



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

---

**Analýza a modelace nehody s únikem  
nebezpečné chemické látky na vlakovém  
nádraží Kladno**

**Analysis and Simulation of an Accident with  
the Release of Hazardous Chemicals at the  
Train Station Kladno**

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování  
Autor diplomové práce: Mgr. Eva Taubrová  
Vedoucí diplomové práce: kpt. PhDr. Ing. René Mildorf

---

**Kladno 2023**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Taubrová** Jméno: **Eva** Osobní číslo: **511052**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**  
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza a modelace nehody s únikem nebezpečné chemické látky na vlakovém nádraží Kladno**

Název diplomové práce anglicky:

**Analysis and Simulation of an Accident with the Release of Hazardous Chemicals at the Train Station Kladno**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude provedení analýzy chemické bezpečnosti okolí vlakového nádraží Kladno. Teoretická část se bude zabývat současným stavem dané problematiky, budou popsány vlastnosti vybraných nebezpečných chemických látek a možnosti ohrožení pro obyvatelstvo a životní prostředí. Dále budou charakterizovány softwarové nástroje, které budou použity v praktické části diplomové práce. Praktická část se bude zabývat možnostmi úniku nebezpečných chemických látek na vlakovém nádraží Kladno, které by mohly mít vliv na bezpečnost obyvatelstva. Pomocí softwarových nástrojů se zhodnotí možné následky simulovaných havárií spojených s únikem nebezpečných chemických látek a určí se rizika a ohrožené oblasti v blízkosti zdroje.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HYLÁK, Čestmír a PIVOVARNÍK, Ján, Individuální a kolektivní ochrana obyvatelstva ČR, Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství HZS ČR, 2016, 194 s., ISBN 978-80-87544-18-1
- [2] KUBÁTOVÁ, Hana, Průmyslová toxikologie a životní prostředí, V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018, ISBN 978-80-7385-210-8
- [3] VĚŽNÍKOVÁ, Hana, Transport nebezpečných věcí, V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2019, ISBN 978-80-7385-217-7

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

**PhDr. Ing. René Mildorf**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

**Ing. Roman Straňák**

Datum zadání diplomové práce: **19.09.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Analýza a modelace nehody s únikem nebezpečné chemické látky na vlakovém nádraží Kladno vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Kladně dne 30.04.2023

Mgr. Eva Taubrová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Za trpělivost, schovívavost, cenné rady, připomínky a odborné vedení při vypracování diplomové práce moc děkuji panu kpt. PhDr. Ing. Renému Mildorfovi. Také děkuji Ing. Martinovi Staňkovi, Ph.D. za odborné rady pro provedení modelací v softwarovém programu DEGAS a jeho rady ohledně vyhodnocení a komparace výsledků modelování.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá problematikou úniku chloru ze železniční cisterny po simulované nehodě na vlakovém nádraží Kladno. Nehoda je modelována pomocí softwarových nástrojů ALOHA a TerEx s následným podrobným vyhodnocením dopadů nehody zejména s ohledem na ohrožení životů a zdraví obyvatelstva města.

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny příklady havárií spojených s únikem chloru, platná legislativa a platné předpisy vztahující se k přepravě nebezpečných látek včetně užívaných systémů bezpečnostního značení při transportu těchto látek. V této části práce jsou dále uvedeny vlastnosti chloru jako chemické látky vybrané pro modelování simulovaných nehod, přehled dostupných databází chemických látek a nezbytná opatření v oblasti ochrany obyvatelstva. Cílem práce bylo nasimulovat různé typy nehod s únikem chloru za různých meteorologických podmínek (inverze, slunečno) pomocí softwarových programů ALOHA a TerEx – modul DEGAS včetně detailního vyhodnocení, zobrazení výsledků modelací v mapovém podkladu a jejich vzájemnou komparací.

Praktická část práce popisuje provedení jednotlivých typů modelací, uvádí jejich tabulkový přehled a grafické zobrazení výsledků, kapitola diskuze pak uvádí porovnání modelací simulovaných nehod s modelací reálné nehody a vyhodnocení stanovených hypotéz. V závěru práce je shrnuto, jaké dopady by podobná nehoda měla na obyvatelstvo v přilehlém i vzdáleném okolí místa simulované nehody.

### **Klíčová slova**

Chlor; železniční cisterna; modelace úniku chloru; ochrana obyvatelstva; Kladno; ALOHA; TerEx - DEGAS.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is focused on the problems related to the chlorine leakage from a railway tank after a simulated accident at Kladno train station. The accident is modelled using the software tools ALOHA and TerEx, followed by a detailed evaluation of the impact of the accident, especially with regards to the threat to the population of the city.

In the theoretical part of the thesis, examples of accidents associated with chlorine leakage, valid legislation and valid regulations related to the transport of dangerous substances, including the safety marking systems used in the transport of these substances, are presented. In this part of the thesis, the properties of chlorine as a chemical substance selected for modeling simulated accidents, an overview of available databases of chemical substances and necessary measures related to the population protection are also presented. The aim of the work was to simulate different types of accidents with chlorine leakage under different meteorological conditions (inversion, sunny) using the software programs ALOHA and TerEx - the DEGAS module including detailed evaluation, display of modeling results in a map background and their mutual comparison.

The practical part of the thesis describes the implementation of individual types of modeling, presents their tabular overview and graphical display of the results, the discussion chapter then presents a comparison of the modeling of simulated accidents with the modeling of real accidents and the evaluation of hypotheses. In the conclusion part of this thesis the effects of a similar accident on the population in the adjacent and distant surroundings of the place of the simulated accident are summarized.

### **Keywords**

Chlorine; railway tanker; chlorine leakage modelling; protection of the population; Kladno; ALOHA; TerEx - DEGAS.

## Obsah

1	ÚVOD .....	9
2	CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY .....	10
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU .....	11
3.1	Havárie s únikem chloru ve světě.....	12
3.2	Příklady havárií s únikem chloru v České republice .....	14
3.3	Legislativa v oblasti železniční přepravy nebezpečných látek.....	14
3.3.1	Mezinárodní právní úprava v oblasti železniční přepravy nebezpečných látek závazná pro Českou republiku.....	14
3.3.2	Národní právní úroveň upravující nakládání s nebezpečnými látkami .	16
3.3.3	Právní rámec pro železniční přepravu nebezpečných látek .....	17
3.4	Přeprava nebezpečných látek po železnici a přepravní značení.....	19
3.5	Přepravní dokumentace při přepravě na železnici.....	20
3.6	Bezpečnostní označení při přepravě nebezpečných látek.....	20
3.7	Vybrané databáze nebezpečných látek.....	25
3.8	Chlor a jeho charakteristika .....	27
4	METODIKA.....	32
4.1	Modul DEGAS (TerEx software).....	32
4.2	Software ALOHA.....	34
5	VÝSLEDKY.....	37
5.1	Modelování simulované nehody na vlakovém nádraží Kladno .....	37
5.2	Způsob interpretace výsledků modelací a expoziční limity chloru.....	41
5.3	Charakteristika železniční cisterny na převoz chloru .....	43
5.4	Modelace ALOHA.....	44
5.5	Modelace TerEx – DEGAS .....	49
5.6	Porovnání koncentrace chemické látky ve vybraných bodech dle programů ALOHA a TerEx.....	55

6	DISKUZE.....	60
7	ZÁVĚR .....	80
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	81
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	82
10	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	88
11	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK .....	90
12	SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ.....	91
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	92



# 1 ÚVOD

Chemické havárie představují značně nebezpečné mimořádné události. K úniku nebezpečných chemických látek a směsí nemusí dojít pouze přímo z chemických zařízení a stacionárních zdrojů (nejčastěji k nehodám dochází selháním lidského faktoru, v důsledku technické závady či nedostatečných revizí zařízení), ale i z mobilních zdrojů, zejména při přepravě, případně z produktvodů, skládek či z nelegálních skladů chemikálií. Druhým nejčastějším způsobem dopravy těchto látek je přeprava železniční, hned po nejčastěji využívané silniční. Rozmanitost i objem chemických látek používaných v průmyslu se – vzhledem ke stále se vyvíjejícím technologiím – každým rokem zvyšuje; také z tohoto důvodu je třeba uvažovat možná rizika, která jsou s přepravou chemických látek spojena. Dopravní nehody vozidel či vlakových souprav přepravujících nebezpečné chemikálie vždy znamenají vysoké riziko nejen v dopravě jako takové, ale v případě dopravní nehody a úniku nebezpečných látek zásadně ohrožují zdraví a život obyvatel, životní prostředí, ale také složky integrovaného záchranného systému podílející se na likvidaci a zmírnění dopadů takové havárie. Je tedy žádoucí se touto problematikou aktivně zabývat a z hlediska příslušných předpisů novelizovat legislativu na národní i mezinárodní úrovni, na základě předpisů zvyšovat standardy přepravy, provádět kontroly v přepravě a připravovat zasahující složky na efektivní provedení záchrany zasažených osob a likvidaci následků případné chemické havárie.

Zajištění maximální bezpečnosti při zpracování, výrobě, skladování a následné přepravě nebezpečných chemických látek je jedním z podstatných úkolů všech zainteresovaných subjektů zabývajících se chemickým průmyslem. Riziko havárie při přepravě chemické látky vnímám jako velmi vysoké vzhledem k možným dopadům na životy a zdraví lidí, ale i na životní prostředí. Je nutné, aby zasahující složky dokázaly adekvátně reagovat v případě nehody s únikem chemické látky. Proto je z mého pohledu nezbytné zabývat se také vlastnostmi chemických látek a jejich toxickými účinky na lidský organismus, stejně jako chováním těžkých plynů v prostředí v závislosti na meteorologických podmínkách a rázu okolní krajiny.

## **2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY**

Cílem diplomové práce bude simulace několika možných dopravních nehod železniční cisterny na nádraží Kladno a provedení softwarové modelace úniku chloru za různých podmínek pomocí softwarových programů ALOHA a TerEx včetně mapového znázornění zasažené oblasti a porovnání následků úniku chloru s podobnými nehodami ve světě. Dále budou navržena organizační a technická opatření z oblasti ochrany obyvatelstva k minimalizaci dopadů takové nehody na životy a zdraví obyvatelstva.

### **Hypotézy**

- Hypotéza 1: Zóna ohrožení AEGL-3 bude při úniku chloru za inverzního počasí o 10 % delší než za počasí slunečného.
- Hypotéza 2: V případě postupného úniku chloru z ventilu cisterny za inverzního počasí bude nutné evakuovat osoby z okolí nemocnice Kladno.

### 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

Chemický průmysl je odvětvím, které se stále rozvíjí, chemických látek existuje celá řada a chemické havárie mohou mít fatální následky. Nehody spojené s únikem chemické látky do okolí mohou vážně ohrozit nejen životy a zdraví lidí a zvířat, ale také mohou mít závažné dopady na životní prostředí. Na území České republiky se rovněž vyrábějí, zpracovávají, skladují a přepravují nejrůznější nebezpečné průmyslově využívané chemické látky. Zdrojem ohrožení jsou nejen stacionární zdroje, jako jsou průmyslové podniky, sklady, úpravný vod, mrazírny či některá sportoviště (zimní stadiony, plavecké areály).

Tyto objekty jsou v závislosti na objemu a typu skladovaných látek zařazeny do příslušné kategorie dle zákona o prevenci závažných havárií a mají zpracovanou nezbytnou bezpečnostní dokumentaci. Při řešení mimořádných událostí v objektech uvedeného typu je rovněž zasahujícím složkám integrovaného záchranného systému (dále jen IZS) k dispozici doplňující dokumentace objektu, dokumentace zdolávání požáru, havarijní karty a bezpečnostní listy jednotlivých chemických látek. Zásah v těchto objektech také bývá předmětem pravidelných cvičení [1, 2, 3].

Dalším možným zdrojem úniku nebezpečných látek jsou zdroje mobilní, kdy dochází k haváriím při přepravě látek v rámci jednoho průmyslového podniku nebo jeho areálu či v dopravě silniční, železniční, po vnitrozemských vodních cestách, námořní či letecké. Nejedná se jen o únik látky jako takové z obalu, ve kterém je látka přepravována (tlakové lahve, barely, cisterny), ale zejména o únik látky z důvodu havárie v dopravě. Zásadní nebezpečí představuje havárie v přepravě látek zejména z pohledu ztížených podmínek pro složky IZS při záchraně osob a provádění úkolů ochrany obyvatelstva – může se jednat o nehodu v hustě obydlené oblasti nebo oblasti s výskytem budov s vysokou koncentrací osob, špatně přístupný terén, mosty, tunely a další specifické místní podmínky. Zasahující jednotky se musí spoléhat na transportní dokumentaci a přepravní značení pro identifikaci chemické látky, havarijní plánování však je značně nepřesné, neboť rychlost a způsob úniku látky závisí na mnoha faktorech a havarijní dokumentaci nelze zpracovat pro všechna místa a možnosti havárie [1, 4].

Jednou z nebezpečných látek, které jsou často využívány právě v chemickém průmyslu k desinfekci vody či k výrobě některých pesticidů či polyvinylchloridů (PVC), je chlor.

### **3.1 Havárie s únikem chloru ve světě**

V této kapitole uvádím několik příkladů nehod v železniční dopravě s únikem chloru v světě včetně dopadů na životy a zdraví osob a okolní prostředí:

#### **Festus, USA, 2002 (14. 8. 2002, USA)**

Ve státě Missouri, ve městě Festus, došlo k úniku téměř 22 tun chloru během tří hodin z železniční cisterny v zařízení firmy DPC Enterprises. DPC Enterprises zásobuje metropoli St. Louis chlorem, kde je využíván pro komerční a průmyslové účely. Příčinou úniku látky byla ruptura hadice, pomocí které byl chlor přečerpáván z cisterny do zařízení. Díky dobré úrovni technické vybavenosti podniku došlo při detekci látky v ovzduší k uzavření ventilů v přečerpávacím a plnicím zařízení. Při nehodě bylo evakuováno blízké okolí a došlo k zasažení a následné hospitalizaci 66 osob. V důsledku směru větru byla většina vytvořeného oblaku chloru zanesena mimo obytné oblasti, nicméně obyvatelům bylo doporučeno ukryt se, nevětrat a nevycházet ven. Část přenosové hadice byla vyrobená z nerezové oceli, která je náchylná ke korozi, a vlivem chloru došlo k jejímu oslabení. Podle odborníků by měla mít hadice vnitřní teflonovou vložku, která by byla zesílená vnější kovovou pletení. Tento materiál je odolný i vůči kapalnému chloru [5].

#### **Graniteville, 2005 (6. 1. 2005, USA)**

Jedná se o jednu z největších železničních tragédií s únikem nebezpečných látek v historii USA. Příčinou nehody byla lidská nedbalost – drážní technik zapomněl předchozího dne vrátit výhybku do původního nastavení, čímž odklonil vlak převážející 42 nákladních vagónů a cisteren na technickou kolej, kde byl odstaven jiný vlak. Došlo ke srážce a následnému vykolejení obou lokomotiv a několika vagónů, mezi nimiž byly i cisternové vozy převážející chlor. Srážka zapříčinila protržení jedné z cisteren, která obsahovala 90 tun chloru. Intoxikace okolí si vyžádala 9 obětí, 554 osob bylo zasažených a 5400 osob bylo kvůli havárii evakuováno [6].

#### **Aquaba, 2022 (27. 6. 2022, Jordánsko)**

K nehodě došlo v Jordánském přístavu při nakládání šesti tlakových nádob s chlorem na dopravní loď. Obsah každé z lahví vážil 30 tun. Při nakládce se jedna z lahví uvolnila (dle vyšetřování bylo příčinou prasklé ocelové lano) a došlo k jejímu pádu z výšky; v důsledku pádu se nádoba poškodila a následoval výbuch. Toxický chlor začal prudce

unikat. Záchrané složky vytvořily kolem místa nehody zátaras o poloměru 500 m a zahájily nezbytnou evakuaci. Nedaleko místa úniku chloru se nachází pláž, která je součástí turistu oblíbeného letoviska. Tu bylo rovněž nutno evakuovat. Vzhledem k tomu, že se nehoda stala v odpoledních hodinách, byl zasažen poměrně vysoký počet osob. Celkem v důsledku nehody zahynulo 13 osob, zasažených osob bylo celkem 260. Místní nemocnice čelily náporu raněných a obyvatel čekajících na ošetření, musela být zřízena i polní nemocnice. U nehody zasahovalo 2700 příslušníků bezpečnostních a pohotovostních služeb a 45 z nich bylo raněno [7].



*Obrázek 1 – Únik chloru v přístavu Aquaba, Jordánsko [8]*

### **Východní Palestina, 2023 (3. února 2023, USA)**

Vlaková souprava, čítající asi 50 cisternových vozů, z nichž 20 převáželo nebezpečné chemické látky a směsi, dne 3. února vykolejila. 5 cisternových vozů převáželo vinylchlorid, vysoce toxický a smrtící karcinogen. Na místě bylo rozhodnuto o řízeném uvolnění ventilů cisternových vozů z důvodu hrozící exploze nebezpečného plynu.

Pracovníci na cisterny umístili malé nálože určené k jejich narušení. Vytvořenými otvory se stlačený plyn v kapalném stavu začal rozlévat na zem – plyn začal vřít a byl zapálen pomocí světlic. Úřady evakuovaly obyvatelstvo žijící do 3 km od vykolejené soupravy. Lidé však hlásí chemický zápach ze vzdáleností až 25 km od nehody. Mrtvé ryby byly odklizeny z břehů potoků desítky kilometrů po proudu. Sekundární chemikálie byly identifikovány v řece Ohio až 64 km jižně od místa nehody [9].

## 3.2 Příklady havárií s únikem chloru v České republice

Ohledně nehodovosti při přepravě chloru v rámci České republiky neexistuje příliš mnoho svědectví a pramenů. Bez problémů lze dohledat detailní informace k nehodám s únikem chemických látek ze stacionárních zdrojů, zejména v rámci chemických podniků, níže uvádím alespoň krátký výčet příkladů havárií v přepravě dle Čapouna:

- **Kolín, 1978** – únik chloru ze železniční cisterny, 5 mrtvých osob a 50 osob zraněných [1].
- **Neratovice, 2002** – opakované úniky chloru ze Spolany Neratovice během velkých povodní, znečištění životního prostředí [1].
- **Vítkov, Opava 2009** – únik chloru v úpravně vody, který si vyžádal 2 osoby zraněné a evakuaci 200 osob [1].

## 3.3 Legislativa v oblasti železniční přepravy nebezpečných látek

Tato kapitola bude zaměřena na platné základní právní dokumenty vztahující se k problematice přepravy nebezpečných látek po železnici. Popsán bude jak závazný mezinárodní legislativní rámec, tak i právní dokumenty národního dosahu a provázanost mezi těmito dvěma úrovněmi. Vzhledem ke značnému rozsahu dané problematiky bude popsána nejdůležitější legislativa týkající se tématu a ta bude následně blíže charakterizována.

### 3.3.1 Mezinárodní právní úprava v oblasti železniční přepravy nebezpečných látek závazná pro Českou republiku

Mezinárodní přeprava nebezpečných látek podléhá aktuálně platným mezinárodním smlouvám. Legislativa vztahující se k přepravě nebezpečných látek je definována podle typu přepravy pro silniční, železniční, leteckou, vnitrozemskou vodní a námořní dopravu. Vzhledem ke geografické poloze vůči ostatním státům je v rámci České republiky nejvíce využívána přeprava silniční a železniční cestou. Legislativní rámec nakládání s chemickými látkami vymezuje zejména nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. **1907/2006 (REACH)** o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky. Toto nařízení je založeno na zásadě, že všichni, kteří se podílejí na manipulaci s nebezpečnými látkami v jakémkoli místě řetězce, tedy výrobci, dovozci a následní uživatelé, musí zajistit, že vyrábějí,

uvádějí na trh, přepravují nebo používají chemické látky, které nepůsobí nepříznivě na lidské zdraví a životní prostředí. REACH se tedy snaží harmonizovat a modernizovat stávající nařízení jednotlivých zemí EU [10, 11].

Dalším důležitým předpisem je nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 (CLP – Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures) o klasifikaci, označování a balení látek a směsí. Nařízení CLP zavádí do evropského právního prostředí systém celosvětově platný, tedy Globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemických látek (dále jen GHS). GHS vznikl v rámci Organizace spojených národů ve snaze sjednotit stávající systémy klasifikace a označování chemických látek na celém světě a současně zajistit ochranu lidského zdraví a životního prostředí. Vzhledem k různým kritériím hodnocení se v minulosti často stávalo, že byla stejná látka klasifikována jako toxická, zdraví škodlivá nebo dokonce i netoxická. Systém je tedy určen pro jednotnou identifikaci nebezpečných chemikálií na základě symbolů a vět (H-věty, P-věty) na štítcích obalů a prostřednictvím bezpečnostních listů [10, 11].



Obrázek 2 – Výstražné symboly nebezpečnosti dle CLP [12]

#### Požadavky stanovené CLP na systém označování látek a směsí:

- výstražné symboly nebezpečnosti (viz Obrázek 2);
- signální slova – slovo označující příslušnou úroveň závažnosti nebezpečnosti za účelem varování před možným nebezpečím, má dvě úrovně: – „nebezpečí“

je signální slovo označující závažnější kategorie nebezpečnosti; „varování“  
je signální slovo označující méně závažné kategorie nebezpečnosti;

- standardní věty o nebezpečnosti;
- pokyny pro bezpečné zacházení;
- označení výrobku;
- informace o dodavateli [13].

#### **H-věty** neboli Hazard phrases (věty o nebezpečnosti)

Jedná se o věty přiřazené určité třídě a kategorii nebezpečnosti, které popisují povahu nebezpečnosti dané látky nebo směsi, případně stupeň nebezpečnosti. H-věty postupně nahrazují dříve používané R-věty. Účel nově zavedených H-vět je shodný s předchozími R-větami, odlišují se pouze obsahem informace. [14]

#### **P-věty** neboli Precautionary phrases (bezpečnostní věty)

Tyto věty popisují jedno nebo více doporučených opatření pro minimalizaci nebo úplnou prevenci nepříznivých účinků způsobených vystavením působení dané nebezpečné látky nebo směsi v důsledku jejího používání nebo odstraňování. P-věty postupně nahrazují dříve používané S-věty. Účel nově zavedených P-vět je shodný s předchozími S-větami, odlišují se pouze obsahem informace. [14]

### **3.3.2 Národní právní úroveň upravující nakládání s nebezpečnými látkami**

V návaznosti na tyto evropské právní předpisy platí pro Českou republiku následující zákony a vyhlášky:

**Zákon č. 350/2011 Sb.**, o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (**chemický zákon**). Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie, navazuje na přímo použitelné předpisy Evropské unie a 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,
- klasifikaci, zkoušení nebezpečných vlastností, balení, označování a uvádění na trh chemických směsí na území České republiky,



- správnou laboratorní praxi,
- působnost správních orgánů při zajišťování ochrany před škodlivými účinky látek a směsí.

**Vyhláška č. 61/2013 Sb.**, o rozsahu informací poskytovaných o chemických směsích, které mají některé nebezpečné vlastnosti, a o detergentech.

**Vyhláška č. 162/2012 Sb.**, o tvorbě názvu nebezpečné látky v označení nebezpečné směsi.

**Vyhláška č. 163/2012 Sb.**, o zásadách správné laboratorní praxe.

**Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí.

### 3.3.3 Právní rámec pro železniční přepravu nebezpečných látek

Právní rámec dále vymezují zákony a předpisy, které se týkají přímo přepravy látek železniční cestou. Níže jsou uvedeny nejdůležitější z nich:

- **zákon č. 266/1994 Sb.**, o dráhách,
- **vyhláška č. 376/2006 Sb.**, o systému bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostí na dráhách,
- **vyhláška č. 8/1985 Sb.**, vyhláška ministra zahraničních věcí o Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).

Přepravu nebezpečných látek řeší mezinárodní smlouva RID (Řád pro mezinárodní železniční dopravu nebezpečných věcí), kterou je Česká republika zavázána. Úplné znění Řádu pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (RID) platného od 1. ledna 2011 bylo dne 12. dubna 2011 zveřejněno ve Sbírce mezinárodních smluv, v částce 11, jako sdělení MZV 19/2011 Sb. [15]

Mezinárodním právním předpisem pro přepravu nebezpečných látek a směsí po železnici je Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (**RID** – **Regulations Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail**). Tento řád je obsažen jako přípojek C v Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (**COTIF** – **Convention relative aux transports internationaux ferroviaires**). Úplné znění RID se všemi změnami a dodatky bylo zveřejněno ve francouzském originálu a jeho českém překladu ve Sbírce mezinárodních smluv jako sdělení Ministerstva zahraničních věcí

č. 19/2015 Sb. m. s. Změny Řádu RID byly přijaty na zasedání Odborného výboru pro přepravu nebezpečných věcí Mezivládní organizace pro mezinárodní železniční přepravu dne 22. května 2014 v Bernu. V platnost vstoupila 1. ledna 2015 [16].

Nebezpečné látky se dle RID dělí do následujících tříd:

- Třída 1 Výbušné látky a předměty,
- Třída 2 Plyny,
- Třída 3 Hořlavé kapaliny,
- Třída 4.1 Hořlavé tuhé látky, samovolně se rozkládající látky a znečitlivěné tuhé výbušné látky,
- Třída 4.2 Samozápalné látky,
- Třída 4.3 Látky, které ve styku s vodou vyvíjejí hořlavé plyny,
- Třída 5.1 Látky podporující hoření,
- Třída 5.2 Organické peroxidy,
- Třída 6.1 Toxické látky,
- Třída 6.2 Infekční látky,
- Třída 7 Radioaktivní látky,
- Třída 8 Žíravé látky,
- Třída 9 Jiné nebezpečné látky a předměty [16].

**Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí stanoví:**

- a) nebezpečné věci, které jsou z mezinárodní přepravy vyloučeny;
- b) nebezpečné věci, jejichž mezinárodní přeprava je přípustná a požadavky, které musí být při této přepravě splněny, zejména:
  - klasifikaci věcí, včetně klasifikačních kritérií a příslušných zkušebních metod;
  - používání obalů (včetně společného balení);
  - používání cisteren (včetně jejich plnění);

- postupy před odesláním (včetně nápisů a bezpečnostních značek na kusech, označování dopravních a přepravních prostředků, jakož i doklady a požadované informace);
- ustanovení o konstrukci, zkoušení a schvalování obalů a cisteren;
- používání dopravních prostředků (včetně nakládky, společné nakládky a vykládky) [16].

### **3.4 Přeprava nebezpečných látek po železnici a přepravní značení**

Přeprava chemických látek železniční cestou s sebou nese, jako každý jiný druh transportu, jisté výhody i rizika z hlediska rychlosti (tedy efektivity přepravy), bezpečnosti a jistých specifických požadavků vyplývajících z regulace dopravy jako takové. Zejména z hlediska složitější logistiky přepravy klade vyšší nároky z hlediska času. Je třeba zohlednit také dostupnost infrastruktury pro přepravu chemických látek po železnici – musí být k dispozici odpovídající kolejová síť, včetně stanic pro nakládku a vykládku, a také vhodné zabezpečení při přepravě přes mosty, tunely a další nebezpečné úseky. Výhodou přepravy chemických látek po železnici bezesporu patří možnost přepravy většího množství látky najednou díky značné kapacitě železničních cisteren a také to, že mohou být přepravovány na delší vzdálenosti [4, 15, 16].

Všichni účastníci přepravy (odesílatel, dopravce, příjemce, nakládce, balič, plnič, provozovatel cisternového kontejneru) nebezpečných věcí musí být dostatečně poučeni a musí se řídit všemi bezpečnostními opatřeními, která jsou pro výkon jejich činnosti nutná [17]. Při přepravě nebezpečných látek v cisternových vozech jsou tyto označeny na obou podélných stranách oranžovými výstražnými tabulkami o délce 400 mm a šířce 300 mm. Oranžová tabulka je černě orámována a podélně rozdělena černou čarou na horní a dolní polovinu. V horní části tabulky je uvedeno černým písmem číslo nebezpečnosti přepravované látky, tzv. Kemlerův kód, a v dolní části tabulky je uvedeno identifikační číslo nebezpečné látky, tzv. UN kód. Pokud jsou v cisternách přepravovány nebezpečné stlačené nebo zkapalněné plyny, musí být dle nařízení RID kotlový vůz označen navíc 30 cm širokým oranžovým pruhem, v němž je uveden konkrétní název přepravované látky [1, s. 65, 66, 15].

### 3.5 Převravní dokumentace při přepravě na železnici

Řád pro železniční přepravu RID definuje vedle zákonitostí značení látek v rámci přepravy také přepravní dokumentaci. Po celou dobu přepravy je dokumentace uložena u vlakvedoucího. Převravní dokumentace obsahuje základní údaje o odesílateli a příjemci přepravované látky, včetně přesné adresy, názvu organizace, jména fyzické osoby nebo IČO podniku. Dále obsahuje detailní technické údaje o přepravním vozu, jakými jsou označení vozu, jeho číslo, počet náprav, vlastní hmotnost vozu a ložná hmotnost. V dokumentech musí být uvedené přesné označení přepravované nebezpečné látky, její chemický název, UN číslo, Kemlerův kód, celková hmotnost převážené látky a druh použitého přepravního obalu. V přepravním dokladu jsou i údaje železnice, razítka, výše poplatků apod. [1, s. 68].

### 3.6 Bezpečnostní označení při přepravě nebezpečných látek

Bezpečnostní značení při přepravě chemických látek na železnici je základním kamenem zabezpečení proti rizikům a nebezpečím, která mohou být spojena s manipulací s těmito látkami. Díky odpovídajícímu označování nebezpečných látek lze při jejich přepravě předcházet značným dopadům na zdraví a životy osob a životní prostředí. Jednotný systém značení napomáhá identifikaci možného nebezpečí a minimalizaci rizik v případě nehod s únikem chemických látek. V další podkapitole je rozpracováno a vysvětleno značení chemických látek v přepravě a související termíny: UN systém, UN číslo, Kemlerův kód, HAZCHEM kód, systém Diamant nebo systém výstražných značek [1].

#### UN systém

Jedná se o výstražnou oranžovou tabulku s černým písmem o rozměrech 40 x 30 cm, která je rozdělena na horní a dolní část černou čarou. Čísla musí být nesmazatelná a musí zůstat čitelná i po 15 minutách přímého působení požáru. Podle mezinárodní dohody RID a českých vnitrostátních předpisů o přepravě nebezpečných látek po železnici jsou Kemlerův a UN kódy jednotlivých nebezpečných látek součástí tzv. výstražné identifikační tabulky nebezpečných látek [18, 19].

Horní polovina tabulky je samotný **Kemlerův kód**, který určuje vlastnosti dané přepravované nebezpečné látky. Jedná se o dvou až třímístnou kombinaci číslic. Pokud je tato kombinace číslic doplněna o písmeno X, znamená to riziko prudké reakce dané

chemické látky s vodou. První číslice označuje hlavní nebezpečí látky, druhá a třetí číslice pak značí dodatečné (druhotné) nebezpečí. Pokud je první číslice zdvojená, znamená to vystupňování hlavního nebezpečí látky [18, 19].

Identifikační číslo nebezpečnosti poskytuje prvotní informace pro zasahující záchranné složky o tom, jaký druh nebezpečí pro zdraví osob a životní prostředí tato látka představuje. Dle typu chemické látky lze určit rychlost jejího šíření v prostoru a vyhodnotit nejvhodnější opatření ochrany obyvatelstva v souvislosti s dalšími okolnostmi dané mimořádné situace s únikem chemické látky.

Význam Kemlerova kódu pro posouzení nebezpečnosti látky:

- 1 – výbušné látky (nepoužívá se),
- 2 – uvolňování plynů pod tlakem nebo jejich vznik,
- 3 – hořlavost kapalin, par nebo plynů,
- 4 – hořlavost pevných látek, včetně sklonu k samovznícení,
- 5 – oxidační účinky,
- 6 – jedovatost, toxicita,
- 7 – radioaktivita,
- 8 – žíravost,
- 9 – nebezpečí prudké spontánní reakce,
- 0 – bez významu,
- X – zákaz styku s vodou [18].

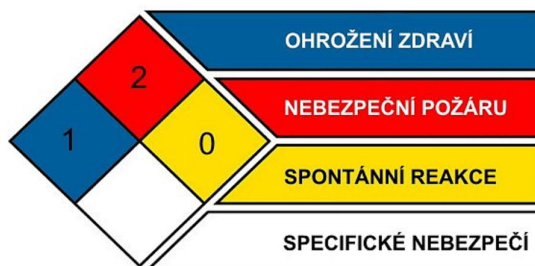
V případě použití Kemlerova kódu při označení chloru je číselná kombinace 265 – tedy jedná se o podchlazený plyn, který je jedovatý a má oxidační účinky [1, 4]. V dolní polovině tabulky se nachází čtyřmístné číslo (tzv. **UN kód**). Číslo je zcela unikátní pro každou danou látku a přesně ji definuje. Například chlor je vyjádřen jako UN 1017 [1, 20].



Obrázek 3 – Značení chloru v UN systému [21]

### Diamant

V USA se používá k označení přepravních a skladovacích zařízení a obalů látek systém Diamant, který neidentifikuje skladovanou látku, ale heslovitě uvádí její nebezpečné vlastnosti a případná opatření, která by měla být provedena při jejím úniku či vznícení. Při použití identifikačního systému Diamant se tedy nezjišťuje konkrétní nebezpečná látka, nýbrž soubor nebezpečných vlastností látky. Základním cílem tohoto systému je tedy rychlé posouzení hrozícího nebezpečí – toxicity, hořlavosti a reaktivnosti látky, neumožňuje identifikaci látky samotné. Systém značení využívá nálepky ve tvaru na vrchol postaveného čtverce. Tento čtverec je rozdělen na čtyři sektory, kdy je každému sektoru přidělen konkrétní druh nebezpečí a také charakteristická výstražná barva – modrá, červená, žlutá a bílá barva. V jednotlivých sektorech jsou uvedené číslice 0, 1, 2, 3 nebo 4. Těmi je pro konkrétní barevný sektor vyjádřen stupeň nebezpečnosti (čísllice 0 pro stupeň nejnižší, 4 stupeň nejvyšší). Pro sektor bílé barvy jsou vyhrazena místo číslic písmena, která představují další možné nebezpečí látky. Modrý čtverec označuje nebezpečí poškození zdraví, červená barva se vztahuje k nebezpečí požáru, žlutá barva charakterizuje nebezpečí spontánní reakce (reaktivitu) látky [11, 15, 19].



Obrázek 4 – Značení Diamant [22]

- ✓ **Modré pole** – ohrožení zdraví:
  - 4 – mimořádně nebezpečné, nutno zabránit jakémukoliv kontaktu s parami nebo, kapalinou bez speciální ochrany,
  - 3 – velice nebezpečné, pobyt v zasažené oblasti je možný pouze v úplném, ochranném oděvu a s dýchacím přístrojem,
  - 2 – nebezpečné, pobyt v zasažené oblasti je možný pouze v dýchací technice a v jednoduchém ochranném obleku,
  - 1 – malé nebezpečí, dýchací přístroj doporučen,
  - 0 – bez nebezpečí [22].
- ✓ **Červené pole** – nebezpečí požáru:
  - 4 – extrémně lehce zápalná látka při všech teplotách,
  - 3 – nebezpečí vznícení při normální teplotě,
  - 2 – nebezpečí vznícení při ohřátí,
  - 1 – nebezpečí vznícení při silném ohřátí,
  - 0 – bez nebezpečí vznícení za obvyklých teplot [22].
- ✓ **Žluté pole** – nebezpečí spontánní reakce:
  - 4 – velké nebezpečí exploze, nutno vytvořit bezpečnostní zónu, při požáru evakuovat ohroženou oblast,
  - 3 – nebezpečí výbuchu při působení horka nebo při velkém otřesu, při nárazu apod., nutno vytvořit bezpečnostní zónu, hašení pouze z bezpečné vzdálenosti;
  - 2 – možnost prudké chemické reakce, zesílená bezpečnostní opatření, hasební zásah možný pouze z bezpečné vzdálenosti,
  - 1 – při silném zahřátí je látka nestabilní, bezpečnostní opatření jsou nutná,
  - 0 – za normálních podmínek bez nebezpečí [22].

✓ **Bílé pole** – specifické nebezpečí:

- prázdné pole – k hašení lze použít vodu;
- W přeškrtnuté – k hašení nesmí být použita voda, lze očekávat chemickou reakci;
- radioaktivní znak – při úniku látky hrozí nebezpečí radioaktivního záření;
- OXY – látka působí jako silné oxidační činidlo;
- COR – velké korozivní/žíravé účinky;
- ALK – silná zásada;
- ACID – silná kyselina [22].

## **Hazchem**

Hazchem systém označování látek v přepravě se nejvíce používá ve Velké Británii. Podobně jako systém Diamant i Hazchem neoznačuje konkrétní látku, ale stanovuje prvořadá opatření při zásahu. Uvádí, které hasební prostředky jsou vhodné a jaké jsou možnosti snížení nebezpečí při úniku látky (např. zředěním vodou nebo ohrazením místa úniku s následnou neutralizací uniklé látky), informuje o potřebných opatřeních pro ochranu při zásahu a upozorňuje na potřebu evakuace osob v ohrožené oblasti. Hazchem kód je tvořen jednou číslicí a skupinou písmen. Uvádí příslušný piktogram nebezpečnosti látky, UN kód pro identifikaci látky, heslovitě doplňující údaje pro řešení události při úniku či požáru látky [22, 23]:

### ***První číslice – hasební látka***

- 1 – vodní proud,
- 2 – vodní mlha,
- 3 – pěna
- 4 – suché hasivo.

### ***První písmeno – ochrana a opatření***

✓ zředit, zvážit vliv na životní prostředí u písmen:

- P – úplná ochrana,
- R – úplná ochrana,



- S – dýchací přístroje,
  - T – dýchací přístroje.
- ✓ ohradit a zabránit šíření u písmen:
- W – úplná ochrana,
  - X – úplná ochrana,
  - Y – dýchací přístroje,
  - Z – dýchací přístroje.

#### *Druhé písmeno*

- E – zvážit nutnost provedení evakuace obyvatel [22, 23].

### **3.7 Vybrané databáze nebezpečných látek**

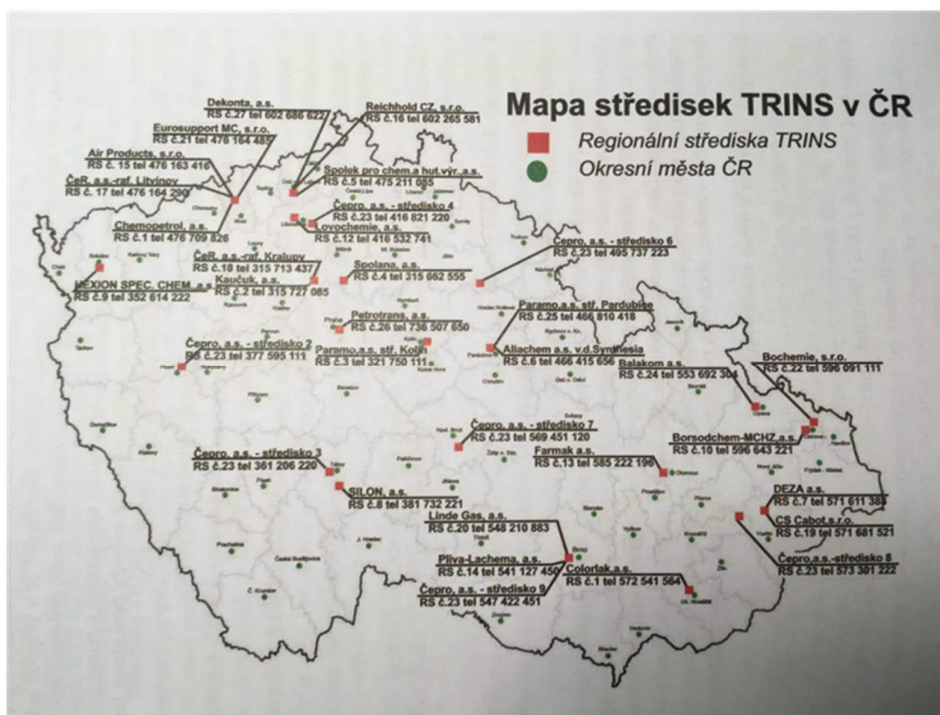
Databází nebezpečných látek existuje celá řada. Jsou obecně určeny pro poskytování informační podpory, pro řešení mimořádných událostí nebo realizaci úkonů ochrany obyvatelstva, dále pro podporu havarijního plánování, řešení mimořádných událostí v souvislosti s únikem daných látek a analýzy rizik v souvislosti s vlastnostmi chemických látek a směsí. Možnost využití je tedy značně široká.

Mezinárodní databáze obsahují většinou základní informace o konkrétní látce: fyzikální vlastnosti, možné ohrožující účinky na lidské zdraví, dále způsoby hašení a obecně likvidace látky, zásady bezpečného skladování a přepravy. Doporučují též postupy pro poskytování první pomoci a veškeré ostatní údaje sloužící pro provedení bezpečného zásahu a minimalizaci škod. V databázích lze vyhledávat látky pomocí názvu, UN kódu, Kemlerova kódu, či sumárního vzorce. Díky databázím NCHL může být zásah velmi účinný, rychlý a bezpečný jak z hlediska zasahujících složek, tak i zasažených osob [4, 11].

#### **Vybrané databáze:**

- **ERG** (Emergency Response Guidebook): guidebook je určen pro osoby, které by mohly přijet jako první k dopravní nehodě s přítomností nebezpečné látky. Dále z databáze ERG celosvětově vycházejí doporučení pro první pomoc při zasažení chemickou látkou [24].

- **ERIC** (Emergency Response Intervention Card): pokyny pro zásah hasičů v případě nehody s únikem nebezpečné chemické látky [25].
- **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards**: obsahuje informace o vysoce nebezpečných chemických, radioaktivních a biologických látkách určených zejména při mimořádných teroristických událostech (NIOSH = The National Institute for Occupational Safety and Health) [26].
- **TRINS**: transportní informační a nehodový systém (TRINS) poskytuje prostřednictvím svých středisek nepřetržitou pomoc při řešení mimořádných situací, které jsou spojené s přepravou či skladováním nebezpečných látek na území České republiky. Byl vytvořen na základě dohody o spolupráci mezi MV – GŘ HZS a Svazem chemického průmyslu ČR [4, 11].



Obrázek 5 – Mapa středisek TRINS v ČR [4]

## MEDIS-ALARM

Medis-Alarm je česká databáze nebezpečných chemických látek a směsí, která je v současnosti aktivně používána také v rámci Hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen HZS). V databázi je možné vyhledat podrobné údaje o chemických a fyzikálních vlastnostech nebezpečných látek a směsí, způsoby nakládání s těmito

látkami, způsoby hašení, požadavky na osobní ochranné prostředky, zásady bezpečné manipulace, zásady první pomoci při zasažení osob a příslušné právní předpisy a normy upravující nakládání s jednotlivými látkami. Specifické informace jsou využitelné pro velitele zásahu a složky IZS při řešení nehod, průmyslových havárií a dalších mimořádných událostí s únikem nebezpečných chemických látek [11].

### **CAMEO chemicals**

Chemical Response Data Sheets and Reactivity Prediction Tool je databáze nebezpečných chemických látek a směsí, která je součástí bezpečnostního balíčku CAMEO Software Suite v USA. Databáze obsahuje základní identifikaci chemických látek a směsí, informace o nebezpečí, doporučení pro vedení zásahu a doporučení pro ochranná opatření, pokyny první pomoci. Je tedy využitelná pro podporu havarijního plánování [11].

## **3.8 Chlor a jeho charakteristika**

Chlor je toxický plyn, který má silný dusivý a dráždivý účinek. Specifický je pro něj pronikavý, štiplavý a dusivý zápach. Při kontaktu se vzduchem se velmi rychle vypařuje ve formě žlutozeleného plynu. Chlor je 2,5 x těžší než vzduch, proto se drží při zemi a vytváří při šíření v okolí oblaka těžkého plynu. Unikající kapalný chlor vytváří toxický mrak šířící se v závislosti na aktuálních meteorologických podmínkách, reliéfu a členitosti okolního terénu [24]. Je vysoce toxický pro vodní organismy, neředěný nesmí uniknout do kanalizace. Jako silně oxidující látka podporuje hoření, při reakci s dusíkatými sloučeninami vyvíjí výbušný chlorovodík. Průmyslově se chlor vyrábí z tavenin chloridů nebo jako vedlejší produkt při elektrolytické výrobě alkalických kovů. V přírodě se volný chlór nevyskytuje. Použití nalézá v chemickém a textilním průmyslu k bělení textilu či papíru, využívá se také k dezinfekci bazénů, sterilizaci pitné vody a výrobě organických a anorganických sloučenin. V kapalném skupenství má oranžově žlutou barvu, je to těžká olejovitá kapalina pronikavého zápachu. Chemický vzorec chloru je  $\text{Cl}_2$ , UN kód 1017, číslo CAS 7782-50-5 a Kemler kód 265 [27, 28 29, 30].

CHLOR	
Kemlerův kód (ADR):	265
UN číslo:	1017

Obrázek 6 – Kemlerův kód a UN číslo [20]

### Vliv účinků chlóru na lidský organizmus

Toxický účinek látky na lidský organizmus a nebezpečnost této látky určují především její fyzikální a chemické vlastnosti, které přímo ovlivňují míru dopadu vystavení organizmu působení látky spolu s dobou expozice. Celkové množství chlóru, respektive jeho koncentrace v ovzduší, a doba, po kterou je lidský organizmus působení látky vystaven, určují míru nežádoucích účinků. Akutní intoxikace chlorem se projevuje pálením očí a slzením, pálením v nose a krku, kašláním, dostavit se může pocit nevolnosti až zvracení, dýchací potíže a v nejtěžších stupních otravy také selhání srdce a zástava dýchání. Při dlouhodobé inhalační expozici chlóru se může vyvinout chronická bronchitida či rozedma plic a rovněž se snižuje schopnost organismu čelit běžným respiračním onemocněním. Pokud se chlor dostane do styku s kůží, způsobuje její podráždění a tvorbu puchýřů, případně omrzliny, pokud se jedná o kapalnou formu látky [27, 28, 29].

O nebezpečnosti chlóru hovoří také **standardní věty o nebezpečnosti** (H-věty):

- H270 – může způsobit nebo zesílit požár; oxidant;
- H280 – obsahuje plyn pod tlakem; při zahřívání může vybuchnout;
- H315 – dráždí kůži;
- H319 – způsobuje vážné podráždění očí;
- H330 – při vdechování může způsobit smrt;
- H335 – může způsobit podráždění dýchacích cest;
- H410 – vysoce toxický pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky [20, 24, 28].

Vedle okamžitého zamezení další expozici chlóru je třeba zraněnému izolovat jeho dýchací ústrojí, tedy využít pro zakrytí obličejové části prvek improvizované ochrany (v případě nezbytnosti poslouží kapesník či jiná látka), v nejlepším případě pak nasadit

ochrannou masku. Je důležité omezit fyzickou zátěž zasažené osoby na minimum z hlediska náročnosti na dostatek kyslíku, dále svléci oděv, který je rovněž zasažen chlorem. V případě zasažení očí je třeba je vypláchnout dostatečným množstvím vody, stejně tak jako je třeba oplachovat zasaženou pokožku. Protože je chlór skladován a převážen ve zkapalněné podobě, je tedy silně zchlazený. Při kontaktu s pokožkou tak může vyvolat až popáleniny, popřípadě omrzliny. Zasaženého je třeba co nejrychleji předat k lékařskému ošetření a v případě zasažení dýchacích cest zahájit oxygenoterapii, inhalaci kyslíku [23, 29, 31].

**Pokyny pro bezpečné zacházení (P-věty):**

- P220 – uchovávejte/skladujte odděleně od oděvů /.../ hořlavých materiálů;
- P244 – udržujte ventily i příslušenství čisté – bez olejů a maziv;
- P260 – nevdechujte prach, dým, plyn, mlhu, páry, aerosoly;
- P261 – zamezte vdechování prachu, dýmu, plynu, mlhy, par, aerosolů;
- P264 – po manipulaci důkladně omyjte...;
- P271 – používejte pouze venku nebo v dobře větraných prostorách;
- P273 – zabraňte uvolnění do životního prostředí;
- P280 – používejte ochranné rukavice, ochranný oděv, ochranné brýle, obličejový štít;
- P284 – v případě nedostatečného větrání používejte vybavení pro ochranu dýchacích cest;
- P304 + P340 – PŘI VDECHNUTÍ: přeneste osobu na čerstvý vzduch a ponechte ji v poloze usnadňující dýchání;
- P305 + P351 + P338 – PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: několik minut opatrně vyplachujte vodou; vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny;
- P312 – necítíte-li se dobře, volejte toxikologické informační středisko, lékaře;
- P362 + P364 – kontaminovaný oděv svlékněte a před opětovným použitím vyperte;
- P370 + P380 + P375 – v případě požáru: vykliděte prostor; kvůli nebezpečí výbuchu haste z dostatečné vzdálenosti;

- P376 – zastavte únik, můžete-li tak učinit bez rizika;
- P403 + P233 – skladujte na dobře větraném místě; uchovávejte obal těsně uzavřený;
- P405 – skladujte uzamčené;
- P410 + P403 – chraňte před slunečním zářením; skladujte na dobře větraném místě [20, 24, 28].

### **Neodkladná a následná opatření v případě dopravní nehody s následným únikem chlóru**

Opatření přijímaná s cílem ochránit životy a zdraví obyvatel, majetek i životní prostředí proti účinkům nebezpečné látky lze dělit podle naléhavosti jejich provedení na opatření neodkladná a opatření následná [15, 32].

Neodkladná opatření jsou taková opatření, která je nutné provést neprodleně po zjištění situace na místě události. Neodkladná opatření k ochraně obyvatelstva chápeme zejména jako záchranné práce složek IZS i činnost dalších zainteresovaných subjektů; v určité míře a za daných okolností je však mohou provádět i osoby, které jsou samy zasaženy mimořádnou událostí, jednak v rámci své individuální ochrany, jednak poskytnutím pomoci jiné postižené osobě. Mezi neodkladná opatření patří:

- vyrozumění – souhrn opatření zabezpečujících včasné předání varovné informace o hrozící nebo už vzniklé mimořádné události složkám integrovaného záchranného systému, orgánům krizového řízení, právníkům osobám a podnikajícím fyzickým osobám podle havarijního nebo krizového plánu,
- varování obyvatelstva – zabezpečení včasného předání varovné informace o hrozící nebo už vzniklé mimořádné události, která vyžaduje realizaci opatření s ochranou života, zdraví, majetku a životního prostředí,
- ukrytí obyvatelstva – k ukrytí je využíváno stálých či improvizovaných úkrytů,
- evakuace – přemístění osob, zvířat, předmětů kulturní hodnoty, technického zařízení, případně strojů a materiálu k zachování nutné výroby a nebezpečných látek z míst ohrožených mimořádnou událostí do míst, která zajišťují pro evakuované obyvatelstvo náhradní ubytování a stravování, pro zvířata ustájení a pro věci uskladnění,

- zamezení dalšího úniku nebezpečné látky a jejího dalšího šíření,
- uzavírky přístupových komunikací a odklon dopravy od místa nehody,
- zajištění zachování veřejného pořádku a bezpečnosti v místě zásahu [15, 33].

Následná opatření se provádějí s určitým časovým odstupem od okamžiku vzniku nehody s únikem nebezpečné látky a mají za cíl minimalizaci následků způsobených událostí. Tato opatření jsou likvidačního charakteru, je třeba však také uvažovat o pracích asanačních, při nichž je místo události uvedeno do původní stavu [15, 24, 32].

**Mezi následná opatření lze zařadit:**

- zamezení a kontrola pohybu v uzavřené oblasti,
- zabránění kontaminace povrchu těla – improvizovaná ochranná opatření,
- dekontaminace osob,
- dekontaminace povrchů terénu – přírodního i zástavby, také použitého zařízení a techniky,
- odstranění havarovaných vozidel,
- asanace zamořených prostor (prováděná tlakovými ventilátory) [15, 24, 32].

Hlavní prioritou při provádění opatření zůstává záchrana životů a zdraví osob, které jsou bezprostředně ohroženy, informování obyvatelstva, vyrozumění záchranných složek, a zamezení dalšího šíření látky. Neodkladná i následná opatření lze provádět také současně s ohledem na charakter dané události [15, 24].

## 4 METODIKA

### 4.1 Modul DEGAS (TerEx software)

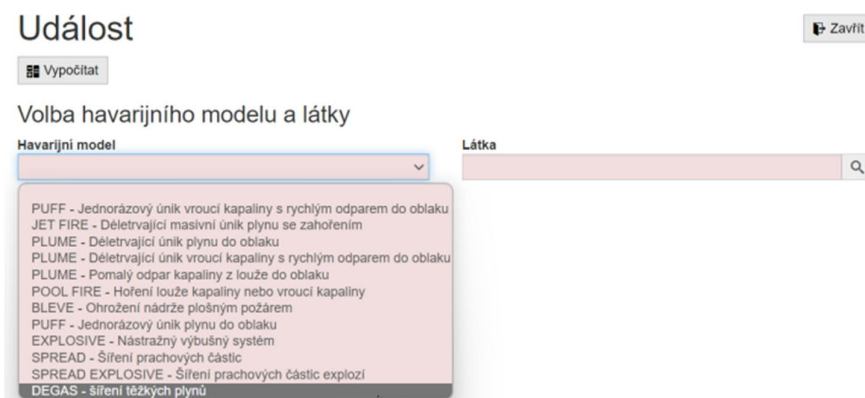
Jedná se o modul softwaru TerEx (Teroristický expert) vyvinutý a určený k modelování úniku, šíření a rozptylu těžkých plynů (název vychází z označení „Dense Gas“, tedy těžký plyn). Modul DEGAS umožňuje modelovat jednorázový i kontinuální únik látky, stejně jako odpar z kaluže kapalné látky. V případě kontinuálního úniku typu JET lze modelovat únik ze zdroje jak v horizontální, tak vertikální linii. V porovnání s programem ALOHA pracuje DEGAS s pouze zjednodušeným zadáním meteorologických a terénních podmínek jako vstupních údajů modelace. Pro výpočet zóny ohrožení zohledňuje program též gravitační působení země, turbulenci vzduchu, difúzi, efekt tření šířícího se oblaku o povrch země a dané meteorologické podmínky [30]. Modul DEGAS je integrován jako jeden z havarijních modelů do programu TerEx. DEGAS lze využít v jeho desktopové verzi stejně jako verzi dostupné z webového rozhraní, kdy je softwarový nástroj uložen na daných serverech [30, 34].

Program TerEx je koncipován jako modulární systém. Jednotlivé moduly umožňují provést modelaci buď na základě výběru konkrétní nebezpečné látky, nebo podle zvoleného havarijního modelu (viz níže). Výsledky modelace lze zanesť do mapového podkladu – k tomu je využito mapového rozhraní OpenStreetMap [11]. V roce 2019 byl TerEx rozšířen právě o modul DEGAS, který již umožňuje provést komplexnější modelace úniku toxických látek a oproti ostatním modulům dosahuje značně přesnějších výsledků. Rovněž je tento modul uživatelsky přívětivý [11, 35]. Havarijní modely, které jsou v TerEx dostupné, jsou následující:

- **PLUME** – déle trvající únik látky ve třech možných variantách: o déle trvající únik plynu do oblaku; o déle trvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku; o pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku;
- **PUFF** – jednorázový únik látky ve dvou variantách: o jednorázový únik plynu do oblaku; o jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku;
- **JET FIRE** – déletrvající masivní únik plynu se zahořením;
- **POOL FIRE** – hoření louže kapaliny nebo vroucí kapaliny;
- **BLEVE** – ohrožení nádrže plošným požárem;



- **EXPLOSIVE** – nástražný výbušný systém;
- **SPREAD** – šíření prachových částic;
- **SPREAD EXPLOS.** – šíření prachových částic explozí;
- **DEGAS** – šíření těžkých plynů [11, 35].



Obrázek 7 – Havarijní modely dostupné ve webové verzi TerEx [36]

Modul DEGAS není uživatelsky příliš náročný. Před samotným provedením modelace je však nutné zadat řadu vstupních hodnot, přičemž program upozorní uživatele na chybně zadané hodnoty, na limity pro určité vstupní hodnoty či jejich neplatnost. Pro identifikaci látky pro modelování nabízí software vlastní databázi látek a směsí (včetně jejich fyzikálních a chemických vlastností), ze které je možno vybírat. DEGAS vyžaduje výběr havarijního modelu, identifikaci chemické látky či směsi, meteorologické podmínky, typ okolní krajiny, typ rozptylu a dále specifické údaje dle zvolených havarijních modelů a typu úniku, jako velikost únikového otvoru, dobu trvání úniku a přetlak látky uvnitř zásobníku [11, 35].

Výsledky modelace jsou pak zobrazeny v souhrnném textovém poli a zároveň jsou zobrazeny graficky – zónu ohrožení zobrazí pomocí kružnice se středem v místě úniku a zóna ohrožení chemickou látkou je graficky vyjádřena jako výseč z kružnice v úhlu 60°, kterou lze na směrové růžici pootočit dle směru proudění větru. Vývoj koncentrace látky v prostoru lze pozorovat a odečíst z grafu, kde na ose x je znázorněna vzdálenost od místa úniku a na ose y koncentrace látky [32, 35].

## 4.2 Software ALOHA

ALOHA je program, který umožňuje modelovat jednorázové i déle trvající úniky chemických látek, vznícení a hoření látek a jejich exploze. ALOHA dále nabízí možnost vypočítat rychlost úniku látky ze zásobníku, případně rychlost úniku kapaliny s následným odparem z kaluže, která vznikne po úniku (například stlačeného plynu). Pro tento druh modelace je však třeba znát celou řadu parametrů konkrétního zásobníku. Program ALOHA umožňuje vytvoření jednoduchých i komplexnějších modelací, všechny modelace jsou ale poměrně náročné na množství vstupních údajů. ALOHA stanoví zóny ohrožení (threat zones), včetně míry koncentrace ve zvoleném bodě v určité vzdálenosti od místa (zdroje) úniku látky, a změnu koncentrace v čase vzhledem k postupné disperzi plynu. Červená zóna představuje nejvyšší míru ohrožení života a zdraví osob, nebezpečí se postupně snižuje v oblastech oranžové a žluté zóny. Výsledky modelace lze zobrazit na mapovém podkladu prostřednictvím programu MARPLOT v programu Google Earth. Uživatelsky je program ALOHA náročnější, a to vzhledem k poměrně velkému množství vstupních údajů, je třeba také zdůraznit, že je dostupný jen v anglickém jazyce. Maximální vzdálenost, ve které lze výsledky modelace zobrazit, je 10 km, a čas trvání úniku je limitován na dobu 60 minut. Tento fakt může mít spolu s jinými vliv na stanovení směrodatných výsledků modelací [11].

Mezi základní vstupní údaje pro tvorbu modelací obecně patří identifikace chemické látky a způsob úniku látky, celkový objem uniklé látky či rychlost úniku, stanovení charakteru okolní krajiny a meteorologické podmínky – rychlost větru a teplota okolního vzduchu. Tyto údaje jsou dostačující pro vytvoření základní, jednoduché modelace, která nebude ale příliš přesná vzhledem k chybějícím proměnným. Komplexní modelace jsou náročnější na množství vstupních informací, výsledky jsou však přesnější díky detailněji definovaným vstupním podmínkám, za kterých únik nastal. Obecně hovoříme o těchto informacích [11, 37]:

### *Identifikace látky a základních fyzikálních a chemických vlastností:*

- přesné určení látky nebo směsi;
- stanovení způsobu skladování a skupenství látky na začátku a při úniku ve skladovacím zařízení;
- teplota látky.

### ***Definice zdroje úniku:***

- určení havarijního modelu a projevu unikající látky, který bude modelován;
- typ zdroje a způsobu úniku;
- definování únikového otvoru, určení jeho velikosti a výšky ode dna skladovacího zařízení; o výška hladiny kapaliny ve skladovacím zařízení (pokud je látka skladována v kapalném stavu);
- určení přetlaku látky uvnitř skladovacího zařízení (pokud se jedná o skladování plynné látky nebo látky pod vysokým tlakem);
- určení velikosti a objemu skladovacího zařízení nebo stanovení délky produktovodu;
- velikost prostoru pro odpařování kapalné látky v okolí skladovacího zařízení;
- objem kaluže, celkové množství nebo výška hladiny kaluže odpařující se kapaliny;
- celkové uniklé množství látky nebo stanovení rychlosti úniku látky za jednotku času;
- směr úniku ze skladovacího zařízení (horizontální nebo vertikální únik);
- celková doba trvání úniku.

### ***Meteorologické podmínky a charakteristika okolní krajiny:***

- teplota okolního vzduchu;
- určení směru a rychlosti větru;
- pokrytí oblohy mraky;
- vlhkost vzduchu; o přítomnost inverze a její výška nad zemí;
- stanovení třídy stability atmosféry;
- výška měření meteorologických podmínek nad zemí;
- typ okolní krajiny nebo stanovení drsnosti terénu;
- teplota a typ povrchu nebo podloží v okolí skladovacího zařízení, ze kterého bude docházet k odparu kapaliny;

- nadmořská výška místa úniku látky;
- roční období, datum, čas nebo denní doba, kdy došlo k úniku [36, 37].

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Modelování simulované nehody na vlakovém nádraží Kladno

V praktické části práce bude provedeno modelování simulované nehody železniční cisterny přepravující chlor. Modelace simulované nehody bude provedena pomocí dvou softwarových nástrojů, a sice pomocí programu ALOHA a programu TerEx – modulu DEGAS. Simulovaná nehoda bude mít vždy tři různé scénáře – nehoda cisterny s postupným únikem chloru z uvolněného ventilu, nehoda s následnou rupturou pláště zásobníku a postupným únikem chloru ze vzniklé trhliny a nehoda s následkem roztržení celé cisterny s jednorázovým únikem chloru do okolí. Každý z uvedených scénářů bude modelován nejprve za počasí inverzního a chladného a podruhé za slunečného počasí s jarními teplotami. Celkem bude tedy vyhodnoceno a porovnáno dvanáct modelací s proměnnými týkajícími se meteorologických podmínek a typu úniku chloru v závislosti na rozsahu poškození cisterny a na velikosti únikového otvoru.

Kladno je statutární město nacházející se ve Středočeském kraji, které disponuje plnou občanskou vybaveností. Ve městě se nachází řada škol a školských zařízení, sportovišť, obchodních center a míst poskytování služeb, jedná se tedy o pulzující město s vysokou frekvencí pohybu osob. Vzhledem ke geografické poloze Kladna vůči metropoli využívá podstatná část pracujících a studujících možnosti dojíždění do zaměstnání a škol mimo město, nejčastěji právě do hlavního města Prahy. Kromě dopravy automobilové je hojně využívána doprava autobusová a vlaková.

Železniční stanice Kladno (dříve Kladno-Vejhybka) je situována na severozápadním okraji města Kladna a jedná se o významný železniční uzel na trati Praha – Rakovník a Kralupy nad Vltavou – Kladno. V bezprostřední blízkosti nádraží se nachází ubytovna, restaurace a pobočky řetězce Lidl a Kaufland, čerpací stanice MOL a obchod Penny Market, obytné domy, ve větší vzdálenosti pak školka, základní škola a víceleté gymnázium, zimní stadion, víceúčelové sportoviště a aquapark, nemocnice, gerontologické a rehabilitační centrum a domov pro seniory. V současné době se přes vlakové nádraží Kladno nepřeppravují nebezpečné látky. V době dokončování této práce započala renovace a modernizace vlakového nádraží a není vyloučeno, že přeprava chemikálií železniční cestou bude pro Kladno v budoucnu aktuální. Modelace nehody provedené v praktické části této práce jsou tedy pouze hypotetické a výsledky by měly poukázat na možná rizika, která by přeprava nebezpečných látek představovala.



Obrázek 8 – Okolí nádraží Kladno včetně přilehlých obchodů Lidl, Kaufland a čerpací stanice MOL [zdroj: vlastní, 38]



Obrázek 9 – Vlakové nádraží Kladno [zdroj: vlastní]

Výsledky modelací v obou softwarech budou vzájemně porovnány, výsledné zóny ohrožení budou popsány v každé podkapitole vlastního měření a také uvedeny souhrnně v tabulkové formě. Dále budou porovnány modelace kontinuálního úniku celého obsahu

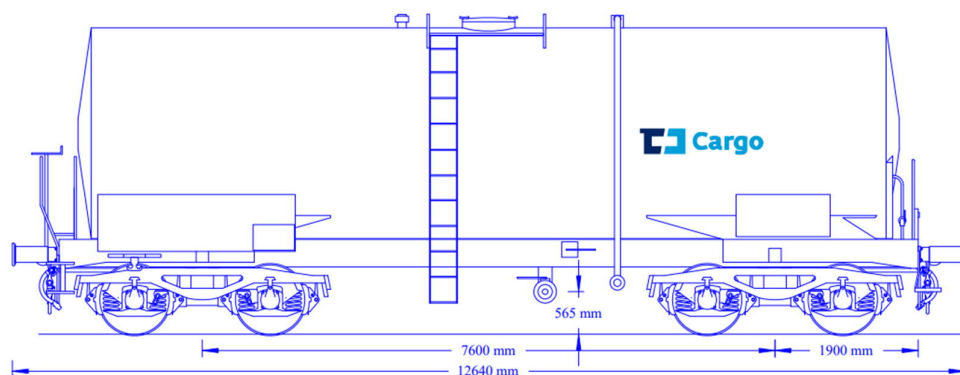
cisterny v softwaru TerEx a ALOHA s ohledem na míru koncentrace chloru ve třech vybraných vzdálenostech od místa simulované nehody. Koncentrace ve vybraných místech bude pro větší přehlednost znázorněna pomocí spojnicového grafu. Na základě dostupných výsledků budou doporučena vhodná opatření z hlediska ochrany obyvatelstva a postupy pro varování a případnou evakuaci obyvatelstva, opatření individuální ochrany a pro provedení záchranných prací složkami IZS a budou potvrzeny či vyvráceny hypotézy stanovené v kapitole „Cíle práce a hypotézy“. Dále budou výsledky simulace varianty nehody s jednorázovým únikem chloru porovnány s reálnou nehodou v Graniteville (Jižní Karolína, USA) a s výsledky modelace této nehody zpracované Ing. Martinem Staňkem, PhD. v jeho dizertační práci [37].

Pro simulaci nehody s únikem chloru byly uvažovány tři typy událostí, respektive způsobů úniku chloru z železniční cisterny. V první modelované situaci přijíždějící cisterna nedobrzdí včas a narazí do stojící vlakové soupravy na stejné koleji. Cisterna se v důsledku nárazu převrátí na bok a dojde ke vzniku trhliny o rozměrech 30 x 5 cm v plášti cisterny; ze vzniklého otvoru postupně uniká toxická chemická látka do okolního prostředí. V druhé variantě dojde k úniku chlóru z jednoho z přepouštěcích ventilů, který byl v důsledku lidské chyby nedostatečně utažen. Nakonec třetí scénář pracuje s hypotetickou nehodou, kdy se v důsledku nárazu do stojící soupravy tato cisterna převrátí na bok a dojde k jejímu zásadnímu poškození, kdy jednorázově unikne celý obsah zásobníku cisterny. Tyto tři typy nehody s únikem chemické látky budou modelované nejprve za inverzního chladného a deštivého podzimního počasí a podruhé za počasí slunečného bez pokrytí oblohy mraky a za jarních teplot.

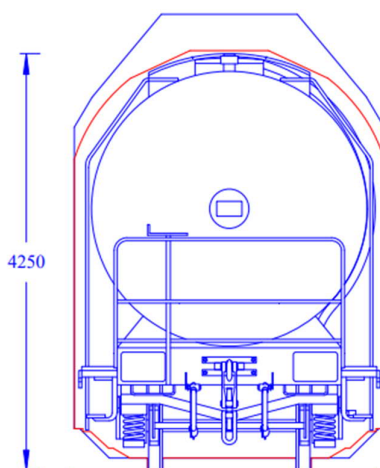
Všechny tři varianty nehody s únikem chloru byly modelovány se stejnými hodnotami pro zeměpisnou polohu, vstupní hodnoty pro meteorologické podmínky byly proměnné. Modelace tří scénářů nehody byly vždy provedeny pro podzimní den za inverzního chladného počasí: 4 °C, zataženo s deštěm, inverze ve výšce 5 m nad povrchem země, směr větru jihovýchodní (dále jen JV) o rychlosti 5 m/s a pro jarní den za počasí slunečného s vyšší teplotou vzduchu: 18 °C, slunečno, směr větru JV o rychlosti 5 m/s. Pro lepší grafické zobrazení byly výsledné zóny ohrožení zaneseny do mapových podkladů kompatibilních s daným modelovacím softwarem. Vzhledem k celkovému množství provedených modelací jsou jednotlivé scénáře v této kapitole popsány textově. Obrázky textových polí, zobrazení kruhových a půlkruhových výsečí a grafů a jsou

součástí přílohouvé části této práce. V jednotlivých podkapitolách přikládám pro lepší vizualizaci pouze zobrazení dosahu zón ohrožení na mapovém podkladě.

Vstupní údaje týkající se rozměrů cisterny a jejího obsahu a další technické parametry pro modelace byly převzaty ze stránek ČD Cargo, kde jsou uvedené celkové rozměry cisterny na převoz chemických látek. Na můj dotaz, jaký typ cisterny je nejvíce využíván k transportu chemických látek, konkrétně chloru, jsem bohužel ze strany ČD Cargo nedostala nikdy odpověď a nepodařilo se mi vyhledat další relevantní zdroje. Čerpala jsem tedy z technických údajů dostupných přímo na webu, kde je uvedeno několik typů cisteren na převoz chemie. Pro potřeby modelací bylo potřeba znát rozměry zásobníku; ty jsem vyčetla z nákresu cisterny ZAES 30, viz obrázek 10 a 11.



Obrázek 10 – Rozměry cisterny ZAES 30 na přepravu chemických látek [39]



Obrázek 11 – Rozměry cisterny ZAES 30 na přepravu chemických látek [39]



Meteorologické údaje pro inverzní a chladné počasí pak byly čerpány z portálu In-Počasí, kde jsou dostupná historická meteorologická data pro konkrétní místo, datum a čas [40]. Údaje o počasí pro modelace za slunečného teplého dne jsou částečně hypotetické. Teplota vzduchu byla též čerpána z dostupných historických dat na portále pro červenový den, údaje o směru větru a jeho rychlosti byly zvolené jiné než reálné. Cíleně byl pro výpočty zadán stejný směr větru jako pro modelace za inverzního počasí, aby bylo možné porovnat rozdílnost modelací za různých vstupních podmínek a dosahu šíření chloru stejným směrem, a tedy porovnat výstupy modelací a jejich odlišnosti.

## 5.2 Způsob interpretace výsledků modelací a expoziční limity chloru

Expoziční limity v zóně havarijního plánování a zóně možného ohrožení při chemické havárii jsou nejčastěji vyjádřeny hodnotami AEGL, IDLH a ERPG. Tyto hodnoty jsou též hlavním výstupem modelací havárií s únikem toxických látek, ke kterým jsou využívány softwarové programy. Pro vyjádření míry nebezpečí koncentrace plynných látek v ovzduší pro člověka se využívají stanovené limity koncentrace, které jsou rozdílné pro každou chemickou látku. Jako příklad lze uvést následující koncentrace:

**AEGL (Acute Exposure Guideline Levels)** odpovídá úrovni akutní expozice osob nebezpečnou látkou trvající 10 minut, 30 minut, 1 hodinu, 4 hodiny a 8 hodin. AEGL vyjadřuje míru nebezpečí ve třech stupních dle různého stupně závažnosti toxických účinků na zdraví, od prvotní intoxikace až po takovou koncentraci látky v ovzduší, která vede k úmrtí zasažených osob [41].

### AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels)

#### Final AEGLs for Chlorine (7782-50-5)

Exposure Period	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
10 minutes	0.5 ppm	2.8 ppm	50 ppm
30 minutes	0.5 ppm	2.8 ppm	28 ppm
60 minutes	0.5 ppm	2 ppm	20 ppm
4 hours	0.5 ppm	1 ppm	10 ppm
8 hours	0.5 ppm	0.71 ppm	7.1 ppm

(NAC/NRC, 2022)

Obrázek 12 – Přípustné koncentrace chloru [41]


**IDLH** (Immediately **D**angerous to **L**ife and **H**ealth) je koncentrace látky bezprostředně ohrožující život a zdraví osob při expozici delší než 30 minut; jedná se tedy o maximální koncentraci látky, při které může zasažená osoba uniknout do 30 minut od expozice chemické látky bez jakýchkoli příznaků.

**ERPG** (Emergency **R**esponse **P**lanning **G**uidelines) vyjadřuje hodnotu koncentrace nebezpečných látek v ovzduší přetrvávající po dobu jedné hodiny, kdy předpokládáme dopad nepříznivých účinků látky na osoby exponované dané látce. Tyto účinky jsou na základě míry vlivu na zasažené osoby rozděleny do tří stupňů:

- 1 – nad touto hranicí látka může způsobit vznik přechodných zdravotních účinků, které po ukončení expozice odezní bez zdravotních následků. Havarijní hodnota ERPG 1 pro chlor je 1 ppm;
- 2 – nad touto hranicí vzniknou působením látky nevratné, dlouho trvající/vážné následky na zdraví a dojde ke zhoršení schopnosti úniku z exponované oblasti. Havarijní hodnota ERPG 2 pro chlor je 3 ppm;
- 3 – nad touto hranicí látka způsobí poškození přímo ohrožující život. Havarijní hodnota ERPG 3 pro chlor je 20 ppm [42].

#### **ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines)**

<b>Chemical</b>	<b>ERPG-1</b>	<b>ERPG-2</b>	<b>ERPG-3</b>
Chlorine (7782-50-5)	1 ppm 	3 ppm	20 ppm

 indicates that odor should be detectable near ERPG-1.  
(AIHA, 2020)

*Obrázek 13 – ERPG havarijní koncentrace chloru [42]*

V České republice se dle platných norem a Řádu chemické služby Hasičského záchranného sboru České republiky využívají k vyjádření míry nebezpečnosti další čtyři koncentrace, které se ale vztahují se k pracovním limitům, nikoli k akutnímu zasažení v důsledku havárií. Jedná se o nejvyšší přístupnou koncentraci chemických látek v pracovním prostředí (NPK-P), přístupný expoziční limit v rámci osmihodinové pracovní doby, tedy takovou koncentraci látek, při které i v případě opakované expozice nedojde k poškození zdraví (PEL), dále se jedná o havarijní přístupnou koncentraci (HPK-10 nebo 60), která určuje expoziční limit pro záchranáře při zásahu bez použití individuálních ochranných prostředků trvající 10 nebo 60 minut, a nakonec havarijní

akční úroveň (HAU-20 nebo 120), která určuje limitní koncentraci nebezpečných chemických látek v prostředí, při jejímž překročení je nezbytné zajistit evakuaci obyvatel z kontaminovaného prostoru do 20 nebo 120 minut od zahájení inhalace dané látky [43].

Pro chlor jsou tyto limity stanovené následovně: přípustný expoziční limit **PEL: 1,5 mg/m<sup>3</sup> (0,5 ppm)**, nejvyšší přípustná koncentrace **NPK-P: 3 mg/m<sup>3</sup> (1 ppm)** [44].

### 5.3 Charakteristika železniční cisterny na převoz chloru

Železniční cisternový vůz – v terminologii RID kotlový vůz – je odborný název pro cisternové vozy určené pro přepravu nebezpečných látek po železnici. Obsah kotlových vozů se pohybuje mezi 23 m<sup>3</sup> a 63 m<sup>3</sup>. Cisterny mají tvar válce, jsou podlouhlé, celková délka je 12,64 m a výška 4,25 m. Obsah hlavního kotle se pohybuje průměrně kolem 40 m<sup>3</sup> a z bezpečnostních důvodů stanovených s ohledem na vlastnosti chloru smí být při jeho přepravě naplněn pouze do maxima 80 % celkového obsahu [1, 39].

Požadavky na bezpečnou konstrukci cisternových vozů jsou upraveny nařízením RID a COTIF, jak je uvedeno v teoretické části práce. Cisterny pro přepravu chemických látek mají zdvojený plášť kvůli možnému nebezpečí, které tyto látky představují nejen v případě nehody, ale také při manipulaci s nimi (nakládka, vykládka, přepouštění). Nádrž cisterny musí být odolná vůči deformaci mechanickými či jinými vlivy a svary v plášti musí být rovněž pevné a odolné. Materiály použité ke konstrukci cisteren musí být odolné vůči křehkému lomu a proti trhlínové korozi při napětí v rozmezí teplot – 20 °C až + 50 °C, pokud není předepsán jiný rozsah teplot. Materiál zásobníku, případně jeho vnitřní výstelkové ochranné vrstvy nesmí reagovat s přepravovanou látkou a způsobit tak ztenčení ochranné vrstvy či její jiné poškození [45].



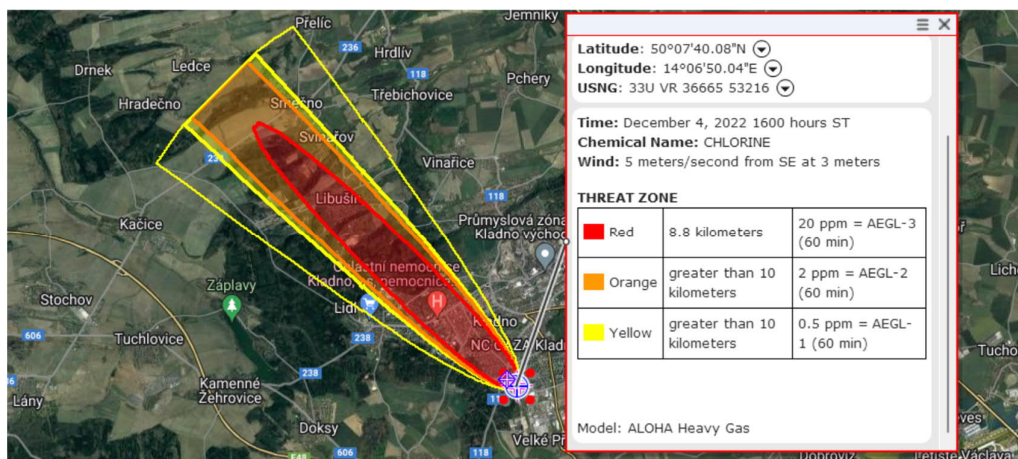
Obrázek 14 – Železniční cisterna ZAES 30 [39]

## 5.4 Modelace ALOHA

V programu ALOHA bylo provedeno šest typů modelací. Celkově byly modelované tři scénáře úniku a každý z nich za různých meteorologických podmínek, vždy inverzního chladného podzimního dne a slunečného teplého počasí. Zadání vstupních údajů pro jednotlivé modelace je popsáno níže.

### **1a: ALOHA – modelace úniku chloru z trhliny v plášti zásobníku za inverzního počasí**

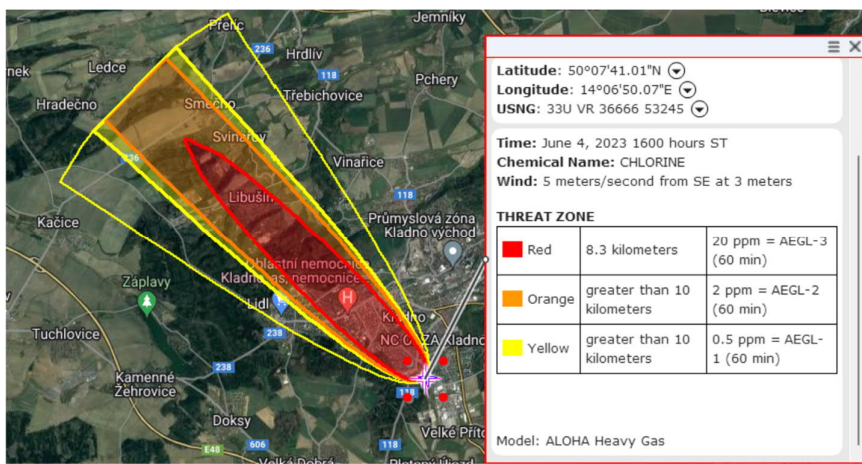
Pro modelování v programu ALOHA byly jako první hodnoty zadány přesné zeměpisné souřadnice vlakového nádraží v Kladně, tedy souřadnice 50°7' severní šířky a 14°6' východní délky a nadmořská výška 412 metrů nad mořem [38]. Dalším krokem modelace bylo zadání státu Česká republika, časového pásma a přesný den, rok a čas, kdy k úniku došlo (pro modelace byl vybrán den 4. 12. 2022). Jako další bylo třeba určit identifikaci a parametry chemické látky – byl vybrán chlor, kterému ALOHA automaticky přiřadila dané fyzikálně-chemické vlastnosti. V prvním scénáři nehody byly dále definovány vstupní hodnoty dle zvolených meteorologických podmínek a typu úniku. V modelaci 1a byla pro únik látky vymezena trhlina v cisterně o rozměrech 30 x 5 cm, rozměry cisterny a její naplnění do povoleného maxima 80 % převáženou látkou – chlorem, meteorologické podmínky 4 °C, rychlost větru 5 m/s, inverze a vlhké deštivé počasí. Meteorologické údaje pro modelace za inverzního podzimního počasí byly zjištěny na portále In-Počasí pro zjišťování historických meteorologických údajů [40]. Třída stability D, která reflektuje nejčastější podmínky stejného typu modelace, musela být změněna na třídu E či F, tedy třídu relativně stabilní atmosféry nejčastěji používané pro noční a večerní čas, kdy nedochází k turbulencím a změnám proudění vzduchu [36, 37]. Dle textového pole programu ALOHA by se za těchto podmínek úniku chloru z malé trhliny jednalo o postupný únik chloru ve formě směsi plynu a aerosolu. Během tří minut by uniklo z cisterny 46 920 kg chloru. Zóna AEGL-3 by sahala do vzdálenosti 8,8 km, zóny AEGL-2 a AEGL-1 by přesáhly 10 km, což je maximální možná vzdálenost pro výpočet zón ohrožení v programu ALOHA. Zobrazení zóny za hranici 10 km ALOHA neumožňuje [46].



Obrázek 15 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 1a [ALOHA]

### 1b: ALOHA – modelace úniku chloru z trhliny v plášti zásobníku za slunečného počasí

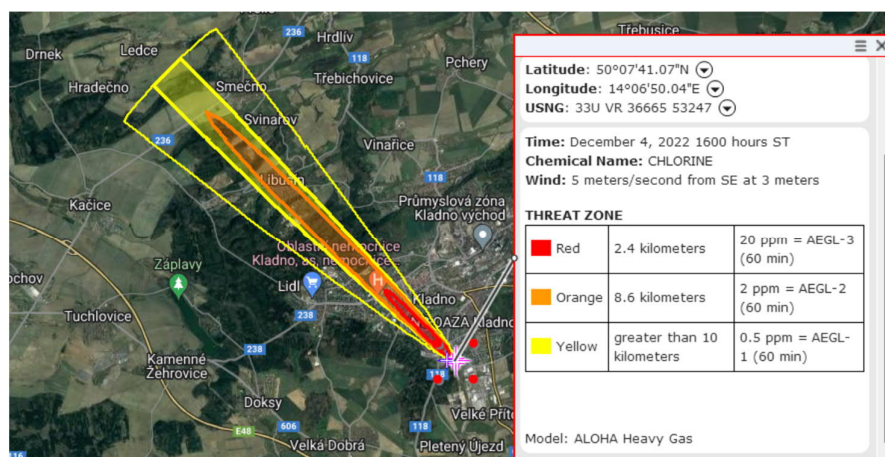
Další modelace byla provedena s obdobnými vstupními hodnotami jako modelace 1a, jen s rozdílnými meteorologickými podmínkami: uvažovaným dnem pro modelaci byl 4. červen 2023 s hypotetickými teplotami 18 °C, jasným počasím a bez srážek, se stejným směrem proudění větru a jeho rychlosti. Údaje byly zvolené tak, aby se lišily v možných proměnných od modelace za počasí inverzního a chladného, avšak směr větru a jeho síla zůstaly stejné. Třída stability byla tentokrát ponechána v kategorii D. Údaje pro velikost a typ únikového otvoru, rozměry cisterny a jejího naplnění byly stanoveny jako u předchozí modelace 1a. Za těchto podmínek by dle textového pole softwaru ALOHA během tří minut uniklo z cisterny 45 666 kg chloru a zóna AEGL-3 by sahala do vzdálenosti 8,3 km, zóny AEGL-2 a AEGL-1 opět přesáhly hranici výpočtu 10 km.



Obrázek 16 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 1b [ALOHA]

## 2a: ALOHA - modelace úniku chloru z ventilu cisterny za inverzního počasí

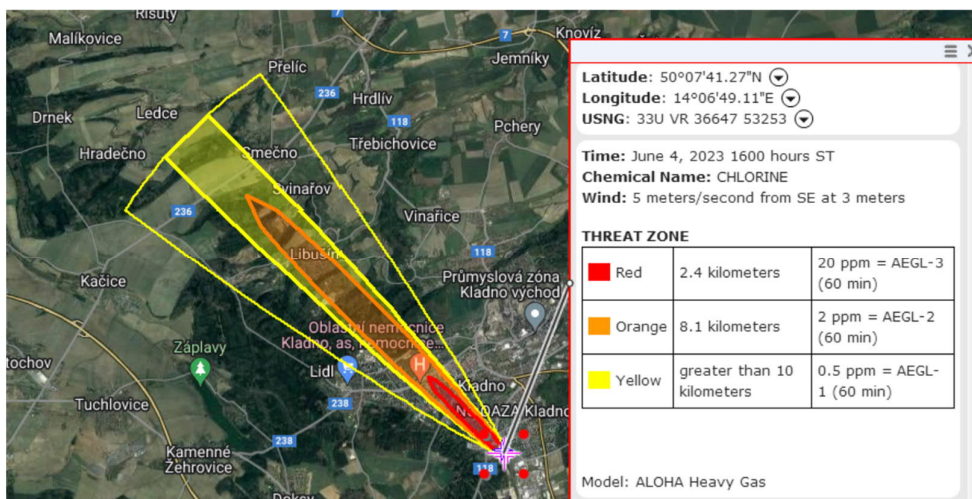
Druhý scénář nehody s únikem chloru z ventilu cisterny byl opět modelován nejprve za inverzního počasí. Pro modelaci postupného úniku v případě poškození či uvolnění ventilu cisterny byl v tomto případě zadán jiný typ otvoru s jinými rozměry pro únik chloru, rozměry cisterny byly zachovány. Průměr kruhového otvoru (ventilu) byl zadán dle údajů dostupných na ČD Cargo 4 cm, meteorologické podmínky byly naprosto shodné s modelací 1a (inverzní počasí, chladný podzimní den, stejný směr proudění větru a jeho síla). Chlor by při takové nehodě unikl více než hodinu (1 hodina je maximální doba úniku, se kterou je program ALOHA připraven počítat, delší dobu nezohledňuje). Celkové množství chloru uniklého během hodiny z ventilu cisterny by v tomto scénáři bylo 29 948 kg, zóna AEGL-3 by sahala do vzdálenosti 2,4 km, zóna AEGL-2 do vzdálenosti 8,6 km od místa úniku a zóna AEGL-1 by přesáhla hranici možností výpočtu programu ALOHA, tedy 10 km.



Obrázek 17 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 2 a [ALOHA]

## 2 b: ALOHA – modelace úniku chloru z ventilu cisterny za jasného počasí

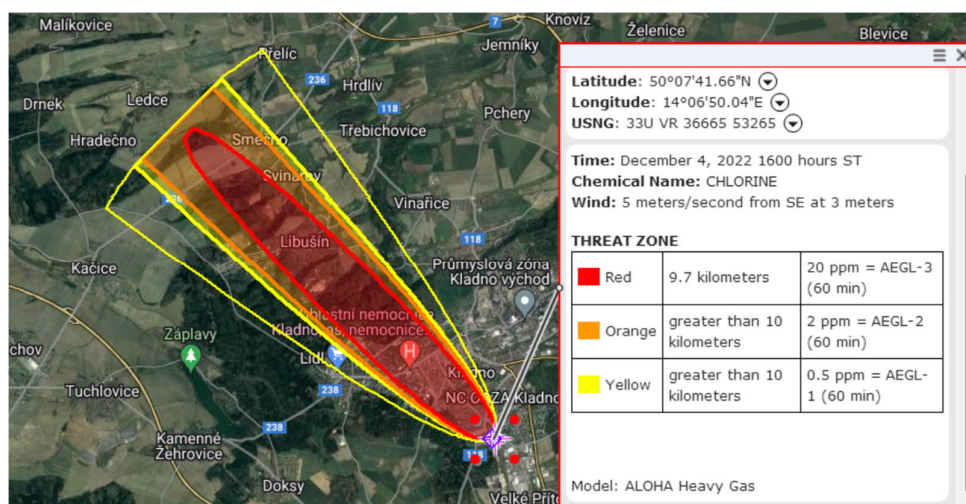
V odlišných meteorologických podmínkách, za slunečného počasí, by rovněž únik chloru z prepouštěcího ventilu cisterny trval více než hodinu, stejně jako v předchozí modelaci. Vstupní hodnoty pro typ otvoru a jeho rozměry byly zadané shodně s modelací 2 a, tedy kruhový otvor o průměru 4 cm. Celkové množství chloru uniklého během hodiny z ventilu cisterny by bylo 40 155 kg, zóna AEGL-3 by opět sahala do vzdálenosti 2,4 km shodně jako v případě modelace za inverze, zóna AEGL-2 do vzdálenosti 8,1 km od místa úniku a zóna AEGL-1 opět přesáhla hranici možností výpočtu v programu ALOHA, tedy 10 km.



Obrázek 18 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 2b [ALOHA]

### 3a: ALOHA – jednorázový únik chloru z cisterny za inverzního počasí

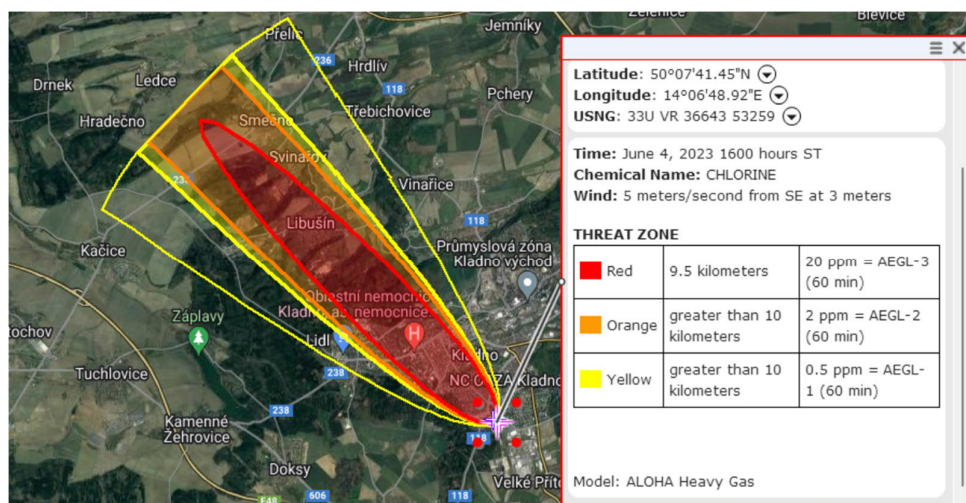
Posledním modelovaným scénářem nehody byl jednorázový únik chloru z cisterny poté, co se po nárazu do stojícího vagonu v nádraží převrátí na bok, poruší se svary a cisterna se roztrhne se v celé své délce. Meteorologické podmínky byly opět zadané shodně jako v předchozích modelacích označených písmenem *a* a modelován byl přímý únik ze zásobníku cisterny s obsahem 32 m<sup>3</sup>, což je maximální možný obsah cisterny vzhledem možnému naplnění do 80 % obsahu kotlového vozu. Za inverzního počasí by únik celého obsahu cisterny trval pouze jednu minutu, celkem by dle softwaru ALOHA uniklo 46 581 kg chloru. Zóna AEGL-3 by dosáhla vzdálenosti 9,7 km, zóny AEGL-2 a AEGL-1 by obě přesáhly hranici 10 km.



Obrázek 19 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 3a [ALOHA]

### 3b: ALOHA – jednorázový únik chloru z cisterny za jasného počasí

Obdobné výsledky byly získané také modelací jednorázového úniku za slunečného počasí. Také v případě nehody za jasného jarního dne by únik celého obsahu cisterny trval pouze jednu minutu a uniklé množství chloru by dle výpočtu bylo 45 279 kg. Zóna AEGL-3 by dosáhla vzdálenosti 9,5 km, zóny AEGL-2 a AEGL-1 by přesáhly vzdálenost 10 km od místa úniku.



Obrázek 20 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 3b [ALOHA]

Pro větší přehlednost jsou výsledky modelací v programu ALOHA uvedeny v souhrnné tabulce níže – pro jednotlivé scénáře jsou zobrazeny zóny ohrožení AEGL-1 až AEGL-3 a doba trvání úniku daného objemu chloru.



Tabulka 1 – Přehled modelací ALOHA, zón ohrožení a délky trvání úniku chloru

Modelace	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3	Doba trvání úniku
<b>ALOHA 1a</b> (únik z trhliny v zásobníku za inverzního počasí)	> 10 km	> 10 km	8,8 km	3 min
<b>ALOHA 1b</b> (únik z trhliny v zásobníku za slunečného počasí)	> 10 km	> 10 km	8,3 km	3 min
<b>ALOHA 2a</b> (únik z ventilu cisterny za inverzního počasí)	> 10 km	8,6 km	2,4 km	1 hod
<b>ALOHA 2b</b> (únik z ventilu cisterny za slunečného počasí)	> 10 km	8,1 km	2,4 km	1 hod
<b>ALOHA 3a</b> (únik z pláště cisterny za inverzního počasí)	> 10 km	> 10 km	9,7 km	1 min
<b>ALOHA 3b</b> (únik z pláště cisterny za slunečného počasí)	> 10 km	> 10 km	9,5 km	1 min

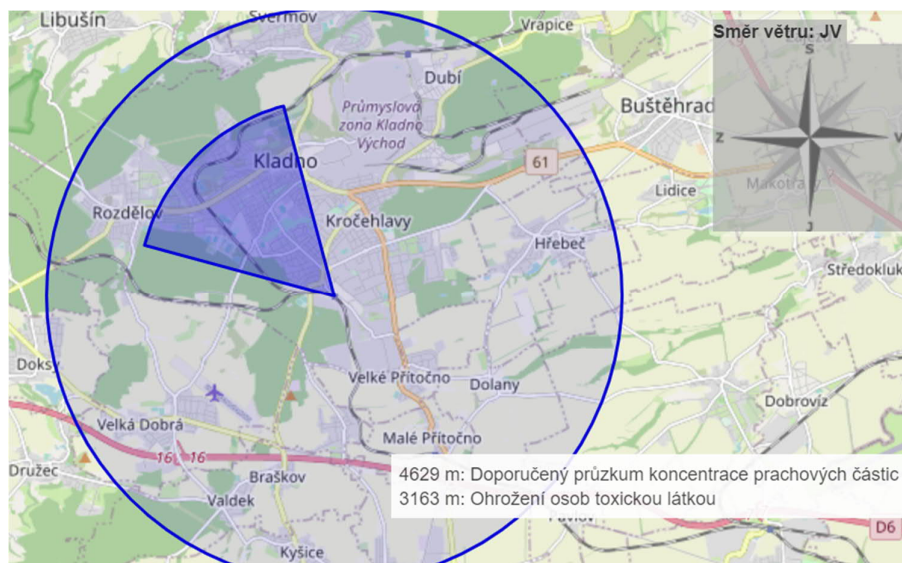
## 5.5 Modelace TerEx – DEGAS

Obdobně jako v programu ALOHA i v programu TerEx, modulu DEGAS, bylo provedeno šest typů modelací pro stejné typy nehod s únikem chloru na vlakovém nádraží, každý z typů nehod za různých meteorologických podmínek jako v případě modelací v programu ALOHA. Zadané parametry byly, pokud možno, shodné s parametry pro modelace v programu ALOHA, avšak program TerEx neumožňuje zadání tak detailních vstupních hodnot, zejména co se týče meteorologických podmínek. Textové pole modelace v programu TerEx není zdaleka tak obsáhlé jako textové pole modelací ALOHA. Jednotlivé modelace včetně zadání vstupních proměnných jsou popsány v následujících podkapitolách.

### 4a: TerEx - modelace úniku chloru z trhliny v plášti zásobníku za inverzního počasí

Pro modelování v programu TerEx byl nejprve vybrán havarijní model DEGAS pro šíření těžkých plynů, chemická látka chlor, typ úniku – horizontální tryskový únik

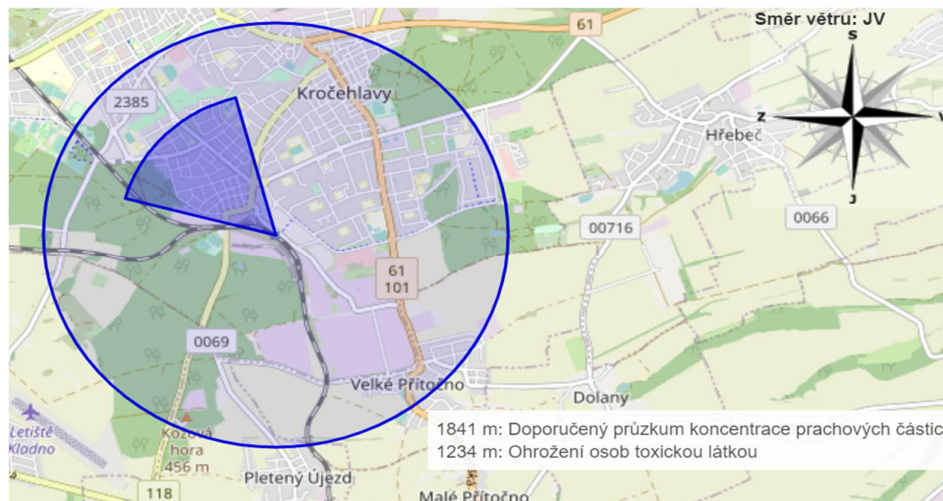
typu JET, doba trvání úniku byl čerpána z modelace v programu ALOHA, meteorologické podmínky byly opět zadané obdobně jako v odpovídajícím typu měření v programu ALOHA. Pro první scénář nehody byl zvolen únik z obdélníkového otvoru o obsahu  $0,015 \text{ m}^2$ , což odpovídá rozměrům trhliny o velikost  $30 \times 5 \text{ cm}$ , a meteorologické podmínky podzimního dne a inverzního počasí, hodnoty všech meteorologických ukazatelů byly zadané stejné jako pro modelaci 1a. Pro tento scénář byla zjištěna zóna ohrožení dosahující do vzdálenosti  $3\,163 \text{ m}$  při koncentraci  $29 \text{ mg/m}^3$  a doporučený průzkum koncentrace prachových částic do vzdálenosti  $4\,629 \text{ m}$  při koncentraci chloru  $14,5 \text{ mg/m}^3$ .



Obrázek 21 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 4a [TerEx - t.soft]

#### 4b: TerEx – modelace úniku chloru z trhliny v plášti zásobníku za slunečního počasí

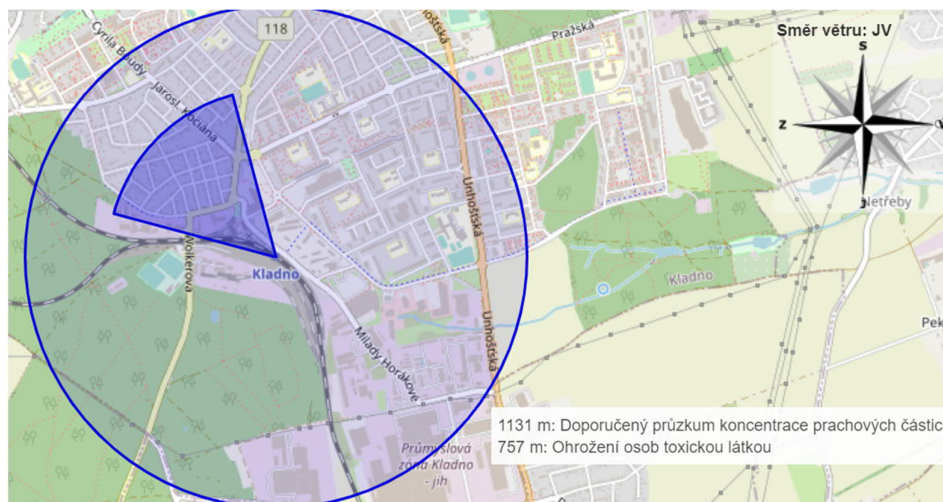
Modelace úniku chloru z trhliny v plášti byla následně provedena s proměnnými slunečné počasí jarního dne, ostatní vstupní hodnoty týkající se typu úniku, výběru látky a velikosti únikového otvoru byly zadané shodně s modelací 4a. V případě takovéto nehody za jarního jasného dne by zóna ohrožení dle TerEx programu dosáhla do vzdálenosti  $1\,234 \text{ m}$  při koncentraci  $29 \text{ mg/m}^3$  a doporučený průzkum koncentrace prachových částic byl programem stanoven na  $1\,841 \text{ m}$  při koncentraci chloru  $14,5 \text{ mg/m}^3$ .



Obrázek 22 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 4b [TerEx - t.soft]

### 5a: TerEx – modelace úniku chloru z ventilu cisterny za inverzního počasí

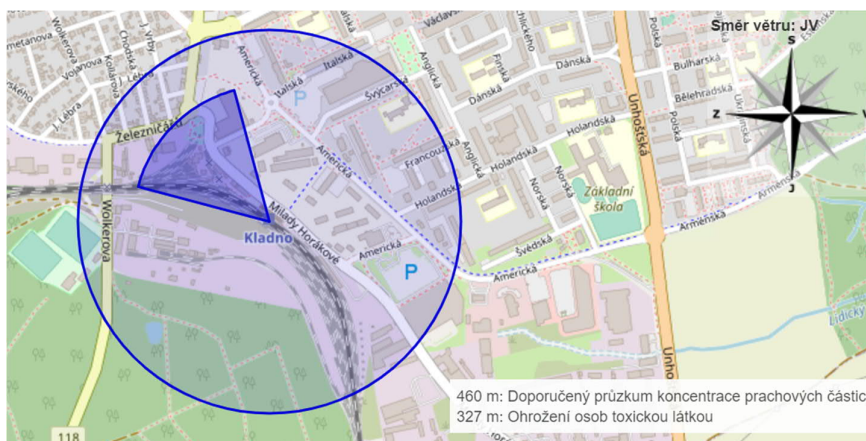
Pro modelaci postupného úniku chloru při druhém typu nehody byl zadán obsah kruhového otvoru (ventilu) o průměru 4 cm, meteorologické podmínky opět shodně s modelací tohoto typu úniku za inverzního počasí v programu ALOHA. V případě úniku chloru z ventilu cisterny by zóna ohrožení stanovená programem TerEx sahala k 757 m od místa úniku, průzkum prachových částic by pak měl být proveden až do vzdálenosti 1 132 m.



Obrázek 23 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 5a [TerEx - t.soft]

### 5b: TerEx – modelace úniku chloru z ventilu cisterny za jasného počasí

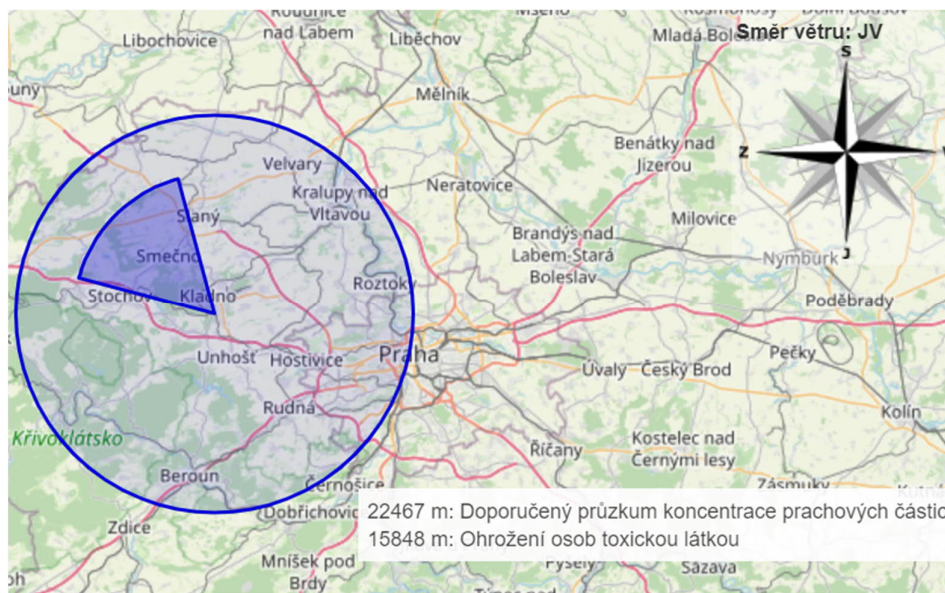
Při odlišných meteorologických podmínkách pro tento typ úniku a únikového otvoru by byla zóna ohrožení více než poloviční v porovnání s inverzním chladným počasím – program TerEx stanovil zónu ohrožení do vzdálenosti 327 m od místa úniku, průzkum koncentrace prachových částic byl pak doporučen do 460 m.



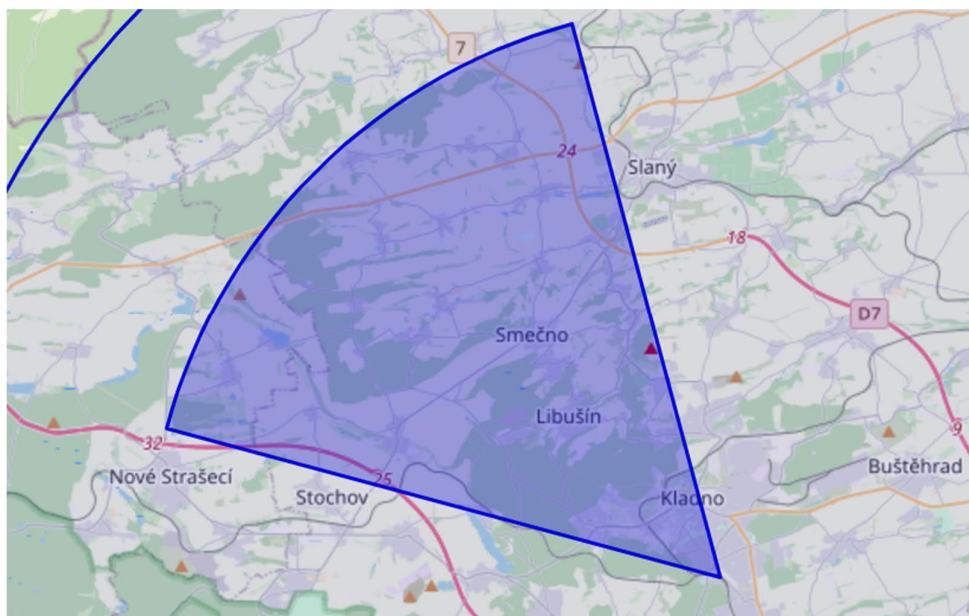
Obrázek 24 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 5b [TerEx - t.soft]

### 6a: TerEx – jednorázový únik chloru z cisterny za inverzního počasí

Posledním typem nehody, která byla modelována také v programu TerEx, byla nehoda cisterny s jednorázovým únikem celého obsahu chemické látky. Typ únik byl tentokrát změněn na jednorázový únik, uniklé množství chloru a rozměry zásobníku byly zadané dle údajů z modelace ALOHA (obsah 46 000 kg a rozměry z nákresů ČD CARGO), přetlak chloru v zásobníku byl stanoven na 280kPa [15]. Za podmínek podzimního chladného a inverzního počasí by zóna ohrožení sahala až do vzdálenosti 15 848 m. Zóna doporučeného průzkumu byla zobrazena až do vzdálenosti 22 467 m.



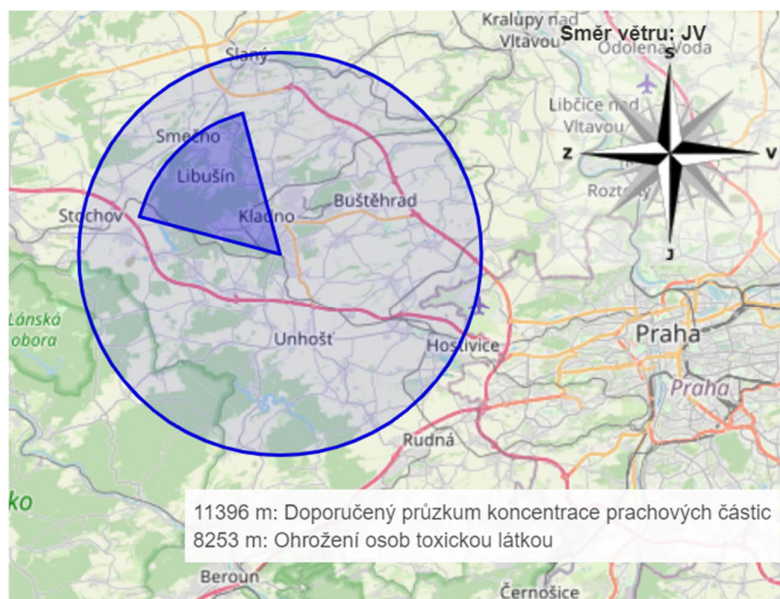
Obrázek 25 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6a [TerEx - t.soft]



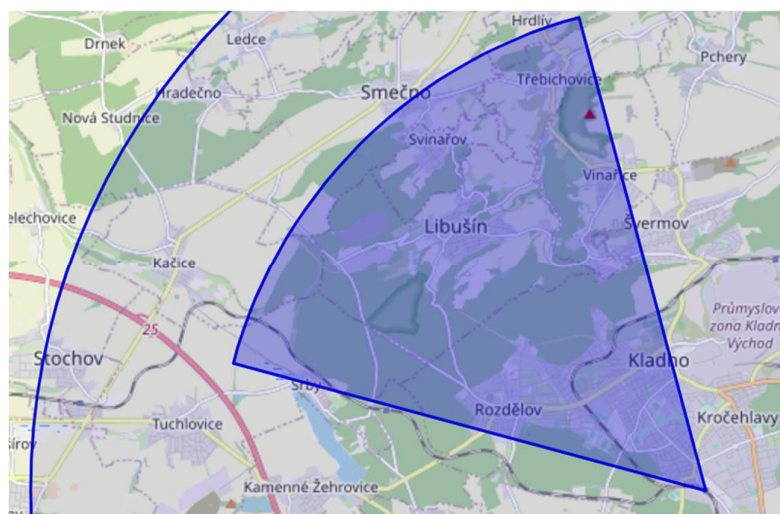
Obrázek 26 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6a – detail výšeče [TerEx - t.soft]

### 6b: TerEx – jednorázový únik chloru z cisterny za jasného počasí

Stejný typ nehody a úniku celého obsahu cisterny byl modelován za slunečního počasí s následujícími výsledky: zóna ohrožení do 8 252 m od místa úniku chloru, průzkum koncentrace prachových částic do 11 396 m. Výsledky všech modelací v programu TerEx – modul DEGAS – jsou opět shrnuty pro větší přehlednost v tabulkové formě.



Obrázek 27 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6b [TerEx - t.soft]



Obrázek 28 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6b – detail výseče [TerEx - t.soft]

Tabulka 2 – Přehled výsledků modelací v programu TerEx – DEGAS včetně dané koncentrace v zóně ohrožení a v zóně doporučeného průzkumu prachových částic

Modelace	Zóna ohrožení osob toxickou látkou	Koncentrace v zóně ohrožení toxickou látkou	Doporučený průzkum koncentrace prachových částic	Koncentrace v zóně doporučeného průzkumu koncentrace prachových částic
TerEx – DEGAS 4a (únik z trhliny v zásobníku za inverzního počasí)	3 163 m	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	4 629 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm
TerEx – DEGAS 4b (únik z trhliny v zásobníku za slunečného počasí)	1 234 m	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	1 841 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm
TerEx – DEGAS 5a (únik z ventilu cisterny za inverzního počasí)	757 m	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	1 132 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm
TerEx – DEGAS 5b (únik z ventilu cisterny za slunečného počasí)	327 m	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	460 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm
TerEx – DEGAS 6a (únik z pláště cisterny za inverzního počasí)	15 848 m	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	22 467 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm
TerEx – DEGAS 6b (únik z pláště cisterny za slunečného počasí)	8 252	29 mg/m <sup>3</sup> = 10 ppm	11 396 m	14,5 mg/m <sup>3</sup> = 5 ppm

## 5.6 Porovnání koncentrace chemické látky ve vybraných bodech dle programů ALOHA a TerEx

Z porovnání výsledků modelací jednotlivých typů úniku chloru za různých podmínek je zřejmé, že maximální ohrožení jednak z hlediska velmi krátké doby trvání úniku (modelace ALOHA 3a), ale také z hlediska vzdálenosti, ve které se stále bude vyskytovat koncentrovaný chlor (modelace ALOHA 3a a TerEx 6a), představuje typ nehody s únikem chloru z cisterny při jejím protržení a jednorázovém úniku chloru do okolního prostředí za inverzního počasí a meteorologických podmínek podzimního deštivého dne. Obecně lze dále z výsledků usuzovat, že inverzní počasí je příznivější pro šíření chemické látky

v okolní atmosféře – tedy nedochází k tak rychlému promíchávání látky s okolním vzduchem jako při počasí jasném, bez pokrytí oblohy mraky a bez inverze, kdy promíchávání napomáhá turbulentní proudění vzduchu [47].

Zóny ohrožení stanovené oběma programy, tedy v případě ALOHA více než 10 km pro zóny AEGL-2 a AEGL-1 a téměř 10 km pro zónu AEGL-3, v případě programu TerEx byla zóna ohrožení a evakuace osob stanovena dokonce na 22 km (ohrožení osob do vzdálenosti téměř 16 km), jsou natolik rozsáhlé, že porovnávat koncentrace ve vybraných místech by nemělo přílišnou vypovídající hodnotu. Je zjevné, že tento katastrofický scénář by nastal ve velmi výjimečných případech (k protržení cisterny by pravděpodobně nárazem do stojícího vlaku nedošlo, muselo by se jednat o srážku dvou proti sobě jedoucích vlaků a jejich střet ve vysoké rychlosti). Pokud by nastal, následky by byly opravdu fatální. Proto pro další porovnání výsledků využijí modelací kontinuálního úniku z ventilu a protrženého pláště cisterny, při které již lze pracovat z realističtějšími hodnotami koncentrace chloru, a uvažovat tak nad provedením odpovídajících opatření ochrany obyvatelstva.

Pro vyjádření míry ohrožení a zobrazení hodnot v reálných vzdálenostech byla zvolena tři místa s vysokou koncentrací osob: pobočka obchodního řetězce Lidl ve vzdálenosti 220 m od vlakového nádraží, pobočka obchodního řetězce Kaufland vzdálená 410 m a Oblastní nemocnice Kladno, a. s. 2 400 m daleko od místa simulované nehody. Po tato místa byla porovnána koncentrace chloru v případě modelací právě za inverzního počasí.



Obrázek 29 – Zobrazení vzdáleností Lidl, Kaufland, nemocnice Kladno  
[zdroj: vlastní, 38]



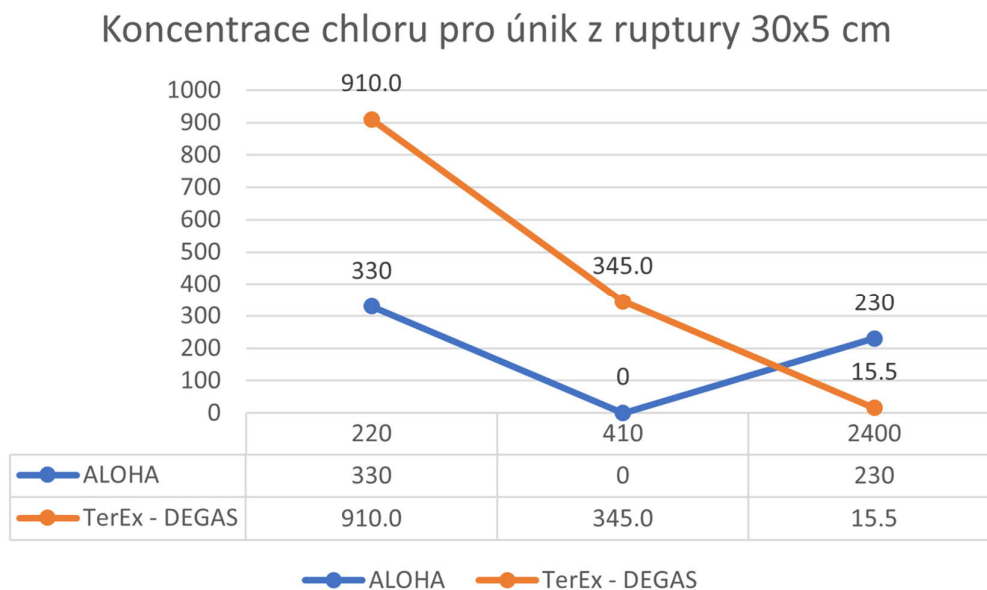
K získání údajů o míře koncentrace chloru v ovzduší bylo v programu ALOHA využito možnosti zobrazení *thread at point* – tedy míry ohrožení v daném místě, včetně vývoje koncentrace látky v čase a prostoru. Koncentrace chloru ve stanovených vzdálenostech od místa úniku byla odečtena z grafu, který byl v programu ALOHA zobrazen po upřesnění vzdálenosti a polohy těchto bodů vůči místu simulované nehody. Pro údaje ze softwaru TerEx bylo využito možnosti zobrazit požadovaný bod v určité vzdálenosti od zdroje přímo na výsledném grafu, který po provedení modelace TerEx nabídl spolu se zobrazením kruhové výseče a mapového zobrazení zón ohrožení. Tento graf znázorňuje vývoj koncentrace chloru v závislosti na typu úniku se zvyšující se vzdáleností od zdroje.

Pro srovnání výsledků modelací ALOHA a TerEx byly údaje odečtené způsobem popsaným výše zanesené do souhrnného grafu a pro větší názornost byly vytvořeny dvě křivky. Na ose x byly identifikovány body ve vzdálenostech 410, 220 a 2 400 m od místa úniku (od výchozího bodu 0 na osách x a y). Na osu y byly vyneseny hodnoty koncentrace chloru v jednotkách ppm. Program ALOHA pracuje s jednotkami koncentrace látky v ppm (parts per million), tedy jedné miliontině celku. Program TerEx udává hodnoty v jednotkách  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Pro porovnání s výsledky odečtenými popsaným způsobem v programu ALOHA bylo nutné hodnoty přepočítat pomocí konvertoru dostupného v databázi MEDIS-ALARM, který pracuje s koeficientem 0,345 při přepočtu hodnot z  $\text{mg}/\text{m}^3$  na ppm [29]. Pro výsledné grafické vyjádření a porovnání výsledných koncentrací v uvedených vzdálenostech od místa úniku bylo využito grafů dostupných v modelacích v programu TerEx a hodnoty měření v programu ALOHA byly manuálně přidány a převedené do grafické podoby pro přímé srovnání. Hodnoty koncentrace chloru byly v grafu vyjádřeny v jednotkách ppm. Souhrnné výsledky jsou rovněž uvedené v tabulce č. 3. pro *outdoor concentration* (venkovní koncentraci) v místě měření.

Tabulka 3 – Přehled naměřených koncentrací ve vybraných vzdálenostech od místa úniku

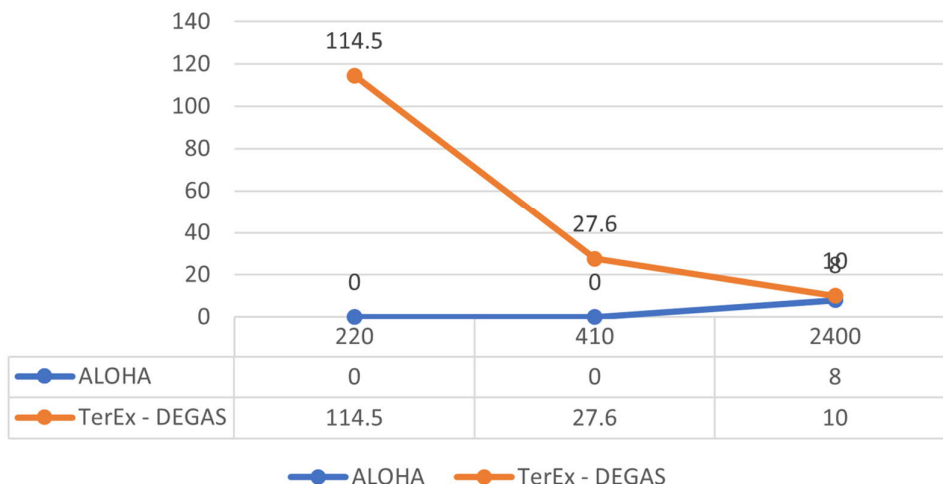
Modelace	Koncentrace ve vzdálenosti 220 m (Lidl)	Koncentrace ve vzdálenosti 410 m (Kaufland)	Koncentrace ve vzdálenosti 2 400 m (nemocnice)
<b>ALOHA 1a (trhlina 30 x 5)</b>	<b>330 ppm</b>	Není signifikantní koncentrace	<b>230 ppm</b>
<b>TerEx – DEGAS 4a (trhlina 30 x 5)</b>	2640 mg/m <sup>3</sup> = <b>910 ppm</b>	1000 mg/m <sup>3</sup> = <b>345 ppm</b>	45 mg/m <sup>3</sup> = <b>15,5 ppm</b>
<b>ALOHA 2a (ventil 4 cm)</b>	Není signifikantní koncentrace	Není signifikantní koncentrace	8 ppm
<b>TerEx – DEGAS 5a (ventil 4 cm)</b>	332 mg/m <sup>3</sup> = <b>114,5 ppm</b>	80 mg/m <sup>3</sup> = <b>27,6 ppm</b>	Nižší než IDLH (mimo graf)
<b>ALOHA 3a (celá cisterna)</b>	<b>800 ppm</b>	Není signifikantní koncentrace	<b>390 ppm</b>
<b>TerEx – DEGAS 6a (celá cisterna)</b>	Nelze zobrazit graf	Nelze zobrazit graf	Nelze zobrazit graf

Graf 1 – Vývoj koncentrace ve vybraných vzdálenostech od místa úniku – modelace úniku chloru z ruptury cisterny



Graf 2 – Vývoj koncentrace ve vybraných vzdálenostech od místa úniku – modelace úniku chloru z ventilu cisterny

## Koncentrace chloru pro únik z ventilu



Jak je patrné z grafů 1 a 2, vývoj koncentrace v prostoru se liší v obou modelacích pro program ALOHA a TerEx. Pro některé body nebylo možné zobrazit konkrétní koncentraci (v grafu hodnota 0), a to z důvodu výskytu sledovaného bodu mimo výseč vymezenou programem ALOHA. Z vývoje křivky lze přepokládat, že pokud by se měřený bod nacházel v rámci výseče zóny ohrožení, byl by trend vývoje křivky zakreslené na základě měření v programu ALOHA pozvolný, pozvolně klesající v závislosti na rostoucí vzdálenosti od místa úniku. Naopak měření v programu TerEx vykazuje trend vysokých koncentrací měřených ve vzdálenosti cca do 300 m od místa úniku chloru a následný prudký pokles měřených hodnot. Graf pro zobrazení hodnot modelace s jednorázovým únikem chloru nebylo možné zobrazit z důvodu technických obtíží, více v kapitole diskuze.

## 6 DISKUZE

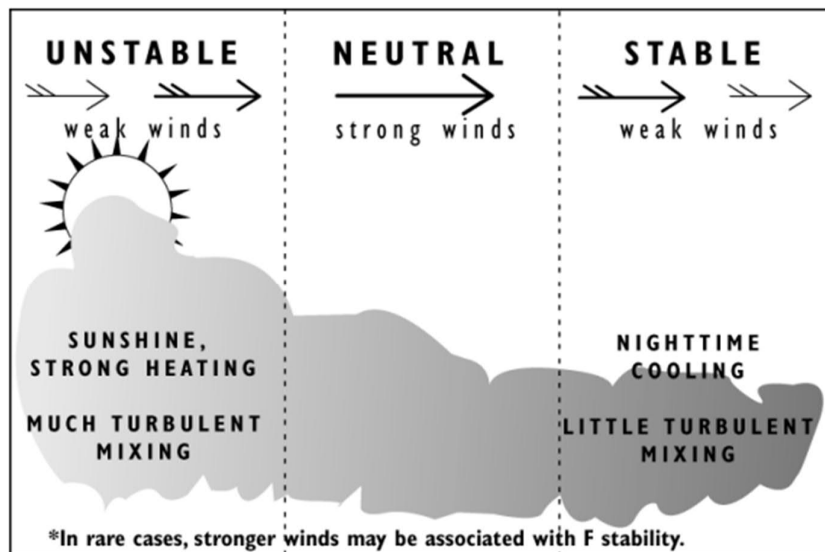
Havárie s únikem nebezpečných chemických látek jsou v dnešní době tématem více než aktuálním s ohledem na míru, s jakou jsou chemické látky vyráběny, přepravovány a dále zpracovávány v různých průmyslových odvětvích. Zajištění chemické bezpečnosti je ve velké míře vztaženo k bezpečnosti stacionárních zdrojů (mrazírny, chemické závody, zimní a plavecké stadiony a další), zejména ve formě zpracování bezpečnostní dokumentace a z ní plynoucích bezpečnostních opatření pro konkrétní možný zdroj ohrožení. Mobilní zdroje ohrožení jsou však také velmi významné z hlediska možného ohrožení životů a zdraví obyvatelstva, zasažení okolního životního prostředí a možných střednědobých až dlouhodobých následků (například ve formě znečištění vodních toků, ale také dlouhodobého poškození zdraví zasažených osob). Řada událostí ve světě i v České republice svědčí i o vážnosti dopadů těchto havárií v blízkosti hustě obydlených oblastí, městských aglomerací či obecně míst s vysokou koncentrací osob. Bezpečnostní plánování a příprava na konkrétní havarijní scénáře jsou komplikovanější také z hlediska proměnných, zejména meteorologických podmínek, charakteristických vlastností konkrétní chemické látky či směsi, způsobu úniku a velikosti únikových otvorů a rázu okolní krajiny [36, 37]. Celkový charakter nehod v přepravě nenabízí příliš prostoru pro uplatnění univerzálních postupů v přípravě na tyto nehody s cílem minimalizovat negativní dopady na obyvatelstvo a okolí. Také softwarové nástroje, které jsou využívány pro modelování havárií jako součást přípravy na mimořádné události s únikem chemických látek, jsou primárně využívány pro bezpečnostní plánování a analýzu rizik; do jisté míry je lze také využít jako podpůrného nástroje pro řešení nastalé mimořádné události s únikem chemických látek, většinou je však potřeba promptně reagovat a přistoupit k neodkladným opatřením ochrany obyvatelstva vzhledem k rychlosti šíření látky do okolí. V této práci bylo modelováno několik scénářů možné nehody na kladenském vlakovém nádraží s cílem zjistit, jaké by byly dopady takových typů havárií na okolní místa s vysokou koncentrací osob, do jaké vzdálenosti by dosáhla zóna ohrožení a k jakým postupům a opatřením by složky integrovaného zásahového systému byly nuceny přistoupit v rámci záchrany životů a zdraví obyvatel.

Fyzikální a chemické vlastnosti látky jsou jedním z klíčových faktorů pro chování látky v prostředí a pro způsob jejího dalšího šíření v prostoru. Pro modelace provedené v rámci výzkumu této diplomové práce byl zvolen chlor, jeden z těžkých plynů. Těžký plyn je označen pro plyn s vyšší molární hmotností než vzduch (28,96 g/mol), případně

se nachází ve stavu, kdy jeho hustota je vyšší než hustota okolního vzduchu (vyšší než  $1,29 \text{ kg/m}^3$ ) [34, 37]. Těžké plyny se skladují či přepravují v plynném skupenství či ve zkapalněné formě. V případě několika scénářů úniku modelovaného v praktické části této práce se zkapalněný chlor začíná šířit ve formě těžkého plynu a ve třech charakteristických fázích se šíří do okolí: v první fázi klesá plyn k zemi působením gravitace a šíří se ve formě hustého oblaku. V druhé fázi se plyn dále šíří při zemi a již se promíchává s okolním vzduchem, vliv má zejména turbulentní proudění vzduchu. Ve třetí fázi již dochází k úplnému promíchání a nařazení plynu okolním vzduchem. Ve všech fázích mají na šíření plynu vliv meteorologické podmínky, koncentrace látky a její teplota a hustota vůči okolí. Na šíření plynu má také vliv charakter okolní krajiny a členitost terénu [36, 37]. V případě modelací provedených jako součást této práce by okolní zástavba působila jako bariéra šíření plynu a jeho postup by zpomalovala a lze usuzovat, že by koncentrace ve vzdálenostech v řádu kilometrů byla ještě nižší než hodnoty získané provedením modelací.

Jak uvádí kolektivu autorů v publikaci *Rozptyl těžkého plynu v atmosféře* [48], v reálné atmosféře může rozptyl ovlivňovat řada okolností, mezi které patří zejména členitost terénu, rychlost a směr proudění vzduchu či míra vertikálního promíchávání vlivem turbulentního proudění vzduchu.

Dalším významným faktorem, který má vliv na způsob šíření toxického oblaku chloru, je turbulence atmosféry, závislá kromě jiných faktorů také na intenzitě slunečního záření. V meteorologii je definováno celkem šest tříd atmosférické stability, které označují teplotní rozvrstvení vzhledem k charakteristice počasí daného ročního období, denní doby a teploty vzduchu. Třídy stability jsou označeny A až F a každá z nich představuje odlišný stupeň turbulence v atmosféře: třídy A až C představují nestabilní, turbulentní atmosféru a charakterizují atmosféru intenzivního slunečního svitu za denní doby. Označení třídou D pak charakterizujeme neutrální podmínky, denní či noční dobu, zataženou či polojasnou oblohu. Třída stability E a F pak představují stabilní podmínky vyskytující se zejména v noci, třída F představuje nejstabilnější podmínky s nulovou turbulencí vzduchu. Sluneční záření je relativně slabé nebo úplně chybí, a nedochází tedy ke stoupání vzduchu od povrchu země a vzniku turbulencí [37, 46, 49].



Obrázek 30 – Třídy stability a odpovídající meteorologické podmínky [46]



Obrázek 31 – Ukázka šíření těžkého plynu, chloru, v experimentálním prostředí s patrnou první a druhou fází [50]

Pro výzkumnou část práce bylo využito programů ALOHA a TerEx. Jedná se o softwarové nástroje, které mohou do jisté míry sloužit jako analytický a preventivní nástroj složkám IZS v rámci havarijního plánování. Pomocí těchto nástrojů lze zpětně analyzovat již proběhlé havárie či provádět přípravu na potenciální mimořádné události v závislosti na analýze rizik v konkrétním místě či objektu a jeho okolí. Na základě

výsledků modelací pak lze plánovat a navrhovat konkrétní opatření ochrany obyvatelstva s cílem minimalizovat dopady případné havárie s únikem chemické látky či směsi v závislosti na charakteru šíření látky a jejích účinků na lidský organismus a míru ohrožení životního prostředí.

Software ALOHA hodnotím subjektivně jako náročnější pro seznámení uživatele s postupem modelace a také z hlediska poměrně značného množství vstupních údajů potřebných pro provedení modelace. Je nezbytné věnovat určitý čas k seznámení se s prostředím programu, prostudovat uživatelský manuál [49], zorientovat se v textovém poli a možnostech zobrazení výsledků modelace. Další nevýhodou je možnost využití softwaru ALOHA pouze v anglickém jazyce, a tedy nutnost orientovat se v anglické terminologii týkající se havarijních modelů, vstupních údajů i hodnot v okamžiku odečítání a vyhodnocování výsledků provedených modelací. Také orientace v propojení programů ALOHA a programu Marplot, sloužícího k zobrazení výsledků modelací na mapovém podkladě, není pro prvouživatele jednoduchá. Nevýhodou programu ALOHA z hlediska využití programu složkami IZS v situaci, kdy již nastala mimořádná událost s únikem chemické látky, je právě jeho náročnost vzhledem potřebnému množství detailních informací týkajících se přesných klimatických a meteorologických podmínek a způsobu jejich měření, technických parametrů nádoby či zásobníku, rozměrů zásobníku a velikosti únikového otvoru, je potřeba znát přesnou charakteristiku chemické látky či směsi včetně tlaku v zásobníku a teploty látky. Z hlediska časové náročnosti na zjišťování všech těchto parametrů není modelace příliš efektivní, uvažujeme-li například jednorázový únik látky do okolního prostředí trvající jednu minutu, jako tomu bylo v případě modelace jednorázového úniku chloru z cisterny v praktické části této práce (modelace 3a a 3b – ALOHA). Program ALOHA dokáže pracovat i s menším objemem vstupních dat, zadáme-li však méně přesné určení všech vstupních proměnných, samotná modelace bude poměrně nepřesná a pro využití v reálných podmínkách spíše orientační. Přístup do programu přes webové rozhraní fungoval bez jakýchkoli problémů a odpověď webu byla vždy promptní, včetně zobrazení grafů a mapových zakreslení. Software TerEx je v porovnání s programem ALOHA uživatelsky přátelštější – lze jej obsluhovat v českém jazyce, subjektivně jej hodnotím též jako graficky lépe přehledný a lépe uzpůsobený snadnému porozumění výsledkům a jejich interpretaci. TerEx také nevyžaduje zadání takového množství vstupních údajů pro modelaci jako ALOHA a s minimem údajů popisujícím podmínky mimořádné

události dokáže ihned vypočítat a zobrazit míru ohrožení toxickou látkou. Modul DEGAS, který byl použit pro modelace v této práci, byl vyvinut a implementován jako součást programu TerEx a je přímo určený k modelování havárií s únikem a šířením těžkých plynů v okolní atmosféře [37]. V práci bylo využito webové verze programu, která je přístupná po zadání uživatelského jména a hesla. Tato verze je graficky ještě přehlednější než verze desktopová a nabízí přehlednější formu textového pole i grafického a mapového zobrazení výsledků. Potýkala jsem se však s technickými problémy, ne vždy tato verze dovolila plné zobrazení výsledků modelací včetně grafů a map, jednalo se zřejmě o přetížení či chybu serveru, musela jsem se pokoušet mnohokrát znovu připojit přes webové rozhraní a grafy zobrazující vývoj koncentrace pro scénář nehody s jednorázovým únikem nebylo možné zobrazit vůbec (ani při pokusech o připojení a zobrazení za použití jiných hardwarů a různých webových rozhraní a prohlížečů).

Na základě výsledků měření provedených pomocí obou softwarových nástrojů ALOHA a TerEx lze konstatovat obdobný trend z pohledu vymezení hranic zóny ohrožení od zdroje úniku pro jednotlivé scénáře a meteorologické podmínky, ačkoliv každý z modelovacích softwarů uvádí odlišné hodnoty pro zóny ohrožení a zóny doporučeného průzkumu koncentrace prachových částic. Důvodem rozdílnosti výsledků může být právě množství potažmo nedostatek zadávaných vstupních údajů v programu TerEx či matematický model výpočtu zóny ohrožení v každém ze softwarových nástrojů [37]. Největší riziko v podobě největší zasažené oblasti s nadlimitní koncentrací chloru by dle obou programů představovala havárie s jednorázovým únikem celého obsahu cisterny za inverzního počasí, naopak nejmenší míru ohrožení postupný únik z ventilu za počasí slunečného. V případě jednorázového úniku chloru by byla zasažena největší plocha města s velmi vysokou koncentrací toxického chloru a dopady na zdraví a životy obyvatel a životní prostředí by tedy byly fatální. Při postupném úniku z trhliny v plášti cisterny či přepouštěcího ventilu by plocha zasaženého území byla jednoznačně menší, stejně jako koncentrace chloru v ovzduší zejména ve vzdálenosti v řádu kilometrů od místa úniku chloru. Dle programu ALOHA by pro variantu úniku chloru z přepouštěcího ventilu cisterny zóna AEGL-3 sahala do vzdálenosti 2,4 km od zdroje v případě obou modelovaných nehod shodně pro inverzní i slunečné počasí, zóna AEGL-2 potom 8,6 km od zdroje úniku v případě inverzního počasí a 8,1 km za slunečného počasí a zóna AEGL 3 by v obou případech přesáhla 10 km, což je limit



daný softwarem ALOHA, delší měření za hranici 10 km program neumožňuje. Celková doba trvání úniku by byla v případě povoleného ventilu 1 hodina, což je opět maximální možná doba měřitelná v softwaru ALOHA. Zejména zóna AEGL-3, tedy zóna nejvyššího ohrožení, by byla v tomto případě nejkratší ze všech modelovaných scénářů. V takovém případě by bylo z hlediska opatření ochrany obyvatelstva relativně dostatek času na varování obyvatelstva, vyrozumění dotčených samosprávných orgánů a případnou evakuaci či alespoň ukrytí osob ze zóny AEGL-3, která představuje nejvyšší míru nebezpečí poškození lidského zdraví.

Jedním z významných bodů, kde byla v rámci výzkumné části měřena koncentrace chloru, byla Oblastní nemocnice Kladno, která je dle Google Maps vzdálena od místa úniku 2,4 km. V případě úniku chloru za inverzního počasí z ventilu, tedy malého otvoru o průměru 4 cm, by koncentrace v okolí nemocnice podle výsledků měření v programu ALOHA dosáhla 8 ppm, což je koncentrace nižší než hraniční ERPG-3 (20 ppm) a zároveň nižší než maximální hodnota AEGL-3 definovaná pro maximální vystavení lidského organismu této koncentraci látky po dobu 4 hodin (limitní hodnota pro chlor AEGL-3 je stanovena 10 ppm) [51]. Ve vnitřních prostorách nemocnice by dle programu ALOHA koncentrace dosáhla 4 ppm. V tomto scénáři nehody se vzhledem k pomalému úniku a míře koncentrace chloru přikláním k evakuaci osob z okolí nemocnice, která by vzhledem k trvání úniku a postupnému šíření chloru mohla být provedena včas a po bezodkladném oznámení události na krajské operační středisko.

Pro další dva vybrané body, nákupní centra Lidl a Kaufland, by v tomto případě nedosáhla koncentrace ohrožujících hodnot (oba obchody s vysokou návštěvností a koncentrací osob se nacházejí mimo zónu ohrožení AEGL-1 vymezenou programem ALOHA). Program TerEx navrhuje za inverzních meteorologických podmínek pro tuto modelaci průzkum prachových částic do vzdálenosti 1,1 km (460 metrů v případě slunečného počasí) a zónu ohrožení stanovil pro tento scénář nehody na 757 metrů od místa úniku (pouze 327 metrů v případě slunečného jasného počasí). Program TerEx udává více než o polovinu kratší vzdálenost doporučeného průzkumu za slunečného počasí: lze tedy pozorovat přímý vliv meteorologických podmínek na tento typ úniku látky. Slunečné jasné počasí bez pokrytí oblohy mraky není tak „příznivé“ pro šíření plynu jako počasí inverzní, kdy dochází k výrazně pomalejšímu promíchávání plynného chloru s okolním vzduchem. Program ALOHA však udává shodně 2,4 km jako vzdálenost pro zónu AEGL-3 jak pro slunečné, tak inverzní vlhké počasí.

V případě modelace úniku chloru za inverzního počasí z trhliny o velikosti 30 x 5 cm už by únik chloru trval pouze 3 minuty a zóna ohrožení AEGL-3 by sahala do vzdálenosti 8,8 km. Stejný typ úniku byl modelován za slunečného počasí, kdy se už lišila hranice zóny AEGL-3: za slunečného počasí by dosáhla k 8,3 km. Zóny AEGL-2 a AEGL-1 by v obou modelacích shodně přesáhly limit daný programem ALOHA, tedy 10 km. Objekt nemocnice vzdálený 2,4 km od místa úniku by se v takovém případě nacházel v rámci zóny AEGL-3 s koncentrací v místě 230 ppm, obchod Lidl v téže zóně s koncentrací v místě 330 ppm a obchod Kaufland by zůstal únikem chloru za těchto podmínek nedotčen, nachází se mimo výseč – mimo zobrazení zóny ohrožení v programu ALOHA. Z výsledných údajů modelace a tvaru výseče zobrazené v programu ALOHA je však zřejmé, že v případě změny směru větru by se vysoká koncentrace chloru v ovzduší týkala také tohoto velice frekventovaného místa. Vzhledem k vysoké outdoorové koncentraci chloru a zároveň velmi krátké době úniku chloru dle měření v programu ALOHA by rovněž obyvatelstvo nacházející se v blízkosti obchodního centra Lidl mělo být vyrozuměno a vyzváno k vyhledání úkrytu a použití osobních ochranných prostředků. V místě s tak vysokou koncentrací chloru by byla úmrtí přítomných osob nevyhnutelná. Zároveň by však takto krátká doba trvání úniku látky neumožnila provedení plošné evakuace obyvatelstva z bezprostřední blízkosti místa nehody. Velmi krátká doba úniku by vzhledem k dojezdovým časům jednotek HZS pravděpodobně znamenala úmrtí velkého počtu osob nacházejících se v tom okamžiku na nádraží. Při takovém pokusu by byly navíc ohroženy životy zasahujících osob z řad složek IZS. V oblasti kladenské nemocnice, kam dle programu ALOHA v případě tohoto úniku dosáhne vysoce koncentrovaný chlor, by evakuace byla na místě. Avšak velmi krátká doba trvání úniku by opět provedení evakuace téměř znemožnila – vysoce koncentrovaný chlor by dosáhl do oblasti nemocnice v desítkách minut, což je opět velmi krátká doba pro evakuaci velkého množství osob. Ukrytí ve vnitřních prostorách zůstává nejvhodnější variantou, jak předejít poškození zdraví vlivem expozice toxickému chloru. V takovém případě by bylo nutné v rámci ochrany obyvatelstva přítomného v celém areálu nemocnice uzavřít okna, ucpat průduchy a zamezit tak proniknutí chloru do uzavřených prostor a použít prostředků individuální ochrany (ústenky, improvizované roušky, šátky) [52, 53].

Pro modelace jednorázového úniku celého obsahu cisterny byly získány následující výsledky: zóna AEGL-3 stanovena na 9,7 km a zóny AEGL-2 a AEGL-1 na přesahující hranici 10 km. Únik celého obsahu cisterny by trval pouze jednu minutu. Z hlediska

dopadů na životy a zdraví obyvatel města a jeho okolí (zóna AEGL-1 by sahala až k obcím Kačice a Přelíc) by tato varianta nehody představovala nejvyšší míru dopadů na obyvatelstvo nacházející se těchto zónách a nejvyšší míru ohrožení jejich života a zdraví. Velmi krátká doba trvání úniku celého obsahu cisterny s chlorem (1 min dle měření v softwaru ALOHA) by znamenala velmi malé šance na evakuaci obyvatelstva ze zóny AEGL-3 a s velkou pravděpodobností by letální účinky chloru byly nevyhnutelné. Software TerEx navíc navrhuje průzkum až do vzdálenosti 22 km od místa nehody. Výsledky modelací ukázaly též enormní rozdíly v koncentraci venkovní a koncentraci uvnitř budov. Z hlediska navrhovaných opatření ochrany obyvatelstva lze tedy konstatovat, že ukrytí uvnitř budov, utěsnění otvorů a použití improvizovaných ochranných prostředků by výrazně snížilo rizika poškození zdraví zasažených osob. Provedení evakuace by bylo reálné pouze v případě chloru unikajícího postupně po dobu jedné hodiny z ventilu cisterny. Pro modelace fiktivních nehod byla záměrně uvažována čtvrtá hodina odpolední, kdy se na nádraží Kladno i v obchodech Lidl a Kaufland pohybuje velké množství osob. Lidé se vrací ze škol a zaměstnání do svých domovů, přijíždějí na nádraží z Prahy či opačného směru, nakupují potraviny ve zmíněných obchodech. Stejnou dynamiku pohybu osob jsem zaznamenala v ranní špičce pracovního týdne, tedy mezi 7. – 8. hodinou ranní, kdy naopak značné množství osob cestuje za prací a studiem nejčastěji do Prahy, vzdálené 25 km od Kladna. Naopak pokud by se modelované nehody odehrály v jiné denní době či v noci, pravděpodobně by množství osob pohybujících se v místě simulované nehody a přilehlém okolí bylo výrazně nižší z pohledu celkových následků nehody, provedení evakuace a celkově provedení záchranných a likvidačních prací by tak mohlo být z pohledu náročnosti a logistiky snazší. Oblastní nemocnice Kladno funguje v režimu nepřetržitého provozu, včetně noční pohotovosti, a má zřízen pohotovostní příjem k ošetření v režimu 24/7, přesto i zde zaznamenávám výrazně hustší pohyb osob v tomto místě v denních hodinách. Z hlediska počtu zasažených osob lze tedy uvažovat, že zásah složek IZS by byl daleko náročnější v denní době a provedení evakuace všech osob, včetně případné evakuace pacientů na lůžkových odděleních nemocnice, by bylo velmi časově a organizačně náročnou operací. Provedení evakuace nemocničních zařízení je obecně velmi náročné z hlediska potřebných sil a prostředků a objemu potřebného času, stejně jako přemístění osob vyžadujících speciální péči. Celý zásah s evakuací osob by navíc musel probíhat za použití ochranných prostředků, což je dalším faktorem zvyšujícím celkovou náročnost provedení evakuace. Z toho hlediska je dobrým preventivním opatřením vytipování

konkrétních objektů, které by mohly být zasaženy únikem nebezpečných chemických látek, použít modelovacích softwarů jako součást havarijního plánování a provádět nácvič zásahu složek při mimořádných událostech, včetně navrhovaných konkrétních opatření pro tyto mimořádné události v oblasti ochrany obyvatelstva. Modelacemi provedenými v této práci bylo zjištěno, že koncentrace uvnitř budov je i v případě úniku velkého objemu chloru podstatně nižší než v otevřeném prostoru, ukrytí osob a použití ochranných prostředků individuální ochrany při v časném varování obyvatelstva a vyrozumění subjektů zůstává tak stále opodstatněným řešením, k němuž lze v takové situaci přistoupit. V těsné blízkosti nemocnice s řadou pacientů využívajících lůžkové péče se také nachází geriatrické a rehabilitační centrum a o desítky metrů dál pak domov pro seniory. Je tedy na místě uvažovat i případné evakuaci těchto objektů. Pokud by mimořádná událost měla život ohrožující dosah do míst, kde se nacházejí tato zařízení, bylo by téměř nereálné provést včasnou evakuaci nemocnice, gerontologického centra a domova pro seniory naráz a ve velmi krátkém časovém horizontu. Řada pacientů na nemocničních lůžkách vyžaduje specializovanou lékařskou péči, kterou by bylo nutné poskytovat v omezené míře i během evakuace. Ve svém článku *Importance of continuing health care before emergency hospital evacuation...* zmiňuje kolektiv autorů na případové studii obtížnost evakuace pacientů, kteří vyžadují nepřetržitou péči. Článek informuje o nutnosti provedení evakuace v souvislosti s nukleární nehodou ve městě Fukušima a popisuje její obtížnost a rizika na příkladu evakuace pacienta s pneumonií, jehož stav vyžadoval nepřetržitou péči (podávání antibiotik, saturace kyslíkem a podávání nitrožilní výživy, odsávání tekutiny z plic). Tuto péči bohužel nebylo možno během evakuace plně zajistit a pacient zemřel [54]. Domnívám se tedy, že obdobná rizika by s sebou nesla také případná evakuace pacientů lůžkové péče kladenské nemocnice.

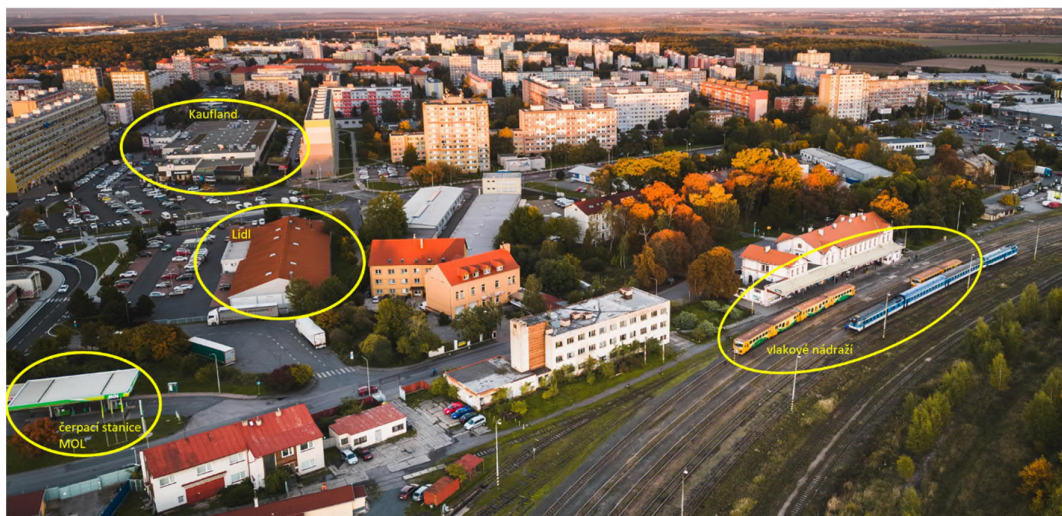
Využití modelací jako součásti preventivního přístupu k ochraně obyvatelstva by mohlo pomoci obcím v rámci havarijního plánování obcí či konkrétních objektů. S ohledem na širokou škálu možností pro vstupní hodnoty modelací, zejména variabilitu meteorologických podmínek, je doporučeno modelovat vždy nejhorší možné varianty úniku chemických látek a simulovat nejhorší možné scénáře, a zajistit tak připravenost na řešení podobných mimořádných událostí. Vzhledem k výše uvedeným limitům modelovacích softwarů by však modelování pravděpodobnějších havarijních scénářů přineslo větší benefity v rámci přípravy na mimořádné události spojené s únikem chemických látek. V případě modelací provedených v rámci výzkumné části této práce

by scénář nehody s únikem z menší trhliny či ventilu představoval nehodu v reálných podmínkách. Katastrofické nehody s únikem desítek kilogramů chemické látky nejsou v podmínkách železniční dopravy v rámci České republiky tolik pravděpodobné. Budou-li definována ochranná opatření pro nejhorší scénáře a díky nim zajištěna havarijní připravenost (objektu, obce, kraje), mimořádné události podobného charakteru, avšak menších rozměrů, budou z hlediska ochrany obyvatelstva v reálných podmínkách snáze řešitelné. V případě nastalé nehody s únikem chloru je pak žádoucí vzít v potaz konkrétní okolnosti úniku látky, způsob a rychlost úniku či měnící se meteorologické podmínky.

Pro zobrazení míry zasažení únikem chloru a vyhodnocení pravděpodobné míry dopadu na obyvatelstvo byla pro tuto práci vybrána tři místa s vysokou koncentrací osob. Z prostudování zobrazení výsledků modelací v reálném mapovém podkladu je zřejmé, že míst velmi frekventovaných a s vysokým počtem osob v čase je daleko více: základní škola, školka, víceleté gymnázium, atletický stadion, zimní stadion, plavecký areál, areál fakulty ČVUT a další. Vzhledem k variabilitě proměnných týkajících se zejména meteorologických podmínek lze uvažovat mnoho dalších variant ve směru a dosahu šíření vysoké koncentrace chloru v perimetru až desítek kilometrů od vlakového nádraží Kladno. Variabilita vstupních hodnot pro softwarové modelace mimořádných událostí s únikem chemických látek je jedním z faktorů limitujících provedení modelací v rámci prevence či eliminace následků možných havárií spolu s možností změny meteorologických podmínek v průběhu úniku chemické látky do okolního prostředí. Matematické modely, kterých softwarové programy využívají, nejsou v současnosti schopné popsat přesné chování chemické látky v ovzduší v závislosti na měnících se meteorologických podmínkách, například změnou směru větru či jeho síly, a kalkulovat s variabilitou okolního terénu. Pro získání přesných výsledků modelací pro danou oblast by bylo nutné pracovat s 3D modely krajiny pro přesné zobrazení a vykreslení její členitosti, zalesnění či obecněji vegetaci a okolní zástavbě. V případě modelovaných úniků pro potřeby této práce by měl rovněž vliv ráz okolí a překážek, které by unikající chlor při svém šíření obtékal. Jedná se o rodinné domy, obytné domy, budovu školy, ale i lesní porost. V reálných podmínkách však platí: čím členitější je okolní prostředí místa úniku chemické látky, tím nepřesnější budou výsledky modelací. Stejná souvislost platí pro měnící se meteorologické podmínky. Nepřesnost výsledků se také zvyšuje v případě modelování déletrvajících úniků a šíření chemické látky v řádu několika hodin a v případě modelování úniků látek, kdy vysoká koncentrace látky

v ovzduší dosáhne do několikakilometrové vzdálenosti od zdroje úniku. Lapidárně vyjádřeno: nepřesnost výsledků modelací se zvyšuje s rostoucí vzdáleností od místa nehody s únikem chemické látky a s delším trváním úniku a šířením látky v okolní atmosféře. Závislost spolehlivosti výsledků modelací na vzdálenosti od zdroje úniku popisuje Marin Staněk ve své dizertační práci takto: „*Čím větší bude oblast šíření látky, vzdálenost od zdroje úniku a čím bude únik déle trvající, tím menší bude validita a přesnost modelace, jelikož výsledek bude zatížen zvyšující se chybou způsobenou terénními a proměnlivými meteorologickými podmínkami. Jako příklad práce s těmito limitacemi lze uvést modelační softwarový nástroj ALOHA, který z těchto důvodů omezuje modelace do vzdálenosti 10 km od zdroje úniku a po dobu trvání maximálně 60 minut.*“ [37, s. 52].

V reálných podmínkách dochází nezdědka také k několika na sebe navazujícím havarijním projevům, může se jednat o únik látky s následným zahořením či výbuchem v reakci s jinou látkou. Modelovací softwary jsou s ohledem na využití pro modelování komplexnějších či na sebe navazujících havarijních situací v současné době omezené vždy na jeden individuální výsledek. Je sice možné zobrazit výsledky pro více situací po sobě jdoucích, například únik látky s následnou explozí či zahořením, avšak bez vzájemného vlivu chování látky, bez vzájemné interakce [46]. V případě úniku chloru, který je modelován v této práci, je třeba také uvažovat druhotná rizika – možnost výbuchu či zahoření v souvislosti s umístěním čerpací stanice MOL ve vzdálenosti cca 100 metrů od vlakového nádraží. Chlor sám o sobě nezpůsobuje vznícení v reakci s benzínem či naftou, působí však jako silné oxidační činidlo a výrazně podporuje hoření, a může tedy zvýšit riziko požáru či exploze. Bezpečnostní list chloru informuje o silné reaktivitě chloru s téměř každou organickou látkou obsahující vodík nebo dusík. Existuje celá řada látek, které reagují výbušně s plynným či kapalným chlorem: alkoholy, estery, rozpouštědla a oleje. V kapalném chlorem se vyskytuje malé množství chlorodusíku. Ten se při odpařování chloru z přepravní cisterny kumuluje a zůstává delší dobu v kapalně fázi, rychlost jeho odpařování je totiž pomalejší než odpařování chloru [4, 20]. Chlorační reakce probíhají velmi snadno, a mohou tak i při pokojových teplotách způsobit explozi, která by pravděpodobně měla za následek další újmy na životech a zdraví obyvatelstva [20].



Obrázek 32 – Pohled z perspektivy dronu na vlakové nádraží a jeho přilehlé okolí  
 [zdroj: Město Kladno – autoři fotografie Adam Litera a Michal Puchel]

V závislosti na vstupních datech pro modelace, ale také vzhledem k matematickým modelům, kterých softwarové nástroje využívají, lze pozorovat v měření jisté rozdíly. Na grafech, které zobrazují postupný pokles koncentrace chloru v závislosti na vzdálenosti od zdroje, lze vyčíst vyšší rozdílnost v měření programu ALOHA a TerEx. Zatímco v programu ALOHA pozorujeme pokles koncentrace postupný a plynulý, ze zobrazení výsledků měření v modulu DEGAS je zjevný prudký pokles koncentrace se zvyšující se vzdáleností od zdroje. Měření v modulu DEGAS navíc ve všech variantách měření udává extrémně vysoké, nereálné koncentrace chloru – více než 1 milion  $\text{mg}/\text{m}^3$  – v bezprostřední blízkosti zdroje úniku chloru. Z tohoto hlediska se spíše přikláním k modelacím provedeným v programu ALOHA jako k programu zobrazujícímu reálné koncentrace chloru, nebo spíše koncentrace přesnější pro případ skutečné nehody za stejných podmínek. V reálných podmínkách zároveň předpokládám řádově o několik procent nižší koncentrace ve stanovených vzdálenostech z důvodu terénních překážek v podobě budov a lesního porostu, který – jak je již výše zmíněno – programy nezohledňují. Nejsou zohledněné ani další fyzikálně-chemické jevy, jako například Auto-Refrigeration effect popisovaný Martinem Staňkem, který způsobí zpomalení úniku látky do okolí [37]. Vezmeme-li v potaz výše uvedené, lze usuzovat, že koncentrace v modelovaných případech budou ve větší vzdálenosti od zdroje nižší vzhledem k charakteru zástavby a dalších terénních charakteristik. Modelovací softwary, kromě TerEx desktopové verze, neumožňují zobrazení vývoje koncentrace v závislosti na čase. Tento ukazatel a zejména grafické vyjádření vývoje rozptylu toxického mraku v prostoru

a čase by mohlo být z hlediska havarijního plánování nejčinnějším ukazatelem vývoje nehody v reálných mezích. Srovnáme modelovanou nehodu s jednorázovým únikem chloru s reálnou nehodou ve městě Graniteville, kdy uniklo 90 tun chloru z ruptury v cisterně. Dle vyšetřovací zprávy unikl po této nehodě obsah cisterny do okolní atmosféry během jedné minuty, bezpečnostní uzávěra byla však zasahujícími složkami vytvořena až po 15 minutách a po 20 minutách už dle modelace v programu ALOHA klesla koncentrace chloru na bezpečnou hodnotu, jak uvádí Martin Staněk ve své dizertační práci [37]. Mohu tedy přepokládat, že obdobný vývoj by nastal v případě modelované nehody na nádraží Kladno. Díky okolní zástavbě a lesnímu porostu by chlor budovy a stavby obtékal a jeho šíření by se zpomalovalo.

Rychlost úniku a šíření chloru v prostředí a měnící se koncentrace chloru v závislosti na jeho ředění s okolním vzduchem jsou klíčovými aspekty, na jejichž základě je zvolen postup při záchraně osob a dalších postupů a opatření ze strany složek IZS. V případě simulovaných nehod na vlakovém nádraží Kladno musíme vzít v potaz dojezdový čas zásahových jednotek HZS a jednotek sboru dobrovolných hasičů z okolních obcí – Hřebeč, Unhošť, Buštěhrad. Lze konstatovat, že v případě jednorázového úniku chloru z cisterny a jeho rychlému šíření by velmi pravděpodobně jednotky dorazily na místo až poté, co by se již oblak plynu rozšířil přes město a daleko za něj. Z toho důvodu se přikláním k včasnému varování obyvatelstva a výzvě k ukrytí a použití osobních ochranných prostředků jako k nejvhodnějšímu opatření ochrany obyvatelstva než k plošné evakuaci. Ta by velmi pravděpodobně nebyla uskutečnitelná a nesplnila by svůj účel, tedy záchranu osob a jejich zdraví. Podobný scénář by se odehrál také při třímínutovém úniku z trhliny v plášti kotlového vozu. Pouze v případě postupného úniku z ventilu, kdy by chlor postupně unikal hodinu, je pravděpodobnější včasný dojezd jednotek hasičů na místo, vymezení a ohraničení nebezpečné zóny a snaha o zamezení dalšímu postupu úniku látky za použití těsnících vaků či klínů. Bojový řád jednotek požární ochrany doporučuje také skrápění toxického oblaku vodním proudem – tento způsob ředění oblaku je doporučen pouze pro zamezení šíření plynného chloru v okolí, nikoli pro ředění kapalně formy látky. Výhodou pro provedení takového zásahu je přítomnost vodního zdroje v okolí – což není případ nádraží Kladno, v blízkosti se nenachází žádný vodní tok, z něhož by jednotky hasičů mohly čerpat vodu. Bylo by tedy nutné zajistit na místě cisternu se zásobou vody ke skrápění. Chlor v jeho kapalně formě takto likvidovat nelze – pokud uniká kapalně chlor a vytváří kaluž, je doporučeno



pouze utěsnit místo úniku a případně použít k utěsnění otvoru navlhčenou tkaninu. V takovém případě dojde k přimrznutí tkaniny k místu úniku chloru a tím je zamezeno jeho dalšímu úniku a šíření [43]. Dojezdový čas jednotek je tedy určující pro rozhodnutí o provedení evakuace – v případě, kdy by došlo k včasnému utěsnění ventilu s unikajícím chlorem, lze předpokládat celkově menší objem chloru unikající do okolní atmosféry, a ještě nižší koncentraci chloru například v okolí nemocnice, než bylo modelací naměřeno. Proto usuzuji, že evakuace osob z jejího okolí (nikoli osob z vnitřních prostor nemocnice) by byla vhodným opatřením, které je zároveň realizovatelné z hlediska dojezdového času a postupu záchranných a likvidačních prací.

V případě nehody s únikem nebezpečné látky je třeba součinnosti všech složek IZS jako v případě jiného typu mimořádné události. Jednotlivé složky provádí zásah na základě svých kompetencí k provádění záchranných a likvidačních prací. Policie ČR zpravidla usměrňuje, odklání dopravu a zastavuje ji – v případě nehody na vlakovém nádraží Kladno by bylo nezbytné regulovat železniční dopravu i silniční dopravu ve městě včetně odklonění dopravy a vymezením objízdných tras. Na místě jsou také opatření k zamezení šíření paniky mezi obyvatelstvem nacházejícím se v bezprostřední blízkosti nehody. Na základě pozorování šířícího se oblaku zabarveného plynu a doprovodného čichového vjemu může dojít u některých osob ke zkratovému chování [55].

Pro eliminaci či alespoň minimalizaci následků nehody s únikem chemické látky je klíčová včasná identifikace konkrétní chemické látky – HZS může k identifikaci využít mobilních detekčních prostředků, které zároveň určí koncentraci látky. V neposlední řadě je pro identifikaci využito bezpečnostního značení přepravních prostředků, jak je popsáno v teoretické části této práce. HZS uzavírá místo nehody stanovením nebezpečné zóny. Pro zásah v nebezpečné zóně je nutné uvažovat především použití vhodných ochranných prostředků pro zasahující složky. Dle Bojového řádu jednotek požární ochrany jsou doporučené ochranné prostředky následovně:

Koncentrace chloru (ppm)	Doporučené ochranné prostředky
5-50	izolační dýchací přístroj a zásahový oděv
50-400	izolační dýchací přístroj a nepřetlakový protichemický oděv
nad 400	izolační dýchací přístroj a přetlakový protichemický oděv

*Obrázek 33 – Doporučené ochranné prostředky pro zásah v případě mimořádné události s únikem nebezpečných látek [24]*

Bojový řád jednotek požární ochrany hovoří také o specifických postupech a činnostech v případě mimořádných událostí s přítomností nebezpečných látek. Těmi jsou:

- potřeba nasazení speciálních prostředků pro práci s nebezpečnými látkami a speciálních hasiv,
- potřeba zapojení speciálních sil, spoluprací s institucemi a orgány veřejné správy, odborníky a původcem havárie,
- nebezpečím výbuchu, nebezpečím intoxikace, nebezpečím poleptání, nebezpečím ionizujícího záření a nebezpečím infekce [24].

V případě modelovaných havárií v této práci by jednoznačně zásah při jednorázového úniku obsahu cisterny vyžadoval použití přetlakového protichemického oděvu z důvodu vysoké koncentrace chloru. Pro modelaci scénáře s únikem chloru z trhliny v plášti cisterny by bylo nutné použití nepřetlakového protichemického oděvu a pouze při úniku chloru z přepouštěcího ventilu by stačilo použití zásahového oděvu. Vedle stanovení hranic nebezpečné zóny a jejího uzavření je třeba vyvést osoby z tohoto prostoru a varovat, případně evakuovat osoby z prostoru, kde předpokládáme šíření chloru v závislosti na konkrétních podmínkách události. Varování probíhá ve spolupráci s obcí, kromě sirén lze využít místního rozhlasu či vozů s rozhlasovým zařízením, ale také cestou sociálních sítí či médií (sdělovací prostředky však neumožňují dostatečně rychlé šíření informace v případě jednorázového úniku v řádu minut, mají své opodstatnění v případě mimořádných událostí probíhajících v delším časovém úseku) [53]. Otázkou zůstává, do jaké míry je obyvatelstvo informováno a jaké znalosti v oblasti užití varovného signálu je obecně v populaci rozšířena. Musím bohužel konstatovat, že v mém širším okolí není informovanost o rozdílu mezi signálem *všeobecná výstraha* a signálem *požární poplach* na příliš vysoké úrovni. Mezi lidmi je většinou rozšířeno povědomí o zkoušce sirén probíhající vždy první středu v měsíci, nicméně většinou nevědí, jak rozlišit druhy signálů a jak se v případě „poplachu“ chovat. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit také typické projevy davového chování. Pokud lidé vidí, že ostatní kolem zůstávají na místě a nerušeně se věnují dále stejné činnosti, i oni zůstávají v klidu. V první řadě je tedy třeba osvětově působit v rámci informovanosti obyvatelstva, včetně seniorů, dětí a mládeže. Výhodou je do jisté míry využití elektronických sirén jako koncových prvků varování. Na rozdíl od rotačních sirén umožňují elektronické sirény kromě generování signálu samotného

také reprodukci verbálních informací, konkrétně informací uložených v digitální paměti řídicí skříň koncového prvku varování, prostřednictvím mikrofonu v řídicí skříni sirény nebo připojením externího zdroje – radiostanice, mobilního telefonu apod. [56]. Další výhodou elektronických sirén je zaručení jejich provozuschopnosti i po přerušení dodávky elektrického proudu – používají vlastní vestavěné akumulátory. Kladno je v současné době osazeno rotačními sirénami – nelze tedy v případě jejich využití doprovodit signál reprodukovanou informací o chemické havárii. Lze tedy předpokládat, že určitá část obyvatelstva nebude na varování reagovat či nebude vědět, jak se zachovat a co se vlastně děje. Pokud by došlo k podobné nehodě, jak bylo modelováno v této práci, bylo by vhodné doplnit signál všeobecné výstrahy také mobilními sirénami, rozhlasovými vozy a megafony, městským a objektovými rozhlas – zejména na vlakovém nádraží by informace z rozhlasu měla zaznít bezprostředně po identifikaci úniku chloru. Obyvatelstvo by mělo být v rámci varování poučeno, jak se chovat, bylo by doporučeno přesunout se do vyšších pater budov (vzhledem k uvedenému charakteru šíření těžkých plynů), uzavřít okna a chránit si ústa a nos vlhkým kapesníkem z důvodu zamezení vdechování par chloru [44].

Ze strany složek IZS je klíčové zamezit dalšímu šíření látky do okolí a minimalizovat dopady úniku na obyvatelstvo. Pokud se jedná o postupný únik chloru, lze se pokusit zamezit jeho dalšímu úniku těsníci vaky, klíny, lze zasypat sorbentem či jej ředit vodou. Osobám, jež jsou vyvedeny z nebezpečné zóny, je potřeba podat první pomoc, v případě potřeby poskytnout podporu dýchání, zbavit zasažené osoby kontaminovaného oděvu, dle míry zasažení smývat chlor z povrchu těla a vyplachovat oči a případně převést k lékařskému ošetření [56]. Způsob poskytování zdravotnické pomoci se bude lišit dle míry zasažení osob v jednotlivých zónách ohrožení a v různých vzdálenostech od místa mimořádné události. Jak bylo zmíněno, v případě jednorázového úniku více než 46 000 kg chloru předpokládám, že osoby vyskytující se přímo na vlakovém nádraží by s velkou pravděpodobností nepřežily, případně by utrpěly těžkou újmu na zdraví s trvalými či dlouhotrvajícími následky. Zároveň by bylo vhodné zvážit nutnost evakuace osob vzhledem k velmi rychlému úniku a šíření chloru, ale také jeho poměrně rychlému naředění a odpaření. V případě postupného úniku chloru má evakuace své opodstatnění, zejména v místech, kde předpokládáme postupné šíření naředěného toxického oblaku. Zároveň je třeba mít na paměti, že samotné varování obyvatelstva a také typický zápach chloru mohou vyvolat v lidech paniku, což může zásah jako takový včetně záchrany

zasazených osob a evakuace práci složkám IZS značně ztížit. Je proto žádoucí z preventivního hlediska udržovat informovanost veřejnosti na dobré úrovni a šířit povědomí o možnostech průběhu událostí s únikem chemických látek, zejména v okolí chemických podniků nebo místech, kde je vysoká pravděpodobnost, že k takové události může dojít. Tato prevence může probíhat ve školách a dalších vzdělávacích zařízeních, v rámci dětských táborů a mimoškolních akcí, distribucí letáků či krátkými spoty v rámci reklamních bloků na internetu či ve sdělovacích prostředcích. Obsahem by mělo být zejména několik hlavních zásad, jak se v případě úniku nebezpečných látek chovat:

- nepřibližovat se k místu havárie, kde předpokládáme nejvyšší koncentraci unikající chemické látky,
- vyhledat bezpečný úkryt, vhodná jsou vyšší patra budov z důvodu šíření těžkých plynů při zemi,
- utěsnit místnost – vypnout digestoře a klimatizace, snažit se utěsnit klíčové dírky a okenní štěrby navlhčenou látkou,
- připravit a použít prostředky individuální ochrany dostupné v daném okamžiku (rukavice, šátky k ochraně dýchacích cest, brýle na ochranu očí, pláštěnky apod.),
- poslouchat rozhlasové a televizní vysílání, neblokovat síť, zbytečně netelefonovat,
- respektovat pokyny složek IZS a důvěřovat jim, chovat se klidně a s rozvahou,
- vyvarovat se větší fyzické námahy a omezit tak vdechování kontaminovaného vzduchu,
- varovat sousedy a pomoci starším, nevidomým, nemocným,
- připravit se na evakuaci včetně evakuačního zavazadla a čekat na pokyny od IZS [56, 58].

## Návrhy v oblasti opatření ochrany obyvatelstva

Jedním z návrhů na zefektivnění ochrany obyvatelstva v případě mimořádné události s únikem nebezpečné látky na vlakovém nádraží Kladno je jednoznačně šíření povědomí o možnostech vzniku takové události a zásadách chování obyvatel v rámci zajištění vlastní bezpečnosti. K šíření informací a obecně podpoře informovanosti populace lze využít místní tisk (například *Kladenské listy*), úřední desku magistrátu, místní internetové stránky (*Kladenský deník*, oficiální web města Kladna), billboardy, dále lze v rámci edukace veřejnosti pořádat osvětové akce a veřejně přístupné přednášky s obecnou tematikou jakkoli se dotýkající práce složek IZS a mimořádných událostí. Město Kladno uvádí informace týkající se chování a žádoucích reakcí v případě nastalých mimořádných událostí na svých webových stránkách [59], včetně popisu jednotlivých druhů varovných signálů, zásad provedení ukrytí a evakuace, použití osobních ochranných pomůcek, uvádí dále kontakty na HZS, ZZS a PČR i zásady první pomoci a resuscitace, všechny tyto informace je však třeba dále šířit a osvěžovat. Speciální zaměření pak vyžadují senioři a děti a v neposlední řadě také občané jiných národnostních menšin, kteří velmi často nerozumí českému jazyku. Vzhledem k poměrně velkému počtu uprchlíků před válečným konfliktem na Ukrajině by bylo vhodné zvážit, zda by alespoň na stránkách města informace ohledně mimořádných událostí a žádoucích reakcí na ně neměly být zveřejněné také v jiných jazycích, případně umožnit dostupnost informací v cizích jazycích formou letáků označených vlajkou dané země. Tyto letáky by bylo možné distribuovat v rámci komunitních akcí a umožnit jejich dostupnost v městském informačním centru. Pro šíření osvěty v rámci škol lze organizovat vzdělávací akce v rámci výuky osnov základních škol a předmětu Člověk a jeho svět či Výchova k občanství – teoretické poznatky doplnit praktickým cvičením (ideálně herní, zábavnou formu) a prověřit testem. Pro seniory by město ve spolupráci se složkami IZS mohlo taktéž připravovat pravidelné osvětové akce zaměřené celkově na chování za mimořádných situací s cílem zachovat vlastní bezpečnost, například v centrech denní péče či domovech pro seniory.

Dalším návrhem v oblasti ochrany obyvatelstva je pravidelné cvičení složek IZS spolu s jednotkami sboru dobrovolných hasičů okolních obcí (dále jen SDH) v rámci přípravy na mimořádné události spojené s únikem chemické látky. Cvičení by jistě bylo časově i organizačně velmi náročné, avšak prověřilo by připravenost adekvátně reagovat na nastalou situaci. V přilehlých obcích jsou SHD velmi aktivní a připravují na hasičskou

dobrovolnou činnost aktivně i místní mládež. Spolupráce dobrovolných hasičů s HZS při takto specifických mimořádných událostech může být klíčová a zásadním způsobem napomoci k eliminaci dopadů mimořádné události na životy a zdraví osob.

V rámci efektivnějšího šíření výstražné informace o nastalé události doporučuji zvážit výměnu rotačních sirén za elektronické, které by umožnily doprovodit signál verbální informací, k jaké události došlo a jak se obyvatelstvo má zachovat. V oblasti sdílení informací navrhuji šířit informace o mimořádných událostech cestou nevyžádaných zpráv SMS, které by byly odesílané všem obyvatelům, nacházejícím se v dané oblasti ohrožení dle vyhodnocení zóny ohrožení ze strany IZS. V současnosti jsou tyto SMS zasílané pouze samosprávným orgánům krizového řízení, nikoli občanům. Bylo by tedy vhodné umožnit vznik databáze kontaktů občanů, kterým by v případě mimořádné události tyto SMS byly doručeny. Jednalo by se o systém lokalizovaných SMS zasílaných na mobilní zařízení v dané oblasti a určeného perimetru, obsahujících informace o nastalé mimořádné události, místě a času události a žádoucího chování obyvatelstva k zajištění vlastní bezpečnosti.

Posledním návrhem pro efektivní ochranu obyvatelstva v případě úniku chemické látky je definitivně další vývoj modelovacích softwarů. Programy, které jsou v současnosti dostupné, vykazují celou řadu nepřesností a limitací v možnostech výpočtu a zobrazení zón ohrožení, množství uniklé látky a její chování v atmosféře a zejména vývoj koncentrace látky v prostoru a čase v závislosti na charakteru a členitosti terénu. Jednotky HZS by měly mít možnost modelovat podobné havárie, které by lépe reflektovaly reálné podmínky, a připravovat se na efektivní provedení záchranných a likvidačních prací ve snaze minimalizovat újmy na lidském zdraví a životech a zamezit negativním dopadům na životní prostředí.

### **Vyhodnocení hypotéz**

- **Hypotéza 1: Zóna ohrožení AEGL-3 bude při jednorázovém úniku chloru za inverzního počasí o 10 % delší než za počasí slunečného.**

Hypotéza vyvrácena. Dle modelace v softwaru ALOHA byla zóna AEGL-3 v případě jednorázového úniku chloru za inverzního počasí stanovena na 9,7 km a v případě úniku za slunečného počasí na 9,5 km. Rozdíl činí pouze 2 %.

- **Hypotéza 2: V případě postupného úniku chloru z ventilu cisterny za inverzního počasí bude nutné evakuovat osoby z okolí nemocnice Kladno.**

Hypotéza potvrzena. Koncentrace chloru by dle softwarového programu ALOHA v tomto případě dosáhla hodnoty 8 ppm v okolí nemocnice Kladno. To je sice hodnota koncentrace, při které nedochází k přímému ohrožení na životě, přesto tato koncentrace chloru může způsobit vážné a trvalé poškození zdraví zasažených osob, zejména při delší expozici. Vzhledem k celkové době trvání úniku by bylo zároveň reálné evakuaci provést z časového a organizačního hlediska.

## 7 ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce bylo provedení softwarových modelací tří typů simulované nehody s únikem chloru z kotlového vozu za různých meteorologických podmínek pomocí programu ALOHA a TerEx – DEGAS, zhodnocení výsledků modelace a navržení odpovídajících opatření ochrany obyvatelstva. V teoretické části byly vymezeny hlavní pojmy související s problematikou mimořádných událostí s únikem chemických látek a jejich směsí při jejich přepravě. Byly zde uvedeny příklady havárií v železniční přepravě chloru ve světě, vymezen legislativní rámec nakládání s chemickými látkami, bezpečnostní značení v přepravě, představeny byly některé databáze chemických látek a byla uvedena charakteristika chloru jako chemické látky včetně jeho dopadů na lidské zdraví a životy. Součástí výzkumné části práce bylo provedení modelací v obou uvedených softwarech s cílem získat informace o zóně ohrožení a koncentrace chloru ve vybrané vzdálenosti od místa úniku. Na základě získaných dat byla navržena opatření ochrany obyvatelstva a vyhodnoceny hypotézy stanovené v úvodu této práce.

Přestože modelované nehody byly pouze hypotetické, měly poukázat na možná nebezpečí spojená s přepravou chloru pro město a jeho obyvatele. Na základě provedených modelací lze konstatovat, že dopady nehody s jednorázovým únikem chloru z cisterny by byly fatální pro tisíce obyvatel města. Modelování simulovaných nehod je vhodným podpůrným prostředkem pro havarijní plánování a přípravu na mimořádné situace, přestože softwary pro modelování mají jisté limity a nedokáží simulovat reálné podmínky, zejména ráz krajiny a další vlivy na měnící se podmínky prostředí. Provedení modelace nastalé události může také pomoci záchranným složkám lépe mimořádné situace řešit a zvolit vhodná organizační a technická řešení. Nelze opomíjet ani důležitost úrovně informovanosti široké veřejnosti jako podstatnou součást preventivních opatření, stejně jako školení dětí a mládeže v rámci výuky, a přispět tak k připravenosti obyvatel na možná rizika v případě nehod s přítomností chemických látek.



## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
ALOHA	Area Locations of Hazardous Atmospheres
CLP	Classification, Labelling, Packaging
COFIF	Convention relative aux transports internationaux ferroviaires
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines
HZS	Hasičský záchranný sbor
HAZCHEM	Hazardous chemicals
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health
IZS	Integrovaný záchranný systém
JSDH	Jednotka sboru dobrovolných hasičů
NCHL	nebezpečné chemické látky
PČR	Policie České republiky
REACH	Registration Evaluation Authorisation Chemicals
RID	Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses
SDH	Sbor dobrovolných hasičů
SMS	Short Message Service
TRINS	Transportní informační a nehodový systém
ZZS	Zdravotnická záchranná služba

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČAPOUN, Tomáš. *Chemické havárie*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. ISBN 978-80-86640-64-8.
- [2] MATĚJKA, Jiří. *Chemická služba: učební skripta*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012. ISBN 978-80-87544-09-9.
- [3] BŘÍZA, Jan et al. *Ochrana obyvatelstva v případech krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru*. 1. vydání. Brno: Tribun EU, 2014. ISBN 978-80-263-0722-8
- [4] VĚŽNÍKOVÁ, Hana. *Transport nebezpečných věcí*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2019. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-217-7.
- [5] U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. *Investigation Report: Chlorine Release DPC Enterprises, L.P.* Washington D.C.: U.S. Chemical Safety And Hazard Investigation Board, 2003. Report no. 2002- 04-I-MO.
- [6] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina January 6, 2005: Railroad Accident Report NTSB/RAR-05/04*. Washington, D.C.: National Transportation Safety Board, 2005. PB2005-916304.
- [7] HOFMAN, Vít. Smrtící únik chloru v jordánském přístavu Aquaba. In: *BOZP forum* [online]. 2022 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.bozpforum.cz/2022/06/27/smrtici-unik-chloru-v-jordanskem-pristavu-aqaba/>
- [8] *Chlorine gas explosion at Jordan's Aqaba port kills at least 12, injures over 250*. [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iMBEfa5wbs>
- [9] HOFMAN, Vít. Nehoda cisternového vlaku s vinylchloridem. In: *BOZP forum* [online]. 2023 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.bozpforum.cz/2023/02/14/nehoda-cisternoveho-vlak-u-s-vinylchloridem/>
- [10] Kolektiv autorů. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení*. Praha: MV – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. ISBN 978-80-86466-62-0.

- [11] STANĚK, Martin. *Praktické a simulované metody řešení CBRN událostí*. Studijní opora. Kladno: ČVUT FBMI, 2021.
- [12] Nebezpečný odpad. In: *Oficiální stránky města Jihlavy* [online]. 2023 © Jihlava, 2023, 2013 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.jihlava.cz/nebezpecny-odpad/d-493643>
- [13] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 2008, o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP), o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006.
- [14] LACINA, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Nebezpečné chemické látky a směsi*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013, 131 s. ISBN 978-80-210-6475-1
- [15] ŠENOVSKÝ, Michail. *Nebezpečné látky II. 2.*, aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-000-5.
- [16] Sdělení Ministerstva zahraničních věcí č. 19/2015 Sb. m. s. o přijetí změn Řádu pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (RID), který je přípojkem C k Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).
- [17] VALA, Jiří. *Přeprava nebezpečných věcí*. <https://www.bozpinfo.cz> [online]. Praha: © Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. 2023, 2019 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/preprava-nebezpecnych-veci>. ISSN 1801-0334.
- [18] SBOR DOBROVOLNÝCH HASIČŮ – PRAHA ZLIČÍN. *Identifikace nebezpečných látek – Kemler kód*. [online]. © 2014 [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: [http://sdhzlicin.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101:identifikace-1nl&catid=51:nebezpecne-latky&Itemid=74](http://sdhzlicin.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=101:identifikace-1nl&catid=51:nebezpecne-latky&Itemid=74)
- [19] BARTLOVÁ, Ivana. *Nebezpečné látky*. 2. rozš. vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005, 211 s. ISBN 80-866-3459-3.
- [20] *Medis Alarm* [online]. Medistyl [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.medisalarm.cz/najdi>

- [21] UN kód - chlor: značení chloru v přepravě. In: *Hasičský záchranný sbor ČR* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/SCRIPT/ViewImage.aspx?physid=1190741&docname=UN%20k%C3%B3d%20chl%C3%B3r>
- [22] *Hazchem a Diamant – označování nebezpečných látek při silniční přepravě* [online]. 2012 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/50602-hazchem-a-diamant-oznacovani-nebezpecnych-latek-pri-silnicni-preprave/>
- [23] GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. *Řád chemické služby Hasičského záchranného sboru ČR*. Vydání první. Praha: Ministerstvo vnitra, 2017. ISBN 978-80-87544-49-5.
- [24] *Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Zásahy s únikem chloru*. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. Praha, 2011.
- [25] ŘÍMANOVÁ, Dana. *Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích včetně prováděcích předpisů s výkladem*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: BOVA POLYGON, 2004. ISBN 80-7273-113-0
- [26] CENTRE FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. 3. vydání. Cincinnati: NIOSH Publications, 2007. ISBN 9781780398525.
- [27] CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*. In: Cdc.gov [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/7782505.html>
- [28] TOUŽÍN, Jiří. *Stručný přehled chemie prvků*. Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-527-0.
- [29] *Databáze nebezpečných látek MEDIS-ALARM*. Medistyl, spol. s.r.o. [online]. 2023 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.medisalarm.cz/>
- [30] ČVUT FBMI. *Chemická bezpečnost (studijní opora)*. Kladno 2020.
- [31] ŠTĚTINA, Jiří. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4578-7

- [32] HYLÁK, Čestmír a Ján PIVOVARNÍK, 2016. Individuální a kolektivní ochrana obyvatelstva ČR. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-87544-18-1.
- [33] DVOŘÁK, Karel a Svatopluk HAUGWITZ. *Ochrana obyvatelstva prostřednictvím složek integrovaného záchranného systému a krizového řízení*. Armex, 2021. ISBN 978-80-87451-81-6.
- [34] SKŘEHOT, Petr, Jakub MAREK, František HOUSER, Zdeněk HON, Martin STANĚK, Michaela MELICHAROVÁ, Zbyněk JAŇOUR a Petr KORBA. *Predikce vzniku a šíření těžkého plynu při chemických haváriích*. Chemické listy. 2019. ISSN 1213-7103.
- [35] TEREK – TERoristický Expert, 2017. T-soft [online]. [cit. 2023-4-30]. Dostupné z: <https://www.tsoft.cz/teroristicky-expert/>
- [36] *TerEx: Terroristic Expert* [online]. [cit. 2023-04-09]. Verze aplikace: 3.1.4.0. Dostupné z: <https://terex.tsoft.cz/UI/Events>
- [37] STANĚK, Martin. *Možnosti modelace rozptylu a šíření těžkého plynu v rámci chemických havárií*. Kladno, 2022. Dizertační práce. ČVUT FBMI. Vedoucí práce doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
- [38] *Google Maps: Vlakové nádraží Kladno* [online]. Česko, 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://goo.gl/maps/RR7ztqwCyvsSpjdh8>
- [39] ZAES 30 - železniční cisterna na převoz chemických látek. ČD CARGO, a.s. [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/katalog-nakladnich-vozu>.
- [40] *Archiv počasí* [online]. Praha: © 2023 InMeteo, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/>
- [41] Chlorine Results – AEGl program. *Epa.gov* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/aegl/chlorine-results-aegl-program>.
- [42] Office of response and restoration. *National Oceanic and Atmospheric Administration* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/emergency-response-planning-guidelines-erpgs.html>.

- [43] GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Řád chemické služby Hasičského záchranného sboru ČR. Vydání první. Praha: Ministerstvo vnitra, 2017. ISBN 978-80-87544-49-5.
- [44] Chlor. *Portal krizového řízení JHM* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.krizport.cz/ohrozeni/nebezpecne-latky-v-jmk/chlor>.
- [45] RID 2017: Sdělení Ministerstva zahraničních věcí č. 20/2017 Sb.m.s. o přijetí změn Řádu pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (RID), který je přípojkem C k Úmluvě o mezinárodní železniční dopravě (COTIF). In: Bern, 2017, číslo 20.
- [46] JONES, Robert. ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 Technical Documentation. Seattle: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2013.
- [47] SKŘEHOT, Petr A. *Náhled do problematiky těžkých plynů a modelování jejich rozptylu*. In: Aktuálně otázky bezpečnosti práce. Košice: TU v Košiciach, 2015. ISBN 978-80-553-2302-2.
- [48] SKŘEHOT, Petr. *Rozptyl těžkého plynu v atmosféře: teorie – modely - experimenty*. V Praze: T-SOFT, 2018. ISBN 978-80-905401-2-5.
- [49] ALOHA® USER'S MANUAL. Washington, D.C.: U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY & NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2007. Dostupné také z: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1003UZB.PDF?Dockey=P1003UZB.PDF>
- [50] Feature Article: Journal Highlights Groundbreaking S&T Research on Chlorine Spread. *Science and Technology* [online]. United States of America, 2020 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2020/11/12/feature-article-journal-highlights-groundbreaking-st-research-on-chlorine-spread>
- [51] CHLORINE. In: CAMEO Chemicals: Verze 2.7.1 rev 3 [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/2862>
- [52] Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: skripta, 2015. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-62-0.
- [53] Ochrana obyvatelstva v případě krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru. Brno: Tribun EU, 2014. ISBN 978-80-263-0721-1.

- [54] The Author(s). Importance of continuing health care before emergency hospital evacuation: a fatal case of a hospitalized patient in a hospital within 5 km radius of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: a case report. *PubMED*. BioMed Central, 2023. ISSN 17521947. Dostupné z: doi:10.1186/s13256-022-03744-6
- [55] Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek. *Ministerstvo vnitra české republiky* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/chovani-obyvatelstva-v-pripade-havarie-s-unikem-nebezpecnych-chemickych-latek.aspx>
- [56] Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek. *Ministerstvo vnitra české republiky* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/chovani-obyvatelstva-v-pripade-havarie-s-unikem-nebezpecnych-chemickych-latek.aspx>
- [57] KRATOCHVÍLOVÁ, Danuše, Danuše KRATOCHVÍLOVÁ a Libor FOLWARCZNY. *Ochrana obyvatelstva*. 2. aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. SPBI Spektrum. Červená řada, 42. ISBN 978-80-7385-134-7.
- [58] KUBÁTOVÁ, Hana, Průmyslová toxikologie a životní prostředí, V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018, ISBN 978-80-7385-210-8
- [59] KROUPA, Miroslav. *Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek: příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo*. Praha: Ministerstvo vnitra, generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2004. ISBN 80-86640-23-X.
- [60] Informace o postupu v případě ohrožení. *STATUTÁRNÍ MĚSTO KLADNO* [online]. 2023, 2011 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://mestokladno.cz/informace-o-postupu-v-pripade-ohrozeni/ds-5885>

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Únik chloru v přístavu Aquaba, Jordánsko [8] .....	13
Obrázek 2 – Výstražné symboly nebezpečnosti dle CLP [12] .....	15
Obrázek 3 – Značení chloru v UN systému [21] .....	22
Obrázek 4 – Značení Diamant [22] .....	22
Obrázek 5 – Mapa středisek TRINS v ČR [4] .....	26
Obrázek 6 – Kemlerův kód a UN číslo [20] .....	28
Obrázek 7 – Havarijní modely dostupné ve webové verzi TerEx [36].....	33
Obrázek 8 – Okolí nádraží Kladno včetně přilehlých obchodů Lidl, Kaufland a čerpací stanice MOL [zdroj: vlastní, 38] .....	38
Obrázek 9 – Vlakové nádraží Kladno [zdroj: vlastní].....	38
Obrázek 10 – Rozměry cisterny ZAES 30 na přepravu chemických látek [39] .....	40
Obrázek 11 – Rozměry cisterny ZAES 30 na přepravu chemických látek [39] .....	40
Obrázek 12 – Přípustné koncentrace chloru [41] .....	41
Obrázek 13 – ERPG havarijní koncentrace chloru [42].....	42
Obrázek 14 – Železniční cisterna ZAES 30 [39].....	43
Obrázek 15 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 1a [ALOHA].....	45
Obrázek 16 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 1b [ALOHA].....	45
Obrázek 17 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 2 a [ALOHA] .....	46
Obrázek 18 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 2b [ALOHA].....	47
Obrázek 19 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 3a [ALOHA] .....	47
Obrázek 20 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace ALOHA 3b [ALOHA] .....	48
Obrázek 21 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 4a [TerEx - t.soft].....	50
Obrázek 22 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 4b [TerEx - t.soft].....	51
Obrázek 23 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 5a [TerEx - t.soft] .....	51
Obrázek 24 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 5b [TerEx - t.soft].....	52
Obrázek 25 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6a [TerEx - t.soft] .....	53
Obrázek 26 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6a – detail výseče [TerEx - t.soft].....	53
Obrázek 27 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6b [TerEx - t.soft].....	54
Obrázek 28 – Zobrazení zón ohrožení dle modelace DEGAS 6b – detail výseče [TerEx - t.soft].....	54



Obrázek 29 – Zobrazení vzdáleností Lidl, Kaufland, nemocnice Kladno [zdroj: vlastní, 38] .....	56
Obrázek 30 – Třídy stability a odpovídající meteorologické podmínky [46].....	62
Obrázek 31 – Ukázka šíření těžkého plynu, chloru, v experimentálním prostředí s patrnou první a druhou fází [50].....	62
Obrázek 32 – Pohled z perspektivy dronu na vlakové nádraží a jeho přilehlé okolí [zdroj: Město Kladno – autoři fotografie Adam Litera a Michal Puchel] .....	71
Obrázek 33 – Doporučené ochranné prostředky pro zásah v případě mimořádné události s únikem nebezpečných látek [24] .....	73

## **11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

Tabulka 1 – Přehled modelací ALOHA, zón ohrožení a délky trvání úniku chloru.....	49
Tabulka 2 – Přehled výsledků modelací v programu TerEx – DEGAS včetně dané koncentrace v zóně ohrožení a v zóně doporučeného průzkumu prachových částic .....	55
Tabulka 3 – Přehled naměřených koncentrací ve vybraných vzdálenostech od místa úniku .....	58

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1 – Vývoj koncentrace ve vybraných vzdálenostech od místa úniku – modelace úniku chloru z ruptury cisterny.....	58
Graf 2 – Vývoj koncentrace ve vybraných vzdálenostech od místa úniku – modelace úniku chloru z ventilu cisterny.....	59

## 13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 1a ALOHA .....	93
Příloha 2 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 1b ALOHA .....	94
Příloha 3 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 2a ALOHA .....	95
Příloha 4 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 2b ALOHA.....	96
Příloha 5 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 3a ALOHA .....	97
Příloha 6 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 3b ALOHA.....	98
Příloha 7 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 4a TerEx/DEGAS .....	99
Příloha 8 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 4b TerEx/DEGAS .....	101
Příloha 9 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 5a TerEx/DEGAS .....	103
Příloha 10 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 5b TerEx/DEGAS .....	105
Příloha 11 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky - modelace 6a TerEx/DEGAS .....	107
Příloha 12 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky - modelace 6b TerEx/DEGAS .....	108

Příloha 1 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace la ALOHA

SITE DATA:

Location: KLADNO, CZECH REPUBLIC  
 Building Air Exchanges Per Hour: 0.83 (sheltered single storied)  
 Time: December 4, 2022 1600 hours ST (user specified)

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: -35.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

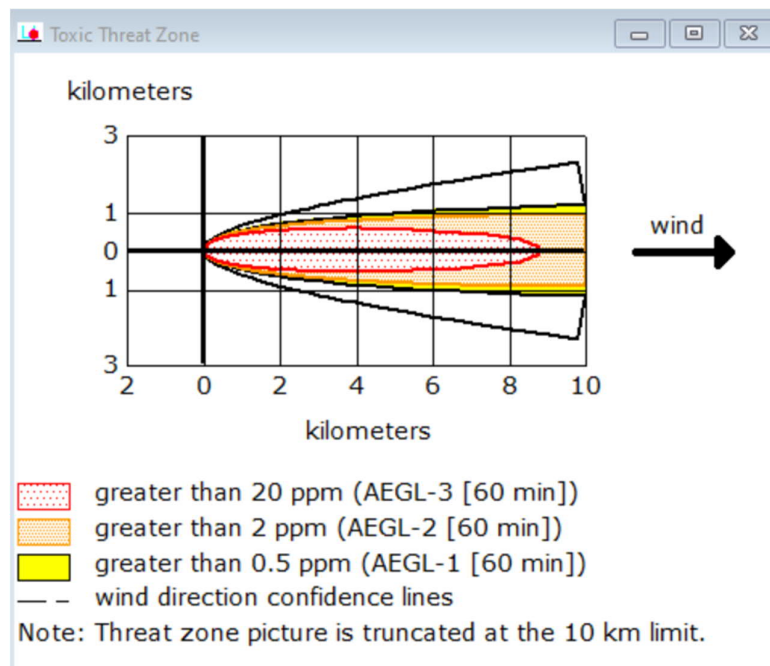
Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters  
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths  
 Air Temperature: 4° C  
 Stability Class: E (user override)  
 Inversion Height: 4 meters Relative Humidity: 99%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
 Non-flammable chemical is escaping from tank  
 Tank Diameter: 2.24 meters Tank Length: 10.2 meters  
 Tank Volume: 40.2 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 4° C  
 Chemical Mass in Tank: 45,666 kilograms  
 Tank is 78% full  
 Opening Length: 30 centimeters Opening Width: 5 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Release Duration: 3 minutes  
 Max Average Sustained Release Rate: 17,200 kilograms/min  
 (averaged over a minute or more)  
 Total Amount Released: 45,666 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
 Red : 8.7 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])  
 Orange: greater than 10 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])  
 Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])



*Příloha 2 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 1b ALOHA*

SITE DATA:

Location: KLDNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.75 (sheltered single storied)  
Time: June 4, 2023 1600 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

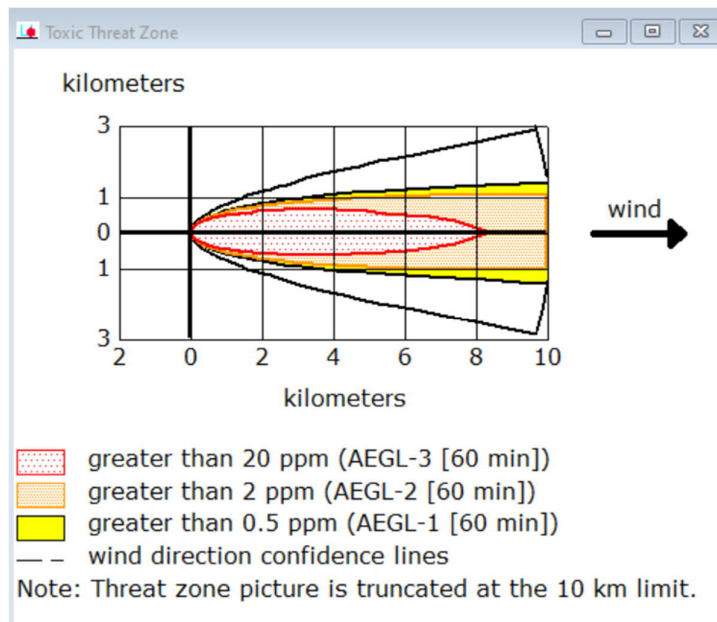
Chemical Name: CHLORINE  
CAS Number: 7782-50-5 Molecular Weight: 70.91 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm AEGL-2 (60 min): 2 ppm AEGL-3 (60 min): 20 ppm  
IDLH: 10 ppm  
Ambient Boiling Point: -35.1° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 18° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Non-flammable chemical is escaping from tank  
Tank Diameter: 2.24 meters Tank Length: 10.2 meters  
Tank Volume: 40.2 cubic meters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 18° C  
Chemical Mass in Tank: 45,666 kilograms  
Tank is 80% full  
Opening Length: 30 centimeters Opening Width: 5 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Release Duration: 3 minutes  
Max Average Sustained Release Rate: 21,600 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 45,666 kilograms  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).



Příloha 3 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 2a ALOHA

```

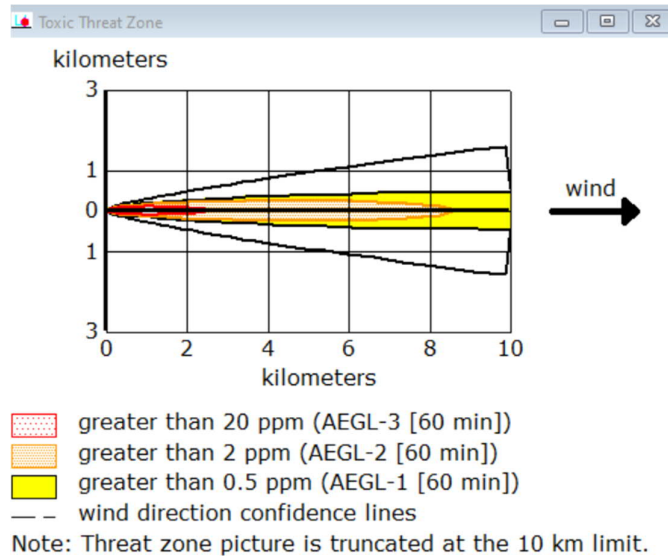
SITE DATA:
  Location: KLDNO, CZECH REPUBLIC
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.83 (sheltered single storied)
  Time: December 4, 2022 1600 hours ST (user specified)

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: -35.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest  Cloud Cover: 10 tenths
  Air Temperature: 4° C
  Stability Class: E (user override)
  Inversion Height: 4 meters  Relative Humidity: 99%

SOURCE STRENGTH:
  Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
  Non-flammable chemical is escaping from tank
  Tank Diameter: 2.24 meters  Tank Length: 10.2 meters
  Tank Volume: 40.2 cubic meters
  Tank contains liquid  Internal Temperature: 4° C
  Chemical Mass in Tank: 46,920 kilograms
  Tank is 80% full
  Circular Opening Diameter: 4 centimeters
  Opening is 0 meters from tank bottom
  Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
  Max Average Sustained Release Rate: 512 kilograms/min
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 29,948 kilograms
  Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:
  Model Run: Heavy Gas
  Red : 2.4 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
  Orange: 8.6 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
  Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])
  
```



Příloha 4 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 2b ALOHA

SITE DATA:

Location: KLADNO, CZECH REPUBLIC  
 Building Air Exchanges Per Hour: 0.75 (sheltered single storied)  
 Time: June 4, 2023 1600 hours ST (user specified)

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: -35.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

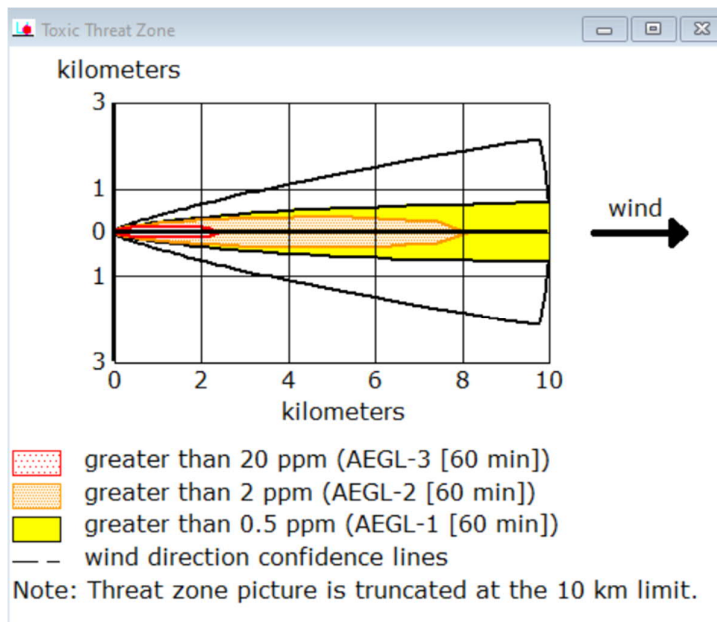
Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters  
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
 Air Temperature: 18° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
 Non-flammable chemical is escaping from tank  
 Tank Diameter: 2.24 meters Tank Length: 10.2 meters  
 Tank Volume: 40.2 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 18° C  
 Chemical Mass in Tank: 45,666 kilograms  
 Tank is 80% full  
 Circular Opening Diameter: 4 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
 Max Average Sustained Release Rate: 706 kilograms/min  
 (averaged over a minute or more)  
 Total Amount Released: 40,155 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
 Red : 2.4 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])  
 Orange: 8.1 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])  
 Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])





Příloha 5 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 3a ALOHA

SITE DATA:

Location: Kladno, Czech Republic  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.83 (sheltered single storied)  
Time: December 4, 2022 1600 hours ST (user specified)

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: -35.1° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

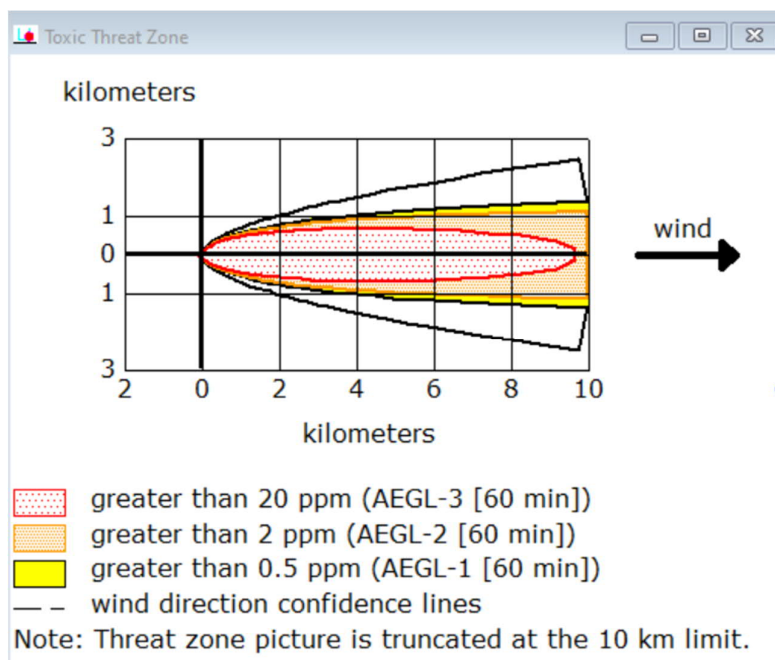
Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths  
Air Temperature: 4° C  
Stability Class: E (user override)  
Inversion Height: 4 meters Relative Humidity: 99%

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 32 cubic meters Source Height: 0  
Source State: Liquid  
Source Temperature: equal to ambient  
Release Duration: 1 minute  
Release Rate: 776 kilograms/sec  
Total Amount Released: 46,581 kilograms  
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 9.7 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: greater than 10 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])



Příloha 6 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 3b ALOHA

SITE DATA:

Location: KLADNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.75 (sheltered single storied)  
Time: June 4, 2023 1600 hours ST (user specified)

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: -35.1° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

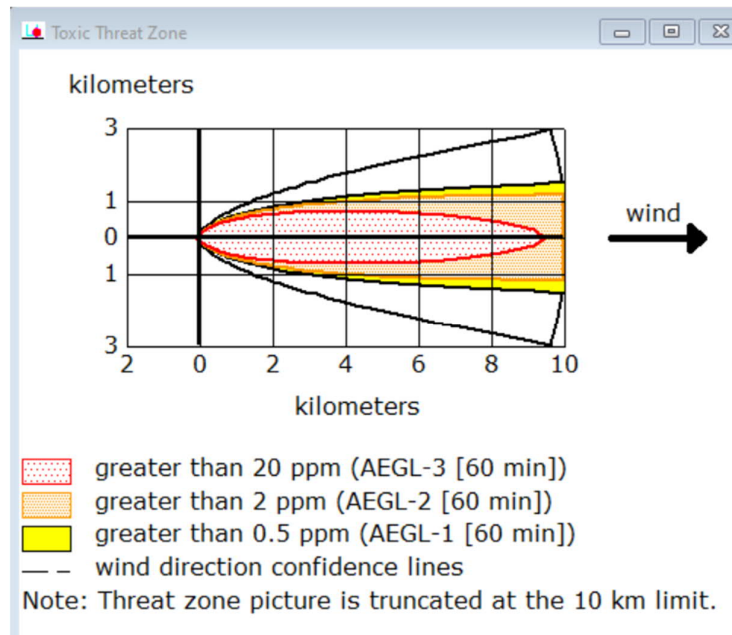
Wind: 5 meters/second from SE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 18° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 32 cubic meters Source Height: 0  
Source State: Liquid  
Source Temperature: equal to ambient  
Release Duration: 1 minute  
Release Rate: 755 kilograms/sec  
Total Amount Released: 45,279 kilograms  
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 9.5 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: greater than 10 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])



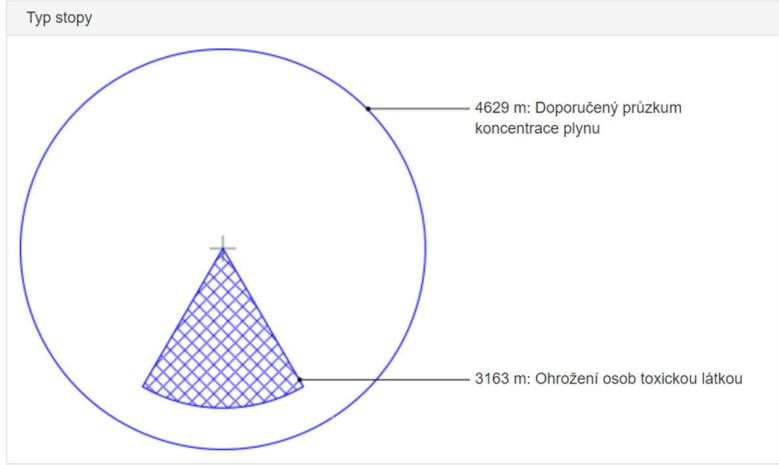
## DEGAS - rozptyl těžkých plynů

Vstupní parametry	
Látka	chlor
Výška měření větru/teploty	3 m
Teplota vzduchu	4 °C
Rychlost větru	5 m/s
Relativní vlhkost	99 %
Zataženo	99 %
Doba vzniku	Den - podzim
Typ atmosférické stálosti	Izotermie - neutrální
Typ povrchu ve směru šíření látky	Obytná krajina
Typ rozptylu	Horizontální tryskový únik (jet)
Teplota látky	-34 °C (po přepočtu)
Rychlost úniku látky	13,1199822370821 kg/s
Plocha otvoru	0,015 m <sup>2</sup>
Trvání úniku	180 s
Přetlak látky	280 kPa
Výška otvoru nad zemí	0 m

### Doporučený průzkum koncentrace plynu

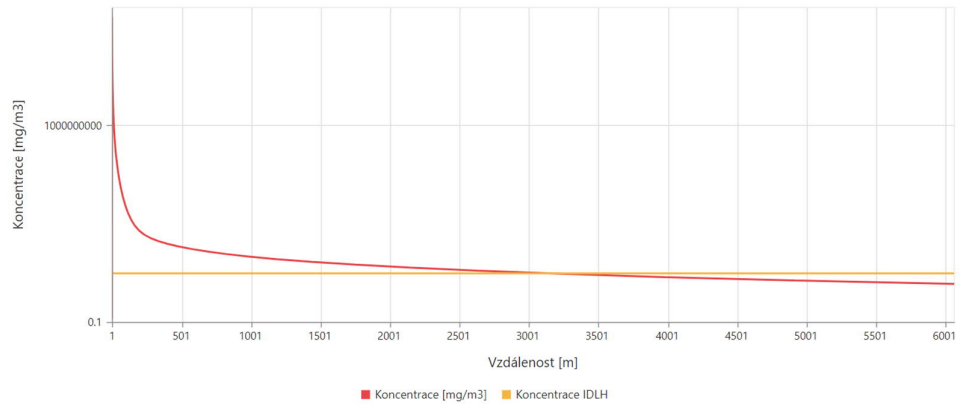
**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 4629 m**

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	3163 m [Koncentrace: 29 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum koncentrace plynu	4629 m [Koncentrace: 14,5 mg/m <sup>3</sup> ]



Výsledek výpočtu Grafy Mapa

Doporučený průzkum



## DEGAS - rozptyl těžkých plynů

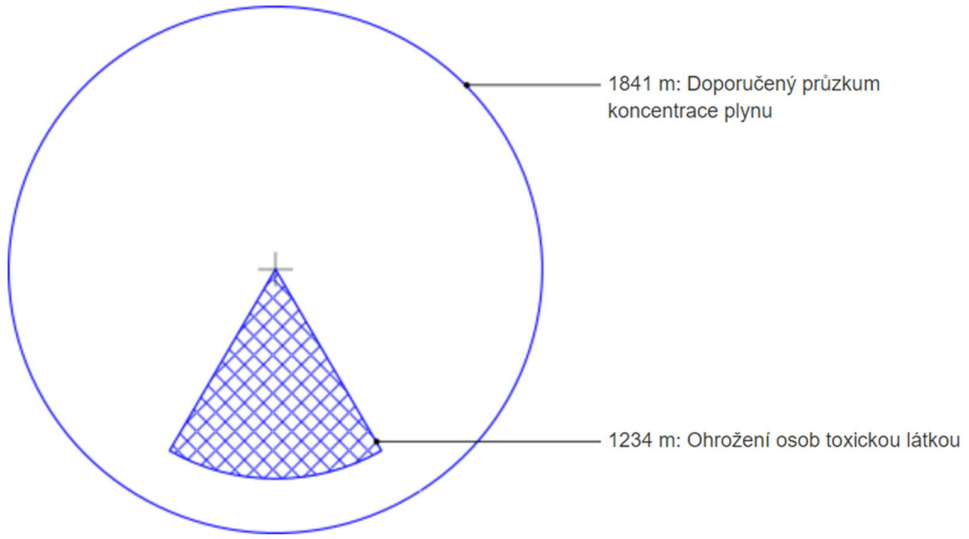
Vstupní parametry	
Látka	chlor
Výška měření větru/teploty	3 m
Teplota vzduchu	18 °C
Rychlost větru	5 m/s
Relativní vlhkost	5 %
Zataženo	0 %
Doba vzniku	Den - jaro
Typ atmosférické stálosti	Konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky	Obytná krajina
Typ rozptylu	Horizontální tryskový únik (jet)
Teplota látky	-34 °C (po přepočtu)
Rychlost úniku látky	12,8006579049054 kg/s
Plocha otvoru	0,015 m <sup>2</sup>
Trvání úniku	180 s
Přetlak látky	280 kPa
Výška otvoru nad zemí	0 m

### Doporučený průzkum koncentrace plynu

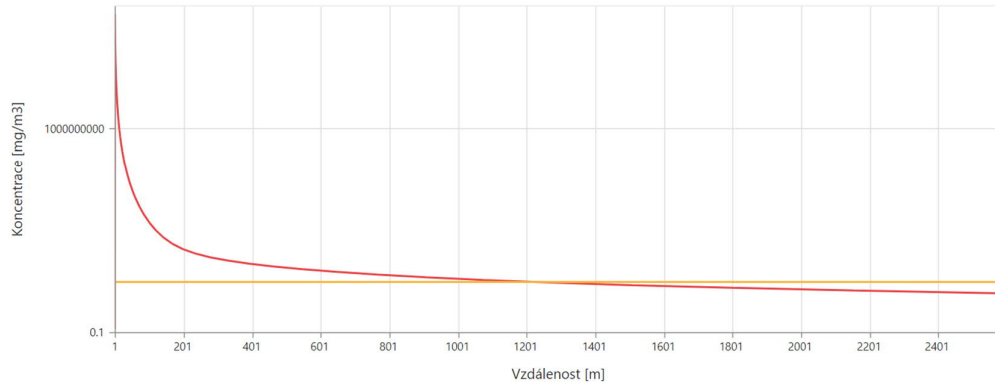
**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 1841 m**

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	1234 m [Koncentrace: 29 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum koncentrace plynu	1841 m [Koncentrace: 14,5 mg/m <sup>3</sup> ]

### Typ stopy



### Doporučený průřez



## DEGAS - rozptyl těžkých plynů

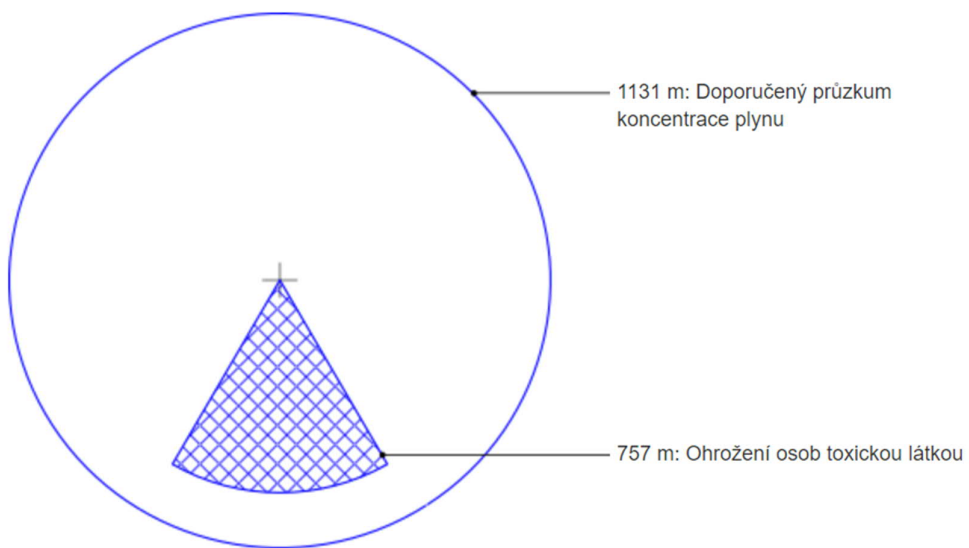
Vstupní parametry	
Látka	<b>chlor</b>
Výška měření větru/teploty	<b>3 m</b>
Teplota vzduchu	<b>4 °C</b>
Rychlost větru	<b>5 m/s</b>
Relativní vlhkost	<b>99 %</b>
Zataženo	<b>99 %</b>
Doba vzniku	<b>Den - podzim</b>
Typ atmosférické stálosti	<b>Izotermie - neutrální</b>
Typ povrchu ve směru šíření látky	<b>Obytná krajina</b>
Typ rozptylu	<b>Horizontální tryskový únik (jet)</b>
Teplota látky	<b>-34 °C (po přepočtu)</b>
Rychlost úniku látky	<b>1,09913706163322 kg/s</b>
Plocha otvoru	<b>0,00125663706143592 m<sup>2</sup></b>
Trvání úniku	<b>3600 s</b>
Přetlak látky	<b>280 kPa</b>
Výška otvoru nad zemí	<b>0 m</b>

### Doporučený průzkum koncentrace plynu

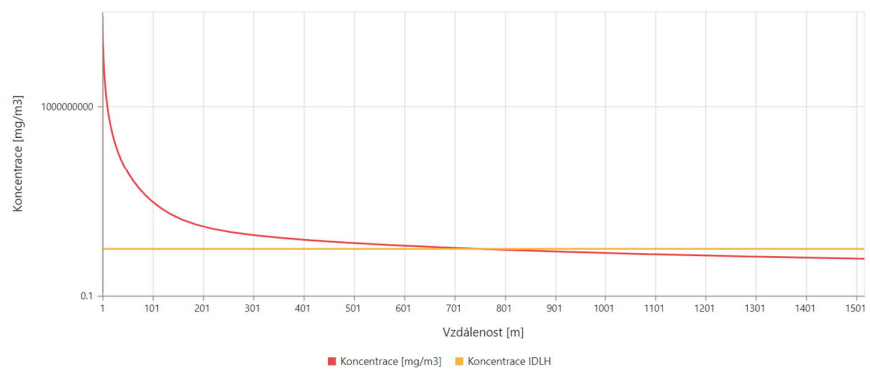
**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 1131 m**

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	<b>757 m</b> <b>[Koncentrace: 29 mg/m<sup>3</sup>]</b>
Doporučený průzkum koncentrace plynu	<b>1131 m</b> <b>[Koncentrace: 14,5 mg/m<sup>3</sup>]</b>

### Typ stopy



### Doporučený průzkum





Příloha 10 – Textové pole, zobrazení zón ohrožení graficky – modelace 5b  
TerEx/DEGAS

### DEGAS - rozptyl těžkých plynů

Vstupní parametry	
Látka	chlor
Výška měření větru/teploty	3 m
Teplota vzduchu	18 °C
Rychlost větru	5 m/s
Relativní vlhkost	5 %
Zataženo	0 %
Doba vzniku	Den - jaro
Typ atmosférické stálosti	Konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky	Obytná krajina
Typ rozptylu	Horizontální tryskový únik (jet)
Teplota látky	-34 °C (po přepočtu)
Rychlost úniku látky	1,07238540893779 kg/s
Plocha otvoru	0,00125663706143592 m <sup>2</sup>
Trvání úniku	3600 s
Přetlak látky	280 kPa
Výška otvoru nad zemí	0 m

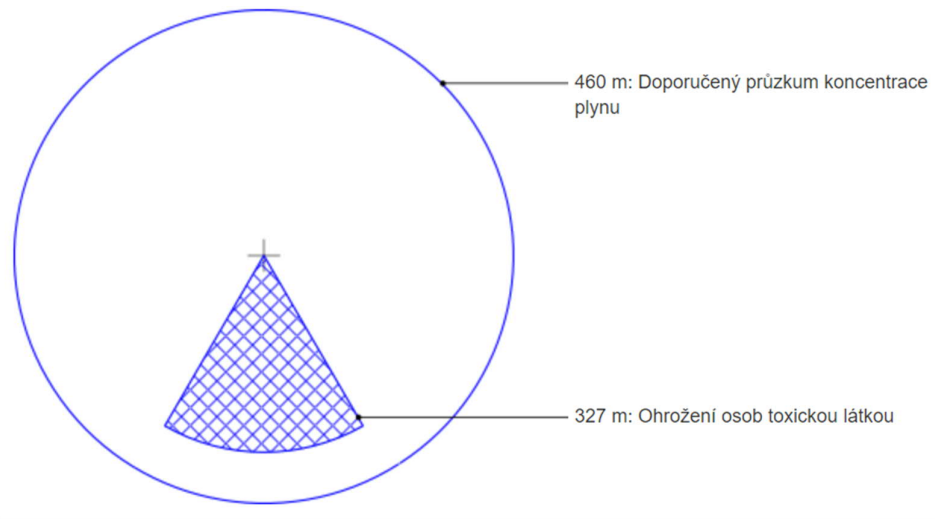
#### Doporučený průzkum koncentrace plynu

**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 460 m**

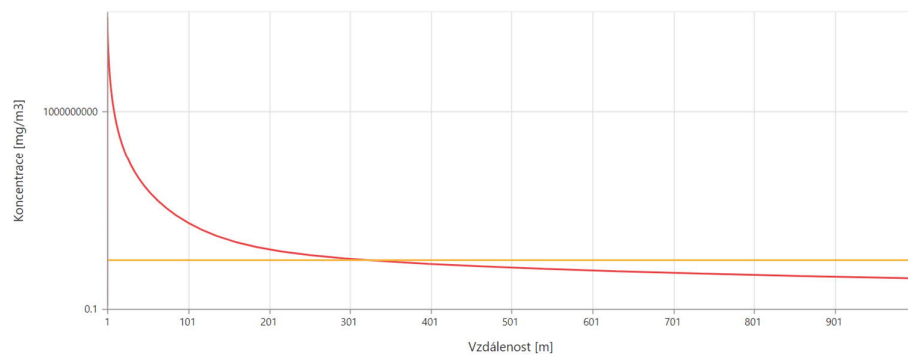
#### Výsledek výpočtu

Ohrožení osob toxickou látkou	327 m [Koncentrace: 29 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum koncentrace plynu	460 m [Koncentrace: 14,5 mg/m <sup>3</sup> ]

### Typ stopy



### Doporučený průzkum



## DEGAS - rozptyl těžkých plynů

Vstupní parametry		
Látka	chlor	
Výška měření větru/teploty	3 m	
Teplota vzduchu	4 °C	
Rychlost větru	5 m/s	
Relativní vlhkost	99 %	
Zataženo	100 %	
Doba vzniku	Den - podzím	
Typ atmosférické stálosti	Izotermie - neutrální	
Typ povrchu ve směru šíření látky	Obytná krajina	
Typ rozptylu	Jednorázový únik	
Teplota látky	-34 °C (po přepočtu)	
Hloubka zásobníku	10 m	
Šířka zásobníku	2,5 m	
Výška zásobníku	4 m	
Uniklé množství	46000 kg	

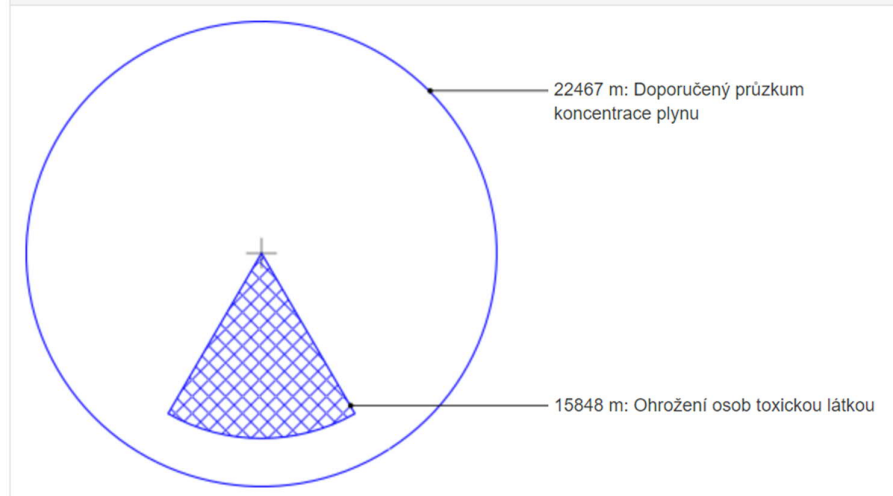
### Doporučený průzkum koncentrace plynu

**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 22467 m**

### Výsledek výpočtu

Ohrožení osob toxickou látkou	15848 m [Koncentrace: 29 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum koncentrace plynu	22467 m [Koncentrace: 14,5 mg/m <sup>3</sup> ]

### Typ stopy



## DEGAS - rozptyl těžkých plynů

Vstupní parametry	
Látka	chlor
Výška měření větru/teploty	3 m
Teplota vzduchu	18 °C
Rychlost větru	5 m/s
Relativní vlhkost	5 %
Zataženo	0 %
Doba vzniku	Den - jaro
Typ atmosférické stálosti	Konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky	Obytná krajina
Typ rozptylu	Jednorázový únik
Teplota látky	-34 °C (po přepočtu)
Hloubka zásobníku	10 m
Šířka zásobníku	2,5 m
Výška zásobníku	4 m
Uniklé množství	46000 kg

### Doporučený průzkum koncentrace plynu

**EVAKUACE DO VZDÁLENOSTI 11396 m**

Výsledek výpočtu	
Ohrožení osob toxickou látkou	8252 m [Koncentrace: 29 mg/m <sup>3</sup> ]
Doporučený průzkum koncentrace plynu	11396 m [Koncentrace: 14,5 mg/m <sup>3</sup> ]

