným podmínkám.

SITE DATA:

Location: VLAŠIM, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
Time: March 14, 2018 1056 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: CHLORINE
CAS Number: 7782-50-5 Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm AEGL-2 (60 min): 2 ppm AEGL-3 (60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Ambient Boiling Point: -30.3° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from 180° true at 2 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 20° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

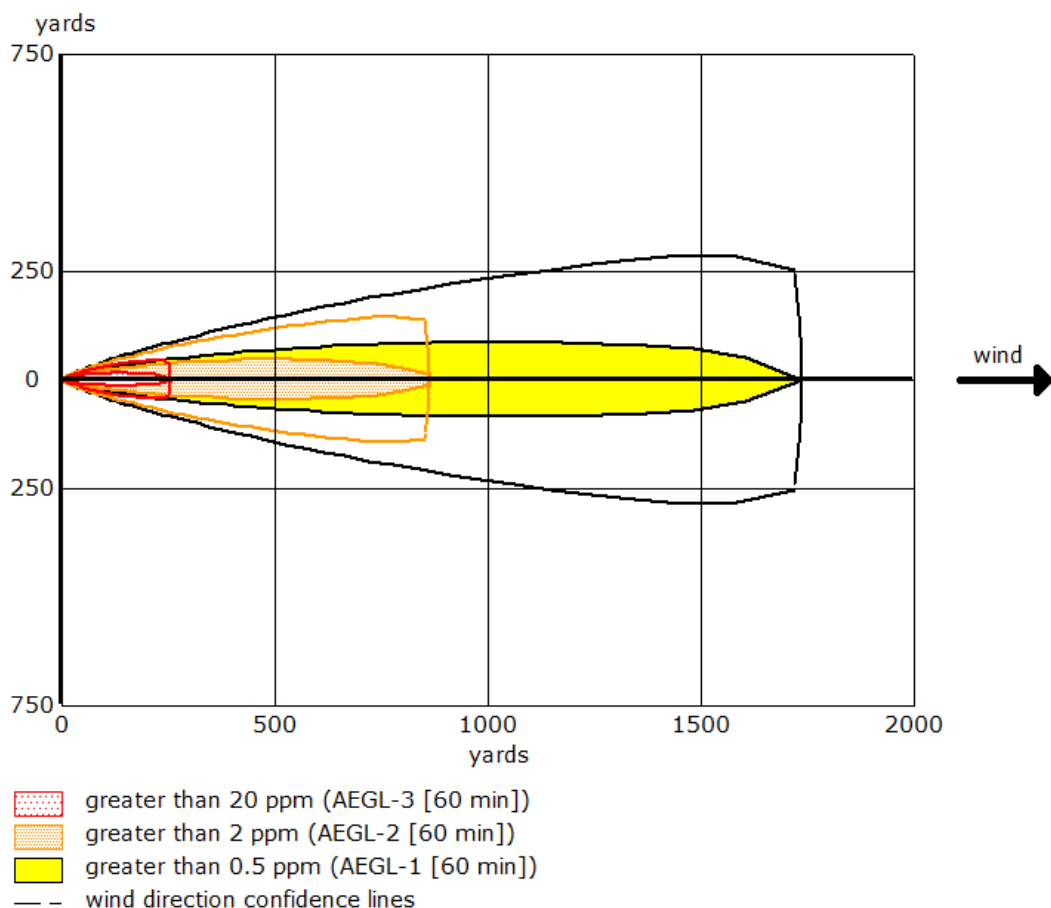
SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 10 kilograms Source Height: 1 meters
Release Duration: 1 minute
Release Rate: 0.367 pounds/sec
Total Amount Released: 22.0 pounds
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas
Red : 257 yards --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 865 yards --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 1739 yards --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])

Obrázek 8: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)



Obrázek 9: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Z obrázku 10 se dozvídáme, že při zadání údajů pro únik chloru z mobilního zdroje dosáhne zóna ohrožení AEGL-3 (hodina, člověk) vzdálenosti 786 m a následky úniku pro koncentraci AEGL-1 (hodina, člověk) budou patrné až na hranici 5 km od místa úniku (Obr. 10).

Dále je možné sledovat (Obr. 11) jakým způsobem se bude látka, šířit a jaký tvar bude mít toxický oblak vzhledem k nastaveným podmínkám.

```
Text Summary
SITE DATA:
  Location: VLAŠIM, CZECH REPUBLIC
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
  Time: March 15, 2018 1743 hours ST (using computer's clock)

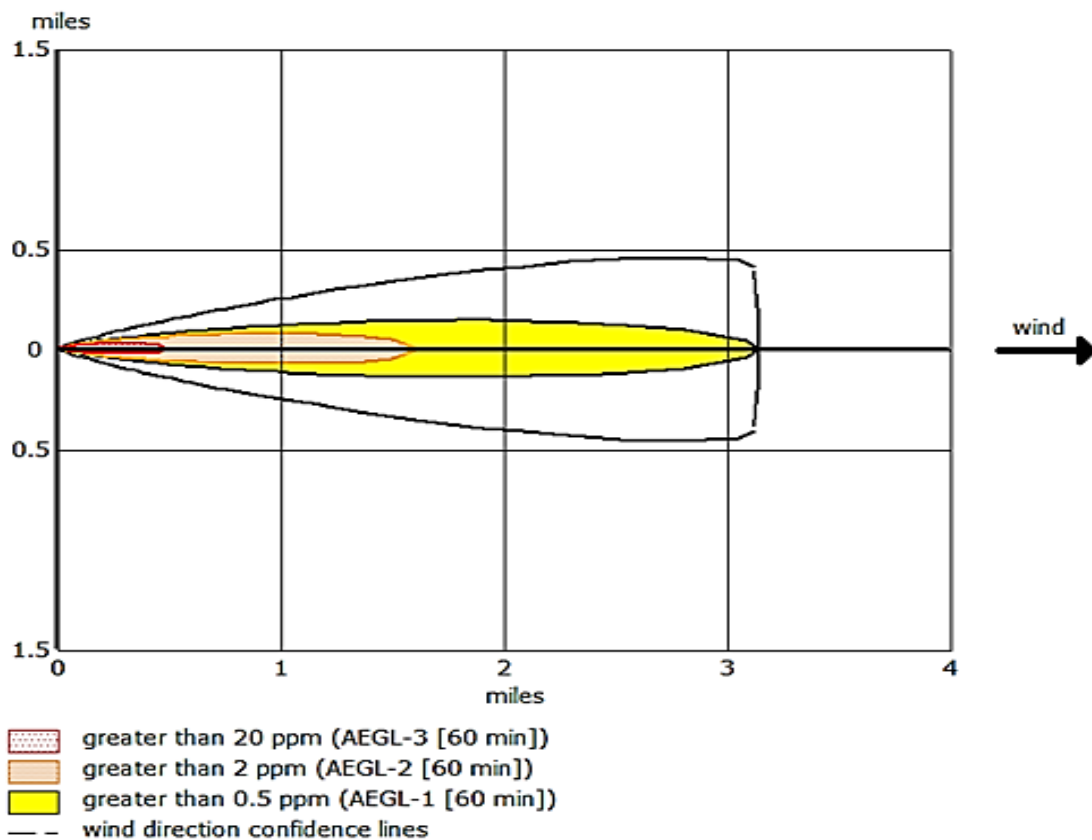
CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: CHLORINE
  CAS Number: 7782-50-5
  Molecular Weight: 70.91 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm  AEGL-2 (60 min): 2 ppm  AEGL-3 (60 min): 20 ppm
  IDLH: 10 ppm
  Ambient Boiling Point: -30.3° F
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 15 meters/second from 180° true at 2 meters
  Ground Roughness: open country
  Air Temperature: 15° F
  No Inversion Height
  Cloud Cover: 5 tenths
  Stability Class: D
  Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 200 kilograms
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 7.35 pounds/sec
  Total Amount Released: 441 pounds
  Source Height: 0
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:
  Model Run: Heavy Gas
  Red : 860 yards --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
  Orange: 1.6 miles --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
  Yellow: 3.1 miles --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 10: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)



Obrázek 11: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)

Amoniak

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při zadání údajů pro únik amoniaku ze stacionárního zdroje dosáhne zóna ohrožení AEGL-3 (hodina, člověk) vzdálenosti 31 m a následky úniku pro koncentraci AEGL-1 (hodina, člověk) budou patrné až na hranici 191 m od místa úniku (Obr.12).

Dále možné sledovat (Obr. 13) jakým způsobem se bude látka, šířit a jaký tvar bude mít toxický oblak vzhledem k nastaveným podmínkám.

Text Summary

SITE DATA:

Location: VLAŠIM, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
Time: March 14, 2018 1117 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA
CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -29.1° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from 180° true at 2 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 20° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

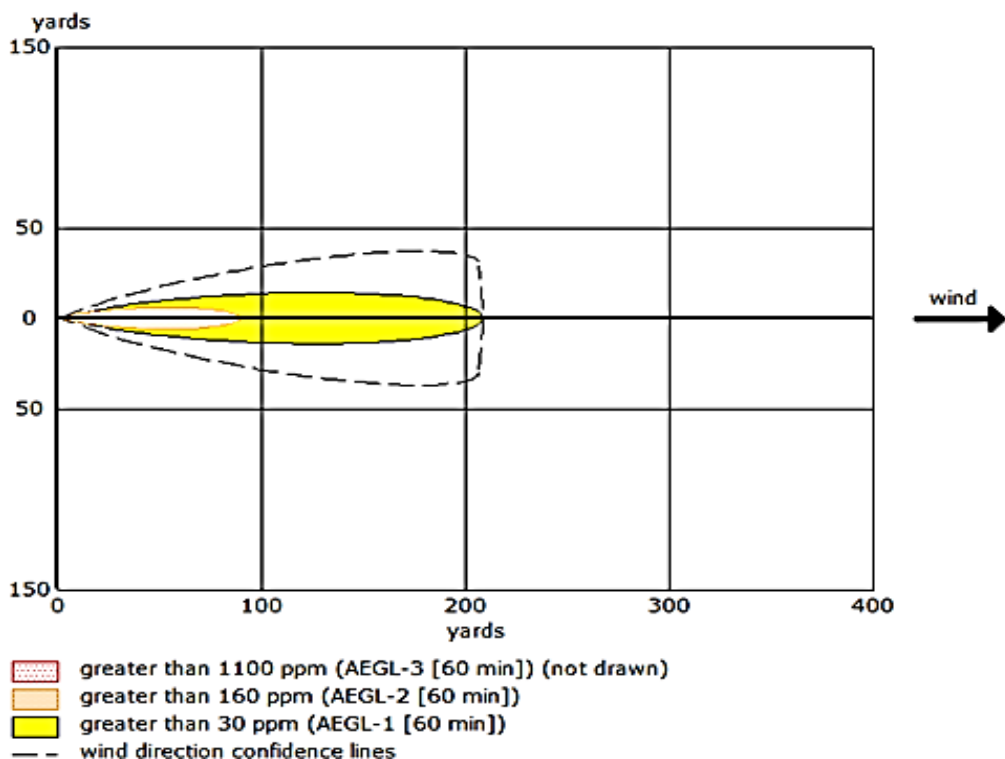
SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 10 kilograms Source Height: 0
Release Duration: 1 minute
Release Rate: 0.367 pounds/sec
Total Amount Released: 22.0 pounds
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red : 34 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 90 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 209 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])

Obrázek 12: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)



Obrázek 13: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při zadání údajů pro únik amoniaku z mobilního zdroje, dosáhne zóna ohrožení AEGL-3(hodina, člověk) vzdálenosti 131 m a následky úniku pro koncentraci AEGL-1(hodina, člověk) budou patrné až na hranici 2.8 m od místa úniku (Obr. 14).

Dále možné sledovat (Obr. 15) jakým způsobem se bude látka, šířit a jaký tvar bude mít toxický oblak vzhledem k nastaveným podmínkám.

```
Text Summary
SITE DATA:
  Location: VLAŠIM, CZECH REPUBLIC
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
  Time: March 15, 2018 1754 hours ST (using computer's clock)

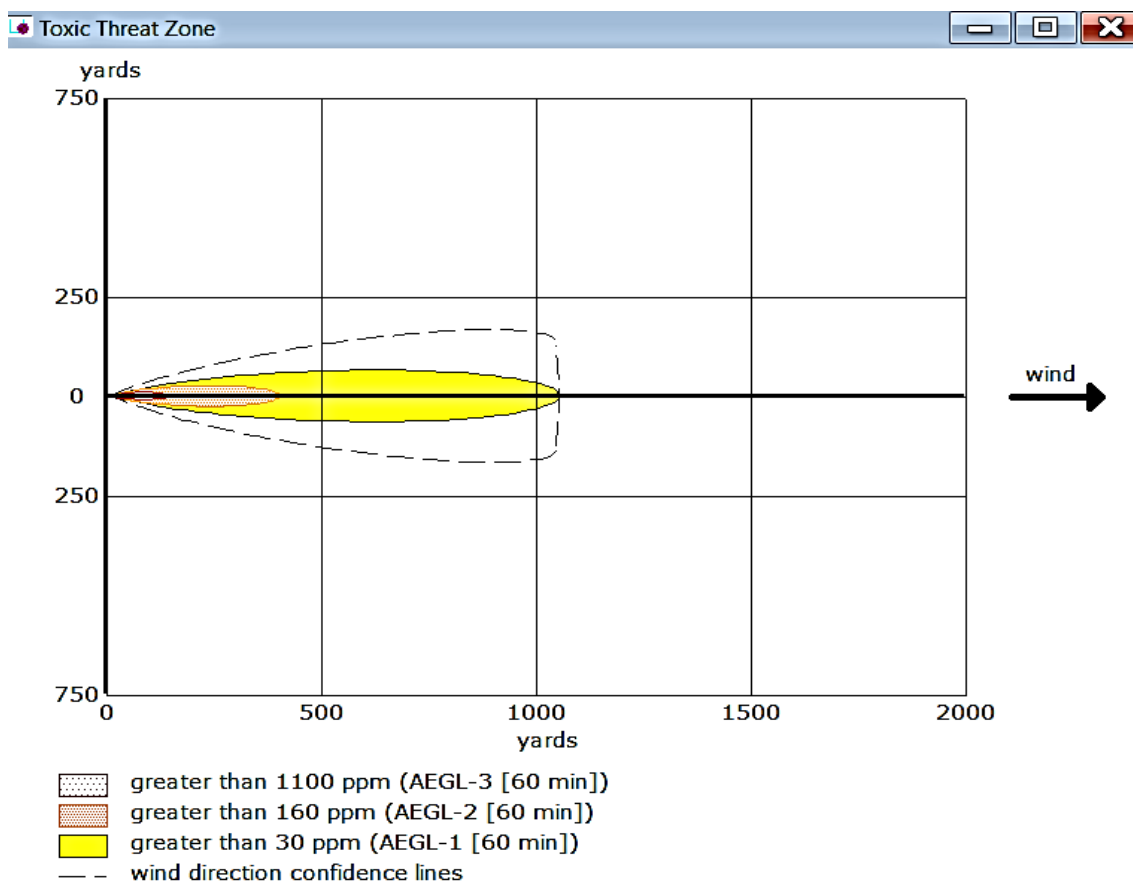
CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7
  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm
  AEGL-2 (60 min): 160 ppm
  AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm
  LEL: 150000 ppm
  UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -29.1° F
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 15 meters/second from 180° true at 2 meters
  Ground Roughness: open country
  Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 15° F
  Stability Class: D
  No Inversion Height
  Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 200 kilograms
  Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 7.35 pounds/sec
  Total Amount Released: 441 pounds
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
  Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red : 143 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
  Orange: 403 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
  Yellow: 1057 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 14: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)



Obrázek 15: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)

Sarin

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při zadání údajů pro únik sarinu ze stacionárního zdroje, dosáhne zóna ohrožení AEGL-3 (hodina, člověk) vzdálenosti 2092 m a následky úniku pro koncentraci AEGL-1 (hodina, člověk) budou patrné až na hranici 9.2 km od místa úniku (Obr. 16).

Dále je možné sledovat (Obr. 17) jakým způsobem se bude látka, šířit a jaký tvar bude mít toxický oblak vzhledem k nastaveným podmínkám.

Text Summary

SITE DATA:

Location: VLAŠIM, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.50 (enclosed office)
Time: March 14, 2018 1129 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SARIN
CAS Number: 107-44-8 Molecular Weight: 140.11 g/mol
AEGL-1 (60 min): 4.8e-04 ppm AEGL-2 (60 min): 0.006 ppm AEGL-3 (60 min): 0
Normal Boiling Point: 297.0° F
Note: Not enough chemical data to use Heavy Gas option

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from 180° true at 2 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 20° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

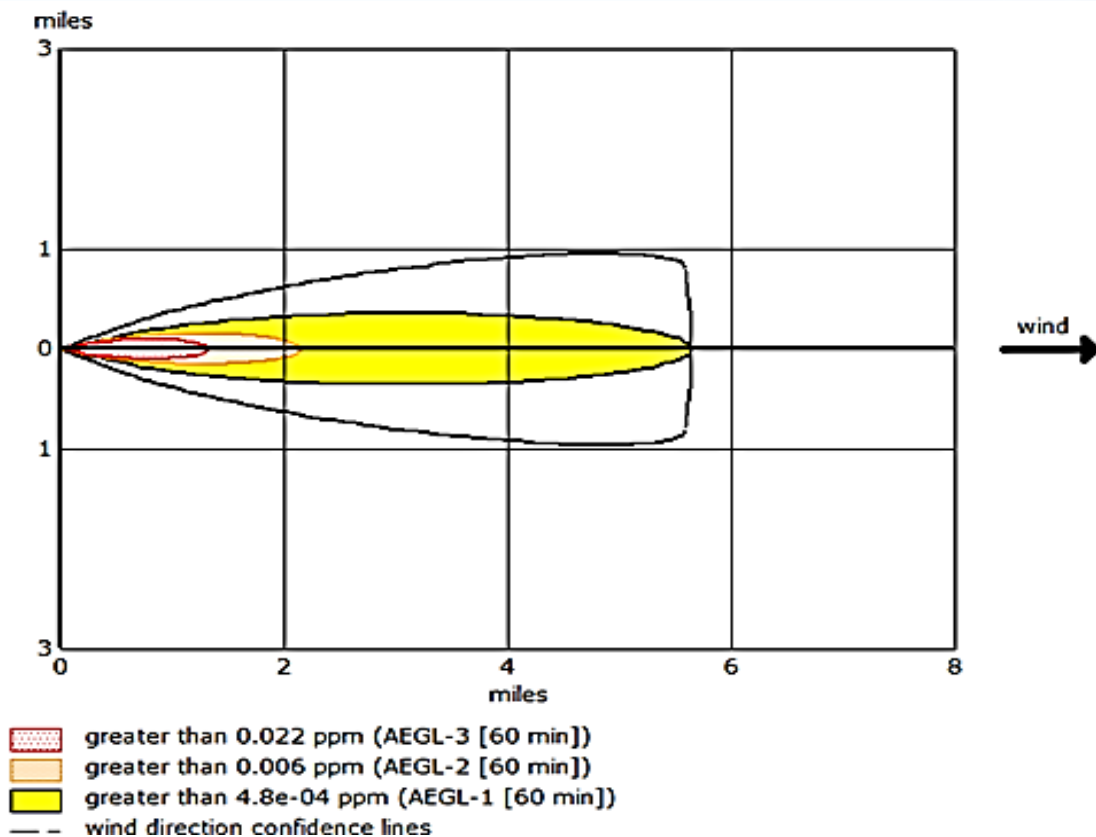
SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 10 kilograms Source Height: 0
Release Duration: 1 minute
Release Rate: 0.367 pounds/sec
Total Amount Released: 22.0 pounds

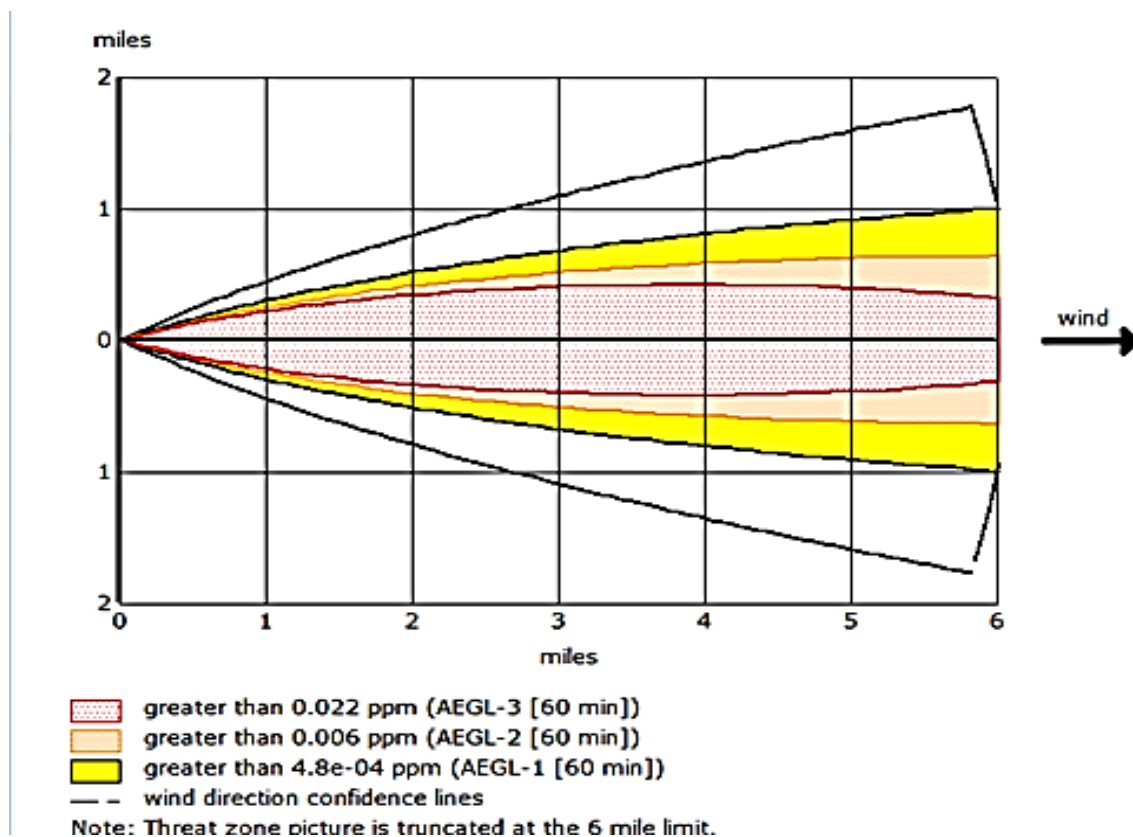
THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red : 1.3 miles --- (0.022 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 2.2 miles --- (0.006 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 5.7 miles --- (4.8e-04 ppm = AEGL-1 [60 min])

Obrázek 16: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)



Obrázek 17: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)



Obrázek 19 Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu)

5.2.2 Terex

Program Terex není volně dostupný, modelace proběhla v učebně ČVUT FBMI se sídlem v Kladně.

Modelovací program Terex jako první nabízí uživateli výběr havarijního projevu. Pro naše účely použijeme model PUFF, tedy rozptyl chemické látky. Dále je nutné zadat jakou rychlostí došlo k úniku, tedy výběr jednorázový/dlouhodobý. Následně vypíšeme do tabulky hodnoty pro teplotu unikající látky, celkové uniklé množství a rychlost větru v přízemní vrstvě. Dále je nutné charakterizovat typ povrchu ve směru šíření látky a atmosférické podmínky.

Program Terex stanovuje zónu pro koncentraci IDLH jako oblast s doporučeným průzkumem toxické koncentrace. Koncentraci pro stanovenou oblast ohrožení osob toxickou látkou program neuvádí.

Chlor

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Data vygenerovaná programem Terex (Obr. 20 a 21) uvádí, že při námi zadaných vstupních údajích pro únik chloru ze stacionárního zdroje dosáhne zóna pro koncentraci IDLH vzdálenosti 250 m.

TerEx Verze 3.1.1 12:33:58 22.03.2018 Licence pro : FBMI ČVUT Kladno

Událost: TE180322_1220

Model:
PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:
Chlor

Teplota kapaliny v zařízení: 20 °C
Celkové uniklé množství kapaliny: 10 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 5 m/s
Pokrytí oblohy oblaky: 50 %
Doba vzniku a průběhu havárie: Den - Léto
Typ atmosférické stálosti: C - izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky: Průmyslová plocha

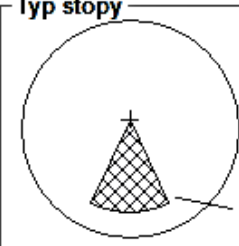
Ohrožení osob toxickou látkou
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 50 m (164.042 ft.)
[Koncetrace: 2.35 g/m3]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 250 m (820.21 ft.)
[Koncetrace IDLH: 29 mg/m3 (Aktuální: 28.88 mg/m3)]

Hodnocená látka nemá při havarijním úniku exothermní projevy typu UVCE a Flash Fire

Obrázek 20: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu)

Ohrožení osob toxickou látkou

Typ stopy



250 m : Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku

50 m : Ohrožení osob toxickou látkou

EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 50 m

OK

Obrázek 21: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)

2.. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při zadání údajů pro únik chlóru (Obr. 22), kdy teplota kapaliny v zařízení je 15 C, úniku 200 kg kapaliny, rychlosti větru 6 m/s a pokrytí oblohy z 50 % bylo změřeno, že je evakuace osob nezbytná v pásmu 736 m při koncentraci 123,8 mg/m³. Doporučený průzkum koncentrace do vzdálenosti (Obr. 23) od místa úniku e 1218 m, kde je koncentrace 28,71 mg/m³.

TerEx Verze 3.1.1 12:35:04 22.03.2018 Licence pro : FBMI ČVUT Kladno

Událost: TE180322_1220

Model:
PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:
Chlor

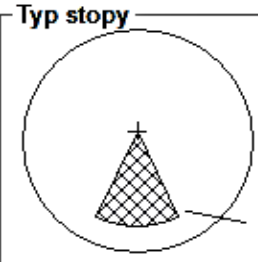
Teplota kapaliny v zařízení: 15 °C
Celkové uniklé množství kapaliny: 200 kg
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 6 m/s
Pokrytí oblohy oblaky: 50 %
Doba vzniku a průběhu havárie: Noc, ráno nebo večer
Typ atmosférické stálosti: D - izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky: Rovina

Ohrožení osob toxickou látkou
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 736 m (2414.7 ft.)
[Koncetrace: 123.8 mg/m³]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 1218 m (3996.06 ft.)
[Koncetrace IDLH: 29 mg/m³ (Aktuální: 28.71 mg/m³)]

Hodnocená látka nemá při havarijním úniku exothermní projevy typu UVCE a Flash Fire

Obrázek 22: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu)

Ohrožení osob toxickou látkou



Typ stopy

1218 m : Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku

736 m : Ohrožení osob toxickou látkou

EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 736 m

OK

Obrázek 23: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)

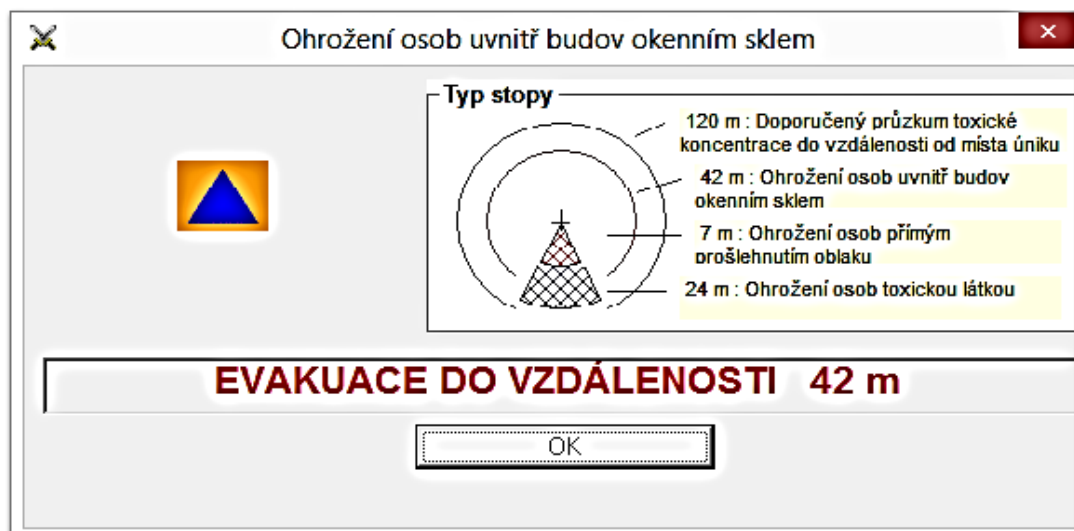
Amoniak

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při zadání údajů pro únik amoniaku (Obr. 24), kdy teplota kapaliny v zařízení je 20 C, úniku 10 kg kapaliny, rychlosti větru 5 m/s a pokrytí oblohy z 50 % bylo změřeno, že je evakuace osob nezbytná v pásmu 24 m při koncentraci 15,62 mg/m³. Doporučený průzkum koncentrace do vzdálenosti od místa úniku (Obr. 25) je 120 m, kde je koncentrace IDLH 205,9 mg/m³.

TerEx Verze 3.1.1	12:28:57	22.03.2018	Licence pro : FBMI ČVUT Kladno
Událost: TE180322_1220			
Model: PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku			
Látka: Amoniak			
Teplota kapaliny v zařízení: 20 °C			
Celkové uniklé množství kapaliny: 10 kg			
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 5 m/s			
Pokrytí oblohy oblaky: 50 %			
Doba vzniku a průběhu havárie: Den - Léto			
Typ atmosférické stálosti: C - izotermie			
Typ povrchu ve směru šíření látky: Průmyslová plocha			
Ohrožení osob toxickou látkou			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 24 m (78.7402 ft.)			
[Koncetrace: 15.62 g/m ³]			
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 120 m (393.701 ft.)			
[Koncentrace IDLH: 210 mg/m ³ (Aktuální: 205.9 mg/m ³)]			
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 7 m (22.9659 ft.)			
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním			
NUTNÝ ODSUN OSOB 24 m (78.7402 ft.)			
Závažné poškození budov			
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 17 m (55.7743 ft.)			
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem			
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 42 m (137.795 ft.)			

Obrázek 24: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu)



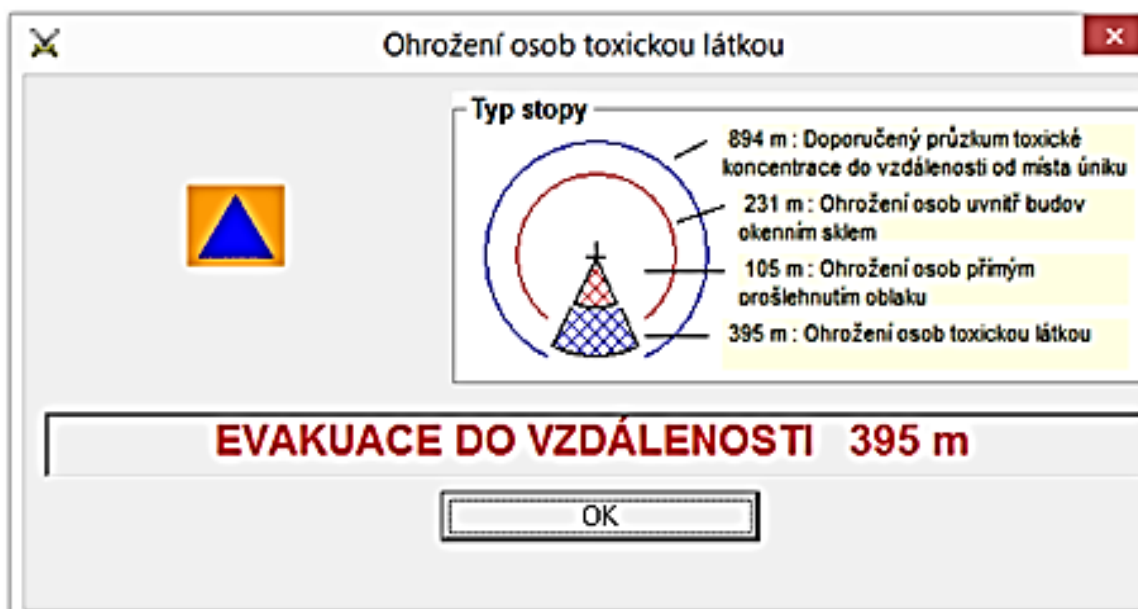
Obrázek 25: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při zadání údajů pro únik amoniaku (Obr. 26), 200 kg kapaliny, rychlosti větru 6 m/s a pokrytí oblohy z 50 % bylo změřeno, že je evakuace osob nezbytná v pásmu 395 m při koncentraci 15,62 mg/m³. Doporučený průzkum koncentrace do vzdálenosti od místa úniku (Obr. 27) je 894 m, kde je koncentrace IDLH 206,8 mg/m³.

TerEx Verze 3.1.1 12:53:31 22.03.2018 Licence pro : FBMI ČVUT Kladno	
Událost: TE180322_1252	
Model: PUFF - Jednorázový únik plynu do oblaku	
Látka: Amoniak	
Celkové uniklé množství plynu: 200 kg	
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 6 m/s	
Pokrytí oblohy oblaky: 50 %	
Doba vzniku a průběhu havárie: Noc, ráno nebo večer	
Typ atmosférické stálosti: D - izotermie	
Typ povrchu ve směru šíření látky: Rovina	
Ohrožení osob toxickou látkou	
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB	395 m (1295.93 ft.)
[Koncetrace: 2.231 g/m ³]	
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	894 m (2933.07 ft.)
[Koncentrace IDLH: 210 mg/m ³ (Aktuální: 206.8 mg/m ³)]	
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB	105 m (344.488 ft.)
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	
NUTNÝ ODSUN OSOB	164 m (538.058 ft.)
Závažné poškození budov	
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB	138 m (452.756 ft.)
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI	231 m (757.874 ft.)

Obrázek 26: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu)



Obrázek 27: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)

Sarin

Látka sarin nelze v programu Terex modelovat, jelikož není v databázi tohoto programu obsažena.

5.2.3 Rozex Alarm

Jelikož není program Rozex Alarm volně dostupný proběhla modelace na pracovišti HZS Kladno. Program byl ve verzi 2.1.399.

V tomto programu je za prvé nutné zadat o jakou nebezpečnou látku se jedná, látku lze vybrat ze seznamu a je na výběr ze 3 možností, jak látku ze seznamu vybrat. První možností je vepsat samotný přesný název látky do pole, jako druhá možnost se nabízí zadat možná synonyma, nebo ekvivalentní známá označení a jako třetí možnost se nabízí zadat UN kód látky.

Po přijetí látky programem a jeho potvrzení je nutné zadat v jakém skupenství se daná látka nachází, typicky pro chlór, zda jde o únik kapaliny nebo plynu.

Po vybrání, v jakém skupenství se uniklá látka nachází je nutné zadat o jaký havarijný projev se jedná. Na výběr je celkem 19 možností a tyto možnosti jsou programem automaticky přetříděny a reálně nabídnuty uživateli.

Následuje finální strana pro zadání údajů v pořadí:

1. Teplota látky ve °C
2. Hmotnost uniklé látky v kg
3. Rychlost větru v m/s

Typ atmosférické stálosti – jedná se o veličinu, která je přednastavená pro jednotlivá roční období v denní době a pro všechna roční období v době noční. V těchto tabulkách se na ose Y nachází stupeň zataženosti a na ose X rychlost větru v m/s. Postup tedy spočívá ve výběru tabulky podle ročního období, doby vzniku havárie a následném určení stupně zataženosti a rychlosti větru. Průsečík těchto dvou parametrů je daný stupeň atmosférické stálosti (Obr. 28).

4. Typ povrchu

- Otevřená plocha
- Otevřená plocha se stromy
- Otevřená plocha zaledněná
- Obytná plocha s nízkými budovami
- Městská a průmyslová oblast

Jako poslední je nutné nadefinovat jaká toxická koncentrace bude modelována, na výběr jsou:

- 50 % mortalita po expozici 5-10minut
- IDLH – expozice 30 minut bez trvalých změn na organismu
- Koncentrace definované uživatelem v kg/m³ nebo v jednotkách ppm

Pro možnost srovnání výsledků s programem Aloha byla určena hodnota požadované koncentrace na úrovni AEGL 3 (ppm) 60 min pro chlor tedy 20ppm.

Výsledky program definuje jako 2 hodnoty:

1. Maximální dosah oblaku o vybrané koncentraci
2. Za jakou dobu se oblak vytvoří a dosáhne uvedeného rozsahu

Přehled atmosférické stálosti

DEN - JARO							
8/8	D	D	D	D	D	D	D
7/8	D	D	D	D	D	D	D
6/8	B	C	C	C	C	D	D
5/8	B	B	C	C	C	D	D
4/8	B	B	B	C	C	D	D
3/8	A	B	B	B	C	C	D
2/8	A	A	B	B	B	C	D
1/8	A	A	B	B	B	C	C
0	A	A	B	B	B	C	C
Stupeň zátěženosti/Rychlost větru [m/s]	1	2	3	4	5	6	>6

DEN - LÉTO							
8/8	D	D	D	D	D	D	D
7/8	D	D	D	D	D	D	D
6/8	B	B	B	C	C	D	D
5/8	B	B	B	B	C	C	D
4/8	A	B	B	B	C	C	D
3/8	A	A	B	B	B	C	D
2/8	A	A	B	B	B	C	C
1/8	A	A	A	B	B	C	C
0	A	A	A	B	B	C	C
Stupeň zátěženosti/Rychlost větru [m/s]	1	2	3	4	5	6	>6

DEN - PODZIM							
8/8	D	D	D	D	D	D	D
7/8	D	D	D	D	D	D	D
6/8	B	C	C	C	D	D	D
5/8	B	C	C	C	C	D	D
4/8	B	B	B	C	C	D	D
3/8	B	B	B	C	C	C	D
2/8	A	B	B	B	C	C	D
1/8	A	B	B	B	B	C	D
0	A	B	B	B	B	C	D
Stupeň zátěženosti/Rychlost větru [m/s]	1	2	3	4	5	6	>6

DEN - ZIMA							
8/8	D	D	D	D	D	D	D
7/8	D	D	D	D	D	D	D
6/8	B	C	C	C	D	D	D
5/8	B	C	C	C	C	D	D
4/8	B	B	C	C	C	D	D
3/8	B	B	C	C	C	C	D
2/8	B	B	B	C	C	C	D
1/8	A	B	B	B	B	C	D
0	A	B	B	B	B	C	D
Stupeň zátěženosti/Rychlost větru [m/s]	1	2	3	4	5	6	>6

NOC (Celý rok), PORÁNU A ZVEČERA							
8/8	D	D	D	D	D	D	D
7/8	D	D	D	D	D	D	D
6/8	F	E	D	D	D	D	D
5/8	F	E	E	D	D	D	D
4/8	F	F	E	D	D	D	D
3/8	F	F	E	E	D	D	D
2/8	F	F	F	E	D	D	D
1/8	F	F	F	E	E	D	D
0	F	F	F	E	E	D	D
Stupeň zátěženosti/Rychlost větru [m/s]	1	2	3	4	5	6	>6

Obrázek 28: Tabulka tříd atmosférické stálosti pro Program Rozex Alarm

Chlor

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Pro definovanou koncentraci 20 ppm, stanovil hranici zóny program Rozex Alarm pro únik chloru ze stacionárního zdroje na 230 m, této hranice dosáhne oblak po 0,76 min.

Tabulka 6: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm

Maximální dosah oblaku	230 m
Doba tvorby oblaku	0,76 min
Koncentrace definovaná uživatelem	20 ppm

Zdroj: Program Rozex Alarm

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Pro definovanou koncentraci 20 ppm, stanovil hranici zóny program Rozex Alarm pro únik chloru z mobilního zdroje na 1360 m, této hranice dosáhne oblak po 3,8 min (Tab. 7).

Tabulka 7: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm

Maximální dosah oblaku	1360 m
Doba tvorby oblaku	3,8 min
Koncentrace definovaná uživatelem	20 ppm

Zdroj: Program Rozex Alarm

Amoniak

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Pro definovanou koncentraci 20 ppm, stanovil hranici zóny program Rozex Alarm pro únik amoniaku ze stacionárního zdroje na 85 m, této hranice dosáhne oblak po 0,28 min (Tab.8).

Tabulka 8: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm

Maximální dosah oblaku	85 m
Doba tvorby oblaku	0,28 min
Koncentrace definovaná uživatelem	1 100 ppm

Zdroj: Program Rozex Alarm

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Pro definovanou koncentraci 20 ppm, stanovil hranici zóny program Rozex Alarm pro únik amoniaku ze stacionárního zdroje na 480 m, této hranice dosáhne oblak po 1,6 min (Tab. 9).

Tabulka 9: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm

Maximální dosah oblaku	480 m
Doba tvorby oblaku	1,6 min
Koncentrace definovaná uživatelem	1 100 ppm

Zdroj: Program Rozex Alarm

Sarin

Program Rozex Alarm tuto látku v databázi neobsahuje. Není možné ji tedy namodelovat. Pro tento typ látky nebyly získány z tohoto programu výsledky.

5.2.4 Optizon

Program Optizon není volně dostupný, modelace proběhla na pracovišti HZS Kladno. Tento program byl vytvořen na základě vyhlášky č. 226/2015 Sb. se zaměřením na vymezení zóny havarijního plánování pro objekty zařazené do kategorie B². Samotný způsob vytvoření zóny havarijního plánování je popsán v této vyhlášce. Při nastudování postupu tvorby zóny

² Objekty obsahující nadlimitní množství nebezpečných chemických látek.

havarijního plánování se ukazuje, že program se od všech ostatních musí lišit především způsobem jakým pracuje s množstvím uniklé látky.

Postup výpočtu dle vyhlášky

Ve vyhlášce se dozvídáme, jak pomocí tabulek, známé celkové hmotnosti a jmenovitě přiřazených hodnotách určit parametr L, tedy poloměr kružnice havarijního plánu.

Jako první je nutné určit efektivní množství látky. Efektivní množství látky vypočítáme za pomoci:

- Hmotnosti látky
- Vybraného modifikačního faktoru

Po vynásobení těchto hodnot dostáváme efektivní množství. Tento číselný parametr poté přiřadíme ke správné hodnotě X v grafu vybraného havarijního projevu, tedy například Graf TOXI. Průsečík hodnoty X a funkce TOXI nám určí předběžný parametr I na ose Y. Tento proces je nutné opakovat pro všechny zkoumané látky v daném objektu. Výsledný parametr L je roven největší číselné hodnotě z množiny I_x . Stručně řečeno, výsledný poloměr zóny havarijního plánování se rovná největší vypočtené zóně, ke sčítání či násobení nedochází.

Informace k prováděnému výpočtu

Dále bylo zjištěno od firmy TLP spol. s.r.o., že program samotný pro výpočet tzv. zmírňující předpoklady, díky kterým by měli úniky více odpovídat potřebám havarijního plánování.

Zmírňující předpoklady:

1. unikne pouze 10 % z celkové hmotnosti látky v zařízení
2. jedná se o kontinuální únik v délce trvání 30 minut

Atmosférické podmínky, se kterými program operuje:

- atmosférická stabilita D
- rychlost větru 3 m/s
- vlhkost 50%

Koncentrace na hranici zóny byla pro tento program určena jako **LC1 (člověk, 60 min)**. Tato koncentrace byla přepočtena algoritmem z koncentrace LC50.

Pro výpočet byla nastavena hodnota efektivního množství tak, aby odpovídala hmotnosti uniklé látky tedy:

1. 10 kg pro první scénář:
 - ekvivalentní hodnota pro efektivní dávku Amoniak = 400 kg
 - ekvivalentní hodnota pro efektivní dávku Chlor = 28,57 kg
2. 200 Kg pro scénář druhý:
 - ekvivalentní hodnota pro efektivní dávku Amoniak= 8000 kg
 - ekvivalentní hodnota pro efektivní dávku Chlor= 571,42 kg

Modifikační faktor³ pro Amoniak je 0,025. Chlor má modifikační faktor 0,35.

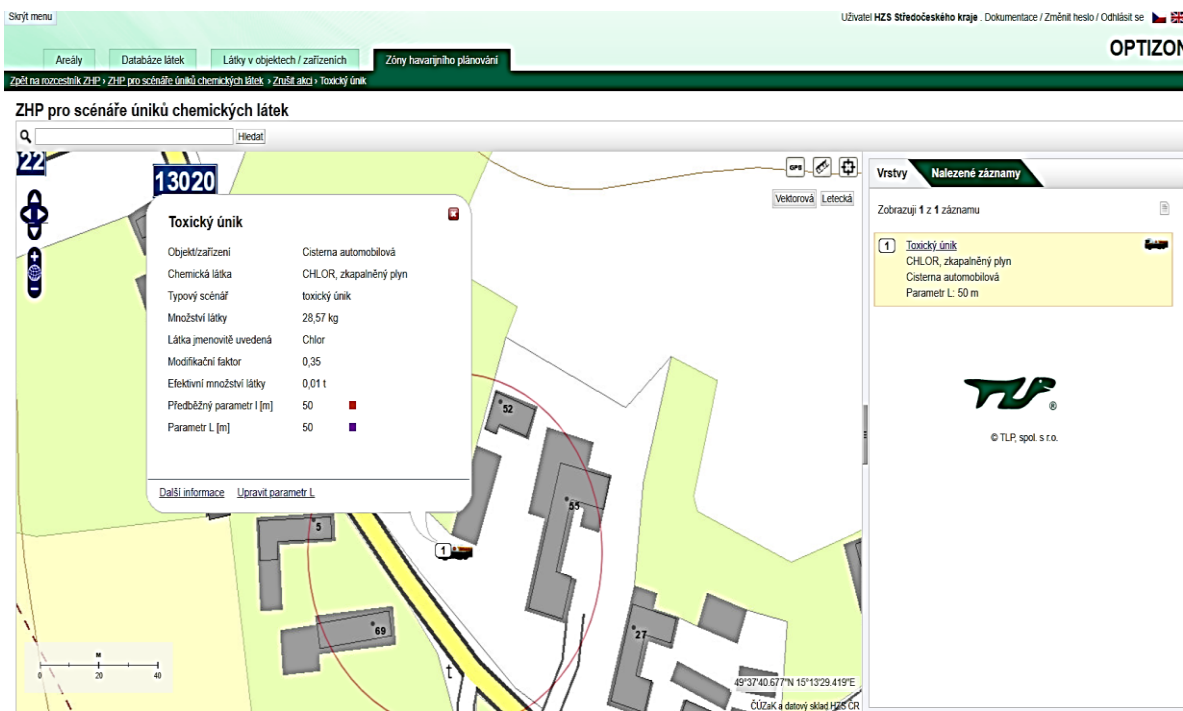
Modelace v programu Optizon jsou z podstaty programu spojeny vždy s reálným místem v mapě. Jako první je tedy uživatel nucen vybrat areál, v kterém se bude modelace provádět. Dále je nutné zadat typ zařízení, který ovšem nemá vliv na výslednou modelace a jeho zápis je čistě informativní. Po přidání zařízení následuje zadání hmotnosti a typu látky, které se v zařízení nachází. Program následně generuje zónu havarijního plánování jako kružnici o poloměru L.

Chlor

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při zadání vstupních dat pro únik chloru ze stacionárního zdroje dosáhl poloměr kružnice hodnoty 50 m pro koncentraci LC₁. Optizon vykreslil automaticky zónu do mapového podkladu se středem kružnice v námi zadaném bodě (Obr. 29).

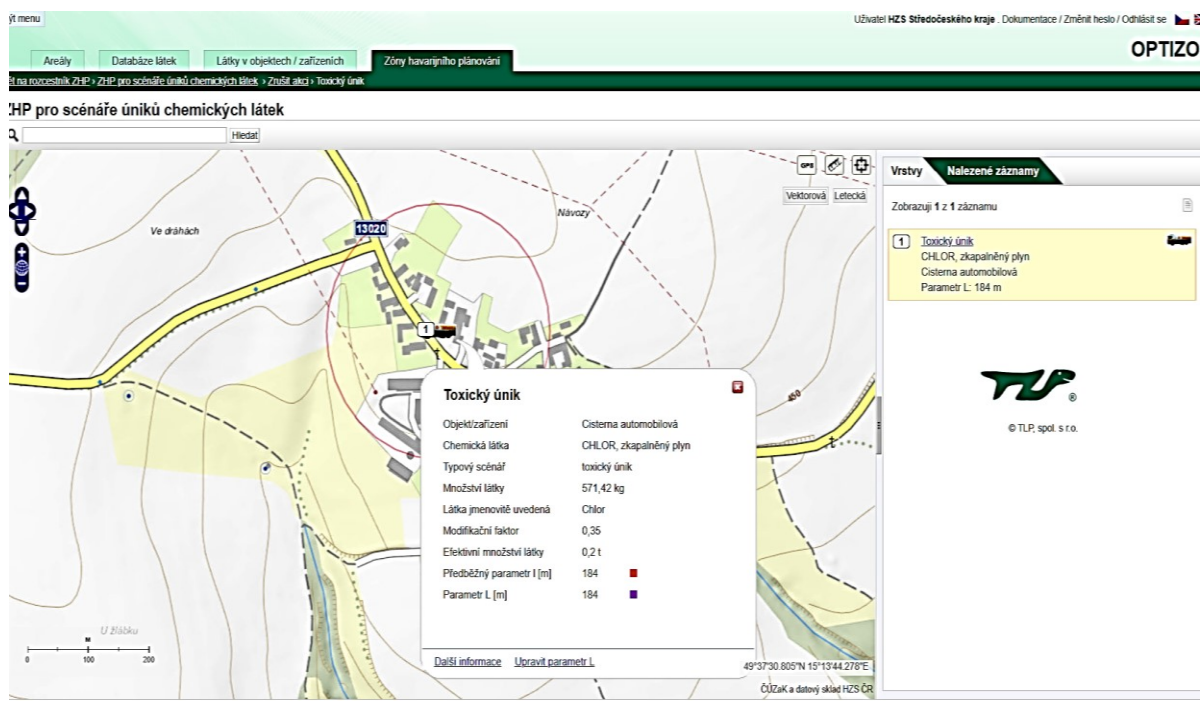
³ Číselná hodnota stanovená vyhláškou



Obrázek 29: Výsledky modelace v programu Optizon

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při zadání vstupních dat pro únik chloru z mobilního zdroje dosáhl poloměr kružnice hodnoty 184 m pro koncentraci LC₁. Optizon vykreslil automaticky zónu do mapového podkladu se středem kružnice v námi zadaném bodě (Obr. 30).

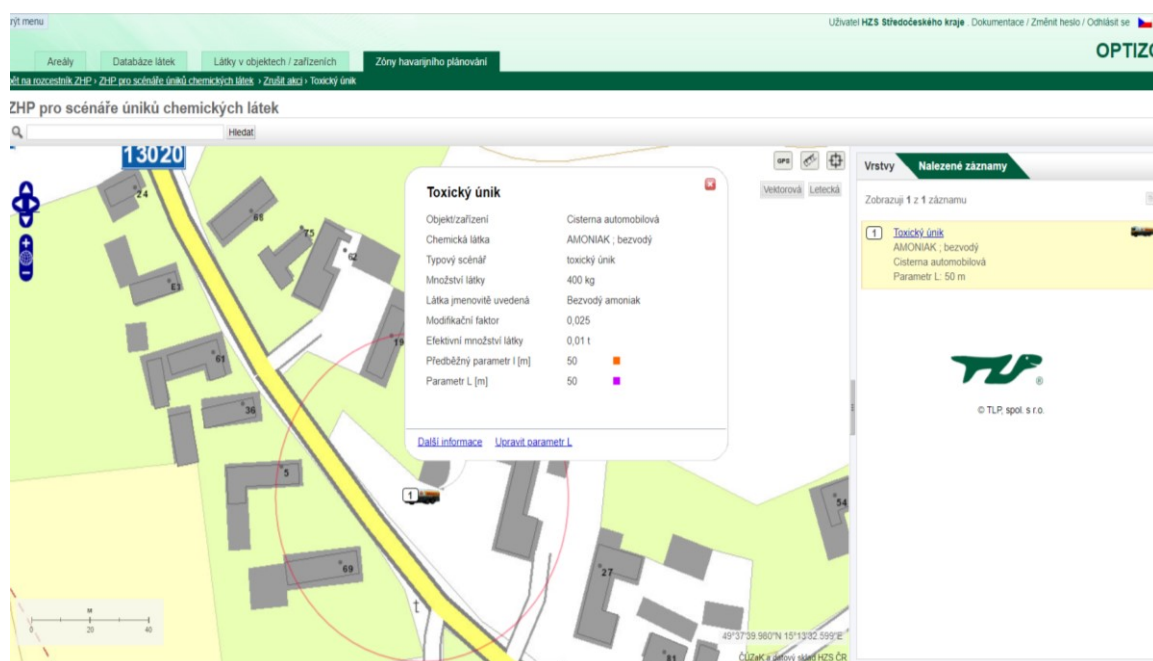


Obrázek 30: Výsledky modelace v programu Optizon

Amoniak

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

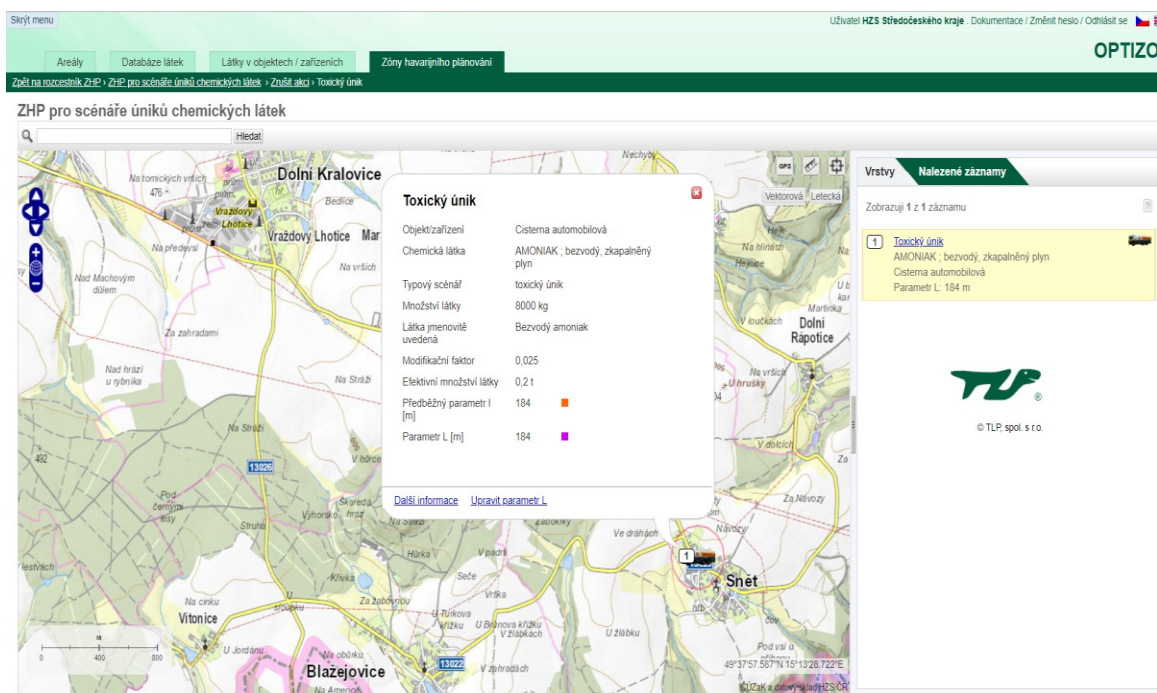
Při zadání vstupních dat pro únik amoniaku ze stacionárního zdroje dosáhl poloměr kružnice hodnoty 50 m pro koncentraci LC₁. Optizon vykreslil automaticky zónu do mapového podkladu se středem kružnice v námi zadaném bodě (Obr. 31).



Obrázek 31: Výsledky modelace v programu Optizon

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při zadání vstupních dat pro únik amoniaku ze stacionárního zdroje dosáhl poloměr kružnice hodnoty 184 m pro koncentraci LC₁. Optizon vykreslil automaticky zónu do mapového podkladu se středem kružnice v námi zadaném bodě (Obr. 32).



Obrázek 32: Výsledky modelace v programu Optizon

Sarin

Optizon neumožňuje modelaci pro látku Sarin, neboť tuto látku databáze Optizonu neobsahuje. Pro tento typ látky nebyly získány z tohoto programu výsledky.

5.3 Komparace modelací

Pro korektní porovnání výstupů jednotlivých programů je nutné:

1. Zadávat stejné vstupní parametry a chybějící konzervativně odhadnout, aby si byly v praxi co možná nejbližší
2. Produkovat výsledky ve stejných koncentracích

Bohužel není možné ze všech programů vytvořit modely s jednotným výstupem, neboť program Terex má fixně přednastavenou koncentraci na hranici zóny jako IDLH a program Optizon má fixně stanovenou hranici zóny jako LC₁ (člověk, hodina), program Optizon navíc neumožňuje zadat hodnotu uniklé látky nýbrž celkovou hodnotu látky unikající ze zařízení, tudíž výstupy z tohoto programu jsou značně modifikované.

5.3.1 Chlor

Z těchto modelací můžeme usuzovat, že Rozex Alarm a Aloha jsou pro relativně nízké hodnoty uniklých látek ve výpočtech velmi podobní, při narůstajícím množství látky má program Rozex ALARM tendenci výsledky oproti programu Aloha spíše nadhodnocovat.

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Při porovnání dosažených výstupů z jednotlivých programů pro stacionární zdroj (Tab. 10) s únikem chlóru bylo zjištěno, že program Rozex Alarm a Aloha při stejné modelované koncentraci liší v daném případě o 2,1 %. Optizon dle předešlých zjištění narazil na své omezení v podobě minimálního zadávaného množství látky a určil zónu pro koncentraci LC1 (hodina, člověk) jako 50 m, tento výsledek lze tedy považovat za nevěrohodný. Terex určil koncentraci zóny IDLH na hranici 250 m.

Tabulka 10: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro chlor

Program	Dosah koncentrace (m)	Koncentrace
Terex	250	IDLH
Rozex Alarm	230	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	50	LC1 (hodina, člověk)
Aloha	235	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Při porovnání dosažených výstupů z jednotlivých programů pro mobilní zdroj s únikem chlóru bylo zjištěno, že program Rozex Alarm a Aloha při stejné modelované koncentraci liší v daném případě o 42 %. Optizon určil jako hranici zóny o koncentraci LC1 (hodina, člověk) vzdálenost 184 m. Terex vypočítal koncentraci zóny IDLH na hranici 1218 m (Tab. 11).

Při porovnání výsledků pro stacionární zdroj a mobilní zdroj bylo zjištěno, že se změnou kvantity zadaných dat, se výsledky programů Aloha a Terex nyní výrazně liší.

Tabulka 11: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro chlor

Program	Dosah koncentrace(m)	Koncentrace
Terex	1218	IDLH
Rozex Alarm	1360	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	184	LC1 (hodina, člověk)
Aloha	786	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

5.3.2 Amoniak

Pro amoniak se podařilo namodelovat únik ve všech čtyřech programech.

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

V této tabulce je vidět (Tab. 12), že Optizon zde narazil na své omezení, kdy určil parametr $L=50$ m, přičemž by tato hodnota měla být reálně menší. Programy Rozex Alarm a Aloha se svými výsledky výrazně liší, a to více než o 200 %.

Tabulka 12: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro amoniak

Program	Dosah koncentrace(m)	Koncentrace
Terex	120	IDLH
Rozex Alarm	85	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	50	LC ₁ (hodina, člověk)
Aloha	31	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

V druhém případě, při zadání většího množství zkoumané látky, se omezení Optizonu neobjevuje. Při porovnání výsledků programů Aloha a Rozex Alarm pro Amoniak, se již výsledek znatelně liší na rozdíl od komparace pro chlor (Tab. 13).

Tabulka 13: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro amoniak

Program	Dosah koncentrace(m)	Koncentrace
Terex	894	IDLH
Rozex Alarm	480	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	184	LC ₁ (hodina, člověk)
Aloha	131	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

5.3.3 Sarin

Jediný program, který byl schopen modelovat úniky sarinu je program ALOHA. V prvním modelovém případě se jedná o vcelku reálný model, v druhém případě narážíme na samotné limity programu, kdy musí být výsledky velmi opatrně interpretovány, vzhledem ke generovanému dosahu.

1. Modelace vybraných dat pro stacionární zdroj

Tabulka 14: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro Sarin

Program	Dosah koncentrace(m)	Koncentrace
Terex	-	IDLH
Rozex Alarm	-	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	-	LC ₁ (hodina, člověk)
Aloha	2092	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

Program Aloha jako jediný dokázal zpracovat látku Sarin, vzhledem k nemožnosti komparace s jiným programem lze uvažovat, že interpretace by měla být velmi zdrženlivá (Tab.14).

2. Modelace vybraných dat pro mobilní zdroj

Pro mobilní zdroj platí stejné závěry jako pro stacionární, navíc se s tímto množstvím látky dostáváme na samotnou hranici možností programu.

Tabulka 15: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro Sarin

Program	Dosah koncentrace(m)	Koncentrace
Terex	-	IDLH
Rozex Alarm	-	AEGL-3 (hodina, člověk)
Optizon	-	LC₁ (hodina, člověk)
Aloha	9656	AEGL-3 (hodina, člověk)

Zdroj: Programy Terex Rozex Alarm, Optizon, Aloha

5.4 SWOT analýzy na základě výsledků modelací a práce s programy

Jednotlivé programy vykazaly znatelné odlišnosti v samotné použitelnosti, tak i v oblasti práce s daty. Následující SWOT analýzy pro jednotlivé programy stručně popisují vlastnosti jednotlivých programů z pohledu samotné práce s programem tak i výstupními a vstupními daty.

5.4.1 SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Terex

Tabulka 16: SWAT analýza Terex

Silné stránky <ul style="list-style-type: none">• Uživatelsky přívětivý• Rychlost výpočtu• Přehledné uživatelské prostředí• Průvodce	Slabé stránky <ul style="list-style-type: none">• Neintuitivní práce s mapovými podklady• Není možnost volby výstupní koncentrace hranice zóny ohrožení• Omezený počet havarijních projevů• Omezený počet vstupních dat• Program není volně dostupný
Příležitosti <ul style="list-style-type: none">• Rychlost nasazení• Prvotní odhad dopadů	Hrozby <ul style="list-style-type: none">• Nepřesnost modelací díky omezenému počtu vstupních dat

Zdroj: Vlastní zpracování

Modelovací program Terex nabízí velmi přehledné uživatelské prostředí. Požadavky programu na znalosti uživatele nejsou vysoké, neboť množství požadovaných dat pro zdárné dokončení modelace je relativně nízké. Program Terex není volně dostupný. Pro modelace program nabízí celkem 8 havarijních projevů, včetně možnosti výběru mezi kapalnou a plynou fází u možných scénářů (Tab. 16).

Množství vstupních údajů je nízké, pro modelaci je potřeba vypsát pouze dvě číselné hodnoty, zbytek informací je nabídnut přehledně uživateli. Při modelacích jsem nenarazil na omezení vstupních dat. Program na základě vložených a vybraných údajů stanoví automaticky třídu atmosférické stálosti, kterou následně vypíše do výsledku. Drsnost okolního terénu program započítává. Kvalita produkovaných dat je značně omezena vzhledem k počtu zadaných dat, na druhou stranu jsou data přehledně prezentována, včetně grafického znázornění a možnosti přejít rychle do mapového podkladu.

5.4.2 SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Rozex alarm

Tabulka 17: SWAT analýza Rozex alarm

<p>Silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uživatelsky přívětivý • Rychlost výpočtu • Výběr z 19 havarijních projevů • Možnost navolení vlastní libovolné koncentrace • Přesná komparace výsledků na základě vlastní volby koncentrace 	<p>Slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Slabé stránky • Databáze programu neobsahuje sarin a jemu podobné látky • Hmotnost látky musí být min. 1Kg • Nenabízí grafický výstup • Výstup pouze v podobě 1 parametru (velikost zóny ohrožení) • Nemožnost řešit modely v reálném čase pro vítr o rychlosti >6 m/s • Program není volně dostupný
<p>Příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Možnost porovnání výsledků díky volitelné koncentraci 	<p>Hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> • Znemožnění modelace díky omezení vstupních dat

Zdroj: Vlastní zpracování

Nástroj Rozex Alarm (Tab. 17) je uživatelsky přívětivý a jeho uživatelské prostředí je přehledné. Program není volně dostupný a vyžaduje licenci. Variabilita možností modelace

pro různé havarijní projevy je vysoká, neboť program dokáže zpracovat celkem 19 havarijních projevů, které je sám schopen i třídit dle vstupních údajů. Množství vstupních údajů a přehlednost umožňuje i méně zdatnému uživateli úspěšně modelaci. Omezení rozsahu vstupních dat je hlavním omezením tohoto programu, neboť nedokáže zpracovat:

- Rychlost větru pod 1 m/s a nad 6 m/s
- Teplotu látky do - 200 °C a nad + 400 °C
- Látky o hmotnosti méně než 1Kg
- Databáze neobsahuje Sarin

Atmosférické vlivy se zadávají do programu v podobě rychlosti větru a třídy atmosférické stability. Vliv okolního terénu je zde prezentován jako drsnost prostředí.

Kvantita produkovaných dat je zde značně limitována, neboť program generuje:

- Maximální dosah oblaku
- Dobu tvorby oblaku

Na druhou stranu není problém zanechat vygenerovaná data do mapového podkladu.

Omezení programu

Program nedokáže zpracovat následující hodnoty:

- Databáze látek neobsahuje sarin
- Vítr pod 1 m/s a nad 6 m/s model nepodporuje
- Rozsah teplot látky musí být od - 200 až + 400 stupňů
- Hmotnost látky musí být minimálně 1 kg

Dále program nabízí:

- Modelaci odparu z louže, přičemž po uživateli požaduje průměr louže a její plochu, rychlost větru, stupeň atmosférické stálosti, typ povrch a teplotu látky. Model kontinuálního úniku s nutností zadat teplotu látky, přetlak v zařízení v kPa, průměr otvoru, výšku hladiny na otvorem, rychlost větru. Kontinuální úniky: zadává se

teplota látky, přetlak v zařízení kPa, průměr otvoru, výška hladiny nad otvorem, rychlost větru, atmosférickou stálost, typ povrchu.

5.4.3 SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Optizon

Tabulka 18: SWAT analýza Optizon

<p style="text-align: center;">Silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uznávaný nástroj • Není nutné odhadovat množství uniklé látky • Šitý na míru vyhlášece • Rozsáhlá databáze objektů • Rychlá editace obsahu 	<p style="text-align: center;">Slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Program vyhrazený k jedné konkrétní činnosti • Hodnoty úniku jsou velmi modifikované • Program není volně dostupný
<p style="text-align: center;">Příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelace pro zdroje s velkým objemem a předpokládaným procentuálním uniklým množstvím 	<p style="text-align: center;">Hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chybná interpretace dat v případě špatné informovanosti uživatele

Zdroj: Vlastní zpracování

Program není náročný z pohledu vstupních dat, spíše se jedná o uživatelskou náročnost pro dokončení modelace. Program není volně dostupný. Optizon je schopen modelovat jak úniky nebezpečných látek, tak také dosah tepelného záření a účinků výbuchu. Tento program je specifický v zadání vstupní údajů, přičemž operuje pouze s celkovou hmotností a druhem látky. Uživatel nemá možnost navolit vlastní atmosférické vlivy ani drsnost okolního povrchu. Kvalita produkovaných dat je dostatečná, přičemž musí uživatel počítat s faktem, že minimální poloměr generované zóny je 50 m (Tab. 10).

5.4.4 SWOT analýza a zhodnocení práce s programem Aloha

Tabulka 19: SWAT analýza Aloha

Silné stránky <ul style="list-style-type: none">• Kvalitní výstupy• Grafické znázornění úniku• Volně dostupný software• Možnost volby koncentrací pro vykreslení do grafu• Možnost tvorby směsí	Slabé stránky <ul style="list-style-type: none">• Nutnost zadat množství vstupních dat• Náročnost pro uživatele• Neintuitivní prostředí• Ve volně dostupné verzi nejde vkládat modelace do mapového podkladu
Příležitosti <ul style="list-style-type: none">• Práce s různými koncentracemi a rozličnými projevy s vysokou variabilitou zadávaných dat	Hrozby <ul style="list-style-type: none">• Pochybení při zadávání dat

Zdroj: Vlastní zpracování

Program Aloha nenabízí uživatelsky atraktivní prostředí pro modelaci, na druhou stranu se jedná o nejkompexnější nástroj z testovaných programů. Komplexnost je spojená s uživatelskou náročností, neboť je nutné znát pro vytvoření kompletního modelu množství dat, bez kterých se uživatel neobejde. Velkou výhodou programu je jeho volná dostupnost. Aloha poskytuje všechny uvažované havarijní projevy, s nutností zadání velkého množství zadávaných dat, které je nutné v mnoha případech dle zkušeností konzervativně odhadnout. Aloha je schopna zpracovat data v širokém rozsahu (Tab. 19).

V programu je možné stanovit třídu atmosférické stability přímo nebo pomocí zadávaných dat na základě kterých program určí třídu atmosférické stability automaticky. Vlivy okolního prostředí program započítává skrze drsnost povrchu, jenž uživatel přímo vybere, nebo určí jeho výšku. Díky velkému množství zadávaných dat lze usuzovat, že výstupy z programu Aloha budou relativně přesné. Navíc program generuje výsledky přehledně jak v textové formě, tak formou grafů s možností volby ve třech libovolných vykreslených

koncentracích. Program je dále schopen vykreslit graf pro koncentrační křivku v zájmovém bodě. Toto považuji za velmi důležitou věc, neboť umožňuje přímo analyzovat vývoj koncentrace látky v dané vzdálenosti od zdroje.

Data vygenerovaná programem jsou jak v textové formě, tak ve formě grafické dobře interpretovatelná. Data lze přímo zanést do mapového podkladu.

5.5 Konkrétní případy úniku a výběr modelovacího softwaru

Konkrétní případy úniku NCHL se mohou lišit jak svými vlastnostmi, tak prostředím, ve kterém se nacházejí. Při vyhodnocování je nutné znát možnosti modelovacích programů, aby bylo možné s ohledem na požadavky vybrat nejvhodnější pro daný únik.

5.5.1 Únik nebezpečných látek při přepravě

Při úniku nebezpečných látek z mobilního zdroje, např. cisterny, je velmi důležité nepodcenit riziko a rychle odhadnout hrozící nebezpečí. Pro tyto potřeby se jako nejlepší jeví program Terex, neboť pracuje s přednastavenou koncentrací IDLH a ve výsledcích také dosahovala vysokých vzdálenostních hodnot. Dále program Terex vykresluje zjednodušeně výsledky v grafické podobě tak, aby byly lehce interpretovatelné, to v několika koncentracích.

Jako druhý vhodný program v pořadí se jeví program Rozex Alarm, který také dokáže relativně rychle stanovit zónu ohrožení, navíc je v programu možné nastavit libovolnou koncentraci na hranici zóny ohrožení, na druhou stranu, už samotná volba koncentrace klade nároky na uživatele, jenž musí koncentrace znát nebo je aktivně vyhledat v krátkém časovém úseku.

5.5.2 Únik nebezpečných látek při technologické havárii

Otevřený prostor

Při vzniku mimořádné události v daném objektu, kdy budou známé parametry úniku by se dalo říci, že lze pro modelace použít všechny programy mimo programu Optizon, který by v tomto případě svým způsobem výpočtu značně stěžoval postup při modelaci a zároveň by byly výsledky značně modifikované.

Při výběru mezi zbylými třemi nástroji by záleželo na čase, který je na zpracování k dispozici. V případě, že by byl dostatek času pro přesné vyhodnocení, bylo by vhodné použít program Aloha, práce s tímto nástrojem je časově náročnější, výsledek je relativně nejpřesnější.

V případě požadavku na rychlé zhodnocení a zároveň na konkrétní koncentraci zóny ohrožení, by se pro použití nabízel program Rozex Alarm, jenž ovšem není tak rychlý jako program Terex.

Pakli-že by hrozilo bezprostřední nebezpečí a hlavní požadavek by byl na rychlost vyhodnocení, byl by jasnou volbou program Terex.

Vnitřní prostor

Pro modelaci úniku v uzavřeném prostoru, například v halách se jeví jako vhodný program Aloha, který dokáže pracovat s menším množstvím uniklé látky a zároveň umožňuje modelace pro úniky ve vnitřních prostorech.

5.6 Konkrétní činnosti a výběr nejvhodnějšího softwarového nástroje

Při plánování a provádění opatření pro ochranu před NCHL jsou na pořadu dne aktivity, které mají konkrétní potřeby a tím pádem jsou vytvářeny konkrétní požadavky na modelovací software.

Jako první z těchto aktivit byla navržena samotná plánovací činnost při zpracování dokumentace pro zařízení zařazené do skupiny kategorie B, tedy objekty, na které se vztahuje povinnost mít určenou VZHP.

Jako další činnost byla vybrána tvorba havarijních karet. Následně se nabízí rychlé vyhodnocení při hrozícím nebo právě vzniklém úniku NCHL krizovými štáby.

Jako poslední činnost bylo navrženo modelování pro potřeby soukromých subjektů, jenž zachází s malým množstvím NCHL ve specifických podmínkách a výstupy z modelací použijí jako vodítko pro tvorbu vnitřních směrnic a postupů.

5.6.1 Zpracování plánovací dokumentace pro stacionární zařízení (objekty zařazené dle zákona do skupiny B)

Stanovení ZHVP je specifická činnost, jenž se přímo podřizuje postupu, který je popsán ve vyhlášce **č. 226/2015 Sb., ze dne 12. srpna 2015, o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury**. Pro tuto práci, díky popsanému postupu není samotný software potřebný.

Bylo zjištěno, že Aloha, Terex a Rozex Alarm jsou pro tuto činnost naprosto nevhodné, neboť fungují na principu zadání uniklého množství látky. Naopak Optizon je již od začátku vytvořen za účelem tvorby VZHP, tedy jeho struktura a databáze umožňují napřímo editovat zařízení a množství obsažené látky v něm. Optizon sám modifikuje vložené informace a tím uživateli usnadňuje práci.

Nejvhodnějším programem pro tuto činnost je tedy Optizon. Další velkou výhodou Optizonu je online dostupnost, program tedy pracuje standardně v internetovém prohlížeči, obsah je tedy vždy aktuální.

5.6.2 Zpracování havarijních karet

Součástí havarijních karet je i předběžný odhad následků úniku NCHL. Pro odhady je nutné namodelovat úniky. Vhodným programem pro tuto činnost by mohl být Rozex ALARM, neboť poskytuje velké množství přehledně uspořádaných havarijních modelů, které uživateli nabízí, automaticky třídí. Výsledky jsou sice značně zjednodušeny, ale z pohledu tvorby havarijních karet dostatečné.

Rozex Alarm umožňuje uživateli navolit koncentraci na hranici zóny, jenž bude nejvíce odpovídat daným požadavkům. Program Aloha se pro tyto účely jeví nadbytečný a jeho uživatelské prostředí není tak přehledné. Program TEREX je pro tyto účel až příliš orientovaný na rychlý výsledek a neposkytuje možnost volby koncentrace na hranici zóny. OPTIZON se pro tyto účely z vlastní povahy nehodí.

Pro účely zpracování havarijních karet byl vybrán jako nejvhodnější program ROZEX Alarm.

5.6.3 Hodnocení hrozícího nebo vzniklého úniku krizovými štáby

V případě potřeby okamžitého vyhodnocení, při hrozícím nebezpečí z prodlení, nebo předání informací o velikosti ohrožení, vyniká svými vlastnostmi program TEREX.

Díky rychlosti zadání a vyhodnocení dat je program maximálně vhodný pro rychlé zhodnocení hrozícího nebezpečí. Navíc nabízí program průvodce, který v případě nezkušenosti uživatele jasně dovede uživatele k výsledku pouze s nutným minimem informací. Navíc TEREX používá pro stanovení zóny koncentrací IDLH, která je pro tyto účely vhodná.

Pro rychlé vyhodnocení úniku NCHL byl vybrán jako nejvhodnější program TEREX.

5.6.4 Modelování specifických úniků pro komerční účely

Při modelování úniků NCHL pro komerční účely a pro specifické látky, se jako vhodný kandidát nabízí program Aloha.

V první řadě je volně dostupný, v druhé řadě nabízí obsáhlou databázi látek i se sekundární možností tvorby jejich směsí. Jako jediný program z výše testovaných dokázal pracovat se sarinem. V komerčních podmínkách je výhodou větší množství zadávaných dat, potřebných pro co nejpřesnější modelaci možných úniků.

Pro modelování specifických úniků pro komerční účely byl vybrán program ALOHA.

6 DISKUZE

Přes stále rostoucím zabezpečení NCHL při výrobách a přepravě počet úniků NCHL dle statistik neustále roste. Z toho důvodu je nutné umět správně a rychle odhadnout případné dopady úniku NCHL v různých situacích. Pro tyto potřeby je k dispozici množství modelovacích programů, které mají různé schopnosti, omezení a využitelnost, jenž je předurčuje nebo naopak vyřazuje z konkrétního užití.

Tato práce byla zaměřena na výběr nejvhodnějšího modelovacího nástroje pro konkrétní činnosti a pro modelaci vybraných událostí. Byly zvoleny tyto činnosti:

- Zpracování plánovací dokumentace pro stacionární zařízení (objekty zařazené dle zákona do skupiny B)
- Zpracování havarijních karet
- Hodnocení hrozícího nebo vzniklého úniku krizovými štáby
- Modelování specifických úniků pro komerční účely

Dále byly vybrány tyto mimořádné události:

- Únik nebezpečných látek při přepravě
- Únik nebezpečných látek při technologické havárii
 - Otevřený prostor
 - Uzavřený prostor

K modelování byly použity programy, Aloha, Terex, Rozex Alarm a Optizon, jako nejběžnější nástroje v České Republice.

V praktické části byly modelovány jednorázové úniky třech různých NCHL, ze dvou různých vstupních parametrů, přičemž byla vyhodnocena samotná práce s programy, jejich omezení a jejich výstupy. Generované modely byly jednotlivě popsány.

Záměrem této činnosti bylo vyhodnotit jak samotné výsledky modelovacích programů s vazbou na generované koncentrace, tak také uživatelskou náročnost, mezi kterou se řadí například intuitivnost ovládání a prostředí programu. Dalším důležitým parametrem bylo omezení vstupních dat a jejich celkový počet, který je na jednu stranu zárukou relativně přesných dat, na straně druhé překážkou v rychlém provedení modelace.

Program Terex, byl při modelování jasně nejjednodušší a zároveň také nejrychlejší v provedeném výpočtu, tedy proces zadávání dat byl velmi svižný. Prostředí programu Terex navíc obsahuje průvodce, jenž i méně zkušeného uživatele během třech kroků navede k výsledku. Na druhou stranu je pro svou jednoduchost značně omezen pro komplexnější modely, jenž nemůže oproti např. programu Aloha věrohodně namodelovat za stávajícího počtu vložených dat.

Výsledky program generuje v předem pevně nastavených koncentracích IDLH, které uživatel nemůže měnit, což je výrazné omezení pro pokročilé modelování. Dále je možné výsledky zanášet do mapového podkladu. To lze ihned po dokončení modelace, ale práce s mapou je velmi neintuitivní.

Program Terex se tedy jasně profiluje jako program, jenž velmi rychle počítá zónu ohrožení za minimálního počtu dat a zároveň volí napevno nastavenou koncentraci. Zvolená koncentrace s generovanými vzdálenostmi působí velmi nadhodnoceně. Lze tedy tvrdit, že program na základě vložených dat počítá se spíše horší variantou spojenou s koncentrací IDLH. Díky všem vyjmenovaným vlastnostem byl vybrán program Terex jako nejvhodnější program pro rychlé modelování úniků, při kterých je na prvním místě opatrnost a není na závadu přecenění dosahu NCHL. Pro uživatele jsou také cenné informace ohledně nutné evakuace a zóny ohrožení, které jsou prezentovány pochopitelně, neboť koncentrace prezentované např. v jednotkách ppm jsou pro laika nebo pro pracovníka v časovém stresu nevhodné.

Dalším programem byl Rozex Alarm, tento nástroj se funkčností velmi podobá programu Terex, jako hlavní výhodou při modelacích se ukázala možnost volby referenční koncentrace, kdy program obsahuje jak koncentrace přednastavené, tak možnost volby jednotek s následným zadáním vlastní požadované hodnoty. Další silnou stránku tohoto programu byl výběr z celkem 19 havarijních projevů.

Jako slabou stránku programu lze hodnotit velmi omezené výstupy, kdy je vygenerován v pouze jeden relevantní údaj, a to dosah zóny o stanovené koncentraci. Popř. lze ještě považovat za důležitý údaj o době vzniku této koncentrace na dané hranici. Grafické znázornění výsledků, nebo např. vývoj koncentrace program neposkytuje. Mezi další nevýhodu lze považovat omezení vstupních dat, např. hodnoty pro rychlost větru. Toto omezení by měl každý uživatel znát, neboť např. při nutnosti rychlé modelace úniku při známých hodnotách rychlosti větru by mohla být modelace znemožněna právě z tohoto důvodu. Ovšem pro plánovací činnost je obor použitelných hodnot dostatečný.

Program Aloha se ukázal jako velmi komplexní nástroj, který poskytuje výsledky jak v textové, tak grafické podobě, přičemž uživatelé poskytují grafické výstupy dobrou představu jednak o tvaru výsledného úniku, tak o vývoji koncentrace v daném místě.

Výsledky program generuje v jeden okamžik v textové i grafické podobě, uživatel má tedy možnost rychlé orientace v generovaných datech. Dále program umožňuje vypočítat koncentraci NCHL ve vybraném bodě v dané vzdálenosti od zdroje, kde poskytuje i informace o vývoji koncentrace. Tento údaj je v praxi velmi užitečný, neboť dávka, které je osoba vystavena je v podstatě integrálem funkce vývoje koncentrace v daném bodě.

Výhodou programu Aloha je jeho volná dostupnost. Omezení u této verze spočívá pouze v nemožnosti vkládat výsledky přímo do mapového podkladu. Jako velká výhoda se ukázala možnost vlastní volby koncentrace, včetně možností třech nezávislých koncentrací pro vykreslení do grafu. Program Aloha také nabízí nejobsáhlejší databázi látek, ze všech čtyřech testovaných. Dále je možné díky dalšímu softwaru tvořit směsi a po importování do programu Aloha také modelovat úniky směsí.

Optizon do skupiny těchto programů, příliš nezapadá. Je to v celku jednoduchý nástroj, který je navržen pro velké objemy látek. Nástroj je funkční pro správu havarijních zón, neboť obsahuje databázi areálů včetně obsažených nebezpečných NCHL. Jedná se tedy spíše o databázi objektů s možností výpočtu zóny ohrožení s použitím jednoduchých vstupů než o modelovací nástroj.

Výsledky program generuje v podobě kružnic o poloměru L , minimální možný poloměr je 50 m. Optizon se od ostatních programů liší především modifikovatelností daných výsledků a způsobem započítání váhy NCHL. Jednoduše lze říci, že se jedná o výpočetně velmi jednoduchý nástroj, který plně odpovídá vyhlášce pro určování zón havarijního plánování, ale pro modelování úniků je naprosto nevhodný.

Při výběru programu pro modelování úniku NCHL z mobilního zdroje se jako nejdůležitější jeví rychlost provedené modelace a značná opatrnost při interpretaci výsledků, tento výběr jednoznačně vyhrává Terex, který je pro tuto činnost nejvhodnější, neboť je pro modelaci nejrychlejší a v případě nezkušenosti uživatele dokáže díky průvodci nasměřovat ke zdárnému výsledku.

Pro úniky ze stacionárních zařízení ve venkovní prostoru byl výběr vhodného softwaru poněkud složitější a jednalo by se tedy především o množství zjištěných dat o úniku a o časovém prostoru, který by uživatel na sestavení modelu měl. Dle nejrychlejšího a

nejjednoduššího po nejpomalejší, ale nejpřesnější byly programy v pořadí: Terex, Rozex Alarm, Aloha.

Pro úniky ze stacionárních zařízení ve vnitřním prostoru byl vybrán jako nejvhodnější program vybrán program Aloha, neboť jako jediný dokáže modelovat úniky ve vnitřním prostoru.

Pro činnosti zpracování plánovací dokumentace pro stacionární zařízení byl vybrán program Optizon, jelikož nejlépe splňuje podmínky pro vymezení zóny dle vyhlášky, zároveň dokáže spravovat objekty a v nich obsažené NCHL. Program Rozex Alarm byl doporučen pro činnost zpracování havarijních karet. Tento program umožňuje volbu vlastní koncentrace a zároveň obsahuje množství havarijních projevů, jenž jsou dostatečné pro vytvoření modelu. Pro činnost hodnocení hrozícího nebo vzniklého úniku krizovými štáby je jasným kandidátem program Terex, díky své rychlosti a relativní jednoduchosti. Modelování specifických úniků pro komerční účely je činnost značně různorodá, která klade specifické požadavky na schopnosti modelovacího software, tuto úlohu nejlépe plní program Aloha díky své komplexnosti a kvalitě produkovaných dat.

I přes snahu vybrat co nejvhodnější program pro dané konkrétní modelování, je vždy potřeba hodnotit výsledky kriticky a interpretovat získaná data s ohledem na funkci jakou by daná zóna ohrožení měla plnit. V případě např. preventivního působení není na škodu výsledky nadhodnocovat, pracovat tedy s koncentracemi, jenž bezprostředně neohrožují lidské životy. V druhém případě tedy při tvorbě ochranných zón, kde je třeba kvalitně obstarat dané území a do kterých je třeba soustředit maximální úsilí. Proto je vždy nutné výsledky správně interpretovat a zasadit do reálného rámce.

Následně je nutno zmínit, že veškeré programy používané koncentrace jsou koncentrace odvozené od laboratorních pokusů a nemusí odpovídat realitě. Modely, jenž programy generují, jsou striktně teoretickým znázorněním možné reality, která je ovlivněna množstvím proměnných, jenž matematický model není schopen obsáhnout. Čímž narážíme na skutečnost, že modely jsou maximálně přesné vzhledem ke kvantu vložených dat. Je tedy vždy na uživateli programu, aby výsledky korektně interpretoval.

7 ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce byla komparace výsledků modelace úniků NCHL různými softwarovými nástroji včetně SWOT analýzy těchto nástrojů, výběru nejvhodnějšího nástroje pro konkrétní případy úniku NCHL a stanovení nejvhodnějšího programu pro konkrétní činnosti modelování úniku NCHL.

V teoretické části byly shromážděny a popsány relevantní informace a podklady k předmětnému tématu, které vytvořili teoretický základ pro splnění daných cílů práce a pro řešení hypotéz.

Dalším základem pro splnění cílů bylo provedení modelace úniku vybraných látek ve všech vybraných softwarových nástrojích, a to Terex, Rozex Alarm, Optizon a Aloha. Na základě shodných vstupních údajů, byly modelovány výsledky z jednotlivých programů.

První hypotéza „Předpokládáme, že výsledky jednotlivých programů se budou lišit“ byla potvrzena. Hlavním důvodem pro potvrzení hypotézy, je fakt, že programy pracují v rozličných koncentracích, tudíž není možné provést relevantní komparaci a v případě, že byly výstupní koncentrace programů totožné, programy generovaly odlišné výsledky, které se lišili v řádu jednotek a stovek procent.

Druhá hypotéza „Předpokládáme, že jednotlivé programy nebudou vhodné pro celou veličinu vybraných činností“, se rovněž potvrdila, neboť se ukázalo, že jednotlivé programy vykazují značné odlišnosti ve schopnosti, jak zpracovávat data, tak odlišnosti v možnostech praktického využití.

Potvrdila se i třetí hypotéza „Předpokládáme, že jednotlivé softwarové nástroje budou limitovány svými funkcemi“, neboť bylo zjištěno, že jednotlivé programy mají různě limitovaná vstupní data. Vkládaná data jsou omezena jak minimální, tak maximální hodnotou, nebo jsou při překročení limitu hodnoty vstupních dat výsledky irelevantní.

Ze zjištěných faktů vyplývá, že nasazení modelovacího softwaru pro určení zóny ohrožení je značně problematická činnost, jenž klade nároky na znalosti uživatele a generované výsledky je třeba správně interpretovat. Koncentrace používané v jednotlivých programech jsou teoreticky odvozeny od laboratorních pokusů, což znamená, že se jedná opět o informace, které je třeba správně prezentovat. Například velkou roli hraje vývoj samotného nárůstu a poklesu koncentrace, kdy v praxi není myslitelné, že by byla koncentrace konstantní v jednom bodě po delší časový úsek a je třeba počítat se značnou nestálostí.

Závěrem je třeba říci, že zkušenost uživatele a správná interpretace pro konkrétní užití, je často důležitější než výběr nejsprávnějšího programu. Zkušený uživatel zajistí především možnost provedení dané modelace a poté je již na diskuzi a konkrétních potřebách, jak se s výsledky naloží. V každém ohledu, je lepší výsledky přecenit než podcenit.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

NCHL	Nebezpečné chemické látky
NL	Nebezpečné látky
IDLH	Koncentrace nebezpečné látky, která bezprostředně ohrožuje život
AEGL	Soubor hodnot úrovní akutní expozice
IZS	Integrovaný záchranný systém
HZS	Hasičský záchranný sbor
CHS	Chemická služba
VZHP	Vnější zóna havarijního plánování
EP	Evropský parlament

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **LACINA, Petr, MIKA, J. Otakar, ŠEBKOVÁ, Kateřina.** *Nebezpečné chemické látky a směsi.* BRNO : RECETOX, 2013. ISBN 978-80-210-6475-1.
2. **LINHART, ROUDNÝ a spol.** *Krizový management I. Ochrana obyvatelstva, Mimořádné události.* Pardubice : Univerzita Pradubice, 2004. str. 94. ISBN 80-7194-674-5.
3. **KROUPA, Miroslav, ŘÍHA, Milan.** *Průmyslové havárie .* Praha : Armex, 2010. ISBN 978-80-86-795-87-4X.
4. **MAŠEK, Ivan, MIKA, J Otakar, ZEMAN Miloš.** *Prevence závažných průmyslových havárií.* Brno : VUT FCH, 2006. ISBN 978-80-214-3449-3.
5. **SKŘEHOT, Petr.** *Prevence nehod a havárií: 1. díl: Nebezpečné látky a materiály.* Praha : Pink Pig, 2009. str. 341. ISBN 978-80-86973-70-8.
6. **ČESKO.** Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. [Online] [Citace: 4. 4 2018.] Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>.
7. **Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR.** *Hasičský záchranný sbor české republiky.* [Online] 2018. [Citace: 4. 5 2018.] Dostupný z: <http://www.hzscr.cz/hzs-moravskoslezskeho-kraje.aspx>.
8. **ČESKO.** Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb. [Online] [Citace: 6. 4 2018.] Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-224>.
9. **SLUKA, Vilém.** *Implementace směrnice 2012/18/EU (Seveso III) a analýza a hodnocení rizik v České republice. BOZP info.* [Online] [Citace: 4. 2 2018.] Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-04-2013/implementacesevesoIII-v-cr.html>.
10. **NEDĚLNÍKOVÁ, Hana.** *Statistické informace o zásazích jednotek požární ochrany a požárech za 1. pololetí 2017. Generální ředitelství HZS ČR.* [Online] 2017. [Citace: 2. 2 2018.] Dostupný z: [file:///C:/Users/user/Downloads/2.Q_2017_\(6064267\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/2.Q_2017_(6064267).pdf).

11. **HORÁK, Jan a KUDLÁK, Aleš.** *Pomůcka: pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků.* [Online] 2007. [Citace: 5. 4 2018.] Dostupný z: <http://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelestva/informace-katedry/projekty/vyukove-pomucky-pro-software-emoff-a-terex/terex.pdf/view>.
12. **PALEČEK, Miloš.** *Prevence rizik.* Praha : Oeconomica, 2006. str. 184. ISBN 9788024511177.
13. **MANNAM, Sam.** *Lees' Loss Prevention in the Process Industries : Hazard Identification, Assessment and Control.* Woburn : Elsevier - Health Sciences Division, 2012. ISBN 9780123971890.
14. **OTAKAR, Jiří.** *Modelování havarijních dopadů nebezpečných chemických látek.* Praha : SIVILIANIA, 2011. ISBN 1212-0456.
15. **Ing. BARTA, Jiří a RNDr. Ing. LUDÍK Tomáš.** *TerEx – modelování a simulace.* [Online] 2012. [Citace: 5. 2 2018.] Dostupný z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_TerEx.pdf.
16. **TLP spol. s r.o.** *tlp-emergency.* [Online] TLP, spol. s r. o. [Citace: 2. 2 2018.] Dostupný z: <http://www.tlp-emergency.com/rozex.html>.
17. **Informační systém OPTIZON, TLP spol., s.r.o.** *Uživatelská příručka.* [Online] [Citace: 4. 5 2018.] Dostupný z: <http://optizon.tlp.eu/sypos/admin/manual/10/dokument/>.
18. **United States Environmental Protection Agency.** *ALOHA Software.* [Online] [Citace: 2. 2 2018.] Dostupný z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>.
19. **ČESKO.** Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). [Online] [Citace: 2018. 4 2018.] Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-350>.
20. **GŘHZS.** *Sbírka interních aktů GŘHZS ČR.* [Online] 2006. [Citace: 5. 4 2018.] Dostupný z: file:///C:/Users/user/Downloads/rad_chemicke_sluzby.pdf.
21. **ŠAFR, Gustav.** *Ochrana obyvatelstva v případě krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru II.* Brno : Tribun EU, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-263-0724-2.

22. **HZS ČR.** *Portál krizového řízení JmK. KRIZPORT.* [Online] [Citace: 2. 2 2018.]
<http://krizport.firebrno.cz/ohrozeni/amoniak>.
23. **Patočka, Jiří.** *Vojenská toxikologie.* Praha : Grada, 2004. ISBN 9788024706085.
24. **HZS ČR.** *Portál krizového řízení JmK. Krizport.* [Online] [Citace: 2. 2 2018.] Dostupný z:
<http://krizport.firebrno.cz/ohrozeni/chlor-kapalny>.
25. **School, US Army Chemical.** *Potential Military Chemical/Biological Agents and Compounds.* místo neznámé : Eximdyne, 2005. ISBN 0967726409.
26. **ARNIKA.** *Dioxiny.* [Online] 2014. [Citace: 21. 04 2018.] Dostupný z WWW:
<<http://arnika.org/dioxiny>>.
27. **BARTLOVÁ, Ivana a PEŠÁK, Miloš.** *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových.*
Ostrava : SPBI Spektrum, 2003. ISBN 80-86634-30-2.
28. **Nařízení Rady (ES) č. 1272/2008** ze dne 16. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006. In: ASPI.
29. **STŘEDA, Ladislav, BRÁDKA, Stanislav a BLÁHOVÁ, Markéta.** *Nebezpečné chemické látky.* 1. Praha : Ministerstvo vnitra- GŘHZS, 2006. str. 116. ISBN 80-866-4063-9.
30. **Terminologický slovník: Krizové řízení a plánování ochrany státu.** [Online] 15. 10 2009. [Citace: 4. 4 2018.] Dostupný z: http://Users/user/Downloads/Terminologicky_slovník_MV-2016.pdf.
31. **LACINA, Petr, MIKA, J Otakar, ŠEBKOVÁ Kateřina.** *Chemické havárie.* Praha : Masarykova Univerzita , 2009. ISBN 978-80-86640-64-8.
32. **Matějka, Jiří. Chemická služba.** *Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR.* [Online] Chemická služba, 2018. [Citace: 23. 2 2018.] Dostupný z:
<http://www.hzscr.cz/clanek/chemicka-sluzba.aspx>.
33. **Vilášek, Josef.** *Krizové řízení.* Praha : Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1723-7.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma vývoje uniklé NCH ze zařízení (8).....	16
Obrázek 2: Screenshot úvodní obrazovky programu Terex.....	21
Obrázek 3: Screenshot uživatelského rozhraní programu Rozex Alarm.....	22
Obrázek 4: Ukázka uživatelského prostředí rozhraní Optizon.....	24
Obrázek 5: Úvodní obrazovka programu Aloha	25
Obrázek 6: Grafické znázornění poruchy při přečerpávání (10) j:.....	38
Obrázek 7 Grafické znázornění úniku NCHL z narušené cisterny (10).....	39
Obrázek 8: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)	42
Obrázek 9: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	42
Obrázek 10: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu).....	43
Obrázek 11: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	44
Obrázek 12: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu).....	45
Obrázek 13: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	45
Obrázek 14: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu).....	46
Obrázek 15: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	47
Obrázek 16: Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu).....	48
Obrázek 17: Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	48
Obrázek 18 Výsledek modelace v programu Aloha (levá strana výstupu)	49
Obrázek 19 Výsledek modelace v programu Aloha (pravá strana výstupu).....	50
Obrázek 20: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu).....	51
Obrázek 21: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)	51
Obrázek 22: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu).....	52
Obrázek 23: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)	52
Obrázek 24: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu).....	53
Obrázek 25: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)	54
Obrázek 26: Výsledek modelace v programu Terex (levá strana výstupu).....	54
Obrázek 27: Výsledek modelace v programu Terex (pravá strana výstupu)	55
Obrázek 28: Tabulka tříd atmosférické stálosti pro Program Rozex Alarm	57
Obrázek 29: Výsledky modelace v programu Optizon	62
Obrázek 30: Výsledky modelace v programu Optizon	62

Obrázek 31: Výsledky modelace v programu Optizon	63
Obrázek 32: Výsledky modelace v programu Optizon	64

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku amoniak	31
Tabulka 2: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku	32
Tabulka 3: Nebezpečné koncentrace AEGL pro látku	34
Tabulka 4: Hodnoty pro únik ze stacionárního zdroje	39
Tabulka 5: Hodnoty pro únik z mobilního zdroje	40
Tabulka 6: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm	58
Tabulka 7: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm	58
Tabulka 8: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm	59
Tabulka 9: Výsledky modelace v programu Rozex Alarm	59
Tabulka 10: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro chlor	65
Tabulka 11: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro chlor	66
Tabulka 12: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro amoniak	66
Tabulka 13: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro amoniak	67
Tabulka 14: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro Sarin	67
Tabulka 15: Porovnání výsledků jednotlivých modelací pro Sarin	68
Tabulka 16: SWAT analýza Terex.....	69
Tabulka 17: SWAT analýza Rozex alarm.....	70
Tabulka 18: SWAT analýza Optizon.....	72
Tabulka 19: SWAT analýza Aloha	73

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Obrazovka vstupních a výstupních dat programu Rozex Alarm	92
Příloha B: Obrazovka zakreslení do mapy v programu Terex	93
Příloha C: Obrazovka Aloha - definování konkrétního bodu ve vztahu k unikající látce ..	93
Příloha D: Obrazovka Optizon uživatelské rozhraní.....	94

13 PŘÍLOHY

Příloha A: Obrazovka vstupních a výstupních dat programu Rozex Alarm

The screenshot displays the 'MODELOVÁNÍ' (Simulation) interface of the Rozex Alarm program. The browser address bar shows the URL: <http://tlp-planoventi/cezaiarmi/vypocet.asp?lyp=bltp>. The page title is 'MODELOVÁNÍ' and the copyright notice is '© 1991 - 2003 TLP s.r.o., Verze: 2.1.399 FINAL'. The main content area is titled '2. Jednorázový únik toxické látky - těžký plyn' (Single release of a toxic substance - heavy gas) and 'ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA: chlor (Zkapalněný plyn)' (SELECTED DANGEROUS SUBSTANCE: chlorine (liquefied gas)).

The interface is divided into several sections:

- Výpočet (Calculation):** A green box with the text: 'Zadejte požadované hodnoty nutné pro výpočet úniku nebezpečné látky.' (Enter the required values for the calculation of the release of a dangerous substance.)
- Akce (Action):** A green box with the text: 'Volba havarijního projevu' (Choice of emergency release).
- Výbrat látku (Select substance):** A green box with the text: 'Verze pro tisk' (Print version).
- Konec (End):** A green box with the text: 'Odhlásit' (Log out).

The 'ZADÁNÍ' (INPUT) section contains the following fields:

- Teplota látky (°C) [input field]
- Teplota okolního vzduchu (°C) [input field]
- Hmotnost uniklé látky (kg) [input field]
- Rychlost větru (m/s) [input field]

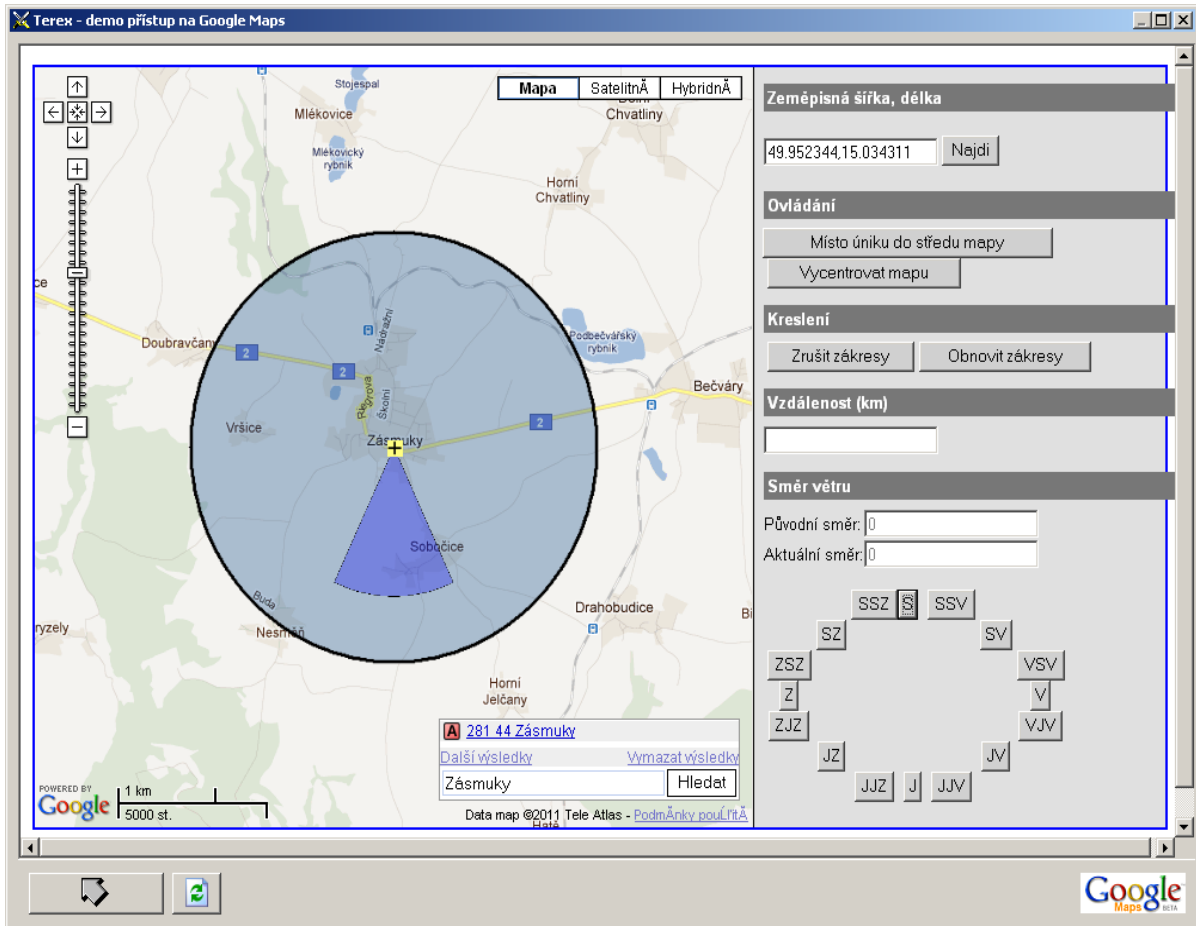
The 'Volba toxické koncentrace' (Choice of toxic concentration) section contains the following options:

- 50% mortalita pro expozici 5-10 minut, zraňující při okamžité expozici 0,00297 kg/m³, 1000 ppm
- IDLH - expozice 30 minut bez trvalých změn na organismus 0,000089 kg/m³, 30 ppm
- Koncentrace definovaná uživatelem: [input field] kg/m³
- Koncentrace definovaná uživatelem: [input field] ppm

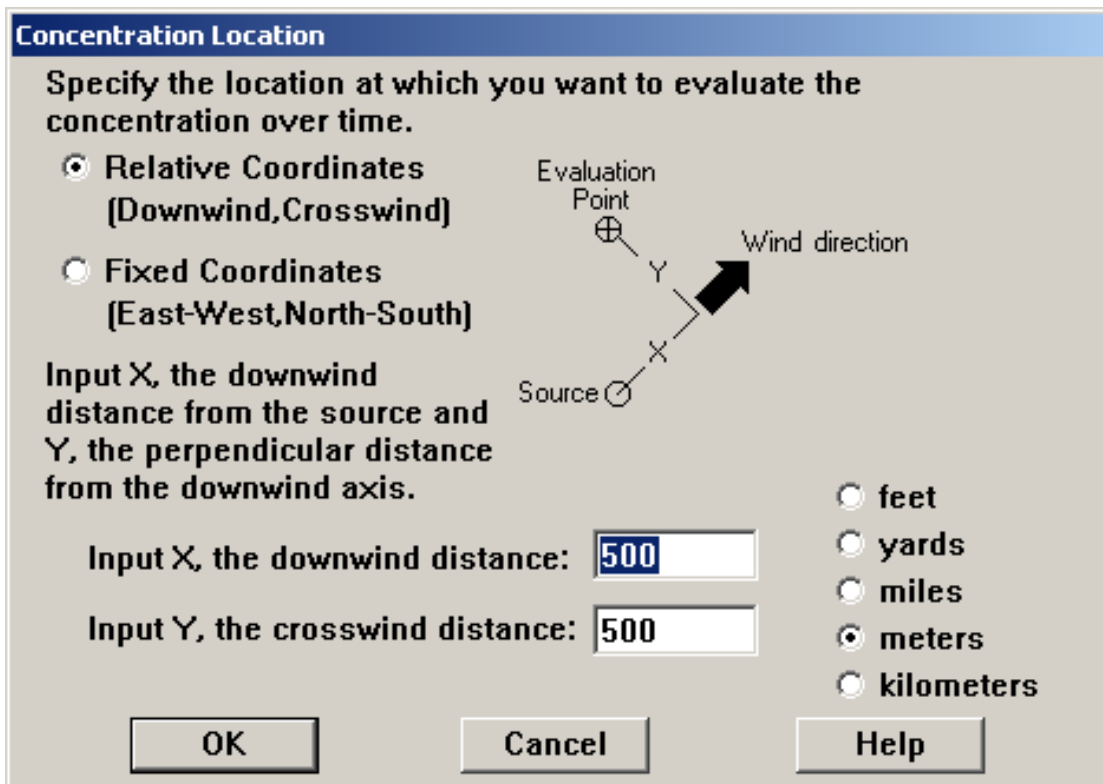
A 'Vypočítat' (Calculate) button is located at the bottom right of the input section.

The bottom of the browser window shows the Windows taskbar with the date and time: 14:08, 8.3.2018.

Příloha B: Obrazovka zakreslení do mapy v programu Terex



Příloha C: Obrazovka Aloha - definování konkrétního bodu ve vztahu k unikající látce



Výpočty zóny havarijního plánování - Cvič test

Cvič test / upravit základní údaje / vytvořit kopii

Základní údaje

Analyzovaná infrastruktura	Areál
Titulek	cvič test
Typ	zóna havarijního plánování
Poslední změna	19. března 2018 16:03:59
Autor poslední úpravy	hzs_stredocesky
Stanovení ZHP	provést výpočet ZHP
Výpočet ZHP	výpočet ZHP proběhl v pořádku
Datum posledního vyhodnocení analýzy	19. března 2018 16:03:59

Definice zadání

- Analyzované objekty a zařízení
- Chemické látky v objektech a zařízeních

Přehledy

- Přehled chybějících vstupních dat

Výsledky analýzy

- ZHP pro scénáře úniků chemických látek
- ZHP pro chemické látky
- ZHP pro objekty a zařízení

Mapa

Vnější hranice ZHP

- vnější hranice ZHP, rozloha 7853 m²
- Hranice ZHP po úpravě parametru L
- Výchozí hranice ZHP
- Souhrn

MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

rozex (2),7z rozex (1),7z Zobrazit vše X