



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING INSTITUTE OF
AUTOMOTIVE ENGINEERING

ODHAD MOŽNÝCH NÁSLEDKŮ PŘI ÚNIKU TOXICKÉ LÁTKY

ESTIMATION OF THE POTENTIAL CONSEQUENCES OF THE RELEASE TOXIC
SUBSTANCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÍT HAJNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK TABAS, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vít Hajný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Odhad možných následků při úniku toxické látky

v anglickém jazyce:

Estimation of the potential consequences of the release toxic substances

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Významná rizika spojená s chemickým průmyslem odpovídají rychlým ekonomickým změnám, kterým se průmysl přizpůsobuje.

V chemickém průmyslu je využívána celá řada toxických resp. vysoce toxických látek a přípravků. Z havárií jednotek s toxickými látkami/přípravky je však zřejmé, že nejčastěji se na těchto haváriích podílí několik vybraných toxických látek/přípravků.

Tato práce je zaměřena na vytipování těchto látek a odhad možných následků tzv. typových havárií.

Cíle bakalářské práce:

1. Popsat významné havárie spojené s únikem toxické látky.
2. Identifikovat typové havárie.
3. Provést odhad možných následků havárie.

Seznam odborné literatury:

1. Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials : liquids and gases : yellow book. 3rd ed. Committee for the Prevention of Disasters (CPR), 1997.
2. Mannan, Sam. Lees' loss prevention in the process industries : hazard identification, assessment and control. 3rd ed. Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-7555-1.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Tabas, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013. V Brně, dne 1.11.2012

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá odhadem možných následků při úniku toxické látky a je rozdělena do tří celků. První z nich obsahuje rešeršní popis významných havárií spojených s tímto únikem v České republice i ve světě. Dále je v rešeršní části popsána metoda CEI (Chemical Exposure Index), kterou bude odhad stanoven a popis programu ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), na jehož základě bude provedeno porovnání výsledků. Ve druhém úseku je provedena identifikace a výběr typových havárií. V poslední, praktické, části jsou provedeny odhady možných následků a jejich porovnání.

KLÍČOVÁ SLOVA

Toxická látka, havárie, index chemického ohrožení

ABSTRACT

This bachelor thesis is concerned about the estimation of possible impact during the toxic material escape and it is divided into three parts. The first of them contains description of the significant accidents connected with this escape in the Czech republic and in the world. It includes also description of CEI (chemical exposure index), which determine the estimation and there is described the ALOHA (Areal locations of hazardous atmosphere), program whereby we can compare results. The second part is performed an identification and choice of typical accidents. In the last, practical section, are made estimates of potential consequences and their comparison.

KEYWORDS

Toxic substance, accident, Chemical Exposure Index

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAJNÝ, V. *Odhad možných následků při úniku toxické látky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Tabas, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma *Odhad možných následků při úniku toxické látky* jsem vypracoval samostatně, s použitím uvedené odborné literatury pod vedením Ing. Marka Tabase, Ph.D.

V Brně dne 21. 5. 2013

.....

Vít Hajný

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Tabasovi, Ph.D. za ochotu, čas a cenné rady, které mi během vypracovávání bakalářské práce předal.

OBSAH

1. ÚVOD.....	15
2. INDEX CHEMICKÉHO OHROŽENÍ CEI	16
2.1 Typy úniků u metody CEI.....	16
2.2 Postup, při stanovení CE - Indexu	16
2.2.1 Úniky kapaliny.....	17
2.2.2 Únik plynu	17
2.3 Odhad toxických mraků pro ERPG – 1, ERPG – 2, ERPG – 3	18
2.4 Zjednodušující a omezující předpoklady metody CEI.....	19
2.5 Veličiny použité při stanovení CE – Indexu	19
3. PROGRAM ALOHA.....	20
3.1 Modelování	20
3.2 Vstupní data a podklady	21
4. REFERENČNÍ HAVÁRIE	22
4.1 Havárie s únikem toxické látky	22
4.1.1 Únik methylisokyanátu v Indii v závodu společnosti UNION CARBIDE – 3. 12. 1948	23
4.1.2 Únik TCDD ve městě SEVESO v Itálii – 10. 6. 1976.....	23
4.1.3 Exploze cisterny se čpavkem na bělehradském předměstí Borca v Srbsku – 27. 5. 1998	24
4.1.4 Únik chlóru z podniku SPOLANA a.s. – 2002.....	24
4.1.5 Únik kyanidu z podniku Lučební závody DRASLOVKA a. s. Kolín – 9. 1. 2006..	24
4.1.6 Únik chlóru z Distribučního skladu chemických látek ve Frankfurtu nad Mohanem– 15. 10. 2007	25
4.1.7 Únik chlóru z úpravny vody ve Vítkově – 25. 2. 2009	25
4.1.8 Únik čpavku v podniku Madeta a.s. v Prachaticích – 30. 7. 2010	26
4.1.9 Únik kyanidu z těžebních závodů Altaj Ken Bajytau v Kazachstánu – 3. 11. 2011	26
4.1.10 Únik chlóru na předměstí Tbilisi v Gruzii – 4. 7. 2012	26
4.1.11 Únik čpavku v podniku Vodňanská drůbež a.s. – 21. 8. 2012	26
4.2 Volba referenčních havárií	29
4.2.1 Výpočet metodou CEI	30
4.2.2 Výpočet havarijních scénářů programem ALOHA	36
4.2.3 Porovnání výsledků.....	44
5. ZÁVĚR	47

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1. Úvod

K významným haváriím spojeným s únikem toxických látek docházelo a stále dochází prakticky v každé zemi s rozvinutým chemickým průmyslem. Mezi nejznámější havárie lze zařadit únik TCDD v italském Sevesu (1976) nebo únik methylizokyanátu v Bhópálu v Indii v roce 1984. Z poslední doby lze uvést únik chlóru ve Frankfurtu nad Mohanem v Německu v roce 2007, únik kyanidu v Altaj Ken Bajytau v Kazachstánu v roce 2011, atd. Vzhledem k charakteru uvedených látek jsou následky takových havárií velmi nepříjemné a mohou vést až k fatálním zraněním v řadách zaměstnanců společnosti nebo okolního obyvatelstva.

S ohledem na možné následky závažných havárií byla proto v zemích EU přijata Direktiva 82/501/EEC – On the Major accident Hazards of Certain Industrial Activities – SEVESO (v ČR zákon č. 353/1999 Sb. „zákon o prevenci závažných havárií“, v současnosti zákon č. 59/2006 Sb.). V současnosti se hovoří již o druhé novele této direktivy tzv. direktivě SEVESO III.

Možnými příčinami opakujících se úniků toxických látek jsou stále tvrdší požadavky na chemický průmysl (vyšší produkce, nové produkty, rychlá změna výrobního procesu, atd.), ale také přístup k průmyslové bezpečnosti vyjádřený mimo jiné kvalitou bezpečnostních dokumentací zpracovávaných podle direktivy SEVESO. Problematika kvality bezpečnostních dokumentací a zejména odbornosti zpracovatelů této dokumentace je v současné době často diskutovaným tématem na mezinárodních sympoziích věnovaných průmyslové bezpečnosti.

S ohledem na nároky na odborné znalosti zpracovatelů bezpečnostní dokumentace podle direktivy SEVESO je nejvýznamnější částí této dokumentace tzv. analýza rizik. Při analýze rizik se používá celá řada metod (Hazard and Operability Study – HAZOP, Event Tree Analysis – ETA, Fault Tree Analysis – FTA, atd.) a dalších nástrojů (software pro odhad následků, atd.) pro identifikaci a následné hodnocení rizika.

Jednou z metod používaných v souvislosti s toxickými látkami je indexová metoda Chemical Exposure Index – CEI (Index chemického ohrožení) od společnosti Dow's Chemical Company. I přesto, že je metoda CEI primárně určena pro identifikaci zdrojů rizik s toxickými látkami, lze ji využít také pro odhad možných následků případných úniků toxických látek a pro potřeby havarijního plánování.

Cílem této bakalářské práce je na praktických případech ověřit možnosti metody CEI při odhadu možných následků úniků toxických látek.

2. Index chemického ohrožení CEI [1]

Metoda Chemical Exposure Index – CEI (CE - Index) byla vyvinuta v roce 1994 společností Dow's Chemical Company s cílem posouzení nebezpečí ohrožení chemickou-toxickou látkou. Je to relativně jednoduchá metoda, která stanovuje možné ohrožení na lidském zdraví v prostorách blízkých chemickému provozu, kde hrozí únik toxických látek. CEI je metoda srovnávací tzn., identifikuje různé zdroje rizika s toxickými látkami. Metodou CEI můžeme také odhadnout dosah toxických mraků, nemůžeme rozhodnout, jestli je provoz bezpečný nebo hrozí riziko havárie.

Výstupem metody CEI je tzv., CE Index. Metodu CEI je možné použít v provozu, kde se toxické látky zpracovávají, ale také tam, kde jsou pouze uskladněny. Tuto metodu lze použít i ve fázi projektu.

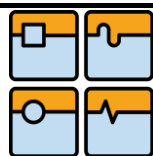
2.1 Typy úniků u metody CEI

Metoda CEI rozlišuje dva typy úniků tj. únik kapalně fáze a únik plynné fáze. Únik kapalně fáze (kapaliny), se podle charakteru látky dělí na tři scénáře, které jsou popsány v kapitole 2.2.1. Příčinou úniku mohou být poruchy, které jsou rozděleny: *porucha potrubní větve*, která se dále dělí do 3 skupin. Rozdělení je provedeno podle toho, jaký má dané potrubí průměr. Podle daného průměru pak vybereme scénář pro další výpočet. Další porucha, která může nastat, je *porucha hadice*. V tomto případě metody CEI jen jedno řešení, a to, že hadice ztratí celistvost. Porucha, jejíž určení je náročné v tom, že pro porovnání hodnot se musí přivolat specialista, se nazývá, *přetlakové ventily, které ústí přímo do atmosféry*. Nejprve se provede výpočet pojišťovacího ventilu za předpokladu, že všechen materiál unikne a rozptýlí se do ovzduší. Pak následuje výpočet celkového množství, na základě tlaku otevíracího ventilu. Další porucha, kterou můžeme uvažovat, je *porucha zásobníku*. Při havárii uvažujeme roztržení největšího průměru potrubí, které je k zásobníku připojeno. Připojení k zásobníku musí být podle kritérií, která jsou uvedena na potrubí. Pokud kapalina přeteče ze zásobníku z důvodu většího množství, než je maximální dovolená hodnota zásobníku pak výpočet provedeme pomocí scénáře *rozlití kapaliny z důvodu přeplněného zásobníku nebo nádrže*. S přihlédnutím ke zkušenostem posuzovatele lze zvolit i další typy poruch, které lépe postihují konkrétní provozní podmínky.

2.2 Postup, při stanovení CE - Indexu [2]

Abychom mohli stanovit Index chemického ohrožení, musíme mít k dispozici podklady, jako jsou např.:

- plán přesného zakreslení závodu a okolí závodu, kde chceme CEI stanovovat,
- schéma, kde jsou zakresleny prostory pro skladování toxických látek a hlavní potrubní větve,
- vlastnosti a dané koncentrace ERPG/EEPG látek, které se budou stanovovat,
- příručku a formulář CEI.

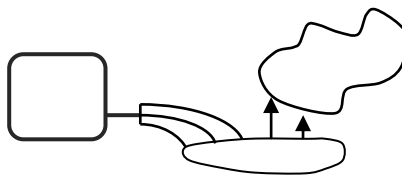


Podle plánu závodu a okolí se identifikují všechny potrubní větve a další zařízení, které mohou přispět k úniku toxické látky.

Při posuzování metodou CEI můžeme postupovat na základě definovaných úniků plynu nebo kapaliny.

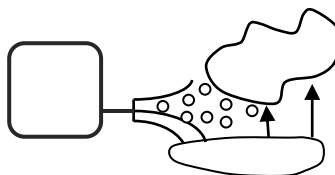
2.2.1 Úniky kapaliny

- Vznik louže, která vzniká únikem látky v kapalném stavu.



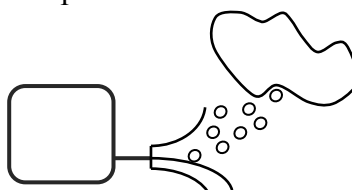
Obr. 1. Únik kapaliny – vznik louže

- Vznik louže, ale zároveň se určité množství látky odpaří do ovzduší.



Obr. 2. Únik kapaliny ze zásobníku – vznik louže spolu s odparem látky

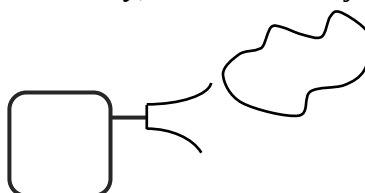
- Odpaření látky. Látka se odpařuje intenzivněji a množství látky, které je ve formě malých kapiček odnášeno s párou.



Obr. 3. Únik kapaliny – odpar látky

2.2.2 Únik plynu

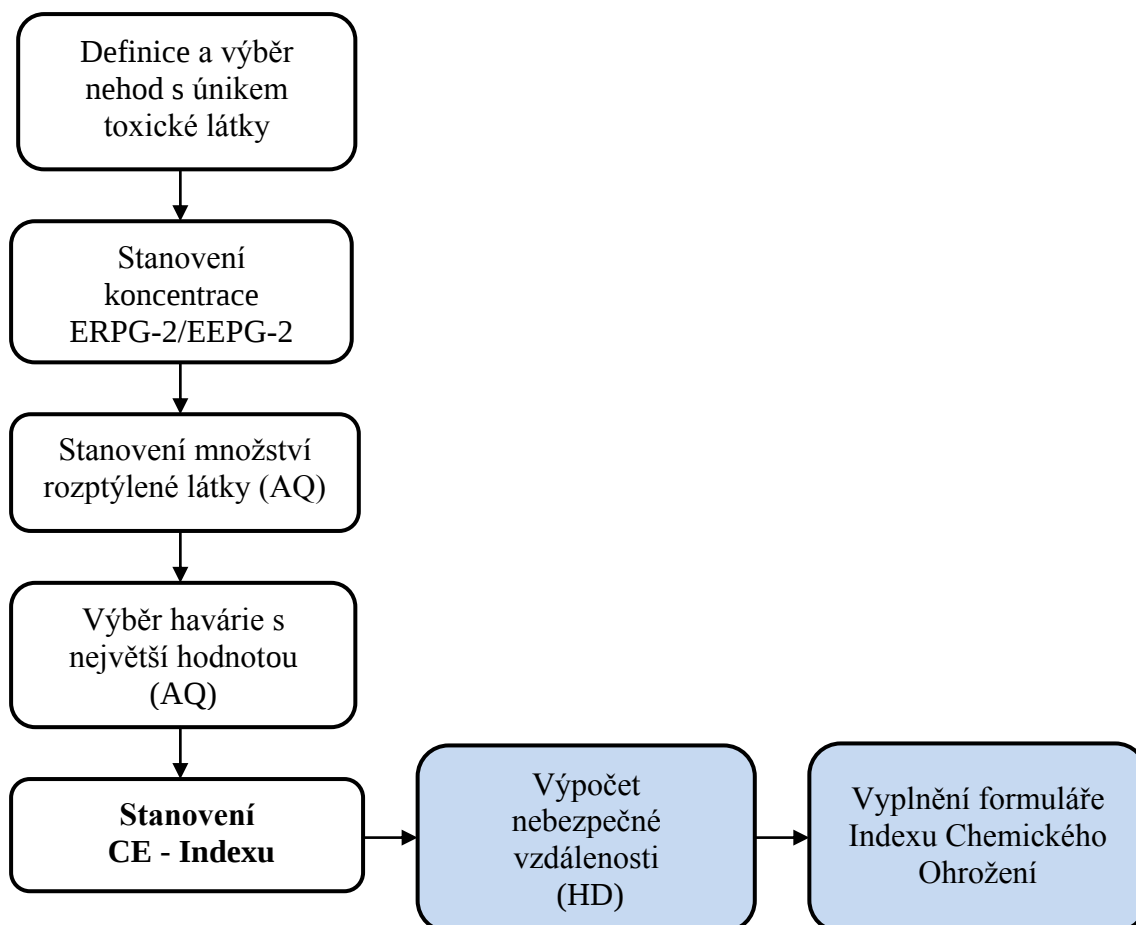
- Celkové množství chemické látky, která unikne, jde rovnou do ovzduší. Netvoří se louže



Obr. 4. Únik plynu

Pro stanovení CEI musíme znát také fyzikálně-chemické a toxikologické (koncentrace ERPG/EEPG (viz kapitola 2.1.3.)) vlastnosti látky.

Podle hodnoty výsledného Indexu CEI lze provést priorizaci rizik v posuzovaném objektu. Musí se vybrat a přehodnotit zařízení s největší hodnotou CEI indexu nebo všechny, které mají vyšší hodnotu než 200. Postup stanovení CEI-indexu je znázorněn na obr. 5.



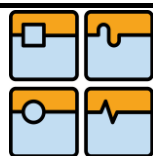
Obr. 5. Schéma stanovení CE - Indexu

2.3 Odhad toxických mraků pro ERPG – 1, ERPG – 2, ERPG – 3 [2]

ERPG – 1: Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny, bez výrazných zdravotních změn.

ERPG – 2: Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny, bez způsobení nevratných zdravotních změn nebo poškození imunity.

ERPG – 3: Je maximální koncentrace ve vzduchu, kterou člověk snese po dobu jedné hodiny, bez toho aby byl smrtelně ohrožený.



Odhad toxických mraků tzv. Hazard distance je pouze přibližný. Stanovuje se pomocí rovnice:

$$HD = 6551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG}}, [m] \quad (1)$$

AQ – množství rozptýlené látky

ERPG – koncentrace ERPG – 1, ERPG – 2, ERPG – 3

Jestliže po dokončení výpočtu bude $HD > 10000 \Rightarrow HD = 10000$

2.4 Zjednodušující a omezující předpoklady metody CEI

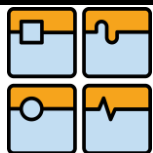
Metoda CEI je založena na řadě zjednodušujících a omezujících předpokladech. Tyto předpoklady a výpočtové vzorce pro stanovení AQ jsou uvedeny v příručce k této metodě. Přehled předpokladů je uveden v tabulce 1.

Tab. 1. Přehled zjednodušujících předpokladů

Doba trvání úniku	Minimální doba trvání úniku pro všechny scénáře činí alespoň 5 minut. Pokud dojde k úniku celého objemu dříve, pak se rychlost výtoku stanoví vydělením celého objemu pěti minutami.
	Pokud se zásobník vyprázdní za méně než 15 minut, pak uvažujeme právě 15 minut.
Velikost louže	Předpokládáme, že hloubka louže je 1 cm. Jestliže dojde k úniku látky do zachytné jímky, bude louže odpovídat ploše zachytné jímky.
Teplota kapaliny	Pokud je teplota kapaliny vyšší než teplota okolí, ale nižší než její bod varu pak je teplota louže rovna provozní teplotě.
	Pokud je kapalina rovna nebo vyšší než její bod varu, pak je teplota louže rovna teplotě varu kapaliny
Povětrnostní podmínky	Pro všechny výpočty se předpokládají neutrální povětrnostní podmínky a rychlost větru 5 m/s
Dosah toxického mraku	Maximální hodnota dosahu toxického mraku je 10 000m

2.5 Veličiny použité při stanovení CE – Indexu

Při výpočtu CE – Indexu musíme znát fyzikálně-chemické a toxikologické vlastnosti látky, pro kterou budeme určovat CE – Index. Na základě těchto vlastností můžeme po dosazení do rovnic určit CE – Index. Vlastnosti látky a vypočtené parametry včetně jednotek jsou uvedeny v tabulce 2 a 3.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tab. 2. Vlastnosti látky potřebné pro výpočet CE - Indexu

Název	Označení	Jednotky
Množství látky	m	[kg]
Normální bod varu	T_b	[°C]
Molekulární hmotnost	MW	[mol]
Teplota uvnitř zásobníku	T_s	[°C]
Hustota kapaliny	ρ_1	[kg/m ³]
Tlak uvnitř zásobníku	P_g	[kPa]
Průměr potrubí	D	[mm]
Výška hladiny nad místem úniku	Δh	[m]
Koncentrace	ERPG - 2	[mg/m ³]

Tab. 3. Počítané hodnoty (výstupy) CE – Indexu

Název	Označení	Jednotky
Rychlost výtoku	L	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T	[kg]
Odpařené množství	F_v	[-]
Velikost louže	W_p	[kg]
Plocha louže	A_p	[m ²]
Množství rozptýlené látky	AQ	[kg/s]
Index chemického ohrožení	CEI	[-]
Nebezpečná vzdálenost	HD	[m]

3. Program ALOHA

Program ALOHA ® 5. 4. 1. 2 - Areal Locations of Hazardous Atmospheres je modelovací nástroj určený pro odhad možných následků při únicích nebezpečných (toxických, hořlavých) látek.

3.1 Modelování

Program ALOHA pro daný havarijní scénář a nebezpečnou látku stanoví parametry při úniku této látky a následně umožňuje odhadnout následky (rozptyl toxické látky v ovzduší, dosahy tepelného toku, atd.). Pro odhad rozptylu toxické látky v ovzduší, v závislosti na vlastnostech toxické látky, využívá ALOHA Gaussův model anebo model pro tzv. těžký plyn. S ohledem na relativní rychlost výpočtů, lze program využít pro modelování relativně velkého množství havarijních scénářů a jejich variant. Přesnost výsledků závisí mimo jiné na kvalitě vstupních dat.

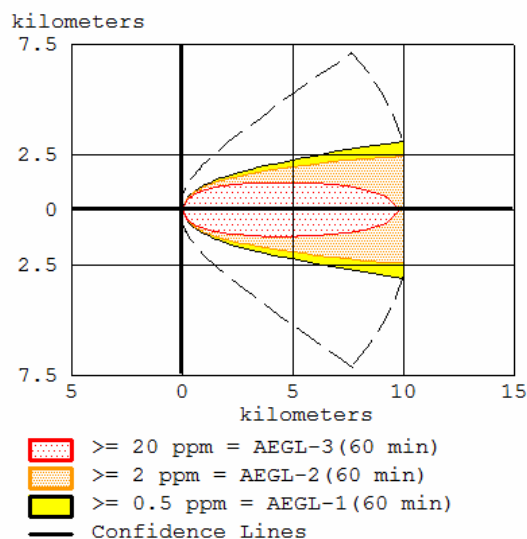
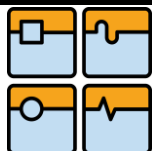
3.2 Vstupní data a podklady

Pro odhad následků úniků toxických látek v programu ALOHA, jsou nutná data a podklady uvedené v tabulce 4.

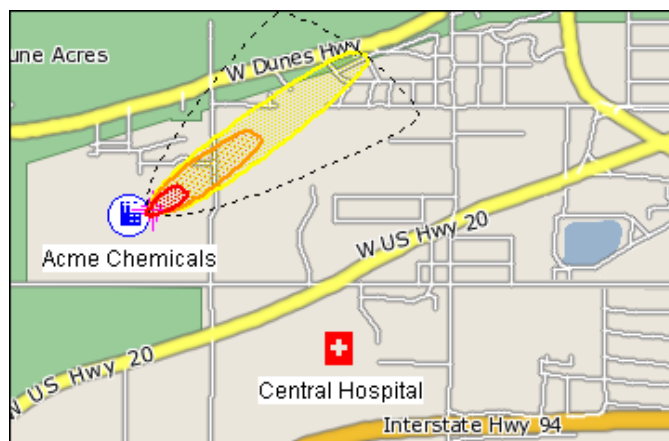
Tab. 4. Data/podklady pro výpočet v programu ALOHA

Parametry	Popis
Umístění	- Nadmořská výška - Poloha (zeměpisná šířka a výška)
Typ budov	- Uzavřená kancelářská budova - Patrová budova - Vícepatrová budova - Chráněné okolí (keře, stromy) - Nechráněné okolí
Datum a čas	- Programem předdefinovaný čas a datum - Ručně zadat čas a datum
Chemická látka	- Čistá chemická látka - Sloučenina (roztok)
Atmosférické podmínky	- Rychlost větru - Směr větru - V jaké nadmořské výšce jsou podmínky stanoveny - Členitost terénu - Oblačnost - Teplota - Třída stability - Vlhkost
Zdroj	- Typ zásobníku (rozměry, objem) - Podmínky vnitřního skladovacího zařízení - Výška hladiny - Průměr díry - Koncentrace ERPG

Na základě výše uvedených dat a podkladů lze stanovit dosah toxického mraku dané koncentrace resp. dávku, které budou osoby vystaveny (uvnitř, vně budov). Příklady grafických výstupů programu ALOHA jsou patrné z obrázků 6. a 7.



Obr. 6. grafické vykreslení - I. v programu ALOHA [3]



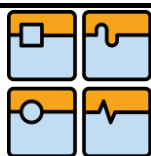
Obr. 7. Grafické vykreslení - II. v programu ALOHA [4]

4. Referenční havárie

Ověření vypovídacích schopností metody CEI při odhadu možných následků úniků toxických látek bylo provedeno na tzv. referenčních haváriích. Volba referenčních havárií vycházela z údajů a statistik havárií spojených s únikem toxické látky (volba látky) a omezení daných metodou CEI a srovnávacím softwarem pro odhad následků (program ALOHA ® 5. 4. 1. 2).

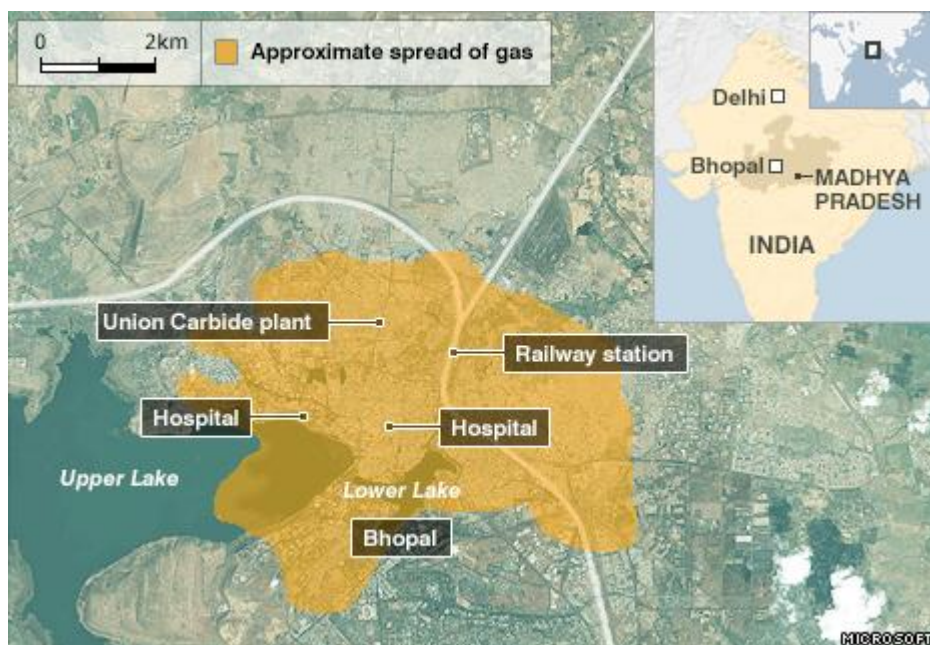
4.1 Havárie s únikem toxické látky

Následující kapitola obsahuje stručný popis vybraných havárií resp. závažných havárií v ČR i zahraničí a další údaje, které byly použity při volbě referenčních havárií.



4.1.1 Únik methylisokyanátu v Indii v závodu společnosti UNION CARBIDE – 3. 12. 1948 [3]

V indickém městě Bhópál unikly dne 3. 12. 1948 velmi nebezpečné páry methylisokyanátu. Zásobník, který obsahoval velké množství methylisokyanátu byl kontaminován vodou, čímž došlo k chemické reakci a methylisokyanát se zahřál nad teplotu varu. Ze zásobníku se dostalo 25 000kg par této nebezpečné látky. V den kdy k havárii došlo, zemřelo 2 000 osob. Dalších 20 000 osob bylo v důsledku havárie zraněno.



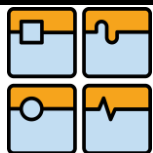
Obr. 8. Toxický mrak po havárii v Bhópálu [5]

4.1.2 Únik TCDD ve městě SEVESO v Itálii – 10. 6. 1976

V továrně na zpracování trichlorfenolu na hexaflorfen, při kterém vzniká jako nežádoucí produkt TCDD došlo dne 10. 6. 1976 k úniku této nebezpečné látky. Látka unikla díky překročení provozní teploty na reaktoru s trichlorfenolem přes pojišťovací ventil. V době úniku byl na území Sevesa silný déšť, který unikající látku spláchl a kontaminoval tím velké území. K vůli havárii bylo zraněno 250 osob a dalších 600 osob muselo být evakuováno. Po havárii bylo území, kde továrna stála dekontaminováno a poté srovnáno se zemí.



Obr. 9. Továrna v Sevesu po havárii v roce 1976 [6]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

4.1.3 Exploze cisterny se čpavkem na bělehradském předměstí Borca v Srbsku – 27. 5. 1998 [7]

Dne 27. 5. 1998 explodovala cisterna, která převážela 5 000kg čpavku. Po explozi se vytvořil oblak. Oblak se rozšířil do blízkého okolí. Nejvíce postižená oblast byla okolí společnosti Lika-system. Po havárii bylo hospitalizováno 54 osob a z toho bylo 19 vážně otráveno. Havárie způsobila smrt jedné osoby.

4.1.4 Únik chlóru z podniku SPOLANA a. s. – 2002

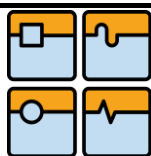
Při povodních v roce 2002 došlo k úniku chlóru ve Spolaně a.s. Ze zásobníku uniklo cca 80 000kg chlóru. Příčinou úniku byl rychlý nárůst hladiny řeky Labe (1,3m více než stoletá voda) s následným zatopením skladu chlóru a neodpovídajícím zásahem obsluhy skladu. Při nadlehčování zásobníků (s různým obsahem chlóru) došlo k porušení potrubních rozvodů a nekontrolovatelnému úniku chlóru.



Obr. 10. Spolana a. s. při povodních 2002 [8]

4.1.5 Únik kyanidu z podniku Lučební závody DRASLOVKA a.s. Kolín – 9. 1. 2006

Dne 09. 01. 2006 došlo k úniku kyanidových vod do řeky Labe z podniku Lučební závody DRASLOVKA a.s. Kolín. Podle odhadů bylo kontaminováno až 80 000m vodního toku. K úniku kyanidových vod došlo z tzv. detoxikačních jam, které slouží k neutralizaci kyanidových vod. K úniku došlo z několika příčin, které shodou okolností v daný okamžik nastaly. V těchto jámách došlo k poruše plováku na ventilu. Pravděpodobně kvůli zanedbání pravidelné kontroly. Kyanid se do řeky Labe dostal kanalizací přes kanál, který byl velmi nevhodně navržen hned vedle detoxikačních jam. Ke zranění osob nedošlo, ale v úseku řeky postižené oblasti došlo k velkému úhynu ryb.



Obr. 11. Lučební závody DRASLOVKA a. s. Kolín s vyznačením detoxikačních jam [9]

4.1.6 Únik chlóru z Distribučního skladu chemických látek ve Frankfurtu nad Mohanem – 15. 10. 2007 [10]

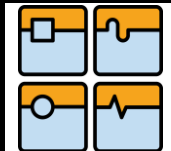
Dne 15. října 2007 unikl z Distribučního skladu chemických látek ve Frankfurtu nad Mohanem chlór. K úniku došlo z důvodu špatného napojení hadice na ventil. Po reakci přečerpávacích látek se uvolnil chlór v plynném skupenství. Do ovzduší uniklo cca 200kg látky. Bylo evakuováno asi 63 obyvatel, kteří se nacházeli v blízkosti úniku. Pracovník, který prováděl uzavírání klapky, byl zasažen unikajícím chlórem a na následky zemřel.

4.1.7 Únik chlóru z úpravny vody ve Vítkově – 25. 2. 2009 [11]

Při přečerpávání části nebezpečných chemických látek z odkalovací nádrže unikl mrak výparů. Složení tohoto mraku nebylo přesně určeno. Šlo však o látku, která obsahovala nebezpečný chlór. Kvůli podezření úniku chlóru bylo evakuováno 300 lidí. Této havarii předcházel únik v areálu čistírny ve Vítkově, kvůli kterému museli být dva lidé hospitalizováni. Důvody hospitalizace byly špatné dýchání a zvracení.



Obr. 12. Odkalovací nádrž ve Vítkově [12]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.1.8 Únik čpavku v podniku Madeta a.s. v Prachaticích – 30. 7. 2010 [13]

V Prachatickém podniku Madeta a.s. dne 30. 07. 2010 unikl čpavek. Jednalo se únik z nádrže na 1m³ čpavku. Z nádrže uniklo asi 0,04m³. Během úniku se asi 0,01m³ dostalo do ovzduší a zbytek zůstal v odkapávací nádobě pod nádrží. Z podniku muselo být evakuováno cca 60 zaměstnanců, z toho se jeden musel podrobit zdravotnímu vyšetření. Vyšetření proběhlo na základě nadýchání se nebezpečné látky.

4.1.9 Únik kyanidu z těžebních závodů Altaj Ken Bajtau v Kazachstánu – 3. 11. 2011 [14]

Z těžebních závodů Altaj Ken Bajtau na zpracování zlata uniklo velké množství kyanidu. Jedovatá látka ze závodu unikala tři dny a podle odhadů uniklo asi 200 000m³. Jedovatý kyanid unikl do řeky Sekisovky. Z tohoto důvodu mají obyvatelé v okolí závodu zákaz vstupu k vodním tokům.

4.1.10 Únik chlóru na předměstí Tbilisi v Gruzii – 4. 7. 2012 [15]

Z důvodu poruchy ventilu na rozdělovači vody došlo na předměstí Tbilisi v Gruzii k úniku chlóru. Chlór unikl z nádoby o objemu 0, 8m³. Při havárii bylo zraněno 70 lidí z toho 20 dětí. Jeden zraněný upadl do komatu.

4.1.11 Únik čpavku v podniku Vodňanská drůbež a.s. – 21. 8. 2012 [16]

V podniku Vodňanská drůbež a.s. došlo dne 20. 08. 2012 k úniku čpavku. Ten unikl ze strojovny, kde se v tu chvíli nacházelo asi 2 000kg chemické látky. Čpavek unikl přibližně 2,5 hodiny. Čpavek se musel naředit 0, 5m³ kyseliny sírové a 0, 9m³ kyseliny solné z důvodu neutralizace a následného odčerpání. Kvůli úniku, který způsobil u dvou osob v dosahu havárie pálení při dýchání a pálení očí, musely být tyto osoby hospitalizovány.

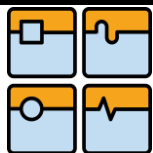
V tabulce č. 5 jsou přehledně zpracovány významné údaje o popisovaných haváriích. Obsahuje údaje o typu látky účastníci se úniku, množství uniklé látky, místu havárie, příčině (pokud byla zjištěna) a následcích s ohledem na počet zraněných resp. fatálně zraněných.

Do tabulky byly zahrnuty i některé další havárie spojené s únikem toxických látek.

Tab. 5. Havárie s únikem toxické látky

Látka	Místo havárie	Stát	Množství látky	Příčina	Zranění/Evakuace/Fatální zranění
Čpavek	Madeta a.s. Prachatice	Česká republika	0,004m ³	Porucha přívodu do zásobníku	1 / 60 / 0
Čpavek	Vodňanská drůbež a.s.	Česká republika	500kg	Porucha na technologii strojovny	2 / 0 / 0
Čpavek	Podnik AZOP	SSSR	7 000 000kg	Náhlé prasknutí zásobníku (víka) při teplotě 34°C	57 / 32 000 / 7
Čpavek	Bělehradské předměstí Borca	Srbsko	5 000kg	Exploze cisterny	54 / 0 / 1
Čpavek	Potchefsroom	J. Afrika	38 000kg	Velká trhlina na horizontální tlakové nádobě	- / - / 18
Chlór	Předměstí Tbilisi	Gruzie	0,8m ³	Porucha ventilu v rozdělovači vody	70 / 0 / 0
Chlór	Spolana a.s.	Česká republika	80 000kg	Utržený ventil na zásobníku	- / - / -
Chlór	Distribuční sklad chemikálií Frankfurt nad Mohanem	Německo	200kg	Špatné napojení hadice ze spojovací baterie do zásobníku	1 / 63 / 1

Pozn. Ve sloupci Zranění / Evakuace / Fatální zranění znamená (-), že počet nebyl zjištěn

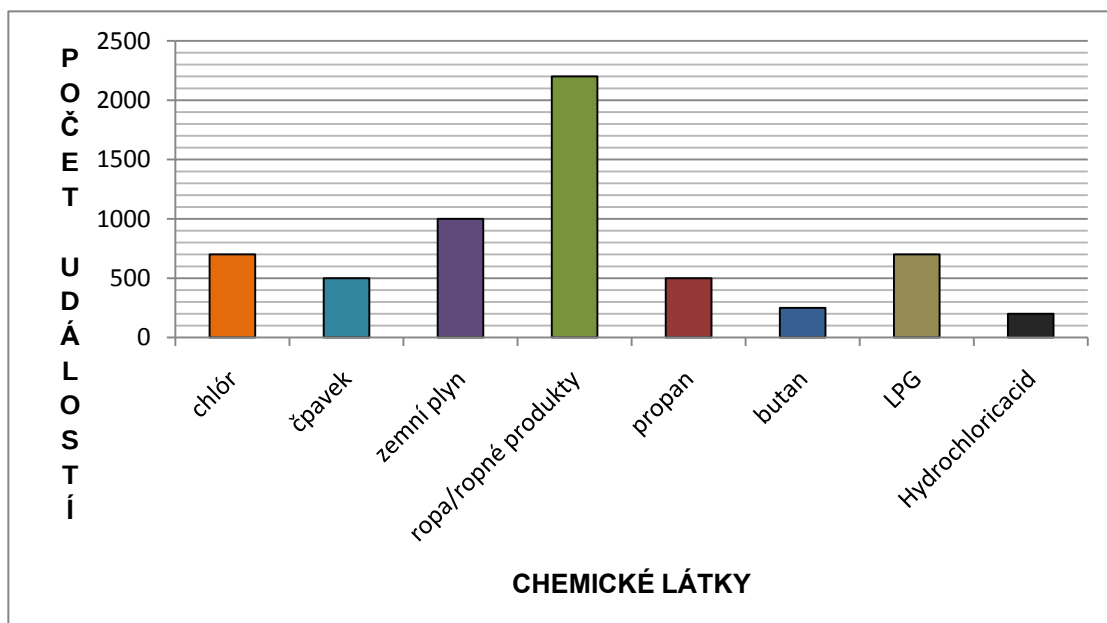
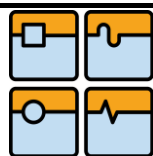


Tab. 5. Havárie s únikem toxické látky – pokračování

Látka	Místo havárie	Stát	Množství látky	Příčina	Zranění/Evakuace/ Fatální zranění
Chlór	Podnik CHIMPROM	Rusko	18 000kg	Vznik netěsnosti v plášti objektu	21 / - / 2
Chlór	Philadelphia	USA	nezjištěno	Nezjištěno	- / - / 430
Chlór	Úprava vody ve Vítkově	Česká republika	nezjištěno	Uvolnění mraku z odkalovací nádrže	2 / 300 / 0
TCDD	Továrna ICMESA v Sevesu	Itálie	nezjištěno	Překročení provozní teploty na reaktoru	250 / 600 / 0
Methylisokyanát	Union Carbide Bhópál	Indie	42 000kg	Náhodný vývěr par	- / - / 18 000
Kyanid	Lučební závody DRASLOVKA a. s. Kolín	Česká republika	nezjištěno	Závada na signalizačním plováku max. hladiny	0 / 0 / 0
Kyanid	Těžební závod Altaj Ken Bajytau	Kazachstán	200 000m ³	nezjištěno	0 / 0 / 0
Dusičnan amonný	Chemička BASF v Oppau	Německo	4 500 000kg	Řetězová reakce po odpálení rozbušky a následný výbuch	- / - / 500
Dusičnan amonný	Toulouse	Francie	450 000kg	Příčina nebyla objasněna	2 242 / - / 30

Pozn. Ve sloupci Zranění / Evakuace / Fatální zranění znamená (-), že počet nebyl zjištěn

Z tabulky č. 5 je zřejmé, že velmi častými látkami spojenými s únikem toxické látky jsou čpavek a chlór. Tuto skutečnost potvrzuje i graf na následujícím obrázku (Obrázek č. 13.), který znázorňuje vztah mezi počtem událostí (havárií) a chemickou látkou. Z obrázku je zřejmé, že mezi látky s největším počtem havárií se dostaly toxické látky chlór a čpavek.



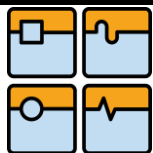
Obr. 13. Graf počtu událostí v závislosti na chemické látce [3]

4.2 Volba referenčních havárií

Pro početní část byly vybrány havárie:

- Únik čpavku v podniku Vodňanská drůbež a.s.
- Exploze cisterny s čpavkem na bělehradském předměstí Borca v Srbsku
- Únik chlóru z podniku SPOLANA a.s.

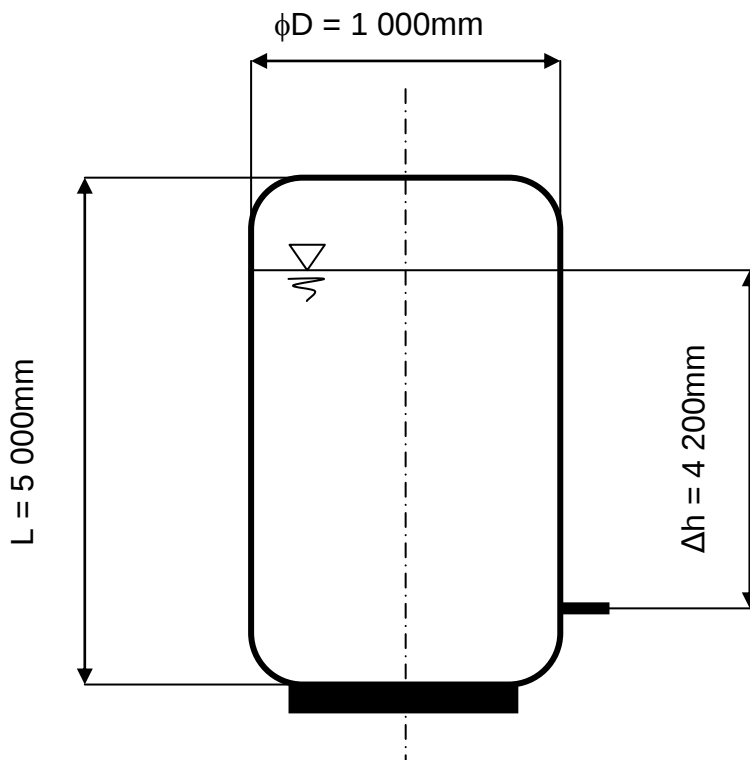
Havárie jsou podrobněji popsány v kapitole 3.1.



4.2.1 Výpočet metodou CEI [2]

VODŇASKÁ DRŮBEŽ a.s.

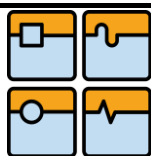
Byl uvažován únik kapalné fáze čpavku ze zásobníku viz. obr. 14



Obr. 14. Zásobník čpavku – 2 000 kg (VODŇASKÁ DRŮBEŽ a.s.)

Tab. 6. Vstupní hodnoty havárie v podniku Vodňanská drůbež a. s.

Název - Vodňanská drůbež a.s.	Označení	Hodnota	Jednotky
Množství látky	m	2 000,00	[kg]
Normální bod varu	T_b	-33,40	[°C]
Molekulární hmotnost	MW	17,03	[mol]
Teplota uvnitř zásobníku	T_s	25,00	[°C]
Hustota kapaliny	ρ_1	602,30	[kg/m ³]
Tlak uvnitř zásobníku	P_g	1 002,80	[kPa]
Průměr ventilu	D	50,00	[mm]
Výška hladiny nad místem úniku	Δh	4,20	[m]
Koncentrace	ERPG - 2	139,00	[mg/m ³]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Rychlost úniku kapaliny

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} \cdot D^2 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\frac{1\,000 \cdot P_g}{\rho_1} + 9,8 \cdot \Delta h}, \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (2)$$

$$L = 9,44 \cdot 10^{-7} \cdot 50^2 \cdot 602,3 \cdot \sqrt{\frac{1\,000 \cdot 1\,002,800}{602,3} + 9,8 \cdot 4,2}$$
$$\underline{L = 58,71 \cdot kg/s}$$

P_g – provozní tlak (kPa)

ρ_1 – hustota kapaliny při provozní teplotě (kg/m^3)

Δh – výška hladiny nad místem úniku (m)

D – průměr otvoru (mm)

- Určení veškeré uniklé kapaliny

$$W_t = 900 \cdot L, [kg] \quad (3)$$

$$W_t = 900 \cdot 58,71$$

$$\underline{W_t = 52\,839,90 \cdot kg}$$

L – rychlost úniku kapaliny

W_t je větší než celkové množství látky v zásobníku, tudíž dojde k úplnému vyprázdnění a úniku celého objemu látky.

Platí: $W_{tskut.} < W_{tvypočítané}$

$W_{tskut.} = W_t$

- Výpočet rozprášené frakce

$$F_v = \frac{C_p}{H_v} \cdot (T_s - T_b), \quad (4)$$

$$F_v = 4,01 \cdot 10^{-3} \cdot [25 - (-33,4)]$$

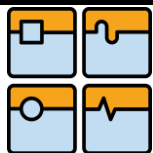
$$\underline{F_v = 0,234}$$

T_b – normální bod varu kapaliny

T_s – provozní teplota kapaliny

C_p – průměrná tepelná kapacita kapaliny

H_v – výparné teplo



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jestliže $F_v \geq 0,2$ pak $AQ_f = L$, louže se neutváří a celý unikající proud pak zůstává ve fázi páry.

$$AQ_f = L$$

$$\underline{AQ_f = 58,71}$$

- Výpočet výparu z povrchu louže

Louže se nevytváří.

$$AQ_p = 0$$

A_p – velikost louže

MW – molekulová hmotnost

P_v – tlak par kapaliny při charakteristické teplotě louže

T – charakteristická teplot louže (určená jednou z podmínek)

- Výpočet velikosti vzdušného přenosu

$$AQ = AQ_f + AQ_p, \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (5)$$

$$AQ = 58,71 + 0$$

$$\underline{AQ = 58,71 \cdot kg/s}$$

AQ_f – množství rozprášené kapaliny

AQ_p – výpar z hladiny louže

- Index chemického ohrožení

$$CEI = 655,1 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 2}}, \quad (6)$$

$$CEI = 655,1 \cdot \sqrt{\frac{58,71}{139}}$$

$$\underline{CEI = 425,76}$$

AQ – množství rozptýlené látky

$ERPG - 2$ – hodnota v mg/m^3

- Nebezpečná vzdálenost (hazard distance)

$$HD = 6551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG}}, \quad [m], \quad (7)$$



$$HD_1 = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 1}} = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{58,71}{17}}$$

$$HD = 12\,174m \Rightarrow 10\,000m$$

$$HD_2 = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 2}} = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{58,71}{139}}$$

$$HD = 4\,257,55m$$

$$HD_3 = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{AQ}{ERPG - 3}} = 6\,551 \cdot \sqrt{\frac{58,71}{696}}$$

$$HD = 1\,902,67m$$

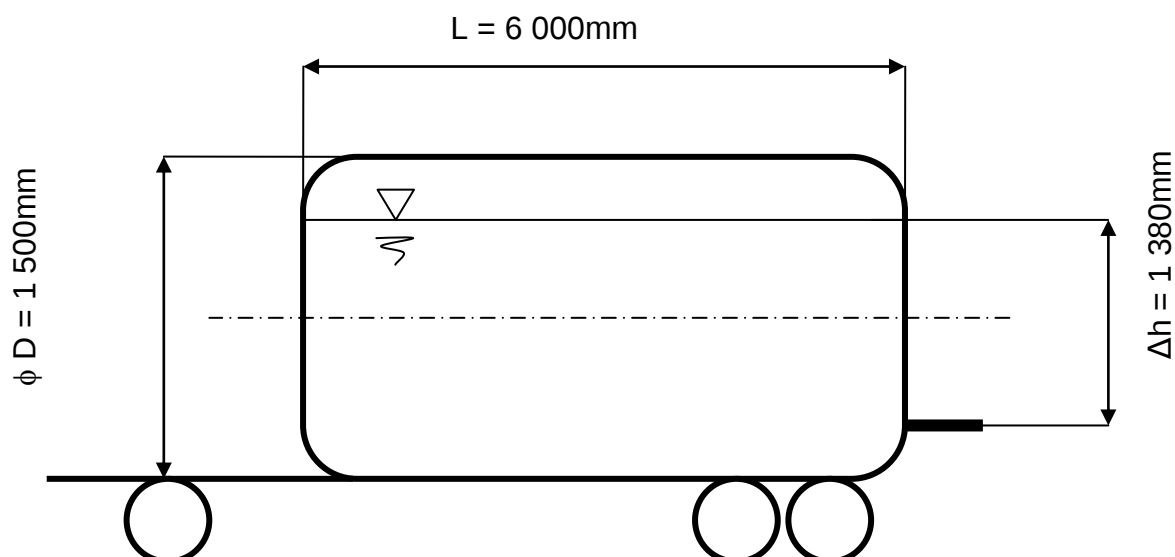
Tab. 7. Výsledky havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s.

Název - Vodňanská drůbež a.s.	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	58, 1	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W _T	52 839,90	[kg]
Odpařené množství	F _V	0,234	[-]
Velikost louže	W _P	-	[kg]
Plocha louže	A _P	-	[m ²]
Množství rozptýlené látky	AQ	58,71	[kg/s]
Index chemického ohrožení	CEI	425,76	[-]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD ₁	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD ₂	4 257,55	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD ₃	1 902,67	[m]

Pozn. Nebezpečná vzdálenost – ERPG – 1 byla výpočtem stanovena na 12 174m, podle pravidel metody CEI je uvažováno pouze 10 000 m.

BĚLEHRADSKÉ PŘEDMĚSTÍ BORCA

Byl uvažován únik kapalné fáze čpavku z cisterny viz. obr. 15



Obr. 15. Cisterna se čpavkem – 5 000kg (Srbsko)

Tab. 8. Vstupní hodnoty havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku

Název - bělehradské předměstí Borca	Označení	Hodnota	Jednotky
Množství látky	m	5 000,00	[kg]
Normální bod varu	T_b	-33,40	[°C]
Molekulární hmotnost	MW	17,03	[mol]
Teplota uvnitř zásobníku	T_s	25,00	[°C]
Hustota kapaliny	ρ_1	602,30	[kg/m ³]
Tlak uvnitř zásobníku	P_g	1002,80	[kPa]
Průměr ventilu	D	50,00	[mm]
Výška hladiny nad místem úniku	Δh	1,38	[m]
Koncentrace	ERPG - 2	139,00	[mg/m ³]

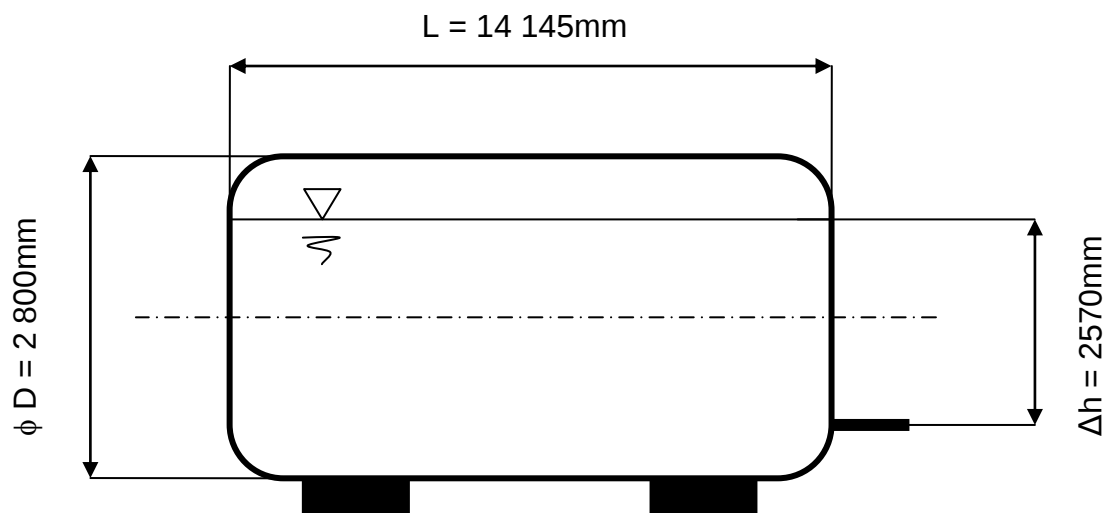
Tab. 9. Výsledky havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku

Název - bělehradské předměstí Borca	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	58,235	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T	52 411,50	[kg]
Odpařené množství	F_V	0,234	[-]
Velikost louže	W_P	-	[kg]
Plocha louže	A_P	-	[m ²]
Množství rozptýlené látky	AQ	58,235	[kg/s]
Index chemického ohrožení	CEI	424,03	[-]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2	4 240,26	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3	1 894,94	[m]

Pozn. Nebezpečná vzdálenost – ERPG – 1 byla výpočtem stanovena na 12 124,82 m, podle pravidel metody CEI je uvažováno pouze 10 000 m.

SPOLANA a.s.

Byl uvažován únik kapalné fáze chlóru ze zásobníku viz. Obr. 16.



Obr. 16. Zásobník chlóru – 111 920kg (SPOLANA a.s.)

Tab. 10. Vstupní hodnoty havárie ve Spolaně a.s.

Název – Spolana a.s.	Označení	Hodnota	Jednotky
Množství látky	m	111 920,00	[kg]
Normální bod varu	T_b	-34,00	[°C]
Molekulární hmotnost	MW	70,91	[mol]
Teplota uvnitř zásobníku	T_s	25,00	[°C]
Hustota kapaliny	ρ_1	1 399,00	[kg/m ³]
Tlak uvnitř zásobníku	P_g	778,34	[kPa]
Průměr ventilu	D	50,00	[mm]
Výška hladiny nad místem úniku	Δh	2,57	[m]
Koncentrace	ERPG - 2	9,00	[mg/m ³]

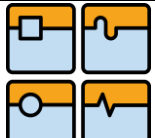
Tab. 11. Výsledky havárie ve Spolaně a.s.

Název – Spolana a.s.	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	79,62	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T	71 657,55	[kg]
Odpařené množství	F_v	0,228	[-]
Velikost louže	W_p	-	[kg]
Plocha louže	A_p	-	[m ²]
Množství rozptýlené látky	AQ	79,62	[kg/s]
Index chemického ohrožení	CEI	1 948,48	[-]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3	7 675,44	[m]

Pozn. Nebezpečná vzdálenost – ERPG – 1 byla výpočtem stanovena na 33 748,57 m a ERPG – 2 byla výpočtem stanovena na 19 484,74 m, podle pravidel metody CEI je uvažováno pouze 10 000 m.

4.2.2 Výpočet havarijních scénářů programem ALOHA

S ohledem na následné porovnání výsledků byly programem ALOHA modelovány identické havárie (scénáře) jako při výpočtu metodou CEI – viz kapitola 4.2.1.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

VODŇASKÁ DRŮBEŽÁRNA a. s.

Shrnující text vstupních dat:

SITE DATA:

Location: CESKA REPUBLIKA, VODNANY

Building Air Exchanges Per Hour: 0.90 (unsheltered single storied)

Time: August 21, 2012 1200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1(60 min): 30 ppm **AEGL-2(60 min):** 160 ppm **AEGL-3(60 min):** 1100 ppm

IDLH: 300 ppm **LEL:** 160 000 ppm **UEL:** 250000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.3° 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 S at 10 meters

Ground Roughness: open country **Cloud Cover:** 0 tenths

Air Temperature: 25° C **Stability Class:** C

No Inversion Height Relative Humidity: 35%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 1 meters **Tank Length:** 5 meters

Tank Volume: 3.93 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 2 000 kilograms

Tank is 85% full

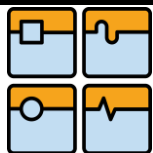
Circular Opening Diameter: 0.05 meters

Opening is 3 centimeters from tank bottom

Release Duration: 3 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 807 kilograms/min

(averaged over a minute or more)



Total Amount Released: 2 000 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

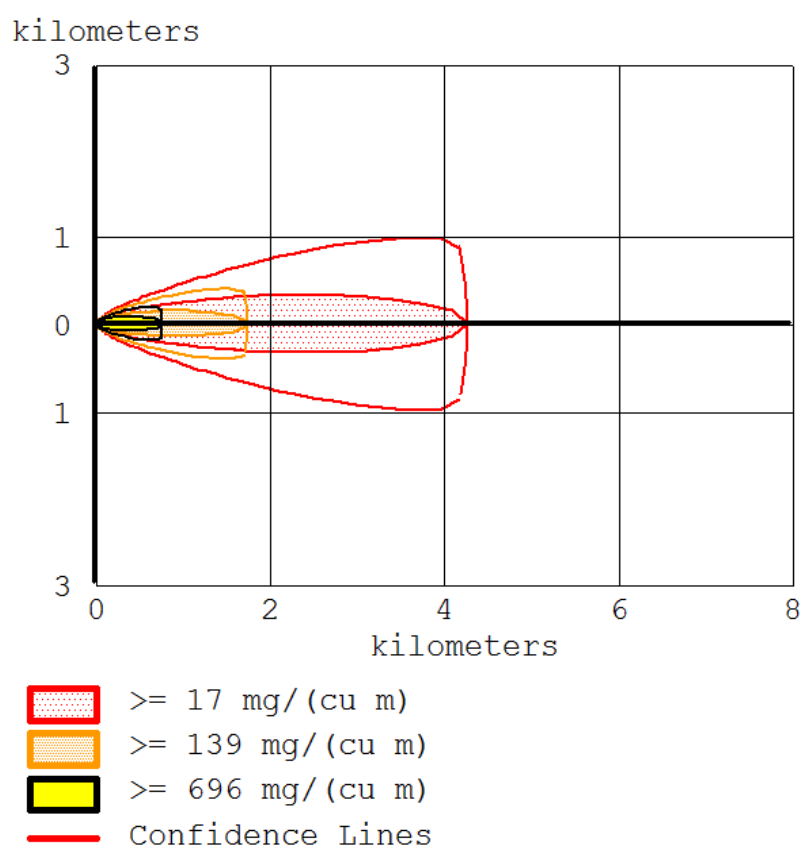
THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

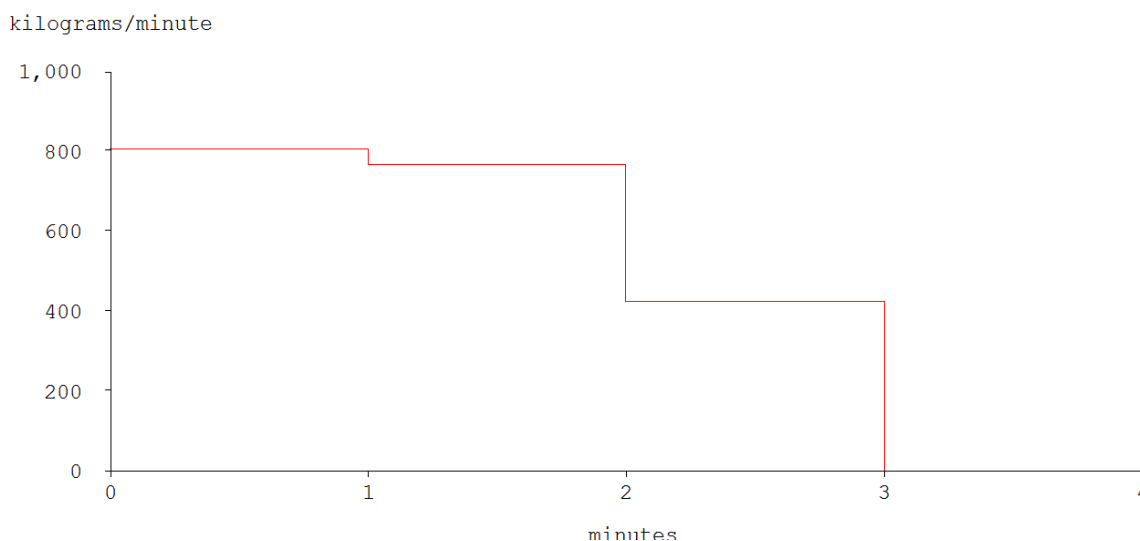
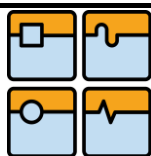
Red: 4.3 kilometers --- (17 mg/(cu m))

Orange: 1.7 kilometers --- (139 mg/(cu m))

Yellow: 770 meters --- (696 mg/(cu m))



Obr. 17. Zóny toxického úniku pro únik čpavku v podniku VODŇASKÁ DRŮBEŽ a.s.



Obr. 18. Graf rychlosti unikajícího čpavku ze zásobníku

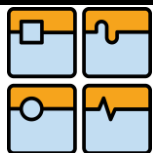
Tab. 12. Výsledky havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s. - ALOHA

Název - Vodňanská drůbež a.s.	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	13,45	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T	2 000,00	[kg]
Množství rozptýlené látky	AQ	13,45	[kg/s]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1	4 300,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2	1 700,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3	770,00	[m]

BĚLEHRADSKÉ PŘEDMĚSTÍ BORCA:

Shrnující text vstupních dat:

SITE DATA:**Location:** SRBSKO, BELEHRAD**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.48 (sheltered single storied)**Time:** May 27, 1998 1 500 hours DST (user specified)CHEMICAL DATA:**Chemical Name:** AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol**AEGL-1(60 min):** 30 ppm **AEGL-2(60 min):** 160 ppm **AEGL-3(60 min):** 1 100 ppm**IDLH:** 300 ppm **LEL:** 160 000 ppm **UEL:** 250 000 ppm



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ambient Boiling Point: -33.7° 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 s at 10 meters

Ground Roughness: urban or forest **Cloud Cover:** 5 tenths

Air Temperature: 25° C **Stability Class:** D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 1.5 meters **Tank Length:** 6 meters

Tank Volume: 10.6 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 5 000 kilograms

Tank is 78% full

Circular Opening Diameter: 5 centimeters

Opening is 3 centimeters from tank bottom

Release Duration: 7 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 813 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 5 000 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

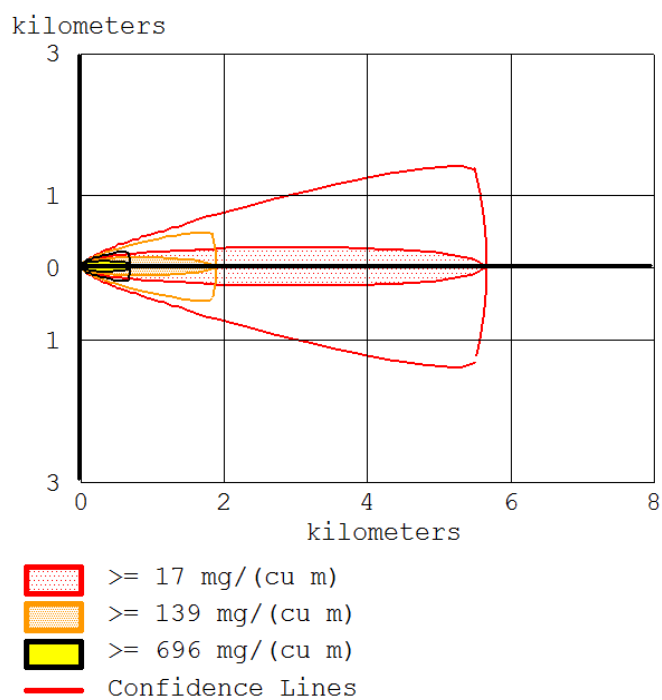
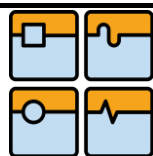
THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

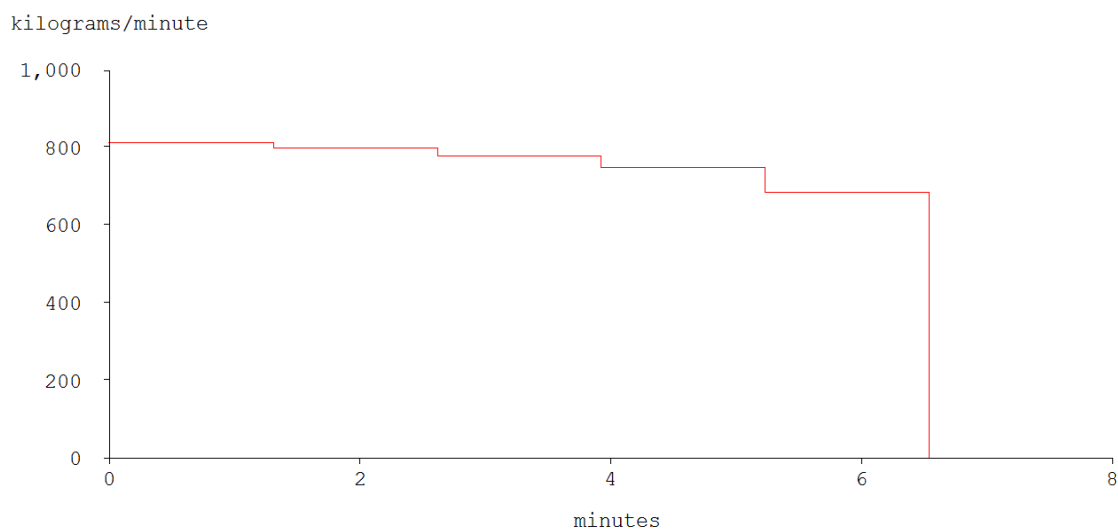
Red: 5.7 kilometers --- (17 mg/(cu m))

Orange: 1.9 kilometers --- (139 mg/(cu m))

Yellow: 702 meters --- (696 mg/(cu m))



Obr. 19. Zóny toxického úniku pro únik čpavku na bělehradské předměstí Borca



Obr. 20. Graf rychlosti unikajícího čpavku z cisterny

Tab. 13. Výsledky havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku - ALOHA

Název - bělehradské předměstí Borca	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	13,55	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W _T	5 000,00	[kg]
Množství rozptýlené látky	AQ	13,55	[kg/s]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD ₁	5 700,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD ₂	1 900,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD ₃	696,00	[m]

SPOLANA a.s.:

Shrnující text vstupních dat:

SITE DATA:

Location: CESKA REPUBLIKA, NERATOVICE

Building Air Exchanges Per Hour: 0.48 (sheltered single storied)

Time: August 18, 2002 1500 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: CHLORINE 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: -34.4° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1 000 000 ppm or 100.0%

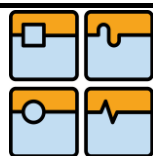
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from S at 10 meters

Ground Roughness: urban or forest **Cloud Cover:** 7 tenths

Air Temperature: 25° C **Stability Class:** D

No Inversion Height Relative Humidity: 99%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Non-flammable chemical is escaping from tank

Tank Diameter: 2.8 meters Tank Length: 14.145 meters

Tank Volume: 87.1 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 112 872 kilograms

Tank is 93% full

Circular Opening Diameter: 5 centimeters

Opening is 3 centimeters from tank bottom

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 1 280 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 74 150 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

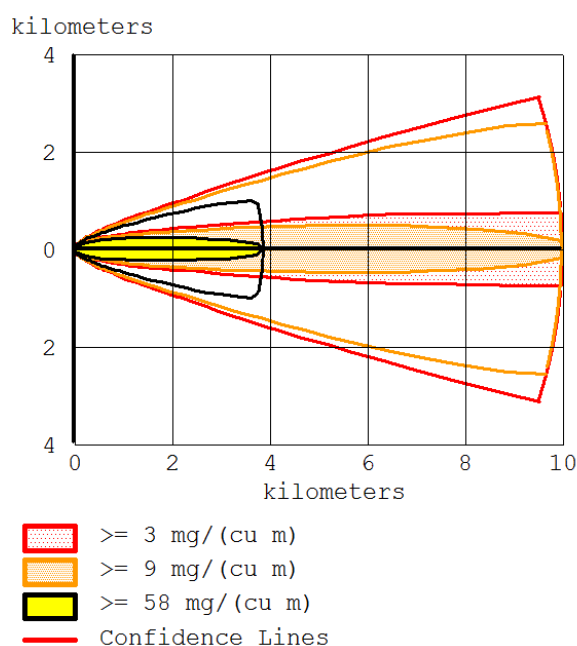
THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

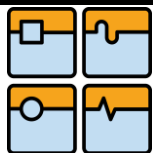
Red: greater than 10 kilometers --- (3 mg/(cu m))

Orange: greater than 10 kilometers --- (9 mg/(cu m))

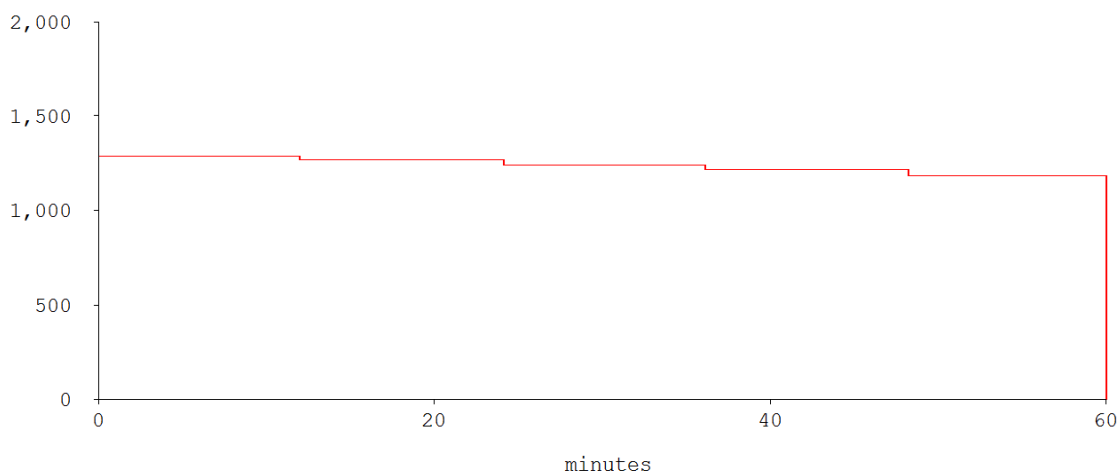
Yellow: 3.9 kilometers --- (58 mg/(cu m))



Obr. 21. Zóny toxického úniku pro únik chlóru z podniku Spolana a.s.



kilograms/minute



Obr. 22. Graf rychlosti unikajícího chlóru ze zásobníku

Tab. 14. Výsledky havárie ve Spolaně a.s. pomocí programu ALOHA

Název – Spolana a.s.	Označení	Výsledek	Jednotky
Rychlost výtoku	L	21,30	[kg/s]
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T	74 150,00	[kg]
Množství rozptýlené látky	AQ	21,30	[kg/s]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2	10 000,00	[m]
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3	3 900,00	[m]

4.2.3 Porovnání výsledků

V následující kapitole jsou výsledky výpočtů podle metody CEI a výstupy modelování programem ALOHA shrnuty a zaneseny do tabulek, které obsahují porovnání vyjádřené v procentech.

Tab. 15. Porovnání výsledků havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s.

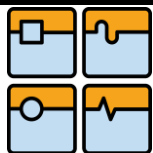
Název – Vodňanská drůbež a.s.	Označení a jednotky	Výsledek (CEI)	Výsledek (ALOHA)
Rychlost výtoku	L [kg/s]	58, 11	13,45
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T [kg]	52 839,90	2 000,00
Odpařené množství	F_V [-]	0,234	-
Množství rozptýlené látky	AQ [kg/s]	58,11	13,45
Index chemického ohrožení	CEI [-]	42576	-
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1 [m]	10 000,00	4 300,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2 [m]	4 257,55	1 700,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3 [m]	1 902,67	770,00

Nebezpečná vzdálenost HD_1 vypočítaná metodou CEI a programem ALOHA se liší o 57,00%, nebezpečná vzdálenost HD_2 se liší o 60,00% a nebezpečná vzdálenost HD_3 se liší o 59,53%.

Tab. 16. Porovnání výsledků havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku

Název- bělehradské předměstí Borca	Označení a jednotky	Výsledek (CEI)	Výsledek (ALOHA)
Rychlost výtoku	L [kg/s]	58,235	13,55
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T [kg]	52 411,50	5 000,00
Odpařené množství	F_V [-]	0,234	-
Množství rozptýlené látky	AQ [kg/s]	58,235	13,55
Index chemického ohrožení	CEI [-]	424,03	-
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1 [m]	10 000,00	5 700,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2 [m]	4 240,26	1 900,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3 [m]	1 894,94	696,00

Nebezpečná vzdálenost HD_1 vypočítaná metodou CEI a programem ALOHA se liší o 43,00%, nebezpečná vzdálenost HD_2 se liší o 55,19% a nebezpečná vzdálenost HD_3 se liší o 63,27%.



Tab. 17. Porovnání výsledků havárie ve Spolaně a.s.

Název – Spolana a.s.	Označení a jednotky	Výsledek (CEI)	Výsledek (ALOHA)
Rychlost výtoku	L [kg/s]	79,62	21,30
Celkové množství uniklé kapaliny	W_T [kg]	71 657,55	76 800,00
Odpařené množství	F_V [-]	0,228	-
Množství rozptýlené látky	AQ [kg/s]	79,62	21,30
Index chemického ohrožení	CEI [-]	1 948,48	-
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 1	HD_1 [m]	10 000,00	10 000,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 2	HD_2 [m]	10 000,00	10 000,00
Nebezpečná vzdálenost - ERPG - 3	HD_3 [m]	7 675,44	3 900,00

Nebezpečné vzdálenosti HD_1 a HD_2 vypočítané metodou CEI a programem ALOHA jsou mimo rozsah obou metod. Nebezpečná vzdálenost HD_3 vypočítaná metodou CEI a programem ALOHA se liší o 49,19%.

Z porovnání výsledků z metody CEI a programu ALOHA je zřejmé, že dosahy toxických mraků pro koncentrace ERPG - 1, ERPG - 2 a ERPG - 3 se liší o cca 40 – 60 %. Přičemž výsledky z metody CEI jsou konzervativnější.

Uvedené rozdíly jsou způsobeny celou řadou zjednodušujících a omezujících parametrů uvažovaných při výpočtech pomocí metody CEI (viz kapitola 2.4). Jedná se zejména o parametry úniku toxické látky ze zařízení (množství látky a tomu odpovídající rychlost úniku a množství rozptýlené látky, jak je zřejmé z tab. 15 až 17., atd.) a výrazně jednoduššími rovnicemi pro rozptyl toxické látky v ovzduší, viz rovnice 1 pro stanovení HD v kapitole 2.3.

Program ALOHA využívá pro odhad rozptylu toxické látky v ovzduší, v závislosti na vlastnostech toxické látky, Gaussův model anebo model pro tzv. těžký plyn.

5. ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na odhad možných následků při únicích toxických látek pomocí metody CEI (Chemical Exposure Index). Metoda CEI byla vyvinuta v roce 1994 společností Dow's Chemical Company za účelem identifikace zdrojů rizika s toxickými látkami. K těmto účelům je tato metoda také v praxi často využívána. Metoda CEI však umožňuje také odhadnout možný dosah toxických mraků pro určité koncentrace.

Pro ověření vypovídacích schopností metody CEI v oblasti následků úniků toxických látek bylo provedeno porovnání výstupů z metody CEI s programem ALOHA.

Program ALOHA ® 5. 4. 1. 2 - Areal Locations of Hazardous Atmospheres je modelovací nástroj určený pro odhad možných následků při únicích nebezpečných (toxických, hořlavých) látek a jejich rozptylu v ovzduší.

Pro porovnání výsledků z metody CEI a programu ALOHA byly identifikovány tzv. referenční havárie. Ty byly zvoleny na základě reálných průmyslových havárií a statistik uváděných v odborné literatuře. Pro tyto referenční havárie (únik čpavku v podniku Vodňanská drůbež a.s., únik chlóru z podniku Spolana a.s. a exploze cisterny na bělehradském předměstí Borca v Srbsku) byly stanoveny dosahy toxických mraků pro koncentrace ERPG - 1, ERPG - 2 a ERPG - 3 (tak jak to umožňuje metoda CEI) pomocí metody CEI i programu ALOHA.

Uvedené koncentrace jsou definovány v kapitole 2.3, jedná se o koncentrace, při kterých NEDOCHÁZÍ k fatálním zraněním, ale jen ke zdravotním potížím.

Výsledky dosahů toxických mraků pro referenční havárie jsou uvedeny v kapitole 4.2.1 pro metodu CEI a 4.2.2 pro program ALOHA. Z výsledků je zřejmé, že výpočty pomocí programu ALOHA založené na mnohem podrobnějších vstupních datech a přesnějších modelech jsou mnohem méně konzervativní než v případě výpočtů pomocí metody

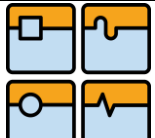
CEI. Rozdíly v dosazích toxických mraků jsou v případě metody CEI větší o cca 40 – 60 %. Důvodem takto významných rozdílů jsou výrazná zjednodušení používaná metodou CEI pro únik a následný rozptyl toxické látky v ovzduší viz kapitola 4.2.3.

S ohledem na významné rozdíly v dosazích toxických mraků není metoda CEI pro odhad následků úniků toxických látek (havarijní plánování, uzemní plánování, atd.) vhodná, z důvodu příliš konzervativních výsledků.

Závěrem lze konstatovat, že cíl bakalářské práce uvedený v zadání byl splněn.

Seznam použité literatury

- [1] MARADA, V. Porovnání metod analýzy rizik závažných havárií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Tabas, Ph.D.
- [2] BABINEC, František. Bezpečnostní inženýrství: Loss Prevention & Safety Promotion: Učební text. Brno, 2000
- [3] VAKHRAMEEV, N. Analýza rizik vybraných havárií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D..
- [4] Office of response and restoration:
ALOHA. [Http://response.restoration.noaa.gov](http://response.restoration.noaa.gov) [online]. 2013, 18. 3. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://response.restoration.noaa.gov/aloha>
- [5] Bhopal marks 25 years since gas leak devastation. [Http://news.bbc.co.uk](http://news.bbc.co.uk) [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://news.bbc.co.uk/2/hi/south_asia/8392206.stm
- [6] Seveso, Italy. GILBERT, Steven. [Http://toxipedia.org](http://toxipedia.org) [online]. 2011, 28. 6. 2011 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Seveso,+Italy>
- [7] BENEŠOVÁ. Návrhy řešení krizových situací při hromadných chemických otravách. České Budějovice, 2007. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce PharmDr. Marie Vopršalová, CSc.
- [8] Povodně 2002: Spolana Neratovice děsila především svou mlčenlivostí. HAVRÁNKOVÁ, Kateřina. [Http://praha.idnes.cz](http://praha.idnes.cz) [online]. 2012 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://praha.idnes.cz/povodne-2002-spolana-neratovice-dk2-/praha-zpravy.aspx?c=A120815_1816585_praha-zpravy_sfo
- [9] Kontakty. [Www.draslovka.cz](http://www.draslovka.cz) [online]. 2012 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.draslovka.cz/CMSPage.jsp?id=4d7417a6-a6f2-4da1-b97d-c316af5dc5ff&context=79844cbe-01d9-49fd-9bb4-dc5ea0aa6453.9f97207a-ad8e-4c8e-b530-d9d775db2c2f.0925e7ad-2a6d-4ac9-97b5-bef6678b0d7b.4d7417a6-a6f2-4da1-b97d-c316af5dc5ff>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [10] KRAUS, František. Poučení z průmyslových havárií. Paříž, 2009.
- [11] Kvůli úniku chloru ve Vítkově evakuováno 300 lidí. [Http://zpravy.tiscali.cz](http://zpravy.tiscali.cz) [online]. 2009, 25. 2. 2009 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://zpravy.tiscali.cz/kvuli-uniku-chloru-ve-vitkove-evakuovano-300-lidi-11502>
- [12] Kvůli uniklému chloru hrozí otrava půdy. [Http://opavsky.denik.cz](http://opavsky.denik.cz) [online]. 2009, 25. 2. 2009 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://opavsky.denik.cz/nehody/v-podhradi-znovu-unika-chlor20090225.html>
- [13] Únik čpavku v Madetě v Prachaticích. [Http://www.pozary.cz](http://www.pozary.cz) [online]. 2010, 30. 7. 2010 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/25031-unik-cpavku-v-madete-v-prachaticich/>
- [14] Z kazašského zlatého dolu unikly tisíce kubíků kyanidu. [Http://www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz) [online]. 2011, 3. 11. 2011 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://www.enviweb.cz/clanek/geologie/88843/z-kazasskeho-zlateho-dolu-unikly-tisice-kubiku-kyanidu#utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=rss_clanky
- [15] Únik chloru v metropoli Tbilisi zranil sedm desítek lidí. [Http://zahranicni.eurozpravy.cz](http://zahranicni.eurozpravy.cz) [online]. 2012, 4. 7. 2012 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://zahranicni.eurozpravy.cz/asie-a-australie/52617-unik-chloru-v-metropoli-tbilisi-zranil-sedm-desitek-lidi/>
- [16] Ve Vodňanské drůbežárně unikal čpavek, zásah hasičů pokračoval i dnes. [Http://www.pozary.cz](http://www.pozary.cz) [online]. 2012, 21. 8. 2012 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/57864-ve-vodnanske-drubezarne-unikal-cpavek-zasah-hasicu-pokracoval-i-dnes/>

SEZNAM PŘÍLOH

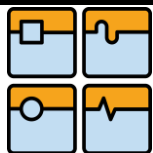
Příloha 1: Vývojový diagram pro výpočet množství rozptýlené látky AQ [2]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Únik kapaliny – vznik louže.....	16
Obr. 2. Únik kapaliny ze zásobníku – vznik louže spolu s odparem látky.....	16
Obr. 3. Únik kapaliny – odpar látky.....	16
Obr. 4. Únik plynu.....	16
Obr. 5. Schéma stanovení CE – Indexu.....	17
Obr. 6. grafické vykreslení - I. v programu ALOHA.....	21
Obr. 7. Grafické vykreslení - II. v programu ALOHA.....	21
Obr. 8. Toxický mrak po havárii v Bhópálu.....	22
Obr. 9. Továrna v Sevesu po havárii v roce 1976.....	22
Obr. 10. Spolana a.s. při povodních 2002.....	23
Obr. 11. Lučební závody DRASLOVKA a.s. Kolín s vyznačením detoxikačních jam.....	24
Obr. 12. Odkalovací nádrž ve Vítkově	24
Obr. 13. Graf počtu událostí v závislosti na chemické látce.....	28
Obr. 14. Zásobník čpavku – 2 000kg (Vodňanská drůbež a.s.).....	29
Obr. 15. Cisterna se čpavkem – 5 000kg (Srbsko).....	33
Obr. 16. Zásobník chlóru – 111 920kg)Spolana a.s.....	34
Obr. 17. Zóny toxického úniku pro únik čpavku v podniku Vodňanská drůbež a.s.....	37
Obr. 18. Graf rychlosti unikající látky unikajícího čpavku ze zásobníku.....	38
Obr. 19. Zóny toxického úniku pro únik čpavku na bělěhradském předměstí Borca.....	40
Obr. 20. Graf rychlosti unikající látky čpavku z cisterny.....	40
Obr. 21. Zóny toxického úniku pro únik chlóru z podniku Spolana a.s.....	42
Obr. 22. Graf rychlosti unikající látky chlóru ze zásobníku.....	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Přehled zjednodušujících předpoklad.....	18
Tab. 2. Vlastnosti látky potřebné pro výpočet CE- Indexu.....	19
Tab. 3. Počítané hodnoty (výstupy) CE – Index.....	19
Tab. 4. Data/podklady pro výpočet v programu ALOHA.....	20
Tab. 5. Havárie s únikem toxické látky.....	26
Tab. 5. Havárie s únikem toxické látky – pokračování.....	27
Tab. 6. Vstupní hodnoty havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s.....	29
Tab. 7. Výsledky havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s.....	32
Tab. 8. Vstupní hodnoty havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku.....	33
Tab. 9. Výsledky havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku.....	34
Tab. 10. Vstupní hodnoty havárie ve Spolaně a.s.....	34
Tab. 11. Výsledky Havárie ve Spolaně a.s.....	35
Tab. 12. Výsledky havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s. – ALOHA.....	38
Tab. 13. Výsledky havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku – ALOHA.....	41
Tab. 14. Výsledky havárie ve Spolaně a.s. – ALOHA.....	43
Tab. 15. Porovnání výsledků havárie v podniku Vodňanská drůbež a.s.....	44
Tab. 16. Porovnání výsledků havárie na bělehradském předměstí Borca v Srbsku.....	44
Tab. 17. Porovnání výsledků havárie ve Spolaně a.s.....	45



PŘÍLOHY

Příloha 1: Vývojový diagram pro výpočet množství rozptýlené látky AQ [2]

