

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO  
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

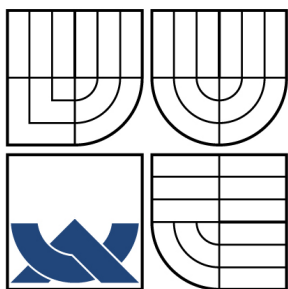
SROVNÁNÍ DOSTUPNÝCH SW NÁSTROJŮ PRO HODNOCENÍ  
HAVARIJNÍCH DOPADŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

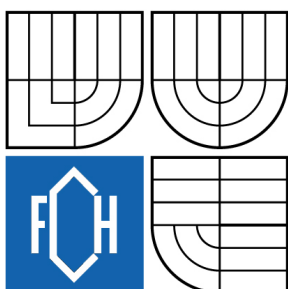
OTAKAR KAŠPAR

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
ENVIRONMENTAL PROTECTION

## SROVNÁNÍ DOSTUPNÝCH SW NÁSTROJŮ PRO HODNOCENÍ HAVARIJNÍCH DOPADŮ

COMPARISON OF POSSIBLE SW TOOLS FOR EVALUATION OF ACCIDENTAL  
CONSEQUENCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

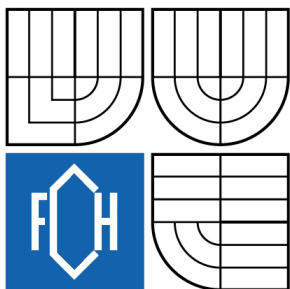
OTAKAR KAŠPAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OTAKAR JIŘÍ MIKA, CSc.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce	<b>FCH-DIP0263/2007</b>	Akademický rok: <b>2007/2008</b>
Ústav	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka)	<b>Kašpar Otakar</b>	
Studijní program	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (M2805)	
Studijní obor	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)	
Vedoucí diplomové práce	<b>Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.</b>	
Konzultanti diplomové práce		

### Název diplomové práce:

Srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení havarijních dopadů

### Zadání diplomové práce:

Provést srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení havarijních dopadů závažných průmyslových chemických havárií a navrhnout strukturu SW nástroje k tomuto účelu.

### Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2008

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

---

Otakar Kašpar  
student(ka)

---

Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.  
Vedoucí práce

---

Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.9.2007

---

doc. Ing. Jaromír Havlica, CSc.  
Děkan fakulty

## **SOUHRN**

Provést srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení havarijních dopadů závažných průmyslových chemických havárií s důrazem na hořlavé, výbušné a toxické chemické látky. Provedení hodnocení různých modelových příkladů se jmenovanými látkami. Navrhnout strukturu SW nástroje k tomuto účelu.

## **SUMMARY**

To perform comparison of possible SW tools for evaluation of accidental consequences of major industrial chemical accidents with a focus on flammable, explosive and toxic chemical substances. To perform evaluation of different model cases with named substances. To suggest a structure of SW tool for this purpose.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Průmyslová havárie, havarijní dopad, nebezpečná chemická látka, SW nástroj

## **KEYWORDS**

Industrial accident, accidental impact, hazardous chemical substance, SW tool

KAŠPAR, O. Srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení havarijních dopadů. Brno, 2007. 105 s. Diplomová práce na Fakultě chemické Vysokého učení technického v Brně, Ústavu chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí diplomové práce Ing. Otakar J. Mika, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Tímto textem prohlašuji, že jsem zadanou práci vypracoval samostatně, pod odborným vedením vedoucího diplomové práce Ing. Otakara J. Míky CSc. a použil jsem literaturu uvedenou na konci diplomové práce

Souhlasím se zapůjčováním diplomové práce.

Brně, dne 16.5.2008

.....

### *Poděkování:*

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Otakaru J. Mikovi, CSc., za cenné rady a odborné vedení, dále pak panu mjr. Ing. Jozefu Heretíkovi a por. Ing. Janu Wiederlechnerovi z Univerzity Obrany v Brně a panu Ing. Miroslavu Dítěti ze společnosti TLP. s.r.o. Za cenné rady a umožnění přístupu k uvedeným SW nástrojům.

## OBSAH

SOUHRN.....	3
SUMMARY .....	3
KLÍČOVÁ SLOVA.....	3
KEYWORDS .....	3
PROHLÁŠENÍ .....	4
Poděkování: .....	4
OBSAH.....	5
CÍL PRÁCE.....	7
1.ÚVOD.....	8
2.Základní pojmy a definice .....	9
3. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	12
3.1. Platná legislativa .....	12
3.1.1. Zákon o prevenci závažných havárií.....	12
3.1.2. Podzákonné právní normy.....	14
3.1.3. Evropské směrnice SEVESO I. a SEVESO II. ....	15
2.1.4. Přeprava nebezpečných látek a předmětů podle dohody ADR a RID .....	17
2.1.5. Související právní předpisy .....	19
3.2. Charakteristika průmyslových havárií s únikem nebezpečných látek.....	20
3.2.1. Charakteristika nebezpečných chemických látek.....	21
3.2.2. Charakteristika havárie.....	22
3.2.3. Šíření nebezpečných látek v podobě oblaku plynů nebo par při haváriích.....	22
3.3. Analýza rizika nebezpečných chemických látek a souvisejících rizik.....	23
3.3.1. Metody analýzy rizika.....	24
3.3.2. Nečastěji používané relativní metody .....	24
3.3.3. Analýza následků průmyslových havárií .....	26
3.4. Modelování následků havárií.....	27
3.4.1. Rozdělení způsobů modelování .....	27
3.4.2. Odhad následků působení havárií s nebezpečnými látkami.....	28
3.4.3. Odhad toxického působení.....	28
3.4.4. Odhad účinků výbuchu.....	29
3.5. SW nástroje pro hodnocení havarijních dopadů závažných havárií .....	30
3.5.1. ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmosphere (US).....	30
3.5.2 Rozex Alarm .....	32
3.5.3 Teroristický expert - TerEx.....	33

3.5.4. NBC Analysis a NBC Warning! .....	34
3.5.5. Některé další zahraniční SW nástroje .....	37
3.5.6. Databáze nebezpečných látek (bezpečnostní listy a MEDIS-ALARM) .....	39
4. PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	41
4.1. Charakteristika modelovaných havárií a vlastnosti modelovaných látek .....	41
4.1.1. Situace č.1 – únik acetylenu ze zásobníku s následným zahořením .....	41
4.1.2. Situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví. ....	42
4.1.3. Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu.....	43
4.1.4. Situace č.4 – výbuch železniční cisterny naplněné LPG.....	44
4.1.5. Situace č.5 – výbuch potrubí zemního plynu .....	44
4.1.6. Situace č.6 – únik amoniaku z chladicího zařízení .....	45
4.1.7. Situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku .....	46
4.1.8. Situace č.8. – únik vodíku z potrubí s následným zahořením .....	47
4.2. Vlastní modelování .....	48
4.2.1. Modelování programem ROZEX Alarm.....	48
4.2.2. Modelování programem Teroristický expert (TerEx).....	53
4.2.3. Modelování programem Aloha .....	56
4.2.5. Výčet výsledků modelování .....	61
4.2.6. Diskuze výsledků porovnávání SW pro vyhodnocování havarijních dopadů. 66	
4.2.7. Navržení struktury SW nástroje .....	69
5. ZÁVĚR.....	72
LITERATURA .....	74
SEZNAM ZKRATEK .....	76
SEZNAM PŘÍLOH .....	77

## **CÍL PRÁCE**

Cílem práce je provést srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení havarijních dopadů závažných průmyslových havárií. K samotnému srovnávání byly použity počítačové programy TerEx, ROZEX Alarm a Aloha. Druhým úkolem diplomové práce je navrhnout strukturu nového SW nástroje k tomuto účelu.



# 1. ÚVOD

V lidském životě se občas objevují nečekané mimořádné události, které ohrožují zdraví a životy obyvatel, způsobují velké škody na majetku nebo velmi významně narušují místní životní prostředí. Mezi takovéto události patří především živelné pohromy, ale i průmyslové havárie, kterých se nezřídka kdy přímo zúčastňují nebezpečné chemické látky. Díky technickému pokroku stále těchto látek přibývá a s tím i objem jejich výroby, skladování, přepravy, obchodování a spotřeby, a tím se riziko havárií s účastí nebezpečných chemických látek zvyšuje.

K předcházení a zvládnutí situací jsou potřeba kvalifikovaní odborníci z oblasti krizového managementu, kteří ve svém konečném výsledku vytvoří jeden celek. Na podporu činnosti těchto odborníků, byly vyvíjeny a stále se vyvíjejí speciální informační systémy a informační technologie řešící danou situaci. Platí předpoklad, že zavedený systém pomůže v případě vzniku mimořádné události okamžitě uvést do pohybu záchranná a ochranná opatření a včas vyrozumět příslušné pracovníky a urychlit činnost krizového štábu.

Úkolem této diplomové práce je v první části srovnání dostupných softwarových nástrojů pro hodnocení dopadů závažných průmyslových chemických havárií a v části druhé, na základě měření z části první, navrhnout strukturu SW nástroje k tomuto účelu. Pro vlastní modelování byly použity programy Teroristický expert (TerEx), který pro českou republiku vytváří a distribuuje společnost T-soft s.r.o., ROZEX, který vyvíjí a distribuuje společnost TLP s.r.o. a Aloha, což je volně stažitelný SW nástroj z internetu.

V teoretické části práce bude v obecné rovině pojednáno o průmyslových haváriích s únikem nebezpečných látek, včetně jejich možného dopadu na obyvatelstvo a analýze rizika. Dále pak o Evropské i české legislativě vztahující se k této problematice.

V praktické části bude výše uvedenými počítačovými programy porovnáváno celkem osm fiktivních situací. Čtyři situace jsou s únikem toxické látky (pro látky: brom, chlor, amoniak a sirovodík), další dvě pak s únikem a následným zahřením látky typem události FLASH FIRE (pro látky: acetylen a LPG) a poslední dvě události jsou modelovány pro únik látky a následné zahoření efektem JET FIRE poškozeným potrubím (pro látky methan a vodík).

V této oblasti je nutno vycházet v praxi jednak z právních možností a jednak z faktických prostředků a nástrojů vhodných pro řešení konkrétně vzniklé situace. Daná problematika je v dnešní době velmi aktuální z důvodu neustálých potenciálních hrozeb možných průmyslových havárií či teroristických útoků. Aktuálnost je dána také novou českou legislativou.

## 2.Základní pojmy a definice

Vymezení základních pojmů vychází jednak z platné legislativy a jednak z výkladového terminologického slovníku některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií. Nejen pro účely této práce je žádoucí, aby pojmy používané v této oblasti byly vnímány pokud možno stejným způsobem.

**Objekt** – celý prostor, popřípadě soubor prostorů, v němž je umístěna jedna nebo více nebezpečných látek v jednom nebo více zařízeních, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur a činností, v užívání právnických osob a podnikajících fyzických osob.

**Zařízení** – technická nebo technologická jednotka, ve které je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována a která zahrnuje také všechny části nezbytné pro provoz, například stavební objekty, potrubí, skladovací tankoviště, stroje, průmyslové dráhy a nákladové prostory.

**Provozovatel** – právnická osoba nebo podnikající fyzická osoba, která užívá nebo bude užívat objekt nebo zařízení, v němž je nebo bude vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována nebezpečná látka v množství stejném nebo větším, než je uvedeno v zákoně č. 59/2006 Sb. v příloze č.1 k tomuto zákonu v části 1 sloupci 1 tabulky I nebo tabulky II, nebo který byl zařazen do skupiny A nebo B rozhodnutím krajského úřadu.

**Nebezpečná látka** – vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek, uvedené v zákoně č. 59/2006 Sb. v příloze č.1 k tomuto zákonu v části 1 tabulce I nebo splňující kritéria stanovená v příloze č.1 tohoto zákona v části 1 tabulce II a přítomné v objektu nebo zařízení jako surovina, výrobek, vedlejší produkt, zbytek nebo meziprodukt, včetně těch látek, u kterých se dá důvodně předpokládat, že mohou vzniknout v případě havárie.

**Havárie** – Neplánovaná, náhlá, nežádoucí událost, která vznikla v souvislosti s provozem technických zařízení, a která způsobí zranění či smrt lidí, hospodářských zvířat, poškození majetku a životního prostředí, včetně výrobních ztrát.

**Závažná havárie** – mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, například závažný únik, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována a vedoucí k vážnému ohrožení nebo vážnému dopadu na životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat a životní prostředí nebo k újmě na majetku.

**Zdroj rizika (nebezpečí)** – vlastnost nebezpečné látka nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku závažné havárie.

**Riziko** – pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností..

**Analýza rizika** – proces analýzy nebezpečí při určité činnosti, v určitém systému a odhad úrovně rizika pro lidi, životní prostředí (včetně hospodářských zvířat) a majetek lidí, které toto nebezpečí (zdroj rizika) představuje. Výsledky analýzy rizika pak lze použít pro hodnocení rizika. Analýza rizika může být kvalitativní, semikvalitativní nebo kvantitativní.

**Skladování** – umístění určitého množství nebezpečných látek pro účely uskladnění, uložení do bezpečného opatrování nebo udržování v zásobě.

Domino efekt – možnost zvýšení pravděpodobnosti vzniku nebo velikosti dopadů závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti objektů nebo zařízení nebo skupiny objektů nebo zařízení a umístění nebezpečných látek.

Umístění nebezpečné látky – projektované množství nebezpečné látky, která je nebo bude vyráběna, zpracovávána, používána, nebo skladována v objektu nebo zařízení nebo která se může nahromadit v objektu nebo zařízení při ztrátě kontroly průběhu průmyslového chemického procesu nebo při vzniku závažné havárie.

Zóna havarijního plánování – území v okolí objektu nebo zařízení, v němž krajský úřad, v jehož působnosti se nachází objekt nebo zařízení, uplatňuje požadavky havarijního plánování formou vnějšího havarijního plánu.

Scénář – variantní popis rozvoje závažné havárie, popis rozvoje příčinných a následných na sebe i posloupně probíhajících událostí, a to buď spontánně probíhajících a nebo probíhajících jako činnosti lidí, které mají za účel zvládnout průběh závažné havárie.

Prevence – organizační a technická opatření nebo činnosti, jejichž cílem je předejít závažné havárii a vytvořit podmínky pro zajištění opatření na zmírnění dopadů možné závažné havárie a havarijní připravenosti.

Modelování – v kontextu analýz rizika určitý zjednodušený popis vybraných vlastností studovaného objektu a dějů v něm probíhajících pro pochopení přírody a zobecnění jejich zákonitostí. Např. se modelují scénáře a odhadují se jejich fyzikální účinky a jejich pravděpodobnost. Příklady modelování: modelování zdrojů výtoků pro popis šíření chemické látky, fyzikální modely pro odpařování z kaluže, disperzní modely, modelování výbuchů, modelování tepelné radiace, modelování prasknutí nádob a potrubí, dále modely účinků pro toxické látky, přetlak, tepelnou radiaci a rozlet fragmentů, modelování nepřímých účinků jako např. zhroucení budov, modely dávka – odezva.

Jednorázový únik – únik určitého množství látky ve velmi krátké době, obvykle v několika vteřinách. Jedná se v podstatě o okamžité uvolnění obsahu nebezpečné látky.

Kontinuální únik – únik určitého konstantního množství látky, který trvá určitou delší dobu, která musí být, minimálně po dobu tvorby maximální velikosti oblaku.

Efekt BLEVE – [Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion] jedná se o explozi vyplývající z poruchy (náhlého roztržení) nádoby obsahující kapalinu při teplotě významně vyšší než je její bod varu za normálních (atmosférických) podmínek. Na rozdíl od mžikového požáru [Flash Fire] a exploze mraku par (VCE) kapalina nemusí být hořlavá, aby způsobila efekt BLEVE. Efekt BLEVE se obvykle většinou spojuje s úniky hořlavých kapalin z nádob. V těchto případech jsou úniky způsobeny okolními požáry (typickým příkladem je zkapalněný plyn. Který je skladován při teplotě podstatně vyšší než je jeho bod varu za normálních podmínek. Působením sálavého tepla z okolního požáru nebo přímo ohřevem nádoby s kapalinou plamenem dochází jednak k odpařování kapaliny v nádobě a zahřívání jejich par a tím k růstu jejich tlaku, a jednak ke změně pevnost materiálu nádoby. Odtlakování pojišťovacím ventilem nestačí a dojde k roztržení nádoby a ke mžikovému odpařování kapaliny. V tomto případě je účinkem tlakové vlny a letících fragmentů nádoby také stoupající ohnivá koule s intenzivní tepelnou radiací po dobu existence této ohnivé koule. K roztržení nádoby s hořlavou kapalinou může dojít i z jiných důvodů – kromě okolního požáru to může být i mechanický náraz, koroze, nadměrný vnitřní tlak nebo vada materiálu při hutním zpracování. Toto nemá za následek bezprostřední vznícení jejího hořlavého obsahu. Jestliže je však hořlavý obsah smíchan se vzduchem, a pak dojde ke vznícení, bude výsledkem VCE nebo mžikový požár.

Exploze mraku par (VCE) – exploze po iniciaci oblaku směsi hořlavých par, plynu nebo aerosolu se vzduchem (v otevřeném prostoru). Rychlost hoření je dostatečně vysoká pro vznik významného přetlaku. K dosažení ničivých přetlaků je však v oblaku potřeba určitých částečných ohraničení (stěn) nebo překážek (potrubí, vagóny, apod.) Dnes pod tento termín spadá i dříve užívaný termín exploze neohrazeného mraku par (UVCE).

Mžikový požár [Flash Fire] – hoření hořlavé směsi plynů nebo par se vzduchem, při kterém se plamen šíří podzvukovou rychlostí, takže nedochází ke tvorbě významného přetlaku, který by způsobil tlaková poškození.

Tryskový požár [Jet Flame, Fire] – hoření směsi kapaliny a par, vytékající pod tlakem velkou rychlostí z únikového otvoru (často nadzvukovou rychlostí) s vysokým stupněm turbulencí a velkým množstvím přisávaného vzduchu. Následkem těchto podmínek pro hoření dochází k vysoké tepelné radiaci. Vizuálně se požár jeví jako výšleh plamene a následně jako hořící pochodeň.

Požár typu ohnivá koule [Fireball] – atmosférické hoření mraku hořlavina – vzduch, z kterého je energie emitována hlavně ve formě sálavého tepla. Vnitřní jádro úniku hořlaviny se skládá z téměř čisté hořlaviny, kdežto vnější vrstva, ve které se nejprve vyskytne zapálení, je hořlavá směs hořlavina – vzduch. Jelikož začnou dominovat vznášivé síly horkých plynů, hořící mrak stoupá a dostává kulovitý tvar.

Požár louže [Pool Fire] – hoření materiálu vypařujícího se z vrstvy kapaliny.

Model PLUME – laminárně - difúzní model rozptylu oblaku uvolněné látky při kontinuálním (semikontinuálním) úniku do okolní atmosféry.

Model PUFF – laminárně - difúzní model rozptylu oblaku uvolněné látky při jednorázovém úniku do okolní atmosféry .

Plume – Výtokový oblak vznikající z kontinuálního zdroje úniku (ale nezbytně ne trvalého

Puff – Mrak rozšiřující se ve všech směrech v důsledku jednorázového úniku [7,8,23].

## 3. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 3.1. Platná legislativa

V ČR je oblast prevence závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky zabezpečována Ministerstvem životního prostředí jako součást civilního nouzového plánování. Věcně se jedná o novou oblast, která dosud nebyla v našem právním systému dostatečně zahrnuta. Proto v předchozím období byla věnována maximální pozornost přípravě právních předpisů [11].

První zákon o prevenci závažných havárií byl přijat dne 9.12.1999 pod označením zákon č. 353/1999 Sb., a byl publikován ve sbírce zákonů, částka 111 ze dne 30.12.1999. Uvedený zákon se opíral o kriteria stanovená v tzv. direktivě Seveso II, neboli harmonizoval český právní systém s Evropskou unií v oblasti prevence závažných havárií. Předmětem zákona bylo stanovení systému prevence závažných havárií pro objekty a zařízení, v nichž byla umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek v určitém stanoveném množství.

Zákon upravoval povinnosti provozovatelů, kteří vlastnili nebo užívali objekt nebo zařízení v němž byla umístěna vybraná chemická látka nebo chemický přípravek, upravoval způsob zařazení objektu nebo zařízení do příslušných skupin. Dále upravoval poskytování informací veřejnosti při prevenci závažných havárií a výkon státní správy na úseku prevence závažných havárií.

Jmenovaný zákon se odvolával ve svém textu na další právní normy, které byly postupně publikovány ministerstvem životního prostředí a ministerstvem vnitra. Tyto právní normy – jako prováděcí předpisy k zákonu č. 353/1999 Sb. – byly vesměs publikovány ve sbírce zákonů, částka 3, dne 27.1.2000.

Zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií byl zrušen a nahrazen novým zákonem č. 59/2006 Sb., zákon o prevenci závažných havárií, ze dne 8. března 2006, který byl publikován ve Sbírce zákonů ČR, částka 25 a vstoupil v platnost 1. června 2006 [1].

#### 3.1.1. Zákon o prevenci závažných havárií

Zákon stanoví v souladu s právem Evropských společenství systém prevence závažných havárií pro objekty a zařízení, v nichž je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek v množství stejném nebo větším, než je množství uvedené v příloze č. 1 k tomuto zákonu, s cílem snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek v objektech a zařízeních v jejich okolí.

Zákon upravuje:

- Povinnosti právnických osob a podnikajících osob, které vlastní nebo užívají objekt nebo zařízení (analýza a hodnocení rizik závažné havárie; bezpečnostní program; bezpečnostní zpráva; vnitřní havarijní plán, podklady pro havarijní plánování pro krajský úřad; pojištění odpovědnosti, atd.) , a také povinnosti ostatních právnických a podnikajících fyzických osob při provádění zabezpečování prevence závažných havárií podle tohoto zákona.
- Způsob zařazení zařízení či objektu do příslušných skupin (skupina A nebo skupina B) podle umístěného druhu a množství vybrané nebezpečné chemické látky nebo chemického přípravku.

- Poskytování informací veřejnost při prevenci závažných havárií v objektu nebo zařízení, v němž je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek.
- Výkon státní správy (ministerstvo životního prostředí; ministerstvo vnitra; Český báňský úřad; Česká inspekce životního prostředí; Krajské úřady; Státní úřad inspekce práce; Správní úřady na úseku požární ochrany, ochrany obyvatelstva a integrovaného záchranného systému; krajské hygienické stanice) na úseku prevence závažných havárií v objektech nebo zařízeních, v nichž je umístěna nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek.
- Způsob poskytování informací o vzniku a dopadech závažné havárie.

Uvedený zákon dále vymezuje základní pojmy pro účely tohoto zákona, a to objekt, zařízení, provozovatel, nebezpečná látka, závažná havárie, riziko, domino efekt, a další .

### ***3.1.1.1. Obecné podmínky prevence závažných havárií***

Každá právnická osoba nebo podnikající fyzická osoba, která vlastní či užívá anebo bude vlastnit nebo užívat objekt nebo zařízení, v němž je nebo bude umístěna nebezpečná látka, je povinna zařadit objekt nebo zařízení do příslušné skupiny (A nebo B) v případě, kdy množství nebezpečné látky umístěné v objektu nebo zařízení je stejné nebo větší, než je množství v příloze č. 1 k tomuto zákonu.

Krajský úřad návrh nezařazení objektu nebo zařazení do skupiny A nebo B posoudí a vyhodnotí možnosti vzniku domino efektu vyplývajícího z polohy okolních objektů nebo zařízení a z druhu a množství v nich umístěné nebezpečné látky. Dále krajský úřad vydá rozhodnutí o nezařazení tohoto objektu, nebo o zařazení do skupiny A nebo do skupiny B.

Na právnickou osobou nebo podnikající fyzickou osobu, která užívá objekt nebo zařízení se nevztahují povinnosti navrhnout zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo B, když množství nebezpečné látky umístěné v objektu nebo zařízení je menší než 2% množství nebezpečné látky uvedené v příloze č. 1 k tomuto zákonu (tzv. podlimitní množství)

### ***3.1.1.2. Povinnosti provozovatele***

Provozovatel je povinen provést analýzu a hodnocení rizik závažné havárie. Dále je povinen oznámit krajskému úřadu základní identifikační údaje o objektu nebo zařízení, uvede v něm seznam umístěných nebezpečných látek podle jejich druhu a množství a návrh nezařazení objektu nebo zařazení do skupiny A nebo B a nakonec je povinen sjednat pojištění odpovědnosti za škody vzniklé v důsledku závažné havárie.

Bezpečnostní program prevence závažné havárie je dokument zpracovaný provozovatelem, který stanoví systém řízení bezpečnosti v objektu nebo zařízení.

Vnitřním havarijním plánem se rozumí dokument, v němž jsou uvedeny popisy činností a opatření prováděných při vzniku závažné havárie vedoucí ke zmírnění jejích dopadů, zejména scénáře odezvy na závažnou havárii, modifikované na místní specifika a případně i na časový souběh několika událostí.

Dále je zde upraveno informování veřejnosti, poskytování informací o vzniku a dopadech závažné havárie, systém a výkon státní správy na úseku prevence závažných havárií a zvláštní požadavky pro stanovení občanskoprávní zodpovědnosti za škody vzniklé v důsledku závažné havárie.

Krajský úřad vyhodnocuje možnost vzniku domino efektů vyplývajících z polohy okolních objektů nebo zařízení a z druhů a množství v nich umístěné nebezpečné chemické látky a na základě tohoto vyhodnocení určuje objekty a zařízení, jejichž vzájemná poloha zvyšuje riziko závažné havárie. Tito skutečnosti krajský úřad neprodleně sdělí právnické osobě nebo podnikající fyzické osobě, která vlastní nebo užívá určený objekt nebo zařízení.

### **3.1.1.3. Obsah analýzy rizika**

Analýza a hodnocení rizik musí obsahovat zejména:

- Identifikaci zdrojů rizika (nebezpečí).
- Určení možných scénářů událostí a jejich příčin, které mohou vyústit v závažnou havárii.
- Odhad dopadů možných scénářů závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek.
- Odhad pravděpodobností scénářů závažných havárií.
- Stanovení míry rizika.
- Hodnocení přijatelnosti rizika vzniku závažných havárií.

Způsob zpracování analýzy a hodnocení rizik závažné havárie stanoví Ministerstvo životního prostředí prováděcím právním předpisem [7].

### **3.1.2. Podzákoné právní normy**

Kromě zákona č. 59/2006 Sb. (resp. č. 353/1999 Sb.) upravují problematiku průmyslových havárií další podzákoné právní normy.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 7/2000 Sb. Ze dne 13.ledna 2000 (novelizována vyhláškou č. 367/2004 Sb.), kterou se stanoví rozsah a způsob zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a následcích závažné havárie . Která byla znovu novelizována vyhláškou 255/2006 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 256/2006 Sb. Ze dne 1.července 2006, o ně podrobnostech systému prevence závažných havárií. Vyhláška zapracovává příslušný předpis Evropských společenství a upravuje způsob zpracování analýzy a hodnocení rizik závažné havárie, způsob zpracování bezpečnostního programu, způsob zpracování a strukturu bezpečnostní zprávy, způsob a strukturu zpracování vnitřního havarijního plánu, způsob zpracování a strukturu písemných podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování, způsob provedení aktualizace bezpečnostního programu, bezpečnostní zprávy, vnitřního havarijního plánu a podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a rozsah a způsob informace a postup při zabezpečení informování veřejnosti v zóně havarijního plánování.

Vyhláška obsahuje:

- Zásady analýzy a hodnocení rizik závažné havárie.
- Strukturu systému řízení bezpečnosti a prevence závažné havárie.
- Rozsah a způsob zpracování bezpečnostního programu prevence .závažné havárie a bezpečnostní zprávy.
- Zpracování vnitřního havarijního plánu.

- Zpracování podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a pro vypracování vnějšího havarijního plánu.
- Rozsah a způsob zpracování informací určených veřejnosti.
- Postup při zabezpečování informování veřejnosti v zóně havarijního plánování.

Vyhláška je doplněna pěti přílohami, které se týkají:

- Bezpečnostního programu prevence závažné havárie.
- Obsahu kapitol bezpečnostní zprávy.
- Rozsahu a způsobu zpracování podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a pro vypracování vnějšího havarijního plánu
- Rozsahu a způsobu zpracování vnitřního havarijního plánu
- Rozsahu a způsobu zpracování informace určené veřejnosti a postupu při zabezpečování informování veřejnosti v zóně havarijního plánování.

Nařízení vlády č. 452/2004 Sb., ze dne 16. června 2004, kterým se stanoví způsob hodnocení bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy, obsah ročního plánu kontrol, postup při provádění kontroly, obsah informace a obsah výsledné zprávy o kontrole [12,13,14].

### **3.1.3. Evropské směrnice SEVESO I. a SEVESO II.**

Při harmonizaci právního řádu ČR s existujícími právními předpisy Evropské unie byly implementovány směrnice do přijatých právních norem:

- Směrnice SEVESO I. (82/501/EEC), „On the major-accident hazards of certain industrial activities“ ,která byla doplněna směrnicemi 87/216/EEC a 88/610/EEC
- Směrnice SEVESO II. (96/82/EEC), „On the major-accident hazards involving dangerous substance.“
- Předpis OSHA 1940.119, „Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals“ June, USA, 1992

#### **3.1.3.1. Ze směrnice SEVESO I.**

Směrnice byla přijata v důsledku vzniku závažných havárií (únik dioxinu v italském Sevesu a výbuch cyklohexanu v britském Flixborough). Jejím hlavním cílem bylo zavést v členských zemích Evropské unie jednotnou a harmonizovanou legislativu, týkající se prevence i připravenosti na závažné průmyslové havárie s možným mezistátním účinkem a zpracovat i uplatňovat vhodná a účinná organizační a technická bezpečnostní opatření. Obsah dokumentu lze stručně, jehož požadavky musely být zapracovány do legislativy členských států unie, vysvětlit takto. Stanovuje povinnosti provozovatelů i správních orgánů pro oblast závažných průmyslových havárií, které musí být plněny:

a) Oznamovací povinnost a povinnost zpracovat bezpečnostní studii – Provozovatelé technologií, v nichž jsou používány nebezpečné látky v množstvích přesahujících limity stanovené směrnicí, jsou povinni o této skutečnosti informovat příslušné orgány formou oznámení a v případě vysoce nebezpečné činnosti s přítomností nebezpečných látek zpracovat bezpečnostní studii. Její obsah a náležitosti závisí na míře potenciálního nebezpečí a



souvisejícího rizika. Vždy ale musí být uvedena opatření omezující možná nebezpečí a související rizika.

b) Povinnost vypracovat havarijní plány – Provozovatel vysoce nebezpečných činností je rovněž povinen vypracovat tzv. vnitřní havarijní plán pro případ vzniku havárie. V souladu s mírou rizika, předpokládá-li se, že by následky havárie mohly přesáhnout území podniku, je stanovena povinnost zpracovat tzv. vnější havarijní plán, který je součástí havarijního plánu regionu. Pro tyto účely vydalo Ministerstvo vnitra vyhlášku č. 383/2000 Sb., kterou se stanoví podrobnosti ke zpracování havarijního plánu regionu a vnějšího havarijního plánu pro případ havárií radiačních. Je třeba zdůraznit, že v tomto případě je podkladem zpracování analýza možných rizik.

c) Povinnost poskytovat informace – Provozovatel je povinen zajistit informovanost svých pracovníků o možných rizicích a činnostech v případě vzniku havárie i zabezpečit jejich ochranu. Tato povinnost poskytování informací se vztahuje nejen na zaměstnance, ale i na ohrožené obyvatelstvo a kompetentní orgány státní správy.

d) Povinnost provádět kontroly – Stát je povinen zajistit provádění kontrol rizikových provozů a činností, nezbytných pro plnění všech povinností uložených provozovatelům rizikových činností.

Nejlepší politikou je prevence možných nehod přímo u zdroje. Technický pokrok je třeba řídit s ohledem na nutnou ochranu životního prostředí. Požadavky na bezpečnost je třeba integrovat ve všech stádiích vzniku a technického života zařízení (vývoj, projekce, konstrukce, provoz, intenzifikace i likvidace).

Směrnice poskytla základní postup pro vytvoření taktiky v oblasti prevence havárií. Praktická aplikace se v jednotlivých členských státech EU, v důsledku poměrně obecné formulace jednotlivých ustanovení a požadavků ve směrnici, značně lišila. Z tohoto důvodu došlo k její zásadní novelizaci – vydání směrnice SEVESO II [9,11].

### **3.1.3.2. Ze směrnice SEVESO II.**

Směrnice vychází ze zkušeností získaných implementací direktivy SEVESO I. a z havárií, které se staly po jejím přijetí. Je zpracována jednoduše a konzistentně, vhodnějším způsobem než SEVESO I. Jako příklad lze uvést, že není rozlišována výroba nebezpečných látek a jejich skladování (množství překračující určitá prahová množství). SEVESO I. poukazovala buď na látky ve spojení s určitými průmyslovými činnostmi nebo na oddělené skladování látek. Rovněž seznam nebezpečných látek byl redukován na minimum a upraven. Do seznamu jmenovitých nebezpečných látek z hlediska výroby, ale i skladování byly zařazeny sloučeniny arsenu, karcinogenní látky (benzidin, 4-aminobifenyl, dimethylkarbamoylchlorid – formaldehyd, zkapalněné uhlovodíkové plyny jako např. propan a butan, i zemní plyn). Byly upraveny i kategorie nebezpečných látek, například nově byly zařazeny i látky nebezpečné pro životní prostředí. Za významné lze považovat i zavedení sčítání nebezpečných látek pro stanovení celkového množství přítomného v podniku.

Je zde také zdůrazněna úloha kontrolních orgánů, podniky mají oznamovací povinnost a vedení musí zajistit, v souladu s požadavky směrnice, zpracování bezpečnostní studie.

Opakovaně stanovuje opatření, které musí přijmou provozovatelé podniků, aby předešli závažným haváriím a omezili jejich následky, a nyní zahrnuje ustanovení „přístupu k prevenci velkých havárií“. Je kladen zvýšený důraz na opatření pro minimalizaci dopadů závažných havárií na životní prostředí včetně havarijního plánování, identifikaci možných domino-efektů, informování veřejnosti tam, kde je to přiměřené a také informování sousedních států,

dle Úmluvy o účincích průmyslových havárií překračující hranice států, zvané též Helsinská úmluva, jež byla podepsána dne 17.03.1992. („UN ECE's Convention on the Transboundary Effects of Industrial accidents).

Zcela nový a zásadní je požadavek, aby podniky formulovaly zásady prevence a zavedly bezpečnostní management (řízení bezpečnosti). Ověření jeho správnosti a funkčnosti je předmětem kontrol a výsledky se poskytují kompetentním orgánům. Důraz je kladen na systém kontrol, který musí prověřit, že provozovatel nebezpečné činnosti je schopen předvést a dokladovat všechna přijatá bezpečnostní opatření včetně toho, že podnikl všechna opatření pro snížení následků možných havárií. Je tedy dána povinnost realizovat a zdůvodňovat technická, organizační i kontrolní opatření, která snižují riziko při provádění nebezpečné činnosti.

I v oblasti přípravy havarijních plánů došlo ke konkretizaci. Havarijní plány musí být zpracovány s cílem:

- Minimalizace účinků možných havárií a omezení následků pro člověka, životní prostředí a ekonomiku.
- Realizace opatření na ochranu člověka a životního prostředí před následky závažných havárií.
- Předání potřebných informací veřejnosti, stejně tak i příslušným úřadům nebo servisním službám.
- Zahájení asanačních prací a opatření na obnovu životního prostředí po závažné havárie [9,15].

#### **2.1.4. Přeprava nebezpečných látek a předmětů podle dohody ADR a RID**

Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných látek a předmětů po silnicích (ADR) nebo železnici (RID) byla podepsána jako GATT, dne 30. září 1957 v Ženevě (CH) a určila v podstatě základní podmínky bezpečnostní přepravy uvedených nákladů pro tuto oblast činnosti. Bývalá ČSSR přistoupila k této dohodě dne 17. srpna 1986. Po její rozdělení na ČR a SR v roce 1993 se potom obě tyto republiky staly také jejími platnými členy. GATT po roce 2000 skončil a postupně přechází do světové organizace WTO. Přibližně každých 5 let se jeho předpisy novelizují.

Do roku 1990 byla přeprava těchto látek a předmětů v poměrně malém rozsahu, což bylo v závislosti na přidělování deviz prostřednictvím SPK a ministerstev jednotlivých rezortů jako tzv. „devizové koruny“. Po roce 1990 kdy se nejen ČSFR dostala mezi státy tzv. „vnitřní zaměnitelnosti“ naší měny, což umožnilo obchodování v rámci směnitelnosti kurzu měny ve značném rozsahu (v Evropě v kurzu DEM, nyní EUR a ve světě v kurzu USD). Od tohoto času je vidět i mnohem živější mezinárodní dopravu a to také v rámci dohody ADR a RID.

V obou republikách se v rámci Ministerstva dopravy zřídily školící a konzultační střediska pro tuto činnost, obvykle ústavy silničního hospodářství a dopravy nebo podobně, které organizují základní a nyní i rozlišovací kurzy pro řidiče, přepravce, úředníky a jiné osoby zabývající se přepravou těchto věcí jak vnitrostátně tak i mezinárodně. Po absolvování takového kurzu (obvykle týdenního) získávají jeho účastníci osvědčení ADR resp. RID pro tuto činnost. K novelizaci Dohody ADR resp. RID dochází obvykle každých 5 let. Což si potom vyžaduje absolvování doplňujícího resp. rozšiřujícího kurzu. V případě prodlení je nutno zaplatit zvýšený poplatek za novelizační kurz (asi o 20% poplatku).

Nebezpečné látky a předměty se podle Dohody ADR a také RID podle své povahy začleňují do následujících tříd (class). Jednotlivé látky a předměty se zase ve svých třídách rozdělují do jednotlivých skupin a podle nebezpečnosti se k nim přiřadí také příslušná obalová skupina I., II. a III.

**Tabulka 1. Tabulka číselných UN kódů**

<b>třída</b>	<b>nebezpečné látky a předměty</b>	<b>číselný kód</b>
1.	výbušné látky a předměty / vč. munice	2100
2.	stlačené, zkapalněné nebo pod tlakem rozpuštěné plyny	2200
3.	hořlavé kapaliny / vč. pohonných hmot/	2300
4. I.	hořlavé pevné / tuhé / látky	2400
4. II.	samozápalné látky / pyrofority /	2430
4. III.	látky, které ve styku s vodou vyvíjející hořlavé plyny	2470
5. I.	okysličovací látky / oxidovadla /	2500
5. II.	organické peroxidy / vč. hydroperoxidů /	2550
6. I.	jedovaté látky / vč. látek zdraví škodlivých /	2600
6. II.	infekční látky	2650
7.	radioaktivní látky	2700
8.	žiravé / korozivní / látky	2800
9.	různé nebezpečné látky a předměty	2900

Každá jednotlivá látka nebo předmět mají své mezinárodní čtyřmístné číslo, známé jako UN – kód, což umožňuje její rychlé vyhledání resp. i zařazení podle katalogu vč. získání informací o jejím balení, označování a bezpečnostních předpisech, tzv. Safety data sheets. Řidič si je veze podle dohody za svým sedadlem.

V rámci počtu skupin uvedených ve třídách nejsou ještě všechny skupiny obsazené konkrétními látkami nebo předměty a jsou takhle vyhrazeny pro možnost jejich doplnění o další nové nebo taky staré látky a předměty u kterých se zjistilo (při jejich přípravě nebo v průběhu času a expozice), že vykazují nebezpečné vlastnosti jako jsou výbušnost a hořlavost, ale hlavně toxicita, karcinogenita, mutagenita, teratogenita aj.

Soubor nebezpečných látek a předmětů uvedených v ADR resp. RID je mnohem větší a zahrnuje více látek než je uvedeno v seznamu nařízení vlád ČR a SR o jedech a některých jiných látkách škodlivých zdraví. Rovněž i u hořlaviny je zde rozdíl mezi klasifikací u nás a ve státech Evropské unie, např. horní mez pro hořlaviny I. třídy je u nás 21 °C (v EU je to 23 °C) a pro hořlaviny II. třídy je u nás 55 °C (v EU je to 61 °C). Tím se ale mezi hořlaviny II. třídy v EU řadí bionafta (biopal, zelená nafta, merol) s teplotou vzplanutí asi 58 °C, která se u nás doposud klasifikovala obvykle jako hořlavina III. třídy.

Dobrymi pomocniky pri identifikaci, vyhledavani a zařazovani jednotlivých látek a předmětů do jednotlivých tříd jsou i různé příručky a sborníky nebo nověji i jejich inovace na disketách i CD, čímž jsou výhodně použitelné pro počítačovou techniku (PC).

Podmínkám Dohody ADR a RID podléhají i odpady, které jsou čím dál tím víc náplní přepravy obvykle z místa svého vzniku do místa svého zpracování (regenerace, zneškodnění) a to už podle legislativy naší nebo legislativy EU. Všeobecně platí, že v rámci ADR resp. RID se při převozu odpadu obsahujícího více toxických látek klasifikuje nejvíce nebezpečná látka v odpadu a odpad potom lze přepravovat jako by se jednalo pouze o tuto látku / pokud není spojena s účinky jiných látek přítomných v odpadu (samovznícení, vývoj plynů aj.).

System označovani obalů a příslušných vozidel se provádí podle Kemmlerova kódu (příloha Dohody ADR). Poslední úpravy podmínek Dohody ADR z roku 2005 řeší hlavně ustanovení o dopravních prostředcích a přepravě. Předpisy pro dopravu ADR a RID jsou ve většině případů stejně.

Doprava po železnicích se řídí podobnými předpisy jako doprava po cestě. Pro leteckou dopravu platí ještě přísnější předpisy, které vylučují z přepravy látky, jejichž únikem by docházelo k podráždění organismu (iritanty, lachrymátory), nebo zamoření prostoru letadla. Všechna přeprava se musí provádět v souladu s předpisy organizace IATA, v které je i náš letecký dopravce ČSA.

Zavedení a dodržování podmínek pro silniční a železniční dopravu na celém území ČR v rámci tuzemské a zahraniční přepravy bylo jednou z podmínek řešení požadavků z 30-ti hospodářsko – právních kapitol pro vstup do společenství států EU (Kodaňská konvence) [19].

Další zákony vztahující se k přepravě nebezpečných látek v ČR

- č. 10/1999 Sb. – nařízení vlády ČR o jedech a jiných látkách škodlivých zdraví
- č. 25/1999 Sb. – nařízení vlády kterým stanoví postup hodnocení nebezpečných chemických látek a chemických přípravků, způsob jejich klasifikace a označování a vydává seznam dosud klasifikovaných nebezpečných chemických látek
- č. 185/2001 Sb. – Zákon o odpadech a změně některých dalších zákonů
- č. 337/1997 Sb. – Vyhláška MŽP ČR – katalog odpadů
- č. 111/1994 Sb. – Zákon o silniční dopravě
- č. 266/1994 Sb. – Zákon o drahách
- č. 64/1987 Sb. – Zákon o vnitrozemské plavbě
- č. 186/1998 Sb. – Sdělení MZV ČR kterým se doplňuje Dohoda ADR: Ustanovení o nebezpečných látkách a předmětech / příloha A/ a Ustanovení o dopravních prostředcích a přepravě / příloha B/

### **2.1.5. Související právní předpisy**

Na přijaté právní předpisy v oblasti uvedené výše navazují i další zákony týkající se problematiky řešení následků závažných havárií s účastí nebezpečných chemických látek. Jsou to především zákony 239/2000 Sb., zákon 240/2000 Sb. a zákon 356/2003 Sb. (ve znění pozdějších předpisů).

### **2.1.5.1. Zákon o integrovaném záchranném systému**

Zákon vymezuje a stanoví složky integrovaného záchranného systému (dále IZS) a jejich působnost, pokud tak nestanoví zvláštní právní předpis. Dále stanoví působnost a pravomoc státních orgánů a orgánů územních samosprávních celků, práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na mimořádné události a při záchranných a likvidačních pracích a při ochraně obyvatelstva před a po dobu vyhlášení stavu nebezpečí, nouzového stavu, stavu ohrožení státu a válečného stavu (dále „krizové stavy“).

Mimořádnou událostí se podle tohoto zákona rozumí škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.

IZS se použije v přípravě na vznik mimořádné události a při potřebě provádět současně záchranné a likvidační práce dvěma a nebo více složkami IZS [16].

### **2.1.5.2. Zákon o krizovém řízení**

Též označován jako „krizový zákon“ a stanoví působnost a pravomoc státních orgánů a orgánů územních samosprávních celků a práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na krizové situace, které nesouvisejí se zajišťováním obrany České republiky před vnějším napadením, a při jejich řešení.

Pro účely tohoto zákona se krizovým řízením rozumí souhrn řídicích činností věcně příslušných orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s řešením krizové situace [17].

### **2.1.5.3. Zákon 356/2003 o chemických látkách a přípravcích**

Tento zákon upravuje v souladu s právem Evropských společenství práva a povinnosti právnických osob a podnikajících fyzických osob při klasifikaci a zkoušení nebezpečných vlastností, balení a označování, uvádění na trh nebo do oběhu a při vývozu a dovozu chemických látek a chemických přípravků, při oznamování a registraci chemických látek, a vymezuje působnost správních orgánů při zajišťování ochrany zdraví a životního prostředí před škodlivými účinky chemických látek a chemických přípravků.

Zákon vymezuje základní pojmy, jako jsou chemická látka, chemický přípravek. Dále zákon klasifikuje, zda látky nebo přípravky mají jednu nebo více nebezpečných vlastností a jejich zařazení skupin nebezpečnosti [18].

## **3.2. Charakteristika průmyslových havárií s únikem nebezpečných látek**

V průmyslové činnosti existuje možnost vzniku závažné havárie, která může být spojena s únikem nebezpečných látek toxického, hořlavého, nebo výbušného charakteru (některé látky mají dokonce všechny tři projevy), tehdy se jedná o nebezpečné chemické látky a přípravky. Při haváriích však mohou do životního prostředí unikat též látky radioaktivní či biologické. V současné době se vyrábí, zpracovává, dopravuje, skladuje a účelově využívá velké množství nebezpečných chemických látek.

Není to však jen průmysl, který používá mnoho nebezpečných chemických látek a přípravků. Také například v zemědělství je používáno velké množství agrochemikálií (např. pesticidy), které mají rovněž některé nepříznivé vlastnosti a mohou ohrožovat člověka, zvířata a životní prostředí.

Na potenciální nebezpečí havárie s únikem nebezpečných látek je možné usuzovat podle zvuku sirény (kolísavý tón po dobu 140 sekund a označuje nebezpečí „všeobecná výstraha“). Jinou z možností, jak poznat, že se jedná o havárii s nebezpečnou látkou, je označení nádrží, cisteren, zásobníků, či skladů výstražnými tabulkami. Označování výstražnými tabulkami se provádí s cílem maximálního snížení rizika při přepravě, skladování a používání. Existuje několik systémů označování látek, které se liší podle určení, státu a dalších aspektů [1,4].

### **3.2.1. Charakteristika nebezpečných chemických látek**

Nebezpečné chemické látky a přípravky se podle zákona č. 356/2003 Sb., §2, odst.5 rozdělují na 15 jednotlivých tříd mezi které patří např.:

- Výbušné látky
- Oxidující látky
- Látky extrémně hořlavé (plyny a kapaliny)
- Látky vysoce hořlavé
- Látky hořlavé
- Toxické látky
- Látky zdraví škodlivé
- Látky žíravé a dráždivé
- Látky senzibilizující; karcinogenní; mutagenní a teratogenní
- Látky nebezpečné pro životní prostředí
- Další nebezpečné látky (reaguje prudce s vodou; v kontaktu s vodou uvolňuje toxický plyn .

Při hodnocení havárií s únikem nebezpečných látek vyčleňujeme takové události, kdy do prostředí unikají různé produkty zpracování ropy, které bývají označovány jako ekologické havárie. Jejich specifickými charakteristikami je skutečnost, že sice neohrožují bezprostředně životy osob (pokud ovšem nejsou doprovázeny požárem), ale mají obrovské následky na životní prostředí.

#### **3.2.1.1. Toxické látky**

Toxické látky se používají ve velkém měřítku k nejrůznějším účelům. Mnoho z nich se skladuje a přepravuje v zásobnících a cisternách o obsahu desítek až stovek tun. Patří mezi ně především amoniak, chlór, sirouhlík, formaldehyd, kyanovodík, sulfan, fosgen, fluorovodík, chlorovodík, a mnoho dalších. Při obrovských skladovaných množstvích potom havárie skladu, zásobníku či dopravního prostředku znamená pro obyvatelstvo, obsluhu i životní prostředí vážné nebezpečí.

#### **3.2.1.2. Hořlavé látky**

Hoření látek při haváriích patří mezi nejvýznamnější ničivé faktory těchto událostí. Látky hořlavé řadíme podle teploty vzplanutí, tj. teploty, při které páry látky při normálním tlaku krátce vzplanou a dále samy nehoří, do tzv. tříd nebezpečnosti. Rozeznáváme hořlaviny I., II., III. a IV. třídy. Mezi nejběžnější hořlaviny patří různé druhy motorové nafty, automobilový benzín, lehké topné oleje, benzen, toluen, kyanovodík, sirouhlík, fosfor, methylalkohol, ethylalkohol, acetaldehyd, aceton a jiné běžně používané látky.

### 3.2.1.3. Výbušné látky

Řada nebezpečných látek ve směsi se vzduchem v přítomnosti otevřeného plamene vybuchuje. Mohou to být však i jiné iniciační události (horké povrchy, jiskry, zapálená cigareta, apod.). K tomu, aby k výbuchu došlo, je nutné dosažení určité koncentrace plynů nebo par látky v ovzduší. Koncentrační rozpětí, ve kterém páry látky ve směsi se vzduchem vybuchují, se označuje oblast výbušnosti. Spodní hodnota koncentrace této oblasti se nazývá dolní hranice výbušnosti, horní hodnota se nazývá horní hranice výbušnosti [1].

### 3.2.2. Charakteristika havárie

Podle zákona je havárie definovaná jako: mimořádná, částečná nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, například závažný únik, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, a vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážnému dopadu na životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat (§ 2 písm. j) zákona č. 91/1996 Sb., o krmivech, ve znění pozdějších předpisů. Zákon č 166/1996 Sb., o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů (veterinární zákon), ve znění pozdějších předpisů) a životního prostředí nebo k újmě na majetku.

Z hlediska příčin vzniku nebo důsledků, které průmyslové havárie způsobují se rozdělují do následujících podskupin:

- Antropogenní – civilizační katastrofy vznikající činností člověka, zpravidla selháním lidského faktoru.
- Technogenní – technické havárie způsobené např. korozí nebo únavou materiálu.
- Ekologické – havárie v důsledku poškození životního prostředí (masový úhyn živých organismů, kontaminace vod).
- Agrogenní – havárie v souvislosti se zábořem půdy, monokulturního zemědělství či použití chemických prostředků.
- Sociogenní – havárie v oblasti dopravy či komunální činnosti.
- Živelné – záplavy, vichřice, apod.

Unikající látka může ohrozit nejen osoby nacházející se v bezprostředním kontaktu s místem úniku, ale i obyvatelstvo v okolí nehody. K ohrožení může dojít v důsledku některých fyzikálních, fyzikálně chemických, chemických a toxikologických vlastností unikající látky. Největší ohrožení pro člověka představují úniky toxických, hořlavých či výbušných plynů nebo par látek.

Nekontrolované úniky chemických látek se často vyskytují v triádě exploze – oheň – únik látky, což nebezpečí celé události ještě zvyšuje [6,7].

### 3.2.3. Šíření nebezpečných látek v podobě oblaku plynů nebo par při haváriích

Jedním z faktorů, který ovlivňuje zda se látka šíří při zemi, či uniká do ovzduší, je relativní molekulová hmotnost. Plynné látky s relativní molekulovou hmotností nižší než 29 (relativní molekulová hmotnost vzduchu) jsou lehčí než vzduch, a proto budou unikat vzhůru do ovzduší. Naopak plyny těžší než vzduch zůstávají u země.

Plynné látky těžší než vzduch mohou v podzemních prostorech ohrozit obyvatelstvo i v případě, že jejich toxicita je malá nebo žádná (oxid uhličitý, dusík), v důsledku vytěsnění vzduchu a tedy i kyslíku, ke stropu, případě úplně ven.

Rychlost a hloubka šíření oblaku látky po havárii závisí na následujících faktorech:

- Zdroj úniku, jeho umístění.
- Druh uniklé nebezpečné látky a její fyzikálně chemické vlastnosti.
- Množství uniklé nebezpečné látky a způsob jejího úniku.
- Meteorologické podmínky.

K rozhodujícím meteorologickým parametrům ovlivňujícím šíření látek patří především:

- Vertikální stálost atmosféry (izotermie, inverze, konvekce).
- Směr a rychlost přízemního větru.
- Teplota a relativní vlhkost atmosféry.
- Atmosférická difúze.

Dále se uplatňují takové faktory jako jsou:

- Členitost (převýšení) terénu.
- Pokryvnost terénu.

Havárie s únikem nebezpečné látky se projevuje některými charakteristickými znaky. Patří k nim např. viditelné projevy, jako je mlha v místě havárie, vlnění ovzduší nad havarovaným objektem, při požáru potom neobvyklá barva plamene, zápach, spontánní hoření na povrchu nehořlavých materiálů, např. ocelové cisterny aj. Uvedené projevy často doprovázejí i akustické jevy jako sykot unikajícího plynu, výbuchy, prskání materiálů a další [1,4].

### **3.3. Analýza rizika nebezpečných chemických látek a souvisejících rizik**

Analýza rizika je významným nástrojem krizového řízení, který se zaměřuje na identifikaci a kvantifikaci zdrojů ohrožujících životy a zdraví osob a hospodářských zvířat, jednotlivé složky životního prostředí a hmotný majetek, a který má v konečném důsledku zabránit, případně minimalizovat vznik závažných havárií. Zdrojem rizika je označována každá skutečnost (podmínka nebo situace), která má reálný potenciál způsobit havárii. Za typický zdroj rizika je považován objekt nebo zařízení obsahující nebezpečnou látku, která je přítomna v dostatečném množství. Jedná se o látky toxické, hořlavé a nebo výbušné. Současná česká legislativa neuvádí jmenovitě jaké metody analýzy rizika je nutno použít. Jejich výběr značně závisí na charakteru podniku, provozních technologiích, druhu a množství používaných nebezpečných chemických látek.

Ke zjištění a popisu rizika je možné použít řadu metod. Každá metoda má své jisté výhody i nevýhody. V technické praxi se proto často používá kombinace několika metod. Vypovídající schopnost je tak podstatně umocněna. Analýzy rizika se ve velkých průmyslových podnicích a nebo regionech, kde je možno identifikovat mnoho zdrojů rizika, obvykle zahajují vhodnými relativními metodami, které slouží především pro prioritizaci zdrojů rizika a po té se pro závažné zdroje rizika použijí další metody analýzy rizika.

Souhrnný proces analýzy rizika zahrnuje:

- Popis rozsahu a cílů analýzy.



- Identifikaci potenciálních nebezpečí (zdrojů rizik).
- Kvantitativní vyhodnocení pravděpodobnosti nebo četnosti havárií.
- Kvantitativní vyhodnocení následků havárií.
- Souhrn informací získaných zobrazením rizik.
- Revizi nebo zdokonalení konstrukce zařízení a pracovního postupu.
- Zajištění, aby přijatá opatření byla realizována.

Velkou výhodou metod analýzy rizika je to, že se zpravidla zabývají podstatně nižšími množstvími nebezpečných chemických látek a chemických přípravků, než tak činí zákon o prevenci závažných havárií. Na rozdíl od zákona o prevenci závažných havárií metody analýzy rizika zpravidla kalkulují také přepravu nebezpečných chemických látek a přípravků [1,2].

### 3.3.1. Metody analýzy rizika

Podstatou každé analýzy rizika je pomocí vědeckých metod předpovídat chování systému jako celku za různých situací a definovat možné způsoby jeho spontánního chování nebo řízeného reagování. Tyto reakce se odvíjejí od vnitřních a vnějších podnětů, působících na část, celek a okolí zkoumaného systému.

Metody analýzy rizika vycházejí z hledání odpovědí na základní obecné formulované otázky, jako například:

- Co se může porouchat?
- Jaké jsou možné příčiny poruchy?
- Jaké jsou možné následky poruchy?
- Jaká je pravděpodobnost vzniku poruchy?

Odpovědi na tyto otázky dávají metody analýzy rizika společně s prognostickými metodami pro modelování havarijních či krizových projevů. V praxi se používají metody kvalitativního, kvantitativního a relativního hodnocení rizika na jejichž základě se přijímají preventivní opatření.

Každá metoda má své specifické vlastnosti, které předurčují její použití. Volbu metody ovlivňuje (kromě jiného) především cíl analýzy. V případě komplexní analýzy rizika, která vede k objasnění jak příčin havárií, tak i k ocenění následků a frekvencí havárií je třeba metody vhodně kombinovat. Žádná metoda totiž neposkytuje všechny potřebné údaje nutné pro komplexní ocenění rizika (výjimkou je metoda CPQRA, která v sobě zahrnuje kombinaci několika metod) [1,3].

### 3.3.2. Nečastěji používané relativní metody

a) IAEA – TECDOC-727 – Metoda je zaměřena na kvantitativní hodnocení zdrojů rizika z hlediska ohrožení života osob a příslušné relativní pravděpodobnosti. Je vhodná pro provozovatele s rozsáhlým výrobním zařízením a pro analýzy zdrojů rizika na území správního celku. Výsledky umožňují prioritizaci zdrojů rizika.

b) Relativní klasifikace – Dow's Fire & Explosion Index a Chemical Exposure Index – Metody indexové klasifikace ohrožení, zdroje rizika jsou indexově hodnoceny na základě

nebezpečnosti, množství látek a technologických podmínek za použití řady korekčních faktorů. Výsledky umožňují relativní kategorizaci zdrojů rizika.

c) Kontrolní seznam – Check List – Systematická kontrola splnění předem stanovených podmínek a opatření. Velmi jednoduchá metoda pro rychlou provozní kontrolu. Seznamy kontrolních otázek (check lists) jsou zpravidla generovány na základě seznamu charakteristik sledovaného systému nebo činností, které souvisejí se systémem a potenciálními dopady, selháním prvků systému a vznikem škod. Jejich struktura se může měnit od jednoduchého seznamu až po složitý formulář, který umožňuje zahrnout různou relativní důležitost parametru (váhu) v rámci daného souboru.

d) Bezpečnostní prohlídka – Safety Audit / Review – Zahrnuje tzv. bezpečnostní prohlídky vybraných technologií, které jsou prováděny inspekčními týmy. Tato prohlídka se zaměřuje na možné rizikové situace, včetně návrhu opatření na zvýšení bezpečnosti. Metoda představuje postup hledání potenciálně možné nehody nebo provozního problému, který se může objevit v posuzovaném systému. Formálně je používán připravený seznam otázek a matice pro skórování rizik.

e) Metoda „Co se stane, když...?“ – „What – If?“ Analysis – Metoda je hlavně zaměřena na hledání možných následků vybraných poruch zařízení. V podstatě je to spontánní diskuse a hledání nápadů, ve které skupina zkušených pracovníků dobře obeznámených s procesem klade otázky nebo vyslovuje úvahy o možných nehodách. Není to vnitřně strukturovaná technika jako některé jiné (např. HAZOP a FMEA). Namísto toho po analytikovi požaduje, aby přizpůsobil základní koncept šetření určitému účelu.

f) Předběžná analýza zdrojů rizika – Preliminary Hazard Analysis (PHA) – Hledání nebezpečných stavů, jejich příčin a následků, které jsou kategorizovány na základě předem stanovených kritérií. Zpravidla se využívá jako prostředek pro výběr jiné podrobnější metody. Koncept PHA ve své podstatě představuje soubor různých technik, vhodných pro posouzení rizika. V souhrnu se nejčastěji pod touto zkratkou jedná o jednu nebo o kombinaci následujících technik posuzování: what-if, what-if/checklist, hazard and operability (HAZOP) analysis, failure mode and effects analysis (FMEA) nebo fault tree analysis (FTA).

g) Identifikace zdrojů rizika a provozuschopnosti – Hazard and Operability study (HAZOP) – Pomocí systému klíčových slov jsou metodicky identifikovány možné odchylky jednotlivých prvků od správné funkce, dále pak příčiny a následky odchylek. Zároveň jsou navrhována nebo ověřována opatření, která zabrání nežádoucímu rozvoji události nebo zmírní nežádoucí důsledky. HAZOP je postup založený na pravděpodobnostním hodnocení ohrožení a z nich plynoucích rizik. Jde o týmovou expertní multioborovou metodu. Hlavním cílem analýzy je identifikace scénářů potenciálního rizika. Experti pracují na společném zasedání formou brainstormingu. Soustřeďují se na posouzení rizika a provozní schopnosti systému (operability problems). Pracovním nástrojem jsou tabulkové pracovní výkazy a dohodnuté vodící výrazy (guidewords). Identifikované neplánované nebo nepřijatelné dopady jsou formulovány v závěrečném doporučení, které směřuje ke zlepšení procesu.

h) Analýza kvantitativních rizik chemických procesů – Chemical Process Quantitative Risk Analysis (CPQRA) – Proces kvantitativního hodnocení rizika, největšího rozvoje dosáhl v jaderném průmyslu. Příslušná metodologie aplikovaná na podmínky chemického průmyslu představuje komplexní studii bezpečnosti. Řešení analýzy rizika probíhá po jednotlivých etapách, zahrnuje řadu identifikačních a hodnotících metodik.

i) Analýza lidské spolehlivosti – Human Reliability Analysis (HRA) – Jejím úkolem je zahrnout vliv lidského faktoru z hlediska operátorské a rozhodovací činnosti v rámci rozsáhlých automatizovaných technologických systémů. Vychází se z předpokladu, že

rozhodování operátorů probíhá v krizových situacích a za stresových podmínek. Koncept analýzy lidské spolehlivosti HRA směřuje k systematickému posouzení lidského faktoru (Human Factors) a lidské chyby (Human Error). Ve své podstatě přísluší do zastřešující kategorie konceptu předběžného posuzování PHA. Zahrnuje přístupy mikroergonomické (vztah “člověk-stroj”) a makroergonomické (vztah systému “člověk-technologie”). Analýza HRA má těsnou vazbu na aktuálně platné pracovní předpisy především z hlediska bezpečnosti práce. Uplatnění metody HRA musí vždy tvořit integrovaný problém bezpečnosti provozu a lidského faktoru v mezních situacích různých havarijních scénářů, tzn. paralelně a nezávisle s další metodou rizikové analýzy.

j) Analýza stromu událostí – Event Tree Analysis (ETA) – Metoda sleduje průběh procesu od iniciační události přes konstruování událostí vždy na základě dvou možností – příznivé a nepříznivé. Metoda ETA je graficko statistická metoda. Názorné zobrazení systémového stromu událostí představuje rozvětvený graf s dohodnutou symbolikou a popisem. Znázorňuje všechny události, které se v posuzovaném systému mohou vyskytnout. Podle toho jak počet událostí narůstá, výsledný graf se postupně rozvětňuje jako větve stromu.

k) Analýza poruch a jejich účinků – Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) – Analýza selhání a jejich dopadů je postup založený na rozboru způsobů selhání a jejich důsledků, který umožňuje hledání dopadů a příčin na základě systematicky a strukturovaně vymezených selhání zařízení. Metoda FMEA slouží ke kontrole jednotlivých prvků projektového návrhu systému a jeho provozu. Představuje metodu tvrdého, určitého typu, kde se předpokládá kvantitativní přístup řešení. Využívá se především pro vážná rizika a zdůvodněné případy. Vyžaduje aplikaci počítačové techniky, speciální výpočetní program, náročnou a cíleně zaměřenou databázi.

l) Analýza stromu poruch – Fault Tree Analysis (FTA) – Analýza stromu poruch je postup založený na systematickém zpětném rozboru událostí za využití řetězce příčin, které mohou vést k vybrané vrcholové události. Metoda FTA je graficko analytická popř. graficko statistická metoda. Názorné zobrazení stromu poruch představuje rozvětvený graf s dohodnutou symbolikou a popisem. Hlavním cílem analýzy metodou stromu poruch je posoudit pravděpodobnost vrcholové události s využitím analytických nebo statistických metod. Proces dedukce určuje různé kombinace hardwarových a softwarových poruch a lidských chyb, které mohou způsobit výskyt specifikované nežádoucí události na vrcholu.

m) Konsekventní analýza – Jsou stanoveny odhady dosahů nejzávažnějších potenciálních havárií na příslušných zařízeních. Přitom se berou v úvahu podmínky vzniku havárie, vlastnosti nebezpečných látek, technologické podmínky, bezpečnostní prvky, meteorologické podmínky, členitost a zástavba terénu. Výsledkem jsou stanovené dosahy havarijních projevů.

n) Metoda mlhavé logiky verbálních výroků - Fuzzy Set and Verbal Verdict Method (FL-VV) – Metoda mlhavé logiky a verbálních výroků je metoda založená na jazykové proměnné. Jde o multikriteriální metodu rozhodovací analýzy z kategorie měkkého, mlhavého typu. Opírá se o teorii mlhavých množin a může být aplikována v různých obměnách, jednak samostatně s přímým výstupem priorit, anebo jako stupnice v pomocných bodech [PB], namísto standardní verbálně-numerické stupnice v relativních jednotkách [RJ], tj. ve spojení s metodou TUKP – Totálního ukazatele kvality prostředí (možnost uplatnění axiomatické teorie kardinálního užítku). Umožňuje aplikaci jednotlivcem i v kolektivu [1,2,20].

### **3.3.3. Analýza následků průmyslových havárií**

Posledním krokem vyhodnocení nebezpečí (zdrojů rizika), je analýza zařízení, které by potenciální závažná havárie mohla způsobit na provozním zařízení, zaměstnancům,

obyvatelstvu nebo životnímu prostředí. Výsledky provedené analýzy jsou použity k určení, která preventivní opatření, např. pojistná zařízení, musí být instalována, a jaké úpravy technologického procesu musí být provedeny, aby riziko bylo přijatelné.

Analýza následků havárie by měla obsahovat:

- Popis havárie (např. trhлина v nádrži, prasklé potrubí, poškození pojistného ventilu, následný požár nebo výbuch).
- Odhad množství uniklých nebezpečných látek (toxických, hořlavých, výbušných).
- Odhad rozptylu uniklých látek (plynů, par kapaliny).
- Odhad následků (např. toxického působení, požáru výbuchu).

Zatímco požadavky prvních dvou bodů mohou být splněny použitím výsledků hodnocení nebezpečí, ke stanovení požadavků třetího a čtvrtého bodu lze použít modelování [2].

### **3.4. Modelování následků havárií**

Současné programové nástroje umožňují vytvoření velmi kvalitní prognózy havarijních dopadů po vzniklé mimořádné události. Zvláště pak ve spojení s různými geografickými informačními systémy představují silný a účinný nástroj pro kvalifikované modelování. Zpravidla se také vyznačují relativně vysokou věrohodností získaných prognózovaných výsledků. Programové nástroje pak zpravidla řeší prognózu havarijní události o které je známo málo nebo nedostatek vstupních informací. Koncepčně se zpravidla používá filozofie konzervativního přístupu, nebo-li se počítá s nejhorsím vývojem havarijní události za daných podmínek. Programové nástroje mají v sobě implementovány také databáze nebezpečných látek s potřebnými fyzikálně-chemickými, toxikologickými a ekotoxilogickými údaji [1].

Průmyslové havárie, představují jeden z významných faktorů možného ohrožení zdraví a životů lidí. Vzhledem k reálné nemožnosti zabránění vzniku průmyslových havárií je nutno provádět taková opatření, která by možné následky snižovala na minimum.

Lze je realizovat dvěma základními způsoby:

- Opatření systémová jsou charakterizována přístupem ke snižování možnosti vzniku průmyslových havárií a snahou o minimalizaci událostí vedoucích k havarijním dějům.
- Opatření operativní jsou charakterizována tím, že se použijí až okamžiku již probíhající nebo bezprostředně hrozící havárie

Pro realizaci obou typů opatření má prioritní význam znalost projevů a následků potenciálních havárií [1].

#### **3.4.1. Rozdělení způsobů modelování**

V závislosti na očekávaných cílech a dostupnosti informací nezbytných pro modelování lze modelování havárií rozdělit následovně:

- Havarijní modelování – lze použít především v okamžiku vzniku havárie, kdy je nutno co nejdříve provést odhad projevů a následků havárie. Modelování je výrazně ovlivněno množstvím a kvalitou informací, které jsou k dispozici. Velmi záleží na kvalitě obsluhy příslušné technologie, zda je schopna dodat spolehlivé informace o stavu a parametrech daného zařízení, informace o dosavadním průběhu havárie i o okolních podmínkách ovlivňujících projevy a následky havárie.

Havarijní modelování vyžaduje použití co nejjednodušších modelovacích nástrojů, zadávání vstupních parametrů musí být jednoduché, přehledné, jednoznačné a zároveň i výstup získaných informací musí být přehledný. Vhodnou formou je grafické znázornění vypočtených parametrů do mapových podkladů, tento typ výstupu je pro realizaci havarijních opatření nejnázornější a umožňuje rychlou orientaci při havárii.

- Prognostické modelování – se využívá především při analýzách možných následků potenciálních havárií. Výsledky se používají jako vstup pro havarijní modelování, kdy je určitý druh projevů vyhodnocen dopředu a při havárii je využit k orientačnímu a především rychlému stanovení maximálních projevů a následků havárie. Dále jsou výsledky využitelné pro orgány státní správy při hodnocení rizik (následků) v okolí průmyslových podniků.

Prognostické modelování používá jak větší počet vstupních informací, tak i jejich přesnější specifikaci. Modelovací nástroj obsahuje podrobné zadání jednotlivých vstupních parametrů pro výpočet. Vhodnou formou je komplexní počítačový program, který by řešil jednotlivé havarijní projevy oddělně s využitím společné databázové základny.

- Znalecké modelování - je typ modelování vyznačující se největší mírou přesností výsledků. Tento typ modelování je velmi specifický, protože se ve většině případů jedná o posouzení již proběhlých havarijních událostí nebo o posuzování velmi přesně definovaných případů potenciálních havárií.

Pro vyhodnocení je k dispozici řada parametrů technologického charakteru, tak i následky proběhlé havárie. Při znaleckém modelování jsou k dispozici nejenom přesně známé parametry a stavy technologického zařízení vedoucí k havárii, ale i možná verifikace modelovaných vyhodnocení a následky havárie. Znalecké modelování využívá podobných nástrojů jako modelování prognostické. Navíc však může, a v některých případech musí, používat i verifikaci výsledků z důvodu zvýšené přesnosti a ověření výsledků [8].

#### **3.4.2. Odhad následků působení havárií s nebezpečnými látkami**

Při analýzách možných následků potenciálních havárií se využívá především prognostické modelování. Výsledky se používají jako vstup pro havarijní modelování. Určitý druh projevů je vyhodnocen dopředu a při havárii je využit k orientačnímu a především rychlému stanovení maximálních projevů a následků havárie.

K odhadu následků lze použít výpočtové metody nebo počítačové programy.

Při odhadu následků havárií na základě výpočtů lze postupovat dvěma způsoby. Pro orientační zjištění lze použít výpočtové vztahy (např. vztahy pro výpočet poloměru rozsahu dle předpisu MNO-CO-51-5), které různé havarijní projevy simulují. Výsledky jsou zatíženy nepřesností a bývají nadhodnoceny.

Druhým způsobem je využití softwarových produktů, které umožňují zohlednit pracovní podmínky, vlastnosti unikajících látek i vlivy okolí na rozsah poškození nebo zamoření. Tím dochází nejen k urychlení, ale především ke zpřesnění získaných údajů [9,10].

#### **3.4.3. Odhad toxického působení**

Při předběžném vyhodnocení je hlavním úkolem určení rozsahu jednotlivých zraňujících či smrtelných zón a předpokládaného směru šíření oblaku. Při tomto odhadu se zpravidla uvažují nejhorší podmínky, tzn. Únik veškerého přítomného množství, volný terén, nejhorší meteorologická situace. Na šíření látek v atmosféře mají rozhodující vliv meteorologické parametry, a to především:

- Vertikální teplotní gradient
- Rychlost a směr větru
- Atmosférická difuze

Výpočet poloměru rozsahu dle předpisu FMT (nebo MNO-CO-51-5)

$$R = 54,2 \cdot N \cdot \sqrt[3]{\frac{m^2}{d^2 \cdot v^2 \cdot k^2}} \quad (1),$$

kde  $m$  je celkové množství toxické látky [kg],  $v$  je rychlost větru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  $d$  je zraňující či smrtelný expoziční součin [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{min}$ ],  $k$  je koeficient vertikální stálosti atmosféry (inverze = 2, izotermie = 3, konvekce = 4) a  $N$  je teplotně závislý korekční faktor, který bere v úvahu mžikový odpar.

$$N = \sqrt[3]{\left(\frac{t - t_v}{t - t_v + L_v / c_p}\right)^2} \quad (2),$$

kde  $t$  je teplota v místě výronu [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $t_v$  je teplota varu [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $L_v$  je měrné výparné teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] a  $c_p$  je měrné teplo v plynné fázi [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ].

Uvažujeme-li nejhorší meteorologickou situaci, tj rychlost větru  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a atmosférickou inverzi ( $k = 2$ ), lze rovnici (1) zjednodušit:

$$R = 34 \cdot N \cdot \sqrt[3]{\frac{m^2}{d^2}} \quad (3)$$

Výpočet poloměru rozsahu podle předpisu MNO-CO-51-5 je obdobou výše uvedeného vztahu (1) pouze s tím rozdílem, že hodnota koeficientu je 5,4, protože  $m$  se dosazuje v tunách a výsledný poloměr je udán v kilometrech. Podstatný rozdíl je ale ve vrcholovém úhlu šíření ( v prvním případě  $30^{\circ}$  ve druhém pak  $40^{\circ}$ ) [9].

#### 3.4.4. Odhad účinků výbuchu

Pro odhad účinků úniku zkapalněných plynů lze použít několika metod. Rozhodující hodnoty jsou dosah oblaku plynu s výbušnou koncentrací od zdroje úniku a dosah tlakové vlny se zvolenou hodnotou přetlaku. Rozlišují se tři druhy matematického popisu koncentračního profilu a výbuchového účinku.

a) Turbulentní výtok z tlakového zařízení definovaným otvorem

- vzdálenost spodní hranice výbušnosti od místa výronu

$$x_{D_{HV}} = 1,1674 \cdot M^{0,5} \cdot \frac{1}{c_{D_{HV}}} \cdot d \quad (4),$$

kde  $x_{D_{HV}}$  je vzdálenost od místa úniku, kde koncentrace dosáhne dolní hranice výbušnosti [m],  $M$  je molekulová hmotnost [1],  $c_{D_{HV}}$  je dolní hranice výbušnosti [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] a  $d$  je průměr otvoru ze kterého látka uniká [m].

- vzdálenost přetlaku 0,01 MPa od místa výronu

$$x_{0,01} = 1,1674 \cdot M^{0,5} \cdot \frac{2 \cdot (c_{D_{HV}}^{-3} - c_{HHV}^{-3})}{3 \cdot (c_{D_{HV}}^{-2} - c_{HHV}^{-2})} \cdot d + 0,2 \cdot c_v \cdot M^{1,5} \cdot (c_{D_{HV}}^{-2} - c_{HHV}^{-2})^{1/3} \cdot d \quad (5),$$

kde  $x_{0,01}$  je vzdálenost od místa úniku, kde přetlak dosáhne hodnotu 0,01 MPa [m],  $c_{HHV}$  je horní hranice výbušnosti [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] a  $c_V$  je reakční teplo při konstantním objemu [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].

b) Difuzní výtok definovaný otvorem

- vzdálenost spodní hranice výbušnosti od místa výronu

$$x_{DHF} = k_{s1} \cdot \left(\frac{m_0}{v}\right)^{k_{s2}} \quad (6),$$

kde  $m_0$  je množství látky v zařízení [kg],  $v$  je rychlost větru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], a  $k_{s1}, k_{s2}$  jsou konstanty rovnice [1].

- vzdálenost přetlaku 0,01 MPa od místa výronu

$$x_{0,01} = k_{p1} \cdot \left(\frac{m_0}{v}\right)^{k_{p2}} + k_{p3} \left(\frac{m_0}{v}\right)^{k_{p4}} \quad (7),$$

Kde  $k_{p1}, k_{p2}, k_{p3}$  a  $k_{p4}$  jsou konstanty rovnice (1).

c) Náhlé uvolnění velkého množství plynu ze zařízení

- vzdálenost přetlaku 0,01 MPa od místa výronu

$$x_{0,01} = 19 \cdot m^{1/3} \quad (8)$$

Kde  $m$  je množství látky v zařízení [kg] [9].

### 3.5. SW nástroje pro hodnocení havarijních dopadů závažných havárií

Vývoj a uplatnění SW nástrojů umožňuje více či méně rychle a přesně hodnotit a modelovat průběh havárií spojených zejména s úniky toxických, výbušných a hořlavých látek nastal v 70. letech minulého století a byl vyprovokován zejména velkými průmyslovými haváriemi s velkými úniky nebezpečných látek v italském Sevesu, indickém Bhópálu a americkém Flixboroughu.

V současné době jsou po celém světě nabízeny a využívány systémy a programy více či méně složité a různého určení, které na základě vkládaných údajů o druhu události, druhu havarovaných zařízení, druhu látky, tlaku v zařízení, zadané toxické koncentraci či dávky a povětrnostních podmínkách uměly spočítat vzdálenosti šíření unikající látky, předpokládané koncentrace v určité vzdálenosti a další hodnoty užitečné pro posuzování vlivu na okolí a to i pro jednotlivé části havarovaného zařízení. Výsledky lze zpravidla zobrazovat jak v textové podobě tak i v grafické formě. Liší se zejména cenou, která je přímo úměrná zejména složitosti a přesnosti výpočtu. Systémy se využívají zejména při posuzování vlivů nebezpečných látek a činností na životním prostředí, procesech výstavby nových zařízení, hodnocení bezpečnosti zařízení a v havarijním plánování [21].

#### 3.5.1. ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmosphere (US)

Aloha je relativně jednodušší počítačový program pro výpočty úniků průmyslových chemických látek a modelování šíření oblaků uniklé látky do okolí a to jak plynů tak kapalin. Přesto však vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. Nevýhodou je, že je k dispozici pouze v anglickém jazyce, včetně uživatelského manuálu, a deuhou velkou nevýhodou je vyhodnocení pouze toxických následků úniku nebezpečných látek. Další nevýhodou starších verzí programu je zadávání i zobrazování výsledků pouze v anglosaských měrových

jednotkách, nutno dodat, že novější verze již tento problém nemají. Výhodou tohoto SW nástroje je jeho dostupnost – je volně stažitelný z internetu.

Program pracuje s následujícími vstupními informacemi:

Informace o uniklé látce – program obsahuje databázi 652 chemických látek používaných v průmyslu, včetně fyzikálně chemických vlastností.

Informace o stavu atmosféry – třídy atmosférické stability, rychlost a směr větru, teplota vzduchu, drsnost zemského povrchu, oblačnost a vlhkost vzduchu.

Informace o zdroji úniku – lze zadat čtyři druhy zdrojů a jejich parametry

Informace o zdroji úniku

a) přímý zdroj – tento typ zdroje je vhodné použít, je-li známo množství uniklé látky, která vstupuje přímo do atmosféry. Při tomto výpočtu není počítáno s vypařováním kapaliny, proto jej lze použít pouze pro látky v plynném skupenství. Při výpočtu jsou zadávány následující parametry: typ úniku (okamžitý nebo kontinuální), množství uniklé látky nebo rychlost úniku a výška zdroje nad zemí.

b) louže – tato volba je vhodná pro modelování vypařování rozlité kapaliny z louže, která již neuniká. Při výpočtu jsou zadávány následující parametry: plocha rozlité kapaliny, objem, hmotnost nebo hloubka louže, typ podkladu, teplota podkladu, teplota uniklé látky.

c) zásobník – toto lze využít pro modelování úniku látky z poškozeného zásobníku a následného vypařování do ovzduší. Při výpočtu jsou zadávány následující parametry – typ zásobníku, jeho orientace (kulový, válcový – vertikální nebo horizontální), průměr, výška nebo objem zásobníku, stav látky v zásobníku, teplota uskladněné látky, hmotnost nebo objem látky, typ a rozměry únikového otvoru (obdélníkový nebo kruhový), typ úniku (proražená díra v plášti nebo krátké potrubí), výška otvoru nade dnem, typ podkladu a jeho teplota, přítomnost záchytné jímky, případně její rozměry. Modul automaticky vyhodnocuje tlak v zásobníku.

d) potrubí – tento modul je vhodný pro modelování rozptylu plynu unikajícího z potrubí. Modul nelze použít pro kapaliny. Při výpočtu jsou zadávány následující parametry: průměr a délka potrubí, zda je poškozené potrubí napojeno na zásobník, drsnost, teplota a tlak v potrubí.

Program generuje data:

Maximální rychlost úniku ( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ), u kapalin se jedná o rychlost vypařování, nikoliv o rychlost úniku.

Maximální minutový průměr rychlosti úniku (průměrná rychlost úniku po dobu minimálně 1 min), u kapalin se jedná opět o rychlost vypařování. U zařízení pracujících pod tlakem může dojít vlivem prudkého počátečního úniku k nadhodnocení.

Celkové uniklé množství za dobu maximálně 1 hodina.

Maximální dosah nebezpečné zóny, ve které koncentrace dosáhne zadanou hodnotu.

Maximální koncentrace uniklé látky v libovolně zadaném místě. Koncentrace jsou uvedeny pro venkovní terén i prostory budov. V grafu je uvedena časová závislost pro oba prostory po dobu max. 1 hodiny.

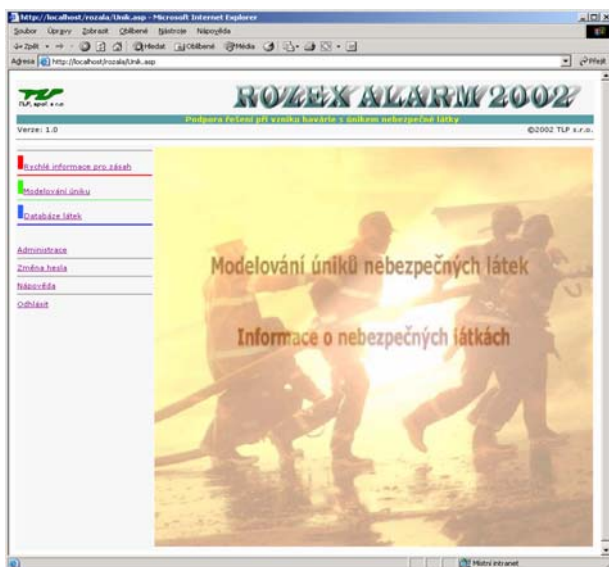
Maximální dávka ve zvoleném místě, kterou by po úniku přijal organismus během 1 hodiny. Časová závislost je rovněž zpracována graficky.



Program pracuje se dvěma matematickými modely rozptylu látek v ovzduší. Při modelování neutrálního plynu (plyn s přibližně stejnou hustotou jako vzduch) nebo plynu lehčího než vzduch se používá Gaussův disperzní model. Tento model je použit, pokud chybí některé potřebné informace o vlastnostech látky nebo uniklo-li malé množství plynu. Pro látky těžší než vzduch je použit tzv. model rozptylu těžkého plynu. Tento model je používán také pokud je látka skladována v podchlazeném stavu nebo pokud dochází k dvoufázovému úniku [8,9,22].

### 3.5.2 Rozex Alarm

Rozex je počítačový program určený pro havarijní vyhodnocování běžných typů havarijních událostí. Jedná se o toxické a exotermní projevy závažných havárií. Výhodou programu je možnost vytvoření databáze očekávaných havárií a rychlé zobrazení jejich výsledků. Je vhodný zejména pro využití při zpracování havarijních plánů, analýzy rizik a podobných zadání, prováděných kvalifikovanými pracovníky. Program pracuje v českém jazyce a je cenově i uživatelsky dostupný českému uživateli. Program též umožňuje propojení programu s geografickými informačními systémy (GIS) např. pomocí Arc-View, Map Info.



Obr. 1. Okno Hlavní menu programu Rozex Alarm verze 2.0

Program je zaměřen na prognózu havárií v průmyslu, při nichž dojde k úniku nebezpečných látek. Program rozlišuje jednorázové a déletrvající úniky ze zařízení. Na základě charakteru úniku a fyzikálně chemických vlastností látky program rozlišuje způsob tvorby oblaku a jeho šíření krajinou s následkem intoxikace, výbuchu nebo požáru.

Úniky toxických látek programu hodnotí z hlediska dosahu a tvaru toxického oblaku při zvolené mezní koncentraci toxické látky. Úniky hořlavých výbuchu schopných látek program hodnotí z hlediska dosahu vzdušné rázové vlny o stanoveném přetlaku, umístění pravděpodobného epicentra výbuchu od místa úniku a dosahu mezní koncentrace, odpovídající dolní hranici výbušnosti. U hořlavých látek program vyhodnocuje účinky tepelné radiace na osoby a na stavební konstrukční prvky.

Program obsahuje základní ovládací model, pomocí něhož jsou voleny jednotlivé havarijní projevy. Výběrem hodnocené nebezpečné látky dojde k prosvícení přístupných modelů, které

vyhodnotí následky havárie a mohou z hlediska fyzikálně chemických, termodynamických, toxikologických a dalších vlastností látky reálně nastat. Podle povahy havárie uživatel zvolí model, kterým bude problém řešit. Již při výběru látek program rozlišuje skupenství hodnocené látky.

Dále program obsahuje databázi nebezpečných látek a databázi modelovaných projevů mimořádných událostí, umožňující uložení výpočtů pro pozdější použití. Výpočetní modely, jejichž prostřednictvím jsou zadávány údaje nutné pro výpočet, jsou rozděleny na pět polí:

Obecné parametry nebezpečné látky – zde je uveden název a skupenství hodnocené látky. Obsah pole je určen předchozí volbou.

Technické parametry úniku – v tomto poli je nutno zadat všechny požadované parametry úniku. Zadávaná hodnota musí být v intervalu požadovaném programem.

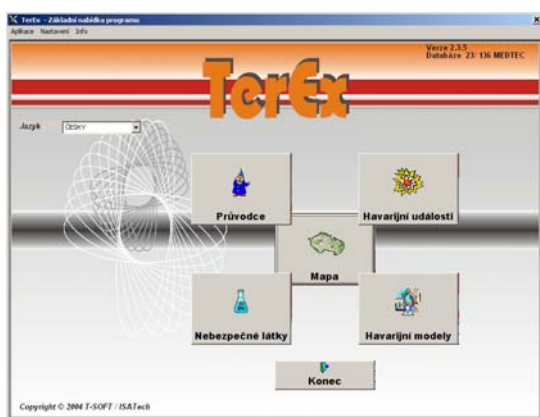
Typ atmosférické stálosti – v tomto poli je nutno zadat typ atmosférické stálosti. Toho lze docílit dvěma způsoby. Přímou, pokud uživatel zná typ atmosférické stálosti, zvolí jednu z variant A-F, nebo lze pro určení využít pomůcky. Použitím tlačítka „Volba typu atmosférické stálosti“ se otevře okno s maticí pro volbu typu atmosférické stálosti, takto určená hodnota je automaticky dosazena do výpočtu.

Korekce na nerovnost povrchu – tady je nutno zadat typ krajiny, který je pro místo havárie aktuální. K dispozici je 5 typů krajiny: otevřená plocha, otevřená plocha se stromy, otevřená plocha zalesněná, obytná plocha s nízkými budovami a městská a průmyslová plocha.

Volba toxické koncentrace – zde je třeba zadat typ koncentrace, pro který se havárie vyhodnotí. K dispozici jsou již uvedené varianty [8,9].

### 3.5.3 Teroristický expert - TerEx

TerEx je nástroj pro rychlou prognózu dopadů a následků působení nebezpečných látek nebo výbušných systémů, zejména při jejich teroristickém zneužití. Model je vytvořen jako počítačový program s návazností na geografický informační systém pro přímé zobrazení výsledků v mapách.



Obr. 2. Okno Hlavní menu programu TerEx verze 2.3.5

TerEx je určen zejména pro operativní použití jednotkami IZS při zásahu, pro rychlé určení rozsahu ohrožení a realizaci následných opatření ochrany obyvatel. TerEx je využitelný velitelem zásahu přímo na místě nebo operačním důstojníkem v řídicím středisku. Stejně tak je vhodný pro analýzy rizik při plánování. Program poskytuje výsledky i při nedostatku přesných vstupních informací.

Předpověď dopadů a následků je založena na konzervativní prognóze. V praxi to znamená, že výsledky odpovídají takovým podmínkám, při kterých dojde k maximálním možným dopadům a následkům na okolí – tzv. nejhorší varianta.

TerEx nabízí od verze 2.6 uživateli možnost vyhodnocení šesti základních havarijních situací:

- Modely typu TOXI – vyhodnocují dosah a tvar oblaku, které jsou dány zvolenou koncentrací toxické látky,

- Modely typu UVCE – vyhodnocují dosah působení vzdušné rázové vlny, vyvolané detonací směsi látky se vzduchem pro modely s jednotlivými druhy havárií:

model PLUME :

déletrvající únik plynu do oblaku,

déletrvající únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku,

pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku,

model PUFF :

jednorázový únik plynu do oblaku,

jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku.

- Modely typu FLASH FIRE – vyhodnocují velikost prostoru ohrožení osob plamennou zónou – efekt Flash Fire:

BLEVE – ohrožení nádrže plošným požárem,

JET FIRE – déletrvající masivní únik plynu se zahořením,

POOL FIRE – hoření louže kapaliny nebo vroucí kapaliny.

- Model typu TEROR – vyhodnocuje možné dopady detonace výbušných systémů, založených na kondenzované fázi, použité s cílem ohrožení okolí detonace,

Model typu POISON – vyhodnocuje dosah a tvar oblaku otravné látky, který se vytvoří po rozptýlení látky na určité ploše.

Model DIOXIN – vyhodnocuje dosah a tvar oblaku otravné látky, který se vytvoří po úniku určitého množství dioxinu.

Model podle ATP-45B – vyhodnocuje ohroženou a napadenou oblast po použití otravných látek podle předpisu NATO ATP-45B

### **3.5.4. NBC Analysis a NBC Warning!**

NBC-ANALYSIS je komerční operační systém používaný při obraně proti zbraním hromadného ničení pro předvídání nebezpečí, varování a hlášení o následcích nukleárních, biologických a chemických incidentů. Slouží vojenským obranným silám, institucím zodpovědným za nouzové plány a dále je vhodný pro organizace zabývající se ochranou životního prostředí i pro další služby v případech ohrožení.

Experti NATO na obranu proti zbraním hromadného ničení i operační uživatelé, uznávají NBC-ANALYSIS jako špičkovou automatizovanou aplikaci.

NBC-ANALYSIS byl úspěšně nasazen ozbrojenými silami Spojeného království během války v Perském zálivu v roce 1991, opakovaně různými ozbrojenými silami během krizí v roce

1998-2002 včetně chemické roty Armády české republiky v Kuvajtu 2001-2002 a v roce 2003 1. praporem radiační, biologické a chemické ochrany AČR.

Dnes je používán v 16 členských zemích NATO včetně České republiky (Chemické vojsko AČR, Institut ochrany obyvatelstva) na různých velitelstvích NATO a také 4 zeměmi zapojenými v programu Partnerství pro mír. Program NBC-ANALYSIS je rovněž používán tréninkovým střediskem NATO (SHAPE) v německém Oberammergau pro školení OPZHN.



Obr. č.4 – NBC - Analysis

Přínosy:

- Bezprostřední predikce nebezpečí a grafický přehled ohrožení zásahové jednotky.
- Schopnost informovat podřízené jednotky o NBC ohrožení.
- Exaktní podklady pro rychlé a přesné rozhodnutí.
- Okamžitá prezentace strategické, operativní a taktické NBC situace.
- Prezentace pro tiskové konference pořádané NBC autoritou.
- Rychlý přehled efektu vedlejšího poškození v důsledku chemického uvolnění toxických průmyslových chemických činitelů (ROTA).
- Rychlý a spolehlivý odhad ztrát.

Rizikové výpočty, zobrazování NBC situací a časové varování je v souladu se současnými standarty NATO. Jiné explose než v rámci vojenské operace (Releases Other Than Attack - ROTA) jsou vyhodnocovány podle výpočtu rizik z průmyslových toxických látek. V NBC ANALYSIS je integrována Příručka pro reakci v případě ohrožení (Emergency Response Guidebook - ERG-2000). Zprávy NBC ohrožení lze zadávat manuálně, přijímat z vnějšího zdroje nebo mohou být vypočítány automaticky.

Všechny zprávy lze zobrazit na displeji s mapou. Údaje jsou rovněž používány při sestavování seznamu jednotek, u nichž existuje pravděpodobnost zásahu daným nebezpečím. V současné době ATP-45 (B) obsahuje koncepci provádění výpočtů BIO zpráv. Pro NBC-ANALYSIS je rovněž k dispozici přídatný modul pro BIO výpočty. Program využívá meteorologické (MET) informace pro výpočet nebezpečných oblastí NBC-ANALYSIS může rovněž obsahovat informace o rozmístění jednotek a o zájmových prostorech. Jednotky lze zobrazit na displeji za pomoci standardních situačních značek NATO popsanych v APP-6.

Poté je vytvořen seznam varovných zpráv, obsahující aktuální a bezprostřední ohrožení pro každou jednotku a návrh, které jednotky a kdy mají být varovány.

NBC-ANALYSIS dokáže rovněž odhadnout nejbližší nevhodnější bezpečnou dobu pro překonání kontaminovaného prostoru. Výpočet nevhodnější doby pro překonání kontaminovaného prostoru vychází z geografické trasy, zpráv NBC 5 NUC ovlivňujících trasu, faktoru ochrany a rychlosti dopravního prostředku. Funkce předvídání, jako je např. vyhodnocení poškození (dle dokumentu NATO AXP-6), jsou jedny z nejsložitějších funkcí. Uživatelé NBC-ANALYSIS oceňují funkčnost pro vyhodnocování principem „Co když“ jako nástroj zásadní důležitosti.

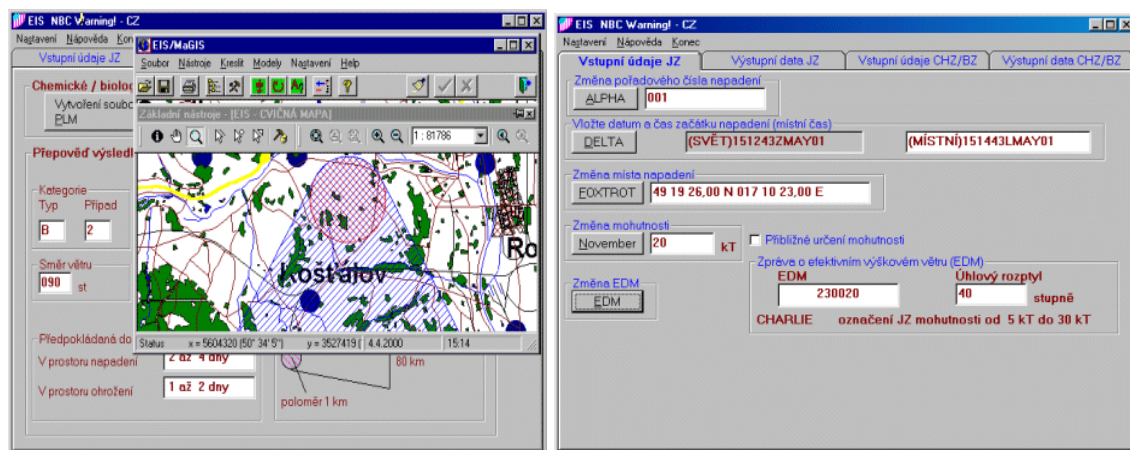
Pro předávání zpráv a dokumentů elektronické pošty je použit datový komunikační modul. Data lze přenášet prostřednictvím modemů připojených na veřejné telefonní linky, bezpečné vojenské sítě nebo mobilní telefony, dále sériovými kabely spojujícími počítače na malé vzdálenosti nebo prostřednictvím souborů v rámci lokální sítě (LAN). Sdělované zprávy jsou založeny na standardu NATO ADatP-3 nebo USMTF.

Pro zobrazení jednotek a informací o použití zbraní hromadného ničení používá NBC-ANALYSIS mapy. Lze využít většiny digitalizovaných map. Lze importovat standardní mapy NATO ve formátu ASRP v. 1.2 a mapy pocházející od US Defense Mapping Agency ve formátech ADRG, CADRG a VPF (DCW, VMAPO). Plánování a provádění cvičení je samozřejmou součástí. Software NBC-ANALYSIS lze implementovat do prostředí Windows 98, NT4.0, 2000, 2000 ME, XP, LINUX a UNIX

Starší verzí tohoto programu je NBC Warning !

Program NBC Warning! předpovídá postižení území zasažených útoky jaderných, chemických a biologických zbraní. Tato předpověď může být graficky zobrazována v mapě. Program také generuje hlášení o ZHN stanovená předpisem ATP - 45 (A) i textové soubory popisující následky napadení.

NBC Warning! vytváří dva typy výstupních souborů: grafické soubory k zakreslování oblaků a textové soubory. Grafický soubor lze zobrazit na mapě a tak vizuálně vyhodnotit rozsah a cestu oblaku na základě vložených údajů o prostředku napadení chemickou či biologickou látkou, terénu a povětrnostní situaci. Textové hlášení je určeno zejména k elektronickému předávání a k tisku. Program vytváří též výstupy ve formě standardizovaných zpráv ve formátu ADatP-3 [25,31].



Obr. 5. NBC Warning!

### 3.5.5. Některé další zahraniční SW nástroje

Ve státech Evropské unie existuje celá řada SW prostředků modelování a hodnocení úniků látek do ovzduší. Pracují v anglickém jazyce, případně v jazyce státu kde SW nástroj vznikl. Vesměs vyžadují vysoce kvalifikovanou obsluhu. Podle stupně složitosti jsou dostupné v cenových relacích tisíců až desetitisíců Euro.

#### 3.5.5.1. *EFFECT 4*

Program Effectt, verze 1.4, je starším typem programu pracujícím v operačním systému MS – DOS. V současné době již existuje modernější verze pracující pod systémem Windows. Program obsahuje databázi 68 látek s možností zobrazit jejich vlastnosti při zadané teplotě.

Jedná se o program pro prognostické modelování následků havárií. Jedná se o produkt tzv. vědeckého typu, který vyžaduje pro obsluhu specialistu s velkými znalostmi v dané problematice. Je to program na špičkové úrovni, ale tomu odpovídá i nutnost detailní znalosti modelované havarijní události. Program vyhodnocuje toxické i exotermní projevy závažných havárií. Získané výsledky lze vytisknout v textové formě nebo zobrazit jako grafickou závislost ve formě jednoduchého grafu. Program nemá zatím možnost grafické interpretace výsledků do mapových podkladů.

Program umožňuje modelovat:

- Účinky tepelné radiace při požáru (pro požár louže, požár v záchytné jímce a efekt BLEVE)
- Rychlost výtoku plynu nebo kapaliny (adiabatický nebo izotermický únik)
- Rozptyl neutrálního plynu
- Rychlost vypařování uniklé látky (ohraničená i neohraničená louže, jednorázový i kontinuální výtok)
- Účinky výbuchu oblaku par

Na podobném principu pracují i podobné SW prostředky:

- DAMAGE (NL)
- PHAST (UK)
- SAVE (N)
- H-Pack (USA)
- SEVEX VIEW (B)

#### 3.5.5.2. *WHAZAN*

Program byl vyvinut za účelem rychlého vyhodnocení následků úniků nebezpečných toxických a hořlavých látek. Obsahuje celkem 17 modelů. Které je možné rozdělit do pěti skupin:

- Únik látky - tvoří modely, které se používají v první fázi analýzy, kdy je třeba stanovit rychlost výtoku unikajícího plynu nebo kapaliny. Umožňují stanovit rychlost výtoku otvorem, potrubím a dvoufázový výtok otvorem nebo potrubím.

- Chování bezprostředně po úniku – obsahuje modely pro adiabatickou expanzi, tvorbu louže a vypařování a tvorbu kouřové vlečky. Podávají více informací o uniklé chemické látce.
- Disperze v atmosféře – obsahuje model rozptylu tryskajícího plynu, těžkého plynu a vzdušného plynu.
- Požáry a exploze – obsahuje model požár louže, tryskový plamen, ohnivá koule a výbuch oblaku par.
- Šíření plynu uvnitř budovy – obsahuje model, kterého lze použít k ověření možnosti ochrany personálu při toxickém úniku.

### 3.5.5.3. EOD Frontline / CBRNE Response

EOD Frontline / CBRNE Response je SW aplikace pro krizové řízení pyrotechnických nehodách, ale i v případě chemické havárie. Představuje úplné řešení pro řízení celé akce, pomáhá při koordinaci, přijímání rozhodnutí a operační úkolování vojenských i civilních pohotovostních jednotek.



Obr. 6. EOD Frontline

SW program EOD Frontline je manažerský informační systém určený ke zkvalitnění koordinace, rozhodování a zadávání úkolů při pyrotechnickém zabezpečení, teroristického použití zbraní hromadného ničení, náhodných nebo záměrných úniků chemických látek.

Aplikace počítá tři druhy oblastí ohrožení:

- Oblasti exploze u výbušnin
- Oblasti ohrožení bojovými chemickými látkami (šíření větrem)
- Oblasti ohrožení průmyslovými toxickými materiály (šíření větrem)

Aplikaci EOD Frontline lze kromě systému hlášení NATO EOD snadno přizpůsobit pro připojení k národním či mezinárodním systémům hlášení. Předpokládané nebezpečné území, je zobrazováno na mapě. Ve své samostatné verzi obsahuje rozsáhlé funkce pro práci s mapami, zpracování zpráv, komunikační modul, možnosti zobrazení pozic jednotek a klíčových základů. Aplikace je vhodná pro integraci do SW systémů pro velení a řízení.

EOD Frontline je v současnosti nasazen do operačního použití ozbrojenými a foremními jednotkami Velké Británie a Dánska. Existuje výlučně v anglickém jazyce [26].

### 3.5.6. Databáze nebezpečných látek (bezpečnostní listy a MEDIS-ALARM)

Důležitou součástí všech systémů na podporu řešení následků průmyslových havárií jsou databáze nebezpečných látek. Většina těchto databází však obsahuje pouze vybrané nebezpečné látky. Při řešení prevence i následků je zapotřebí mít přehled i o méně známých a používaných látkách a právě k tomuto slouží databáze nebezpečných látek. U nás existuje velké množství těchto databází, jsou to jednak komerční produkty, lišící se nejen množstvím evidovaných nebezpečných chemických látek a informací o nich poskytujících, ale i cenou.

Nejvýznamnějšími zdroji informací o nebezpečných chemických látkách jsou tzv. bezpečnostní listy. Jejich obsah je předepsán zákonem a prováděcími vyhláškami a obsahuje celkem 16 stanovených a přesně požadovaných položek. Podle rozsahu znalostí o jednotlivých nebezpečných chemických látkách bezpečnostní listy čítají průměrně okolo 7 až 12 stran vysoce odborného textu s množstvím různých údajů o jedné konkrétní nebezpečné chemické látce nebo přípravku.

Databáze MEDIS-ALARM obsahuje podrobné údaje o klasifikaci a vlastnostech více než 8500 nebezpečných látek. Zařazeny jsou informace o všech látkách ze „Seznamu závazně klasifikovaných nebezpečných chemických látek“ dle vyhlášky č. 369/2005 Sb., Včetně ropných produktů a derivátů v tomto seznamu uvedených. Uvedena je jejich klasifikace podle předpisů pro přepravu nebezpečných látek. Tento seznam je doplněn o látky, které jsou vyjmenovány a klasifikovány jako nebezpečné podle předpisů ADR / RID, a to v restrukturalizované verzi z roku 2005, včetně informace o doporučených obalech

Identifikační část obsahuje mimo jiné tyto údaje (podle všech se dá vyhledávat):

- Názvu a/nebo synonym (včetně názvů a synonym v různých jazycích),
- Registračního čísla Chemical Abstracts (CAS)
- UN-čísla
- Čísla ES (EINECS)
- Třídy a příslušné klasifikace pro jednotlivé druhy přepravy,
- RID( železniční), ADR (silniční), IMDG (námořní), IATA (letecká), (Kemlerův kód, Symbol (na obal) v grafickém provedení, Bezpečnostní značky RID/ADR)
- R-vět a S-vět
- Indexové číslo (EEC)
- Hazchem-kód – kód pro hlášení a opatření v místě havárie
- Registrační číslo RTECS
- WGK – německá třída nebezpečnosti pro vodu
- Třída hořlavosti
- Třída skladování
- Kód celního skladování [27,28,29].

Identifikační část obsahuje kromě výše uvedených vyhledávacích prvků např. tyto údaje:

- základní informace o vzhledu, rozpustnosti, jedovatosti, hořlavosti a reaktivitě látky
- způsobech hašení a opatření v místě havárie a způsobech likvidace



- požárně-technické a fyzikálně-chemické vlastnosti
- přepravní a skladovací podmínky
- pravidla první pomoci a zdravotního ošetření
- toxikologické a ekotoxikologické informace

## 4. PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

V praktické části diplomové práce bude modelováno deset fiktivních událostí s únikem vždy jedné nebezpečné chemické látky, které mají různé nebezpečné vlastnosti a způsobují závažné havárie s různým charakterem. V poslední části bude navržena struktura SW nástroje na modelování takovýchto havárií.

### 4.1. Charakteristika modelovaných havárií a vlastnosti modelovaných látek

V této části budou nastíněny modelované situace a toxikologické a chemicko-fyzikální vlastnosti nebezpečných chemických látek, které se účastní modelovaných havárií. Všechny situace budou modelovány na programech Aloha, Rozex Alarm a Teroristický expert (Terex). Jako vstupní parametry budou u všech SW nástrojů zadávána data, která se budou sobě co nejvíce podobat. Vstupní data, které budou požadovat všechny tři programy stejně, budou ekvivalentní. Cílem práce je porovnat výstupní data, která budou vypočtena příslušnými SW nástroji. Pro všechny modelové situace jsou zvoleny konstantními meteorologická data a drsnost prostředí a to:

- rychlost přízemního větru: 1 m/s
- typ atmosférické stálosti: F – inverze
- drsnost prostředí: městská nebo průmyslová zástavba

#### 4.1.1. Situace č.1 – únik acetyleny ze zásobníku s následným zahořením

Jedná se o únik 1. tuny plynného acetyleny ze stacionárního zásobníku v areálu brněnské plynárny v oblasti brněnské městské části Trnitá. Po úniku následovalo okamžité vzplanutí typu FLASH FIRE.

*Tabulka 2. společná vstupní data situace č.1*

Technologické zařízení		zásobník
Nebezpečná látka		acetylen
Skupenství		plyn
Celkové uniklé množství	[t]	1
Teplota látky	°C	20
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze

Typ havárie		PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku
-------------	--	---

#### Vlastnosti acetylenu

Jedná se o bezbarvý plyn s typickým zápachem, chemicky reaktivní, výbušný a hořlavý. Jeho teplota vznícení je  $-83,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  a třída nebezpečnosti F+. Většinou se skladuje v tlakových láhvích označených bílým páskem. Přepravuje se pouze pozemní dopravou. Jeho nejzávažnějšími účinky na zdraví člověka při jeho používání jsou jeho extrémní hořlavost, při vyšších koncentracích může způsobit udušení, při nižších koncentracích má narkotické účinky. Všeobecnými pokyny pro první pomoc jsou: postiženého dopravit na čerstvý vzduch, udržovat ho v teple a klidu (v případě zástavy dechu použít umělé dýchání) a přivolat lékařskou pomoc [19].

#### 4.1.2. Situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví.

Při neodborné manipulaci mezi skladem a budovou Fakulty chemické Vysokého učení technického v Brně, v lokalitě severní části městské části Královo pole, došlo k rozbití několika skleněných zásobních lahví kapalného bromu, díky čemuž se vytvořila pomalu se odpařující louže o přibližné ploše  $5\text{ m}^2$ .

*Tabulka 3. společná vstupní data situace č.2*

Technologické zařízení		Tři rozbité zásobní láhve
Nebezpečná látka		brom
Skupenství		kapalina
Teplota látky	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	20
Plocha louže	$\text{m}^2$	5
Teplota okolního vzduchu	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	20
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		PLUME – pomalý odpar kapaliny z louže

### Vlastnosti bromu

Jedná se o červenohnědou kapalinu těžší než voda s dráždivými výpary (po vdechnutí hrozí kašel, edém plic až smrt), chemicky reaktivní, má leptací (na pokožce vznikají popáleniny – nekrózy) a korozivní účinek. Jeho teplota varu je 58°C. Jako první pomoc po polití omyjeme zasažené místo (až 15 minut) proudem vody a namažeme glycerolem. Při vdechnutí přemístím zasaženou osobu na čerstvý vzduch a pokud dýchá s obtížemi zavoláme lékaře [19,30].

#### 4.1.3. Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

Na exitu č.194 dálnice D1 z Prahy do Brna, ve směru na Mikulov došlo díky nepřizpůsobení rychlosti řidičem k převržení kamionu, převážejícího několik 40-ti kilogramových zásobních nádob plynného chlóru. Nárazem došlo k poškození jedné nádoby a úniku celého jejího obsahu do okolí.

*Tabulka 4. společná vstupní data situace č.3*

Technologické zařízení		Automobilová cisterna
Nebezpečná látka		chlor
Skupenství		plyn
Celkové uniklé množství	[kg]	40
Teplota látky	°C	20
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku

### Vlastnosti chlóru

Jedná se o nažloutlý, dráždivý plyn, těžší než vzduch, chemicky reaktivní, nevýbušný a nehořlavý. Láhev bývá označena žlutým páskem. Teplota varu chlóru je -34 °C. Je to plyn velice nebezpečný pro zdraví, je značně jedovatý a žíravý a silné oxidační činidlo. Při styku s vlhkým vzduchem tvoří mlhy. Vedle očí a horních cest dýchacích zasahuje i plíce, kde může způsobit i edém. Mutagenita či karcinogenita nebyly prokázány. Pro první pomoc je nutno zasaženou osobu vyvést pomocí nezávislého dýchacího přístroje ze zasažené oblasti, a zavolat lékařskou pomoc [1,19,30].

#### 4.1.4. Situace č.4 – výbuch železniční cisterny naplněné LPG

Na nádraží V Brně – Královo Pole, došlo ze zatím neznámých příčin k výbuchu 40-ti tunové železniční cisterny převážející zkapalněný propan-butan v podobě LPG.

*Tabulka 5. společná vstupní data pro situaci č.4*

Technologické zařízení		Železniční cisterna
Nebezpečná látka		Propan – butan (LPG)
Skupenství		kapalina
Teplota látky	[°C]	20
Celkové uniklé množství	[t]	40
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		PUFF – jednorázový únk vroucí kapaliny do oblaku

#### Vlastnost LPG

Stlačený plyn (v kapalném stavu) rychle přecházející do plynného stavu, za tvorby studené mlhy a výbušných směsí. Mlha je těžší než vzduch, drží se při zemi a při jejím zapálení se oheň rychle šíří do velkých vzdáleností. Vznícení může nastat také působením horkých povrchů, jisker nebo otevřeného ohně. Látka prudce reaguje při styku se silnými oxidačními činidly, může vést až ke vznícení nebo výbuchu. Je málo rozpustný ve vodě. Jako plyn je málo jedovatý. Působí narkoticky, závratě, nevolnost, ospalost, svalovou ochablost, stavy podráždění a bezvědomí. Při rychlém přechodu do plynného stavu vytěsňuje vzduch, proto v uzavřených místnostech hrozí nebezpečí udušení. Pro první pomoc je potřeba postiženého vynést na čerstvý vzduch a zavolat lékařskou pomoc [1].

#### 4.1.5. Situace č.5 – výbuch potrubí zemního plynu

V lokalitě Konečného náměstí ( v části křižovatky ulic Veveří a Kotlářská) v Městské části Brno – Veveří došlo k výbuchu podzemního potrubí se zemním plynem a následnému minutovému tryskání unikajícího plynu efektem JET FIRE. Po minutě byl hlavní ventil potrubí zavřen.

**Tabulka 6. společná vstupní data pro situaci č.5**

Technologické zařízení		Plynové potrubí
Nebezpečná látka		methan
Skupenství		plyn
Teplota látky	[°C]	20
Přetlak látky	kPa	600
Průměr otvoru	m	0,1
Doba hoření 60s		
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		JET FIRE – déle trvající masivní únik plynu se zahořením

#### Vlastnosti zemního plynu

Zemní plyn je směs plyných uhlovodíků, hlavní podíl tvoří zejména methan, se vyskytuje převážně jako zkapalněný a stlačený, což je pak bezbarvá kapalina, odpařením se tvoří chladné mlhy a výbušné směsi, které se rychle šíří, mlhy jsou těžší než vzduch, plyn je bezbarvý a lehčí než vzduch. Plyn působí slabě narkoticky, způsobuje bolesti hlavy, závrať, ospalost a při nedostatku kyslíku i bezvědomí. Vzhledem k rychlému odpařování může plyn ve vysokých koncentracích vytěsňovat vzduch hlavně v uzavřeném prostoru. Unikající plyn tvoří se vzduchem výbušné směsi. Vzplanutí nastává působením horkých povrchů, jisker a otevřeného ohně. Pro první pomoc je nutné zasaženou osobu vynést na čerstvý vzduch, uložit do stabilizované polohy, uvolnit těsné součásti oděvu a zavést umělé dýchání.

Zkapalněný metan může též způsobit těžké omrzliny. Potřísněný oděv je nutné svléknout, postižené místo opláchnout vodou. Pro lepší prokrvení okolí postiženého místa je dobré okolí místa lehce poklepávat prsty (nikdy netřít) [1].

#### **4.1.6. Situace č.6 – únik amoniaku z chladicího zařízení**

Z chladicího zařízení zimního stadionu Rondo v centrální části Brna uniklo jednorázově cca 450 kg zkapalněného amoniaku a přešlo okamžitě do toxického oblaku

**Tabulka 7** společná vstupní data pro situaci č.6

Technologické zařízení		Chladicí zařízení – zimní stadion
Nebezpečná látka		amoniak
Skupenství		Kapalný plyn
Teplota látky	[°C]	25
Celkové uniklé množství	t	0,45
Teplota okolí		20
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		PUFF – jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

#### Vlastnosti amoniaku

Amoniak je velmi nebezpečná látka, která je zřejmě nejvíce rozšířená. Je to bezbarvý plyn, lehčí než vzduch, ostrého štiplavého zápachu, při odpařování z kapalného stavu tvoří chladné mlhy, které jsou těžší než vzduch, se vzduchem tvoří leptavé výbušné směsi, je málo hořlavý. Kapalný amoniak, ale i plynný silně dráždí a leptá oči, dýchací cesty, plíce a kůži, způsobuje dráždivý kašel a dušnost, křeče dýchání mohou vést až k udušení, kapalný vyvolává silné omrzliny, nadýchání vyšších koncentrací může přivodit smrt. Pro první pomoc je potřeba zasaženou osobu přenést na čerstvý vzduch, uložit do stabilizované polohy, uvolnit těsné součásti oděvu, při zástavě dechu okamžitě zavést umělé dýchání a zavolat lékařskou pomoc [1].

#### 4.1.7. Situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku

Jednorázový únik 2 tun plynného sirovodíku do ovzduší ze zásobníku, který byl naplněn na maximum, v lokalitě Starých Černovic, spadajících do městské části Brno – Černovice.

**Tabulka 7.** společná vstupní data pro situaci č.7

Technologické zařízení		zásobník

Nebezpečná látka		sirovodík
Celkové uniklé množství	t	2
Teplota látky	[°C]	20
Využití zásobníku	%	100
Teplota okolního vzduchu	[°C]	20
Drsnost prostředí		Městská a průmyslová oblast
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		PUFF – jednorázový únik plynu do oblaku

#### Vlastnosti sirovodíku

Sirovodík je bezbarvý plyn. Může se tvořit rozkladem organického materiálu a síranů při nedostatku kyslíku. Je to bezbarvý plyn zapáchající po zkažených vejcích. Je silně jedovatý, ve větších dávkách může způsobit smrtelné otravy. Je těžší než vzduch a snadno se zkapaňuje. Je dobře rozpustný v různých kapalinách včetně vody a alkoholu. Při těžké otravě následuje po náhlém bezvědomí smrt ochrnutím dechu a srdečním selháním. Nízké koncentrace plynu vedou k extrémně těžkému dráždění a zánětu očí, dýchacích cest i plic [1].

#### 4.1.8. Situace č.8. – únik vodíku z potrubí s následným zahořením

Po protržení přívodního potrubí plynného vodíku do cvičného reaktoru došlo k okamžitému zahoření efektem JET FIRE. Trvalo přibližně minutu než byl přívod vodíku do potrubí zastaven. K události došlo v severní části Brněnské městské části Královo Pole.

**Tabulka 9** společná vstupní data pro situaci č.8

Technologické zařízení		Potrubí ve výrobní technologii
Nebezpečná látka		vodík
Skupenství		plyn
Teplota látky	[°C]	20
Průměr otvoru	m	0,05



Přetlak látky	kPa	15000kPa
Doba hoření 60s		
Rychlost přízemního větru	[m/s]	1
Typ atmosférické stálosti		inverze
Typ havárie		JET FIRE – déletrvající masivní únik plynu se zahořením

#### Vlastnosti vodíku

Netoxický plyn, snadno hoří a se vzduchem tvoří výbušné směsi. Ve vysokých koncentracích může způsobit udušení.

### 4.2. Vlastní modelování

Vlastní modelování všech deseti výše popsaných situací bylo provedeno čtyřmi dostupnými softwary, jimiž byly Aloha, ROZEX Alarm, Teroristický expert (TerEx) a NBC Warning, což je starší verze programu NBC Analysis. Všechny uvedené programy se liší jak vstupními daty, pro výpočet možných následků závažné havárie s účastí nebezpečných chemických látek, tak svými výstupy. Cílem měření je srovnat výstupní data všech čtyřech programů a zjistit jejich možné rozdíly.

#### 4.2.1. Modelování programem ROZEX Alarm

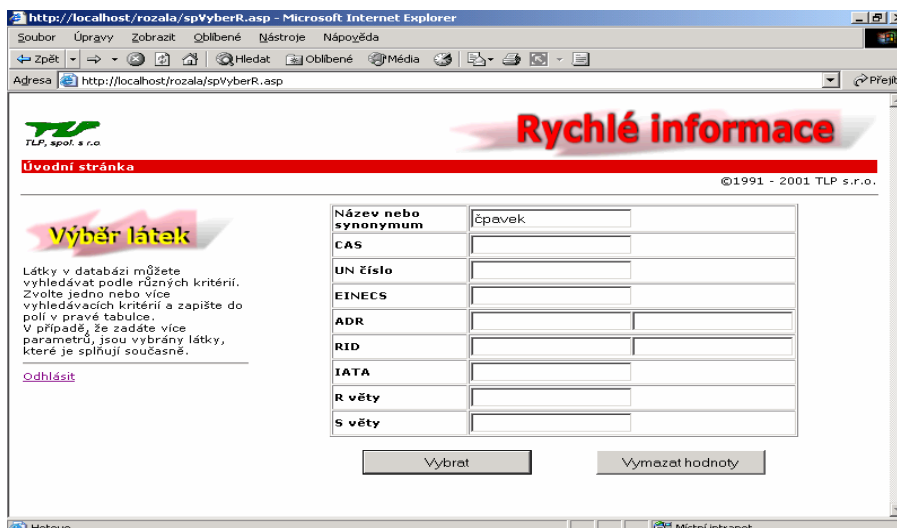
Modelování probíhalo na verzi programu 2.1.399 z roku 2003. Program zároveň posloužil jako první modelování k vytvoření modelových situací, tzn. že do ostatních programů byla zadávána stejná základní data, jež byla poprvé použita, pro měření právě programem Rozex Alarm. Vstupní data jsou uvedena v přehledných tabulkách v předchozí kapitole.

Program ROZEX 2003 je určen především pro prognózování dopadů havarijních událostí, o kterých je známo málo platných a ověřených údajů. Tato situace, kdy je nedostatek údajů o havárii, je v praxi velmi častá. K modelování následků havarijních událostí je zvolen přístup, který je založen na filozofii maximálně možných následků havárie. Takový přístup zajišťuje dostatečně přesnou prognózu dopadů havárie, přičemž počet vstupních parametrů pro výpočet je omezen na nezbytné minimum.

V prvním kroku Program ROZEX nabízí dvě možné sekce modelování následků havárie s účastí nebezpečných chemických látek.

Červená sekce – rychlé informace pro zásah (využívá se pro rychlé získání informací při havárii, která již nastala, nebo bezprostředně hrozí, a je známo minimum informací).

Modrá sekce – informace z databáze látek

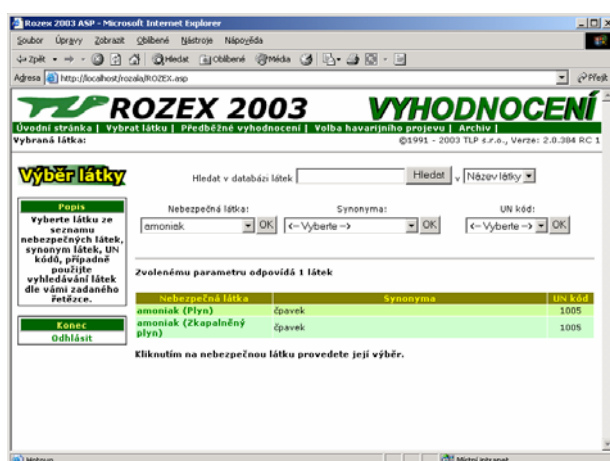


Obr. 7. Okno Výběr látek – rychlé informace

Zelená sekce – slouží k modelování následků havárie s účastí nebezpečných chemických látek. V této sekci bylo provázáno modelování pro účely vlastní diplomové práce.

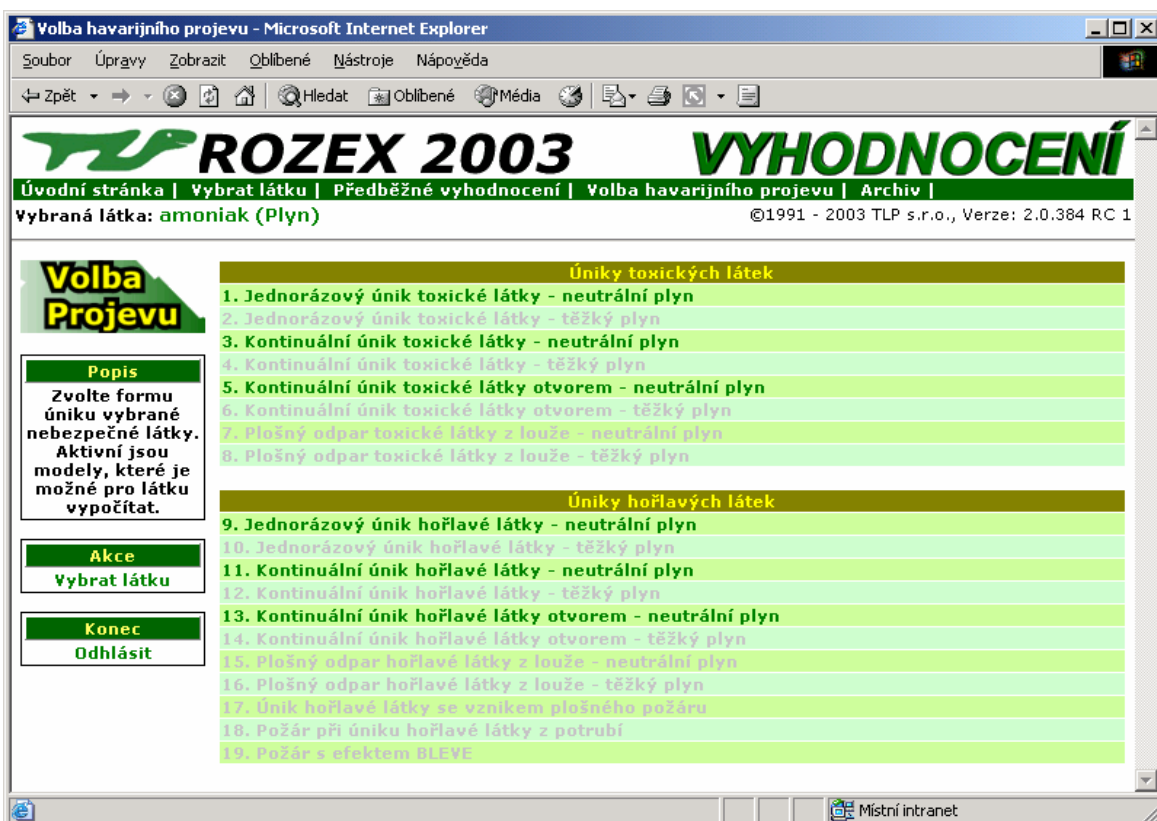
V prvním kroku modelování se otevře okno pro výběr nebezpečné látky a typu jejího skupenského stavu. Látku, pro kterou chceme modelovat následky případné havárie, lze vybrat použitím jedné z nabízených možností:

- vyhledávání látek dle zadaného řetězce
- vybrat látku ze seznamu nebezpečných látek
- vybrat látku ze seznamu synonym látek
- vybrat látku ze seznamu UN kódů.



Obr. 7. Okno Výběr látky

Dalším krokem je buď a) modul Předběžné vyhodnocení, které slouží k rychlému výpočtu a vyhodnocení maximálních možných následků s minimálním nárokem na vstupní data, nebo za b) Modul Volba havarijního projevu slouží k výpočtům a vyhodnocení možných následků. Pro vlastní modelování pro účely diplomové práce byla volena varianta b.



Obr.8. Okno Volba havarijního projevu – výběr modelu

Možnosti menu Volba havarijního projevu:

1. Jednorázový únik toxické látky – neutrální plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je lehčí než vzduch, uniklé v krátkém časovém intervalu.
2. Jednorázový únik toxické látky – těžký plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je těžší než vzduch, uniklé v krátkém časovém intervalu.
3. Kontinuální únik toxické látky – neutrální plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je lehčí než vzduch, unikající o známém množství v delším časovém intervalu.
4. Kontinuální únik toxické látky – těžký plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je těžší než vzduch, unikající o známém množství v delším časovém intervalu.
5. Kontinuální únik toxické látky otvorem – neutrální plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je lehčí než vzduch, unikající otvorem známé velikosti v delším časovém intervalu.
6. Kontinuální únik toxické látky otvorem – těžký plyn: řeší dosah oblaku toxické látky, jejíž molekula je těžší než vzduch, unikající otvorem známé velikosti v delším časovém intervalu.
7. Plošný odpar toxické látky z louže – neutrální plyn: řeší dosah oblaku toxické látky (kapaliny nebo zkapalněného plynu), jejíž molekula je lehčí než vzduch, která po úniku vytvoří „louži“ a odpařuje.
8. Plošný odpar toxické látky z louže – těžký plyn: neutrální plyn: řeší dosah oblaku toxické látky (kapaliny nebo zkapalněného plynu), jejíž molekula je těžší než vzduch, která po úniku vytvoří „louži“ a odpařuje.

9. Jednorázový únik hořlavé látky – neutrální plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je lehčí než vzduch, uniklé v krátkém časovém intervalu.

10. Jednorázový únik hořlavé látky – těžký plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je těžší než vzduch, uniklé v krátkém časovém intervalu.

11. Kontinuální únik hořlavé látky – neutrální plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je lehčí než vzduch, unikající o známém množství v delším časovém intervalu.

12. Kontinuální únik hořlavé látky – těžký plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je těžší než vzduch, unikající o známém množství v delším časovém intervalu.

13. Kontinuální únik hořlavé látky otvorem – neutrální plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je lehčí než vzduch, unikající otvorem známé velikosti v delším časovém intervalu.

14. Kontinuální únik hořlavé látky otvorem – těžký plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky se vzduchem, jejíž molekula je těžší než vzduch, unikající otvorem známé velikosti v delším časovém intervalu.

15. Plošný odpar hořlavé látky z louže – neutrální plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky (zkapalněného plynu) se vzduchem, jejíž molekula je lehčí než vzduch, která po úniku vytvoří „louži“ a odpařuje.

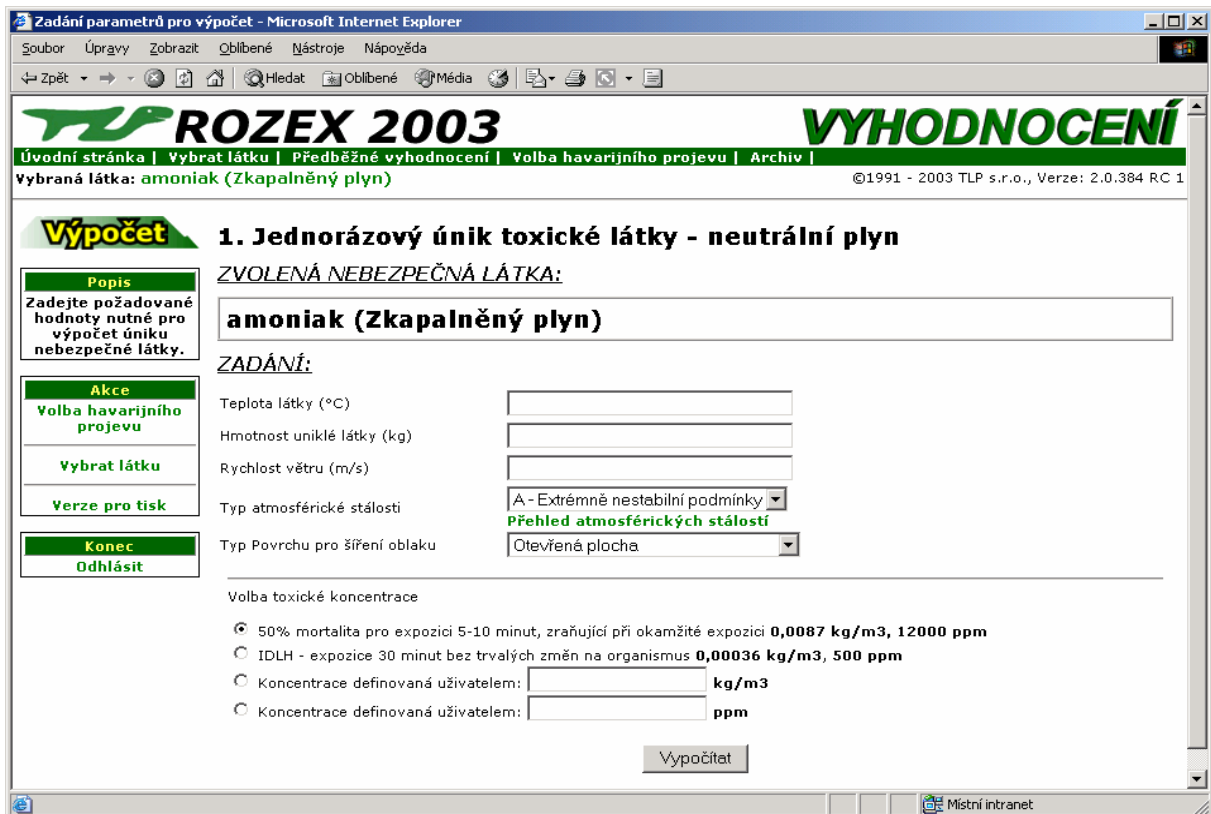
16. Plošný odpar hořlavé látky z louže – těžký plyn: řeší dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE a účinky výbuchu oblaku výbuchu schopné směsi látky (kapaliny nebo zkapalněného plynu) se vzduchem, jejíž molekula je těžší než vzduch, která po úniku vytvoří „louži“ a odpařuje.

17. Únik hořlavé látky se vznikem plošného požáru: řeší dosah účinků tepelné radiace požáru kaluže uniklé kapalné látky.

18. Požár při únik hořlavé látky z potrubí: řeší dosah účinků tepelné radiace požáru unikající plynné látky a dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE.

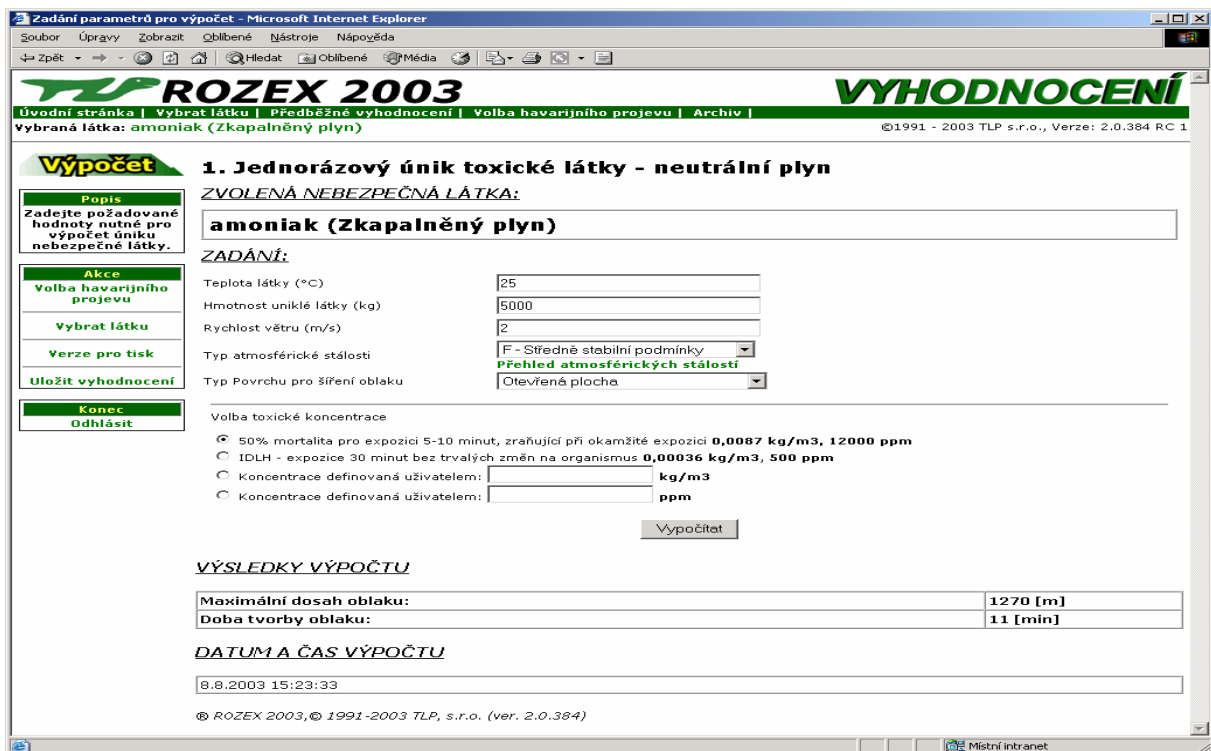
19. Požár s efektem BLEVE: řeší parametry „ohnivé koule“ a dosah zón mortality osob efektem BLEVE.

Posledním krokem modelování je volba vstupních parametrů.



Obr. 9. Okno Volba havarijního projevu – zadání vstupních parametrů

Po splnění předešlých kroků program ROZEX provede výpočet, který zaznamená v podobě protokolu.



Obr. 10. Výstupní protokol

Výstupní data závisí především na typu volené události. Pro látky toxické jsou výstupními hodnotami:

Maximální dosah koncentrace [m] – tato hodnota je počítána pro 50%-ní mortalitu, dobu expozice 5 – 10 minut

Doba příchodu oblaku (pro plyn) [s], doba tvorby oblaku (pro zkapalněný plyn) [min]. Pro toxické kapaliny je výslednou hodnotou pouze maximální dosah koncentrace

Pro látky hořlavé, pro případy jednorázových úniků jsou výstupními hodnotami:

Maximální vzdálenost epicentra od místa úniku [m].

Dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku [m].

Zóny ohrožení do epicentra výbuchu větší než 100 kPa; 30 kPa a 10 kPa a maximální vzdálenost pro dosah vlny 10 kPa od místa úniku [m].

Pro látky hořlavé, pro případy vzniků plošných požárů a požárů potrubí jsou výstupními hodnotami:

Viditelný dosah plamene [m].

Popáleniny prvního stupně při expozici 1 min ve vzdálenosti od plamene [m].

Zápal suchého dřeva při expozici 3 min ve vzdálenosti od plamene [m].

Dosah působení na nechráněné osoby od okraje plamene pro 50ti procentní mortalitu osob při expozicích 15 s, 60 s, 120 s a 180 s [m].

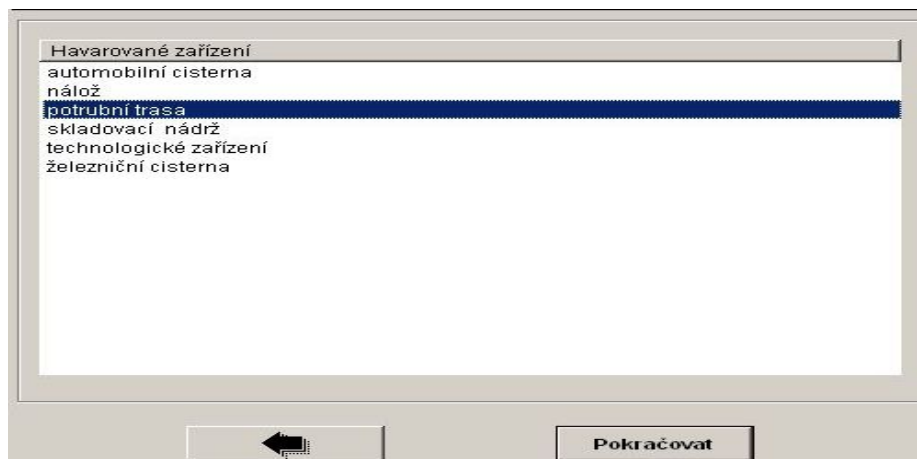
Maximální vzdálenost možné iniciace od místa úniku a dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku [m] (tato hodnota je pouze pro případy požárů potrubí).

Dále jsou neskenované výsledky modelování. Rozboru a porovnávání výsledků je věnována samostatná kapitola.

#### 4.2.2. Modelování programem Teroristický expert (TerEx)

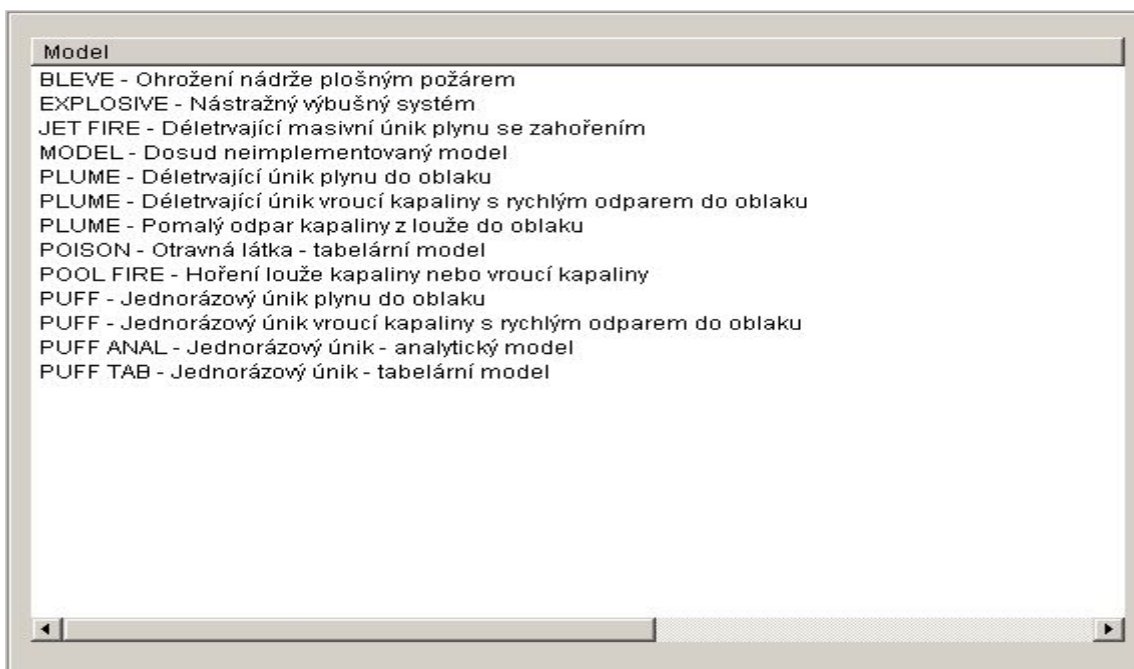
Modelování bylo prováděno na verzi TerEx 9.3.1. Při použití tohoto programu je pro začátek modelování, po volbě průvodce na výběr několik postupů (výběrů podle čeho se bude modelovat). Jsou jimi:

Havarované zařízení



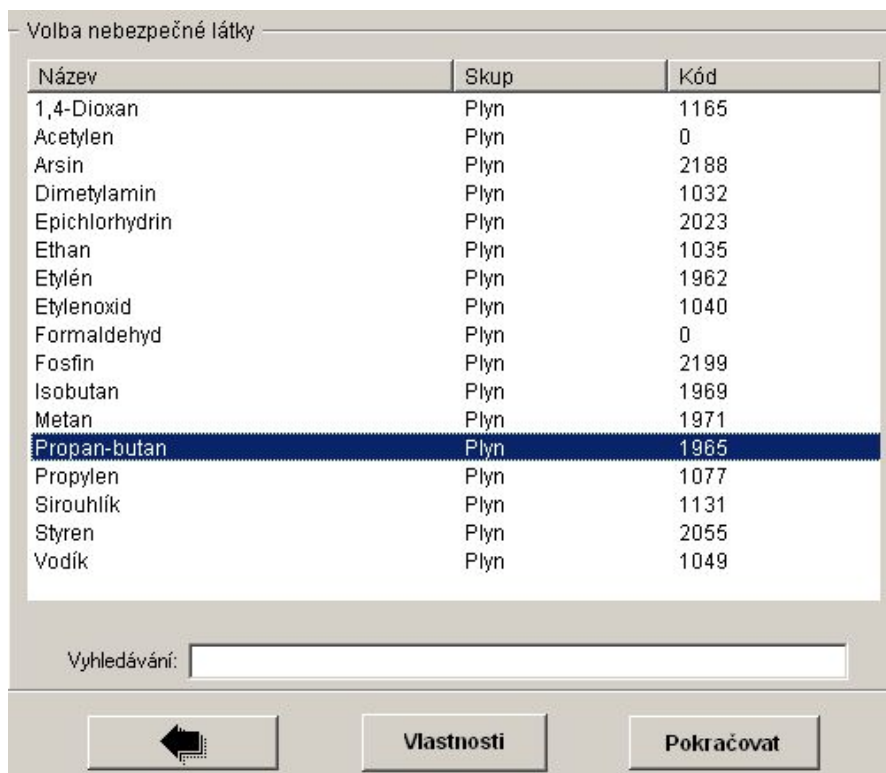
Obr. 11. Havarované zařízení – modeluje se podle typu havarovaného zařízení

## Model



Obr. 12. Druh havárie

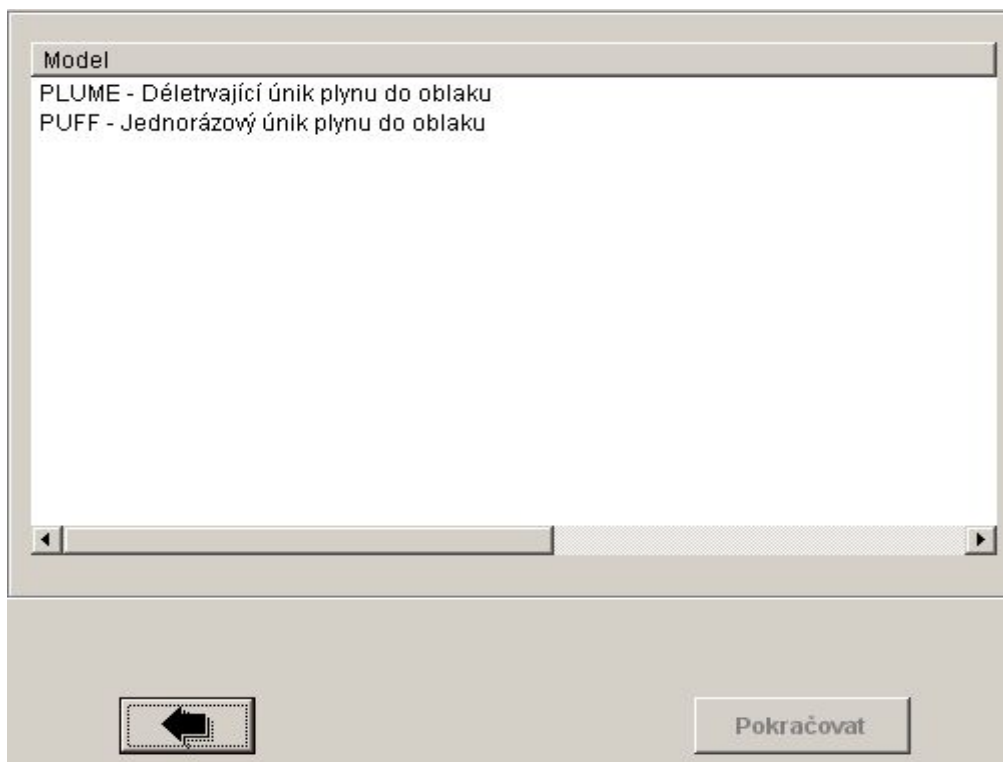
Látka – tato volba byla použita pro vlastní modelování pro diplomovou práci



Obr. 13. Volba nebezpečné látky

V prvním kroku modelování se z databáze nebezpečných látek vybere jedna konkrétní látka jako zdroj rizika.

Dále se podle charakteru prognózy vybere typ události. Při úniku např. acetaldehydu je na výběr:



Obr. 14. Výběr typu události pro acetaldehyd

Při řešení tohoto případu je možné použít jednu nebo obě možnosti.

Dále následuje zadávání parametrů potřebných pro výpočet. Zadávané parametry jsou odlišné podle v závislosti na typu havárie. U některých modelování se vyskytuje dvojí zadávání parametrů. Základní a rozšíření zadávání. Např. pro amoniak, model kontinuálního úniku jsou zadávané hodnoty tyto:

Obr. 15 základní zadávání pro amoniak



TerEx - : PLUME - Déletrvajcí únik plynu do oblaku

Látka: **Amoniak**  
Skupenství: **Plyn** Model: **PLUME**

Rychlost úniku plynu ze zařízení  
 Jednorázový únik plynu do oblaku  Déletrvajcí únik plynu do oblaku

Přetlak v havarovaném zařízení  
 kPa  bar

Průměr otvoru unikajícího plynu  
 m  ft

Rychlost větru v přízemní vrstvě  
 m/s  ft/s

Pokrytí oblohy mraky  
 %

Doba vzniku a průběhu havárie  
 Noc + ráno + večer  Den - Jaro  Den - Podzim  
 Den - Léto  Den - Zima

Typ povrchu ve směru šíření látky  
 Rovina  Kultivovaná krajina  Průmyslová plocha  
 Zemědělská krajina  Obytná krajina

Změna zadání parametrů výpočtu:

Obr. č.16 rozšíření zadávání pro amoniak

Výpočet byl generován jednak v textové podobě a jednak zákresem v mapě.

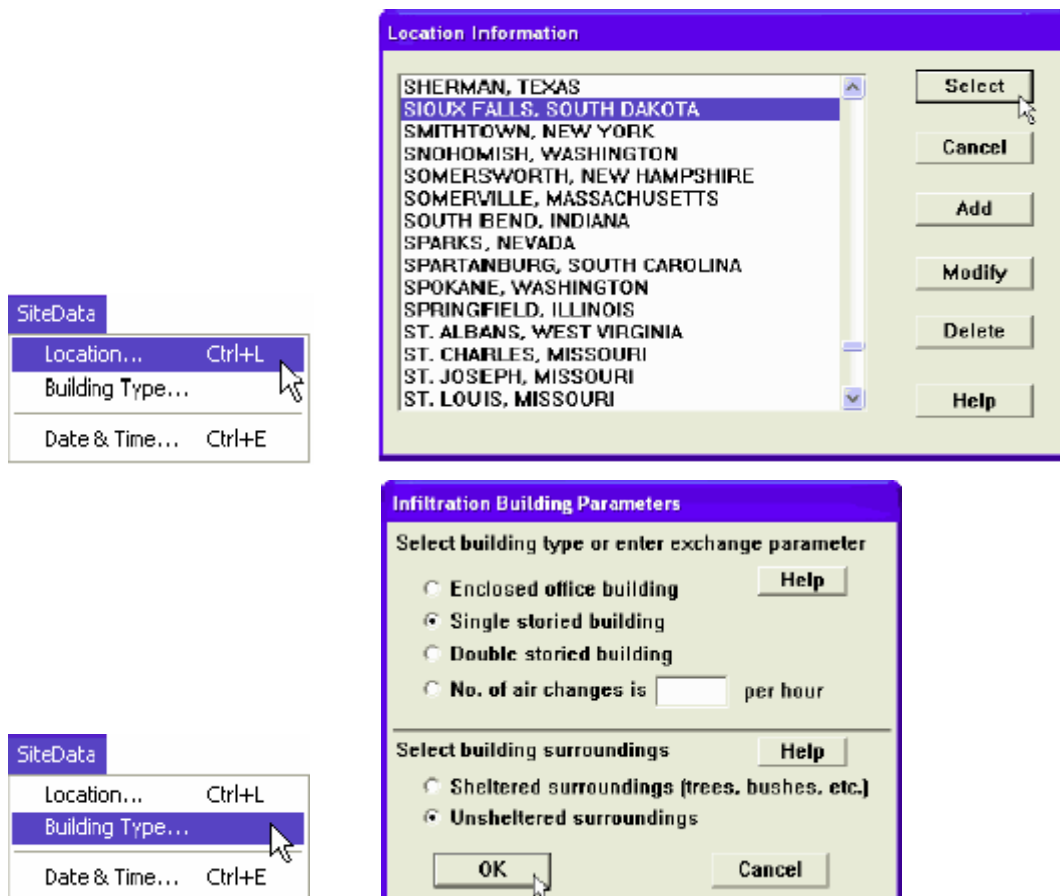
Druh výsledku závisí především na typu události, tedy na zadávaných parametrech. U všech typů výpočtů se jako první údaj objeví vzdálenost od epicentra nebezpečné události, do které je nutné provést evakuaci. Dále se pak podle typu události vygenerují údaje jako např.: vzdálenost, ve které mohou vzniknout u osob popáleniny prvního stupně u požárů, nebo dosah letících střepů u výbuchů nebo efektů Flash Fire či BLEVE.

Dále jsou uvedeny vypočtené údaje v protokolech vygenerovaných přímo programem TerEx. Mapy jsou uvedené v příloze 4 diplomové práce. Rozbor a porovnání výsledků je věnována kapitola uvedená níže.

#### 4.2.3. Modelování programem Aloha

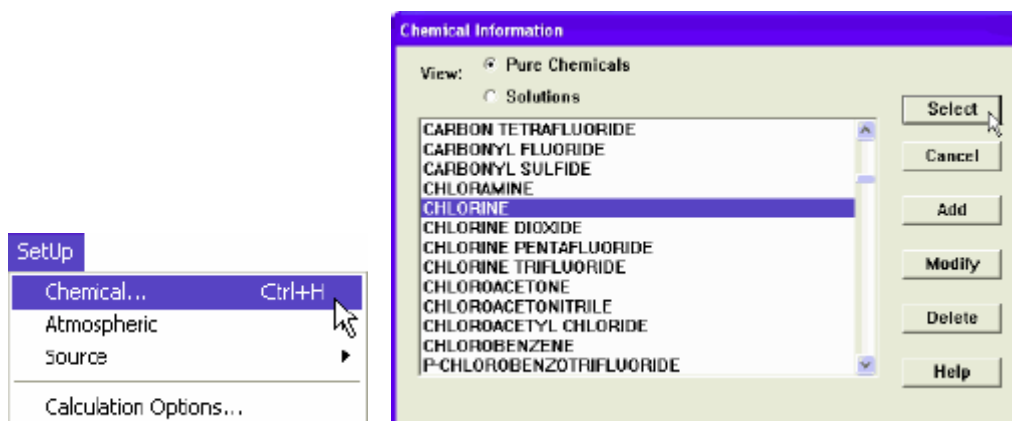
Modelování programem Aloha je o něco složitější než-li modelování předchozími dvěma programy. Aloha od uživatele požaduje více vstupních dat. Tedy se dá očekávat, že výsledky modelování budou o něco přesnější než-li výsledky, modelování programy ROZEX Alarm a Teroristický expert.

Prvním krokem modelování je volba lokace modelované havarijní události s účastí nebezpečné chemické látky. Program má v databázi zabudované informace o velkém množství míst a měst na celém světě. Pokud v databázi nejsou dají se zadat přímo uživatelem (např. nadmořská výška, typ okolního reliéfu). Další částí tohoto kroku je zadání počtu a rychlosti větrání vnitřku budov v okolí havárie (i pro případ izolování vnitřku budovy zavřením oken, a zatěsněním dveří).



Obr. 16. první krok zadávání vstupních dat

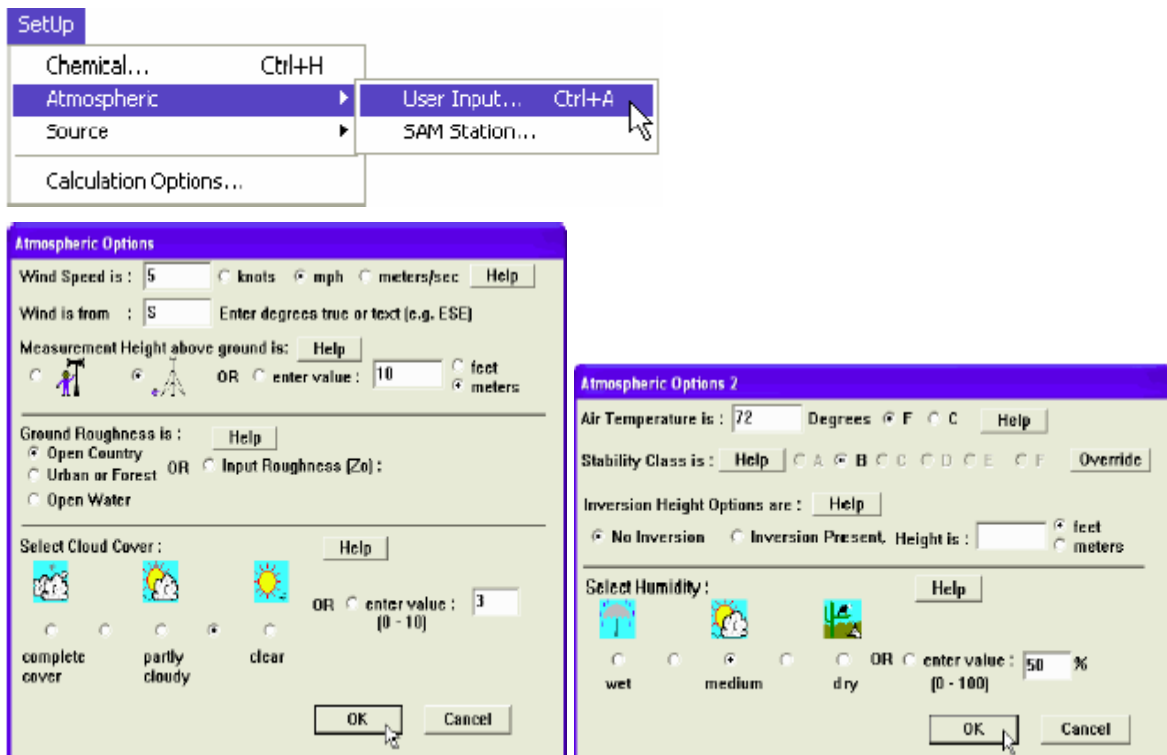
Další volbou zadávání vstupních dat v programu je volba druhu nebezpečné chemické látky která se účastní havárie. Program má vlastní rozsáhlou databázi chemických látek, neobsahuje však nejběžnější směsi nebezpečných chemických látek (např. propan – butan).



Obr. 17. druhý krok zadávání vstupních dat

Dalším krokem je zadávání o meteorologických údajů v místě havárie. Program umožňuje jak přímé zadávání uživatelem, tak reálné spojení s meteorologickou stanicí. Program umožňuje modelování jak v Evropské tak i v Anglosaské měrové soustavě. Zadávají se postupně tyto vstupní informace: v prvním okně rychlost a směr větru, výška umístění anemometru, drsnost okolního terénu a stav pokrytí oblohy mraky, v druhém okně se potom

zadáva teplota vzduchu, třída stability počasí, zda-li je či není v oblasti havárie inverze, výška případné inverze, a relativní vlhkost vzduchu.



Obr. 18. třetí krok zadávání vstupních dat

Dalším krokem je volba typu havarovaného zařízení. Program nabízí čtyři možné druhy: Přímý únik, vytékající kapalina (louže), zásobník (cisterna) a potrubí. Pro volbu „zásobník“ program dále vyžaduje zadání tvaru a rozměrů zásobníku, zda uvnitř obsahuje plyn nebo kapalinu, hmotnost či objem a teplotu jeho obsahu. Pro plyn program nabízí tři typy možných scénářů události:

- Přímý únik plynu ze zásobníku bez zahoření (pro toxické látky).
- Přímý únik plynu ze zásobníku se zahořením (JET FIRE).
- Totální roztržení zásobníku (FIRE BALL; BLEVE).

Posledním dialogovým oknem tohoto kroku je zadání tvaru a rozměrů trhliny, kterou dochází k úniku látky a zadání místa trhliny v zásobníku.

**Tank Size and Orientation**

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder      Vertical cylinder      Spheroid

Enter two of three values:

diameter: 4       feet       meters

length: 5.32

volume: 500       gallons       cu feet

OK      Cancel      Help

**Chemical State and Temperature**

Enter state of the chemical: Help

Tank contains liquid  
 Tank contains gas only  
 Unknown

---

Enter the temperature within the tank: Help

Chemical stored at ambient temperature  
 Chemical stored at 60 degrees  F  C

OK      Cancel

**Liquid Mass or Volume**

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: 1.82       pounds  
 tons(2,000 lbs)  
 kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

The liquid volume is: 500       gallons  
 cubic feet  
 liters  
 cubic meters

100 % full by volume

OK      Cancel      Help

**Type of Tank Failure**

Scenario:  
 Tank containing an unpressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

Leaking tank, chemical is not burning and forms an evaporating puddle  
 Leaking tank, chemical is burning and forms a pool fire  
 BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

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

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

OK      Cancel      Help

**Area and Type of Leak**

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

Circular opening       Rectangular opening

Opening diameter: 6       inches  
 feet  
 centimeters  
 meters

Is leak through a hole or short pipe/valve?  
 Hole       Short pipe/valve

OK      Cancel      Help

**Height of the Tank Opening**

liq.level

The bottom of the leak is: 10       in       ft       cm       m  
 above the bottom of the tank

OR

15.7 % of the way to the top of the tank

OK      Cancel      Help

Obr. 19. čtvrtý krok zadávání vstupních dat pro případ úniku plynu ze zásobníku

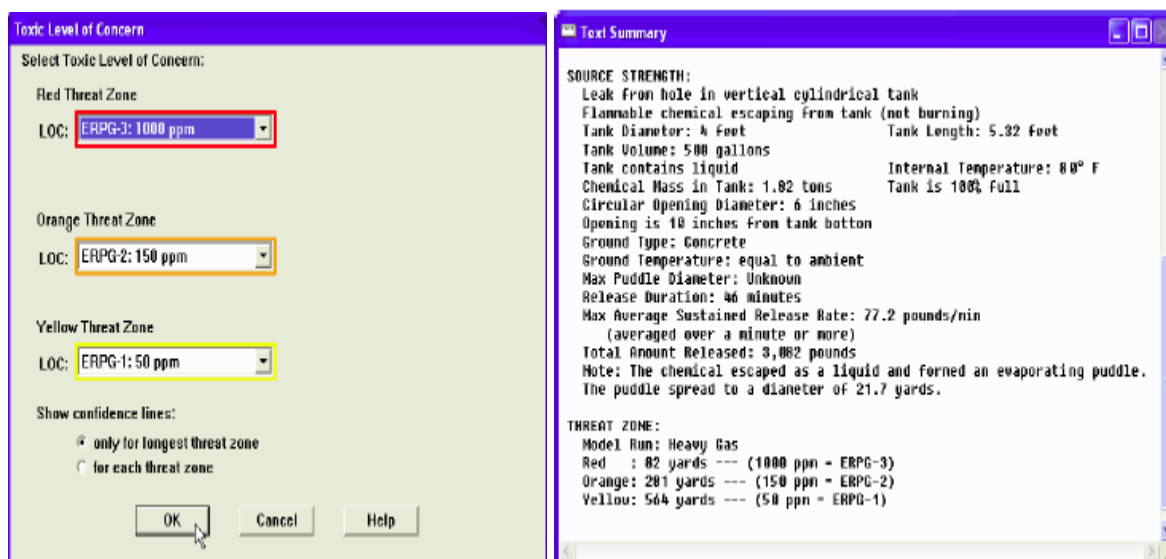
Výsledek modelování je výstupní protokol nebo graf zobrazující v první řadě rychlost úniku látky a rychlost jejího rozptýlení po okolí, v případě hoření louže je to i velikost plamenů a vzdálenost tepelné radiace, pro případ efektu BLEVE je to dosah tlakové vlny. Dále si uživatel zvolí volbu „display“ a dále „threat zone“, kde program nabízí tři možnosti zón

ohrožení jak pro únik látky do oblaku, tak pro možnost tepelné radiace (červenou, oranžovou a žlutou zónu).

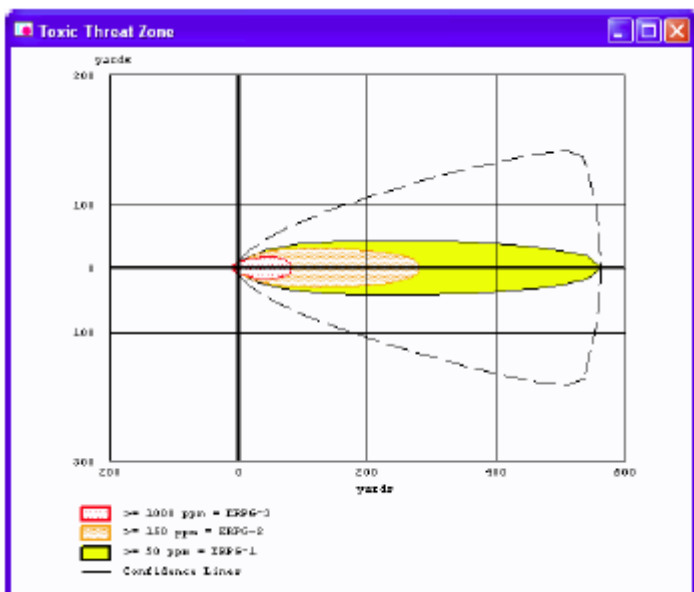
V případě tepelné radiace požárem červená zóna znázorňuje oblast, kde tepelná radiace dosahuje hodnot  $10 \text{ kW/m}^2$  a více, což při působení po dobu 60 sekund může způsobit smrt člověka. V oranžové zóně dosahuje tepelné záření  $5 \text{ až } 10 \text{ kW/m}^2$ , což při působení po dobu 60 sekund způsobí na nechráněných částech lidského těla popáleniny 2. stupně. Ve žluté zóně dosahuje tepelné záření hodnot  $2 \text{ až } 5 \text{ kW/m}^2$ , což může při působení po dobu delší než 60 sekund způsobovat bolest.

U látek toxických jsou zónami ohrožení hodnoty ERPG, nebo hodnoty AEGL, zadávaných v hodnotách ppm. Hodnoty zón ohrožení se dají dle potřeb uživatelem přenastavit. Hodnotou ERPG se rozumí hodnota jednodinové koncentrace nebezpečných látek mající vysokou toxicitu svých par. Hodnoty AEGL jsou úrovně akutní expozice působením chemických látek rozptýlených ve vzduchu. Hodnoty ERPG (AEGL), jsou tabelovány a jsou přímo databázi programu generovány.

Červenou zónou je zde hodnota ERPG-3 (AEGL-3), při které může u exponovaných jedinců dojít k závažným následkům, včetně smrti. Oranžovou zónou je zde hodnota ERPG-2 (AEGL-2), což koncentrace látky v ovzduší, při které může u exponovaných jedinců dojít k závažným zdravotním následkům, a snížené schopnosti úniku. Žlutou zónou je zde hodnota ERPG-1 (AEGL-1), což je koncentrace látky v ovzduší při níž může u exponovaných jedinců docházet k určitému podráždění či k mírnějším účinkům netrvalého charakteru.



Obr. 20. Volba zóny ohrožení a výstupní protokol



Obr. 21. Grafická podoba výstupních hodnot

#### 4.2.5 Výčet výsledků modelování

Tabulky výsledků modelování jednotlivými programy budou, kvůli lepší přehlednosti následného porovnávání rozděleny do čtyřech podskupin podle podobnosti typu havárie.

- Podskupina 1 – toxické úniky látky (sit. č.2 – brom; sit. č.3 – chlor; sit. č.6 – amoniak a sit. č.7 – sirovodík)
- Podskupina 2 – okamžitý únik látky se zahořením (sit. č.1 – acetylen; sit. č.4 – LPG)
- Podskupina 3 – požár potrubí (sit. č.5 – zemní plyn a sit. č.8 – vodík)

Výsledky budou rozděleny do tabulek. Každá situace bude mít tři tabulky podle programu, kterým bylo modelováno.

##### 4.2.5.1. Podskupina 1; situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví

**Tabulka 9.** výstupní data situace č.2

<b>Rozex Alarm</b>	
Maximální dosah koncentrace (50% mortalita; expozice 5 – 10 min, 1200ppm)	23 m
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Nezbytná evakuace osob	185 m
Doporučený průzkum toxické koncentrace	278 m
<b>Aloha</b>	
Červená zóna ERPG – 3 (5 ppm)	157 m
Oranžová zóna ERPG – 2 (0,5 ppm)	529 m

Žlutá zóna ERPG – 1 (0,1 ppm)	1200 m
-------------------------------	--------

#### 4.2.5.2. Podskupina 1; situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

Tabulka 10. výstupní data situace č.3

<b>Rozex Alarm</b>	
Maximální dosah koncentrace (50% mortalita; expozice 5 – 10 min, 1000ppm)	160 m
Doba příchodu oblaku	240s
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Nezbytná evakuace osob	370 m
Doporučený průzkum toxické koncentrace	549 m
<b>Aloha</b>	
AEGL – 3 (20 ppm)	412 m
AEGL – 2 (2 ppm)	1000 m
AEGL – 1 (0,5 ppm)	1500m

#### 4.2.5.3. Podskupina 1; situace č.6 – únik amoniaku z chladicího zařízení

Tabulka 11. výstupní data situace č.6

<b>Rozex Alarm</b>	
Maximální dosah koncentrace (50% mortalita; expozice 5 – 10 min, 12000ppm)	400 m
Doba tvorby oblaku	6,7 min
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Nezbytná evakuace osob	491 m
Doporučený průzkum toxické koncentrace	814 m
<b>Aloha</b>	
ERPG – 3 (750 ppm)	446 m

ERPG – 2 (150 ppm)	814 m
ERPG – 1 (25 ppm)	1600 m

#### 4.2.5.4. Podskupina 1; situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku

Tabulka 12. výstupní data situace č.7

<b>Rozex Alarm</b>	
Maximální dosah koncentrace (50% mortalita; expozice 5 – 10 min, 12000ppm)	770 m
Doba příchodu oblaku	1230 s
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Nezbytná evakuace osob	1370 m
Doporučený průzkum toxické koncentrace	1890 m
<b>Aloha</b>	
ERPG – 3 (100 ppm)	1200 m
ERPG – 2 (30 ppm)	1800 m
ERPG – 1 (0,1 ppm)	10000 m

#### 4.2.5.5. Podskupina 2; situace č.1 – únik acetylenu ze zásobníku s následným zahořením

Tabulka 13. výstupní data situace č.1

<b>Rozex Alarm</b>	
Dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku	530 m
Maximální vzdálenost epicentra od místa úniku	330 m
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Doporučená evakuace osob z budov (ohrožení osob okenním sklem)	495 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným	344 m



poraněním	
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	321 m
Závažné poškození budov	286 m
<b>Aloha</b>	
Průměr ohnivé koule	56 m
Červená zóna	150 m
Oranžová zóna	212 m
Žlutá zóna	332 m

#### 4.2.5.6. Podskupina 2; situace č.6 – výbuch železniční cisterny naplněné LPG

*Tabulka 14* výstupní data situace č.6

<b>Rozex Alarm</b>	
Dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku	1480 m
Maximální vzdálenost epicentra od místa úniku	1110 m
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Doporučená evakuace osob z budov (ohrožení osob okenním sklem)	1310 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním	928 m
Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	745 m
Závažné poškození budov	782 m
<b>Aloha</b>	
Průměr ohnivé koule	192 m
Červená zóna	481 m
Oranžová zóna	679 m

Žlutá zóna	1100 m
------------	--------

#### 4.2.5.7. Podskupina 3; situace 5 - výbuch potrubí zemního plynu

Tabulka 15. výstupní data situace č.5

<b>Rozex Alarm</b>	
Popáleniny 1. stupně	26 m
Viditelný dosah (výška) plamene	22 m
50%-ní mortalita osob	11 m
Narušení pevnosti oceli (po 3 min)	5 m
Zápal suchého dřeva	10 m
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Doporučená evakuace osob z budov (popáleniny 1. stupně)	49 m
Viditelný dosah (výška) plamene	22 m
50%-ní mortalita osob	21 m
Narušení pevnosti oceli (po 3 min)	4 m
Zápal suchého dřeva	11 m
<b>Aloha</b>	
Výška plamene	17 m
Červaná zóna	27 m
Oranžová zóna	40 m
Žlutá zóna	64 m

#### 4.2.5.8. Podskupina 3; situace č.8. – únik vodíku z potrubí s následným zahořením

Tabulka 16. výstupní data situace č.8

<b>Rozex Alarm</b>
--------------------

Popáleniny 1. stupně	52 m
Viditelný dosah (výška) plamene	31 m
50%-ní mortalita osob	23 m
Narušení pevnosti oceli (po 3 min)	10 m
Zápal suchého dřeva	19 m
<b>Teroristický expert (TerEx)</b>	
Doporučená evakuace osob z budov (popáleniny 1. stupně)	111 m
Viditelný dosah (výška) plamene	31 m
50%-ní mortalita osob	49 m
Narušení pevnosti oceli (po 3 min)	12 m
Zápal suchého dřeva	26 m
<b>Aloha</b>	
Výška plamene	2 m
Červená zóna	10 m
Oranžová zóna	10 m
Žlutá zóna	13 m

#### **4.2.6. Diskuze výsledků porovnávání SW pro vyhodnocování havarijních dopadů.**

Jako hlavní parametry porovnávání byly brány u podskupiny 1, tedy u toxických úniků, parametry Maximální dosah koncentrace pro 50%-ní mortalitu pro výstupní data ROZEXU, doporučená evakuace osob u TerExu, a červená zóna ohrožení u Alohy. Pro podskupinu 3, byly jako základní porovnávané parametry brány výška plamene u všech programů, a doporučené zóny pro evakuaci. Pro podskupinu 2, byly porovnávány doporučené evakuační zóny pro letící okenní sklo (jen ROZEX s TerExem), s Alohou pak byly tyto dva programy srovnávány v parametru zasažení osob tepelnou radiací vně budov.

##### **4.2.6.1. Podskupina 1**

Nejdůležitějším problémem interpretace a srovnávání výsledků jednotlivých programů, je fakt, že všechny tři programy uvádějí své výstupní data pro různé koncentrace látek a v jiných veličinách. Program TerEx udává koncentraci pro doporučenou evakuaci ze zasažené oblasti v jednotkách IDLH (koncentrace bezprostředně ohrožující zdraví a život), tj. maximální

koncentrace nebezpečné látky ve vzduchu, z kterého může jedinec uniknout během 30-ti minut, bez jakýchkoliv příznaků. Program ROZEX generuje Veličinu Maximální dosah koncentrace pro 50ti %-ní mortalitu osob. Program Aloha generuje tři stupně veličin ERPG nebo AEGL, jejíž popis je uveden výše. Pro samotné porovnání bude použita červená zóna ohrožení. Pro názornost je však uvedena i oranžová zóna, protože její hodnoty jsou ve všech případech nejvyšší a jelikož i v této oblasti by mohlo docházet k závažným zdravotním následkům by mohla být v některých případech použita jako evakuační zóna. Záleželo by prakticky jen na politice krizového managementu, kdyby se rozhodl používat program Aloha

Pro situaci č.2, tedy pro únik bromu z louže se porovnávané hodnoty nejvíce liší pro program ROZEX, podle kterého by stačila evakuace do 23 metrů od epicentra událost. Podle TerExu je evakuace nutná do 185 m a podle Alohy v případě červené zóny pak 157 m (529 m oranžová zóna). Z výsledků tedy vyplývá, že kdyby byly použity pro případnou evakuaci použity pouze data podle programu ROZEX, pravděpodobně by mohly nastat velké zdravotní potíže u všech osob nacházejících se i za zónou vypočtenou a doporučenou tímto programem pro evakuaci.

Pro situaci č.3, tedy pro převrácení nákladního automobilu převážejícího sudy s chlórem a následné destrukci jednoho sudu, a úniku 40 kg této nebezpečné látky do okolí, doporučil program ROZEX evakuaci do 160 m, program TerEx do 370m a program Aloha do 412 m v případě červené zóny a 1000 m oranžová zóna). Je tady opět patrné, že program ROZEX, by navrhl evakuační zónu opět prakticky poloviční než ostatní dva programy. Což, by mohlo opět znamenat, vážné zdravotní problémy v případě, že by se nebezpečná koncentrace toxického oblaku více shodovala s údaji vygenerovanými programy TerEx a Aloha.

Pro situaci č.6, tedy pro únik 450 kg amoniaku ze zásobníku ze zimního stadionu Rondo, by podle programu ROZEX byla potřebná evakuace do 400m od epicentra úniku, podle TerExu 491 m a podle Alohy 446 m v případě červené zóny a (814 m oranžová zóna). Všechny tyto hodnoty se k sobě přibližují daleko blíže než v předchozích případech, hlavně tedy co se ROZEXU týče, ale opět program ROZEX vygeneroval nejmenší zónu pro evakuaci, když by se mělo jednat podle jeho výpočtu.

Pro situaci č.7, tedy pro únik 2 t sirovodíku ze zásobníku by podle programu ROZEX bylo potřeba provést evakuaci do 770 m od epicentra úniku, podle TerExu pak do 1370 m a podle Alohy do 1200 m v případě červené zóny, a (1800 m oranžová zóna). Zde dochází k největšímu rozptylu hodnot, a opět nejnižší hodnotu pro případnou evakuaci udává ROZEX. K největšímu rozptylu hodnot zde dochází nejspíš z důvodu, největších dosažených vzdáleností od epicentra úniku, ze všech čtyř událostí.

Pro podskupinu 1, nejmenších hodnot pro případnou zónu evakuace dosahoval program ROZEX, ve dvou třech případech se lišil hodně podstatně, v řádech stovek metrů v porovnání s ostatními dvěma programy. Ostatní dva programy se ve třech případech ve svých hodnotách rozcházely v řádech desítek metrů, kromě případu se sirovodíkem, kde se od sebe liší opět v řádech stovek metrů.

#### **4.2.6.2 Podskupina 2**

U událostí se zahořením uniklé látky s efektem FLASH FIRE programy TerEx a ROZEX generují více výstupních dat. TerEx jako doporučenou zónu pro evakuaci generuje hodnoty dosahu letících střepů. ROZEX doporučuje jako hlavní veličinu pro evakuaci maximální zónu mortality efektem FLASH FIRE od epicentra zahoření, podobnou hodnotu generuje i TerEx, pod názvem ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku, takže tyto dvě hodnoty mohou být spolu porovnávány. Pro program Aloha budou k porovnávání brány hodnoty červené zóny

ohrožení, protože tepelná radiace  $10 \text{ kW/m}^2$  může mít též za následek mortalitu osob vně budov.

Pro situaci č.1, tedy pro případ zahoření acetylenu, po úniku 1t této látky ze zásobníku program Rozex uvádí maximální zónu mortality osob efektem FLASH FIRE jako 530 m, TerEx pak zónu ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku jako 321 m a jako dohodnutou pro evakuaci z důvodu ohrožení osob letícími střepy doporučuje vyklidit oblast 495 m od epicentra zahoření. Program Aloha generuje červenou oblast ohrožení jako 150 m od epicentra a žlutou zónu pak jen na 332 m. Z výsledků je vidět, že se svými údaji nejvíce liší Aloha, která generuje zónu popálenin 1.stupně do oblasti, kde program Rozex ještě počítá s případnými ztrátami na životech osob vyskytujících se v oblasti události a Terex doporučuje oblast vyklidit z důvodu letících střepů.

Pro situaci č.4, tedy pro zahoření a následném efektu FLASH FIRE železniční cisterny převážející 40 t zkapalněného LPG uvádí program ROZEX maximální zónu mortality jako 1480 m. Program Terex doporučuje evakuovat oblast v dosahu letících střepů na 1310 m od epicentra nehody a ohrožení osob z důvodu přímého prošlehnutí oblaku na 982 m. Program Aloha generuje červenou zónu ohrožení na 481 m a žlutou zónu na 1100 m. Program Aloha opět počítá s popáleninami prvního stupně do oblasti kde by podle TerExu hrozilo nebezpečí ze strany letících střepů a podle Rozexu by mohlo docházet i k mortalitě osob. Znepřesnění vypočtu u programu Aloha mohl způsobit fakt, že Aloha neumí počítat jednoduché směsi jako LPG, tato situace tedy musela být modelována pro čistý propan.

V podskupině 2 by byly v případě těchto dvou událostí evakuovány největší plochy podle programu ROZEX.

#### **4.2.6.3. Podskupina 3**

U událostí kdy zkoumaným havarovaným zařízením je prasklé potrubí a efekt JET FIRE, je hlavním porovnávaným údajem výstup pro popáleniny prvního stupně, pro který program TerEx doporučuje okamžitou evakuaci, ale například program Aloha ho má jen jako žlutou (tady nejmenší) zónu ohrožení. Společným výstupem pro TerEx a ROZEX je pak výstup 50ti %-ní mortality osob v okolí události po době hoření 1 minuty, tyto veličiny se dají srovnávat s červenou zónou ohrožení programu Aloha, protože této zóna též počítá s případnými ztrátami na životech. Dalším společným výstupem všech tří programů je výška plamene unikající hořící látky. Společnými výstupy programů Rozex a Terex jsou pak vzdálenost případného zahoření suchého dřeva a narušení pevnosti konstrukční oceli od epicentra hoření.

Pro situaci č.5, tedy pro únik zemního plynu z plynovodu pro vzdálenost popálenin prvního stupně generuje program ROZEX jako 26 m, program TerEx jako 49 m a program Aloha jako 64 m. Pro 50ti %-ní mortalitu osob v okolí epicentra po minutovém hoření program ROZEX jako 11 m, program TerEx jako 21 m a program Aloha jako 27 m. Výšku plamene vypočítaly programy Rozex jako 22 m a program Aloha jako 17 m. Hodnoty prvních dvou údajů se značně liší co do přesnosti, ale žádný z programů nevypočítal hodnotu popálenin prvního stupně, do oblasti, kde by některý z jiných programů počítal s mortalitou. Avšak hodnota popálenin prvního stupně jsou u programu TerEx prakticky dvojnásobné oproti programu ROZEX, a hodnota vypočtená programem Aloha je oproti ROZEXU skoro trojnásobná. Výška plamene u programů TerEx a ROZEX je v tomto případě stejná. Co se týče hodnot zápalu suchého dřeva (ROZEX 10 m a TerEx 11m) a narušení pevnosti oceli (ROZEX 5 m a TerEx 4 m) tak oba programy generují prakticky stejná čísla, lišící se jen minimálně.

Pro situaci č.8, tedy pro únik vodíku z přívodního potrubí generuje program ROZEX pro hodnoty popálenin prvního stupně hodnotu 52 m, program TerEx hodnotu 111 m a program Aloha 13 m. Pro 50ti %-ní mortalitu po minutovém hoření je hodnota programu ROZEX 23 m, programu TerEx 49 m a programu Aloha 10 m. Hodnoty programu TerEx jsou opět vyšší oproti programu ROZEX, u hodnoty popálenin prvního stupně opět skoro dvojnásobně. Co se týče programu Aloha, vycházejí zde hodnoty podezřele malé, jedním z důvodů může být teoreticky chyba přímo ve výpočetním vzorci podle kterého program Aloha počítá. Co se týče hodnot výšky plamene vycházejí hodnoty programů ROZEX a TerEx opět stejně 31 m, program Aloha vypočítal výšku plamene pouze na dva metry. Hodnoty narušení pevnosti oceli (ROZEX 10 m a TerEx 12 m) se v tomto případě opět liší zcela minimálně, ovšem hodnoty zápalu suchého dřeva v okolí se liší o poznání více (ROZEX 19 m a TerEx 26 m).

V prvním případě dával nejvyšší hodnoty pro případnou evakuaci program Aloha, pro druhý případ dával nejvyšší hodnoty pro případnou evakuaci program TerEx, nejspíš i z důvodu možné chyby v programování hodnot pro vodík.

#### 4.2.7. Navržení struktury SW nástroje

Z provedeného srovnání SW nástrojů je patrné, že každý SW nástroj má jinou strukturu. Tyto struktury se většinou od sebe liší počtem kroků výsledků, počtem a druhem zadávaných vstupních dat, způsobem výpočtu, nebo složitostí výpočtu. Dále se liší svým propojením s mapovými systémy a samozřejmě i vzhledem a designem.

Jedním z úkolů je též z provedeného srovnání navrhnout strukturu případného nového SW nástroje k vyhodnocování a modelování následků závažných havárií s účastí nebezpečných chemických látek. Návrh je vytvořen částečně sloučením použitých SW nástrojů, ale také několika vlastními úpravami.

Případný nový SW by měl mít první dialogové okno po spuštění programu počáteční rozdělení jako ROZEX Alarm, tedy rozdělení do několika sekcí, podle náročnosti, přesnosti výsledků výpočtu a hlavně rychlosti. Těmito možnostmi by měli být:

Konzervativní metoda – pro případ rychlého zásahu složek IZS na místě havárie, kde již nastal nebo hrozí únik nebezpečné chemické látky. Tento modul by měl být schopen vygenerovat potřebná data již s úplným minimem vstupních dat

Modelování prognostické – modelování náročnější na počet a kvalitu zadávaných dat, které by bylo možné využívat pro tvorbu analýz rizika např. pro chemické podniky, kde je zvýšené riziko vzniku závažné havárie, ale třeba také pro riziková místa na silnicích či železnicích, kde hrozí nehody dopravních prostředků převážejících nebezpečné chemické látky, a přímo procházejí nebo se nacházejí poblíž obydlených oblastí.

Modelování znalecké – s největší mírou přesnosti výsledků, které by sloužilo především ke studiu havarijních událostí již proběhlých, nebo k posouzení velmi přesně definovaných potenciálních havárií

Co se týče samotné struktury prvního kroku, tak hned po otevření programu by se mělo rovnou otevřít dialogové okno pro zadávání konzervativní metody, z důvodu urychlení výpočtu, protože v případě rychlé potřeby záchranářů jde v podstatě o každou vteřinu. To by byl základní rozdíl oproti ROZEX Alarm, který v prvním kroku nabídne volbu metody výpočtu. Další typ metody výpočtu by byly jako volby v tomto dialogovém okně. Tedy případnému uživateli by se v prvním kroku zobrazilo okno pro rychlý konzervativní výpočet, pokud by chtěl provádět složitější typ výpočtu, kliknutím v tomto okně by zvolil možnost, kterou by v ten moment chtěl, tedy buď prognostické nebo znalecké modelování.

Další věc, kterou by modul konzervativní metody měl zvládat, je generování výpočtu i z absolutního minima zadávaných dat, tedy především z druhu nebezpečné látky, odhadu jejího množství a typu havarovaného zařízení. Příkazový řádek by měl přímo rozeznat jestli se zadává název chemické látky nebo Kemlerův kód. Generování výsledných dat by však mělo fungovat i v případě, že není přímo známo o jakou chemickou látku se jedná. Například, při nehodě kamionu, při které došlo ke ztrátě provozních dokumentů a zničení Kemlerova kódu, který podle čísla přímo určuje o kterou látku se jedná. V takovém případě by se do příkazového řádku zadal UN kód, který určuje pouze třídu nebezpečnosti látek a samotný SW nástroj by počítal s látkou, které má potenciálně nejhorší účinky.

Samotné dialogové okno by tedy obsahovalo pouze tři příkazové řádky, po jejímž vyplnění by program rovnou generoval výsledky pro provedení například rychlé evakuace z okolí epicentra havárie. Výsledkem by tedy byl pouze poloměr dosahu látky v případě úniku toxické látky. Pro případ možného výbuchu nebo efektu BLEVE, by výsledkem byl poloměr dosahu tlakové vlny.

Modul prognostického modelování by mohl mít první okno podobné úvodnímu oknu TerExu. Tedy uživatel by si mohl zvolit zda bude modelovat v první řadě podle typu havárie, podle druhu havarovaného zařízení, či podle nebezpečné látky, která při havárii figuruje.

Pokud by si uživatel jako první volbu zvolil „typ havárie“, další dialogové okno by mu nabídlo konkrétní typy havárie, další druh látky a další dialogové okno možností nastavení vstupních parametrů, které jsou nejdůležitější pro daný druh typu havárie. Např. pro kontinuální únik toxického plynu, množství uniklého plynu, velikost zásobníku, doba úniku, meteorologické podmínky, drsnost prostředí a teplotu látky.

Pokud by si uživatel zvolil jako první volbu „druh havarovaného zařízení“, tak by se mu program v prvním dialogovém okně nabídl seznam možných havarovaných zařízení (zásobník, potrubí, železniční cisterna, aj.). V dalším okně by si uživatel zvolil o jakou látku se bude jednat, a podle těchto údajů by mu program nabídl několik možností podle implementované databáze, normovaných vstupních parametrů tohoto zařízení, např. podle dohody ADR, pokud by se jednalo o automobilovou cisternu (velikost cisterny, maximální množství převážené látky, tlak v cisterně, apod.). Pokud by uživatel nechtěl modelovat podle normovaných čísel generovaných databází, mohl by si zvolit svoje vlastní čísla.

Pokud by si uživatel zvolil jako první krok „nebezpečnou látku“, v následujícím okně by se mu otevřela databáze látek, ze které by si mohl uživatel vybrat, jednu, ale více látek (v případě hrozby domino efektu). V dalším kroku by se mu podle volby chemické látky vygenerovaly pouze možné typy havárií, a v dalším kroku by uživatel opět zadával vstupní data, podle povahy havárie.

Modul znaleckého modelování by byl v první řadě připraven pro možnosti expertního studování situací s danými látkami. Obsahoval by několik postupných kroků, v podobě dialogových oken, která by postupně umožňovala do výpočtu zadávat různá velice podrobná data, k získání co nejpřesnějších výsledků a jejich největší množství.

Prvních několik oken, co se týče zadávání typů havárie, chemické látky či typu havarovaného zařízení by bylo stejných jako v modulu prognostickém, ale dále by bylo do tohoto modulu možno zadávat co nejpřesnější vstupní data modelované situace, a jejich největší možné množství. Např. tvar zásobníku, materiál ze kterého je vyroben, nadmořskou výšku zásobníku, jeho stáří, jestli je umístěn uvnitř budovy nebo venku, atd.,.

Tento program by měl umožňovat na rozdíl od ostatních programů, modelování domino efektů, tj. havárií při kterých se účastní více chemických látek a různě se tak ovlivňují jejich

účinky. Tyto výpočty by byly velice složité, a databáze a výpočetní vzorce by měly být veřejně známé, a to především z důvodu možné kritiky z řad odborné veřejnosti.

Program by měl umět pracovat ve více jazycích, především pak v angličtině, dále pak ještě v alespoň několika nejpoužívanějších jazycích Evropské unie (francouzština, němčina, španělština). Měl by mít propojení s nejpoužívanějšími mapovými programy. A jeho konzervativní modul by měl být implementovatelný do kapesních počítačů či mobilních telefonů, aby jej bylo možno ihned použít v terénu.

SW nástroj by mohl být vypracován podle konkrétních požadavků a zadání GŘ HZS MV ČR, MZdr ČR (případně také podle požadavků zdravotnické záchranné služby) a MŽP ČR nebo i dalších resortů.



## 5. ZÁVĚR

Diplomová práce byla zpracovává téma srovnání dostupných SW nástrojů pro hodnocení dopadů závažných průmyslových havárií s účastí nebezpečných chemických látek. Počítačová podpora v oblasti prevence a řešení následků průmyslových havárií přináší užitek všem složkám ISZ, kterým rychlá analýza pomáhá optimálně řešit danou situaci a tím předcházet vzniku závažnějších následků. Tyto programy jsou však určeny i pro státní správu a pak také všem subjektům, které se při své činnosti dostávají do styku s nebezpečnými chemickými látkami.

Ve své práci jsem se zaměřil na 3 konkrétní počítačové programy, programy ROZEX Alarm, Teroristický expert (TerEx) a Aloha. Programy TerEx a ROZEX jsou zatím jedinými dostupnými českými programy. V češtině ještě umí pracovat program NBC Warning!, ale ten je pro účely této diplomové práce nevhodný, protože řeší pouze chemické látky pro vojenské účely, a např. chlor, se do něj dá zadávat pouze jako neurčitá dusivá látka. Program Aloha je sice produktem americkým, takže pracuje zatím, pouze v anglickém jazyce, ale jeho snadná dostupnost, volným stažením z internetu, se jeho využití pro potřeby krizového managementu přímo nabízí.

Při srovnávání těchto programů bylo zjištěno že:

Program ROZEX Alarm, je prostředkem výlučně určeným pro hodnocení dopadů průmyslových havárií s účinky toxických látek, a látek s efekty FLASH FIRE, JET FIRE a BLEVE, ale i jiných účinků. Pro úniky látek s toxickými účinky program generuje značně menší vzdálenosti evakuační zóny od epicentra úniku než ostatní dva programy. Pro události typu FLASH FIRE naopak program svým výstupem Maximální oblast možné mortality od epicentra události generuje nejvyšší hodnoty, které jsou prakticky srovnatelné s výstupními hodnotami programu TerEx pro hodnoty dosahu letících střepů, což je u TerEx doporučená hodnota pro evakuaci. Pro události s efektem JET FIRE program generuje opět hodnoty popálenin prvního stupně a mortality 50 % nejmenší ze všech tří programů. V ostatních hodnotách se téměř shoduje s programem TerEx. Díky svému modulu, pro konzervativní metodu, které obsahuje pouze jedno okno pro zadávání vstupních dat, a s ostatními ovlivňujícími faktory (např. meteorologická data) počítá s jako nejhorsími možnými, se dá tento program doporučit pro práci v terénu, při již probíhající nehodě.

Program TerEx má je v možnostech hodnocení dopadů průmyslových havárií s účastí nebezpečných chemických látek srovnatelný s programem ROZEX. Oba programy vycházejí ze stejných matematických vztahů, tudíž by jejich výsledky měly být srovnatelné. V praxi se však jejich výstupy v některých modelovaných situacích značně liší. Důvodem je to, že výslednými hodnotami Rozexu jsou převážně smrtící či zraňující koncentrace, nebo úroveň tepelné radiace, zatímco výstupy TerExu jsou bezpečnostní vzdálenosti. TerEx navíc obsahuje modul pro hodnocení možných dopadů exploze nástražných systémů. Společnost T-soft s.r.o. v poslední době ještě distribuuje vylepšenou verzi TerEx, která obsahuje modul NBC Warning!, který umožňuje používání programu i pro účely Armády ČR. Díky těmto vlastnostem se TerEx jeví oproti ROZEXU jako program vhodnější pro krizová řízení a organizaci ochrany osob.

Program Aloha je z použitých a srovnávaných programů, určitě uživatelsky nejnáročnější. Vyžaduje největší množství dat, čímž zase umožňuje předpoklad, že by její výsledky mohly být v reálném použití nepřesnější, takže by se dala použít jako srovnávací program pro výše dva uvedené programy. Jelikož je modelování tímto programem časově náročnější je vhodnější tento program používat jen pro modelování a přípravu analýz rizika. Program generuje data relativně největší ze všech, protože generovaná data jsou ve třech zónách

nebezpečných koncentrací či tepelných radiací, kdy červená zóna počítá již s minimálními ztrátami na lidských životech. Významnou nevýhodou programu, je že nemá v databázi zabudované nejběžněji používané směsi nebezpečných chemických látek, např. propan – butan.

V rukách kvalifikované osoby jsou všechny tři programy vhodným nástrojem pro zpracování podkladových informací pro havarijní plánování a krizový management. Obsluha programů TerEx a ROZEX je velice snadná, pracuje se v uživatelsky velice příjemném prostředí. Maličko uživatelsky náročnější by mohla být práce s programem Aloha, z důvodu programem požadovaných vstupních dat a případné jazykové bariéry. Vygenerované textové hlášení lze tisknout a programy se dají využít v notebooku přímo při zásahu.

Součástí diplomové práce je též stručný návrh struktury případného nového SW nástroje pro hodnocení dopadů havárií s účastí nebezpečných chemických látek. Návrh vychází z autorovi vlastní zkušenosti s dostupnými SW nástroji, z jejich výhod i případných slabin.

SW nástroj by mohl být vypracován podle konkrétních požadavků a zadání GŘ HZS MV ČR, MZdr ČR (případně také podle požadavků zdravotnické záchranné služby) a MŽP ČR nebo i dalších resortů,

Značný rozptyl výsledků několika SW nástrojů ukázal, že by bylo užitečné „sjednotit“ SW nástroje do jediného „oficiálně doporučeného SW nástroje pro vyhodnocování chemických havárií a chemického terorismu“. Vývoj takového SW by byl ideální zakázkou pro vyhlášení veřejné obchodní soutěže.

Ideálním řešením by bylo, pokud by takové SW nástroje byly vypracovány jako „jednotné nástroje“ v rámci Evropské unie některou vhodnou evropskou kompetentní institucí.

## LITERATURA

1. MAŠEK, I.- MIKA, O. – ZEMAN, M.; Prevence závažných průmyslových havárií; 1.vyd.; VUT v Brně, Fakulta chemická; 2006; ISBN: 80-214-3336-1.
2. ZAPLETALOVÁ-BARTLOVÁ, I. – BALOG, K.; Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií; SPBI, Ostrava; 1998; ISBN 80-245-0548-7.
3. MEKELES, V.; Prevence a likvidace havárií; 1.vyd.; VVŠ PV Vyškov; 2001; ISBN 80-7231-088-7.
4. MARTÍNEK, B. a kol.; Ochrana člověka za mimořádných událostí: Příručka pro učitele základních a středních škol; 1.vyd; Praha: Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství HZS ČR; 2003; ISBN 80-86640-08-6.
5. Isatech, Produkty > Analýza Rizik [on - line]; [citováno 23.1.2008]; dostupné z URL <<http://www.isatech.cz/analyza.htm>>.
6. ANTUŠÁK, E.; Úvod do teorie krizového managementu; 2. vyd; Praha; VŠE v Praze; 2003; ISBN 80-245-0548-7.
7. Zákon č. 59/2006 Sb. Ze dne 2. února 2006 o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č.320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií).
8. ĎURIŠOVÁ, M.; Využití počítačové podpory při zajišťování možných následků a dopadů průmyslových (technologických) havárií; DIPLOMOVÁ PRÁCE; UO Brno; Fakulta ekonomiky a managementu; 2006
9. BARTLOVÁ, I. – PEŠEK, M. Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií II.; SPBI Ostrava; 2003; ISBN 80-86634-30-2.
10. Pomůcka CO-51-5 Provozní havárie s výronem nebezpečných škodlivin.; Praha 1980
11. BABINEC F., Údržba a realizace průmyslových procesních zařízení [on - line]; [citováno 25.1.2008]; dostupné z URL <<http://www.cschi.cz/urppz/havarie.asp>>.
12. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 366/2004 Sb.. Ze dne 13. ledna, kterou se stanoví zásady hodnocení rizik závažné havárie, rozsah a způsob zpracování bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy, zpracování vnitřního havarijního plánu, zpracování podkladů pro stanovení zóny havarijního plánování a pro vypracování vnějšího havarijního plánu a rozsah způsobu informací určených veřejnosti a postup při zabezpečování informování bezpečnosti v zóně havarijního plánování.
13. Nařízení vlády č.256/2004 Sb., ze dne 1. července 2006, kterým se stanoví způsob hodnocení bezpečnostního programu prevence závažné havárie a bezpečnostní zprávy, obsah ročního plánu kontrol, postup při provádění kontroly, obsah informace a obsah výsledné zprávy o kontrole.
14. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 255/2006 Sb. ze dne 22. května 2006 o rozsahu a způsobu zpracování hlášení o závažné havárii a konečné zprávy o vzniku a dopadech závažné havárie.

15. MALASEK, E., Implementace směrnice SEVESO II. v ČR[on - line]; [citováno 2.5.2008]; dostupné z URL <[http://www.env.cz/www/Phare-CZ02-06-01.nsf/0/29c70f535e3eafa1c1256df9003c8409/\\$FILE/novela\\_zakona353\\_Malasek\\_cz.doc](http://www.env.cz/www/Phare-CZ02-06-01.nsf/0/29c70f535e3eafa1c1256df9003c8409/$FILE/novela_zakona353_Malasek_cz.doc)>.
16. Zákon č. 239/2000 Sb. ze dne 28. června 2000 o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů ve znění zákona č. 20/2004.
17. Zákon č. 240/2000 Sb. ze dne 28. června 2000 o krizovém řízení a o změně některých zákonů ve znění zákona č. 127/2005 Sb.
18. Zákon č. 356/2003 Sb. Ze dne 23. září 2003 o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých dalších zákonů, ve znění zákona č. 345/2005 Sb.
19. KIZLINK, J.; Technologie chemických látek II.; VUT v Brně; FCH; 2003; první vydání; ISBN 80-214-2013-8
20. krizove-rizeni.cz (web KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ, HAVARIJNÍHO PLÁNOVÁNÍ ČESKÉ REPUBLIKY; Seznam – Přehled metodik pro analýzu rizik; [on - line]; [citováno 13.1.2008]; dostupné z URL <[http://www.krizove-rizeni.cz/index\\_soubory/dokumenty/anal.htm](http://www.krizove-rizeni.cz/index_soubory/dokumenty/anal.htm)>
21. HRABĚ, J., Analýza dostupných SW pro modelování dopadů možných úniků NL do ovzduší. Praha: T-SOFT. 2006
22. Aloha – user's manual; The CAMEO Software System; February 2007; [on-line]; [citováno 23.1.2008]; dostupné z URL
23. SLUKA, V., Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií. [on - line]; [citováno 20.1.2008]; dostupné z URL <[http://www.vubp.cz/oppzh\\_metodiky.php](http://www.vubp.cz/oppzh_metodiky.php)>.
24. Rozex Alarm; [on - line]; [citováno 26.1.2008]; dostupné z URL <[www.tlp-emergency.com/rozex.html](http://www.tlp-emergency.com/rozex.html)>
25. NBC – Analysis; [on - line]; [citováno 23.1.2008]; dostupné z URL: <<http://uzivatel.unob.cz/schwarz/KrizMan3/2005/sponzor/AURA/cteni138.html>>
26. EOD Frontline / CBRNE Response; [on - line]; <<http://uzivatel.unob.cz/schwarz/KrizMan3/2005/sponzor/AURA/cteni139.html>>
27. MIKA, O., Nutnost modelování následků chemického terorismu. Brno, 30.října 2005
28. MEDIS-Alarm; [on - line]; [citováno 23.2.2008]; dostupné z URL <<http://www.medistyl.cz/db/alarm.htm>>
29. Práce s nebezpečnými chemickými látkami [on - line]; [citováno 24.12.2007]; dostupné z URL <[http://www.sci.muni.cz/bezpecnoct/chm\\_web/index.htm](http://www.sci.muni.cz/bezpecnoct/chm_web/index.htm)>
30. Paleček, J. – Linhart, I. – Horák, J.; Toxikologie a bezpečnost práce v chemii; VŠCHT Praha; 1999; ISBN 80-7080-266-9
31. NBC Warning!; [on-line]; [citováno 23.2.2008]; dostupné z URL: <<http://www.tsoft.cz/index.php?q=cz/nbc-warning>>

## **SEZNAM ZKRATEK**

- ADR – přeprava nebezpečných věcí po silnici
- AEGL – acute exposure guideline level
- ČR – česká republika
- ČSSR – slovenská republika
- DEM – německá marka
- ERPG – Emergency response planning guidelines
- EUR – euro
- GATT – všeobecná dohoda o clech a obchodě
- GŘ HZS – generální ředitelství hasičského záchranného sboru
- HZS – hasičský záchranný sbor
- IZS – integrovaný záchranný systém
- LPG – zkapalněný topný plyn
- MV ČR – ministerstvo vnitra
- MZdr ČR – ministerstvo zdravotnictví
- MŽP ČR – ministerstvo životního prostředí
- RID – přeprava nebezpečných věcí po železnici
- SR – slovenská republika
- SW – software
- USA – spojené státy americké
- USD – americký dolar
- WTO - World Trade Organization

## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1. Výstupní protokoly TerEx.....	78
PŘÍLOHA 2. Výstupní protokoly ROZEX .....	86
PŘÍLOHA 3. Výstupní protokoly Aloha.....	94
PŘÍLOHA 4. Mapové výstupy TerEx .....	102

## PŘÍLOHA 1. Výstupní protokoly TerEx

a) situace č.1 únik acetylenu ze zásobníku s následným zahořením

TerEx Verze 2.9.1 10:36:18 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1035

Model:

PUFF - Jednorázový únik plynu do oblaku

Látka:

Acetylen

Celkové uniklé množství plynu 1000 kg

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Hodnocená látka nemá závažné toxické účinky na lidský organismus

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 321 m (1050 ft.)

Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním

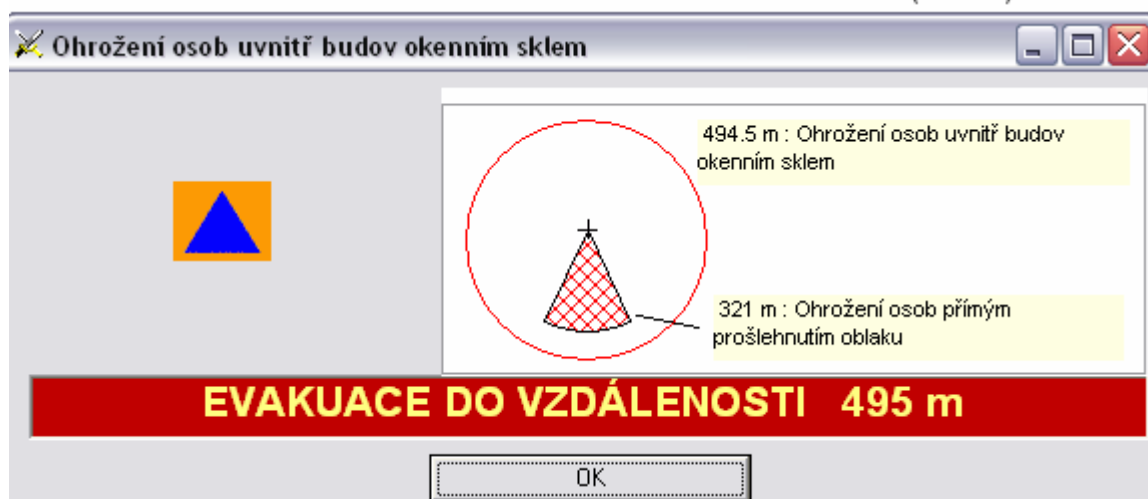
NUTNÝ ODSUN OSOB 344 m (1130 ft.)

Závažné poškození budov

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 286 m (937 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem

DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 495 m (1620 ft.)



b) situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví

TerEx Verze 2.9.1 10:27:12 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1027

Model:

PLUME - Pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku

Látka:

Brom

Teplota kapaliny v louži 20 °C

Plocha louže kapaliny 5 m

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

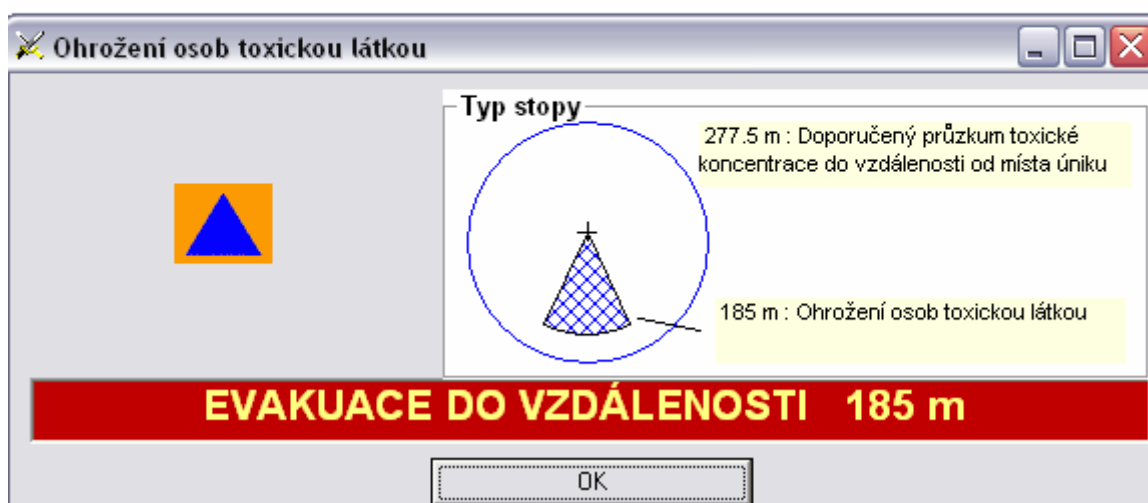
Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Ohrožení osob toxickou látkou

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 185 m (607 ft.)

Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 278 m (910 ft.)

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





e) Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

TerEx Verze 2.9.1 11:02:47 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1102

Model:

PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:

Chlor

Teplota kapaliny v zařízení 20 °C

Celkové uniklé množství kapaliny 40 kg

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

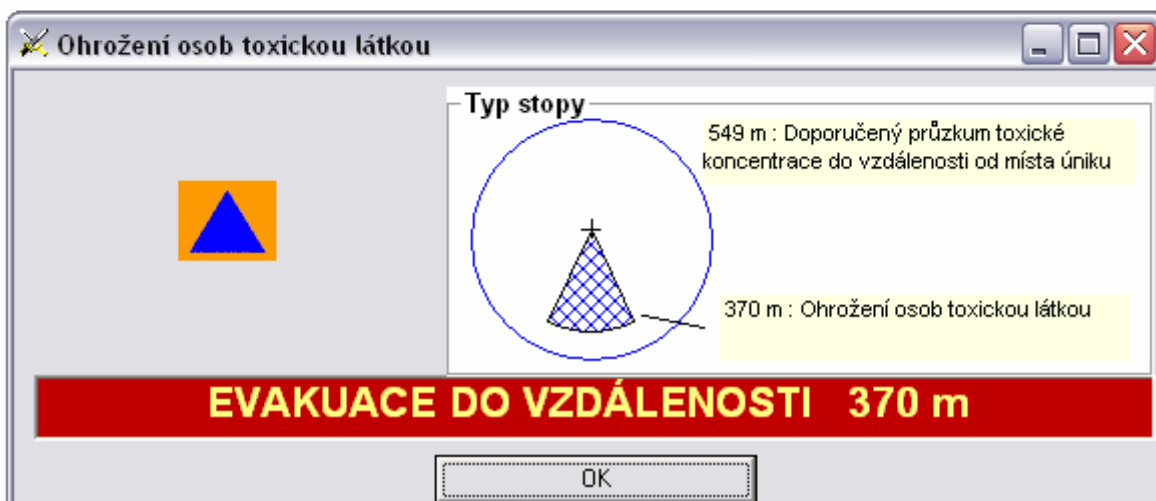
Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Ohrožení osob toxickou látkou

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 370 m (1210 ft.)

Doporučený průřez toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 549 m (1800 ft.)

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



f) situace č.4 – výbuch železniční cisterny naplněné LPG

TerEx Verze 2.9.1 11:05:07 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1102

Model:

PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:

Propan-butan - LPG

Teplota kapaliny v zařízení 20 °C

Celkové uniklé množství kapaliny 40000 kg

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Ohrožení osob toxickou látkou

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 379 m (1240 ft.)

Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 775 m (2540 ft.)

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 745 m (2440 ft.)

Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním

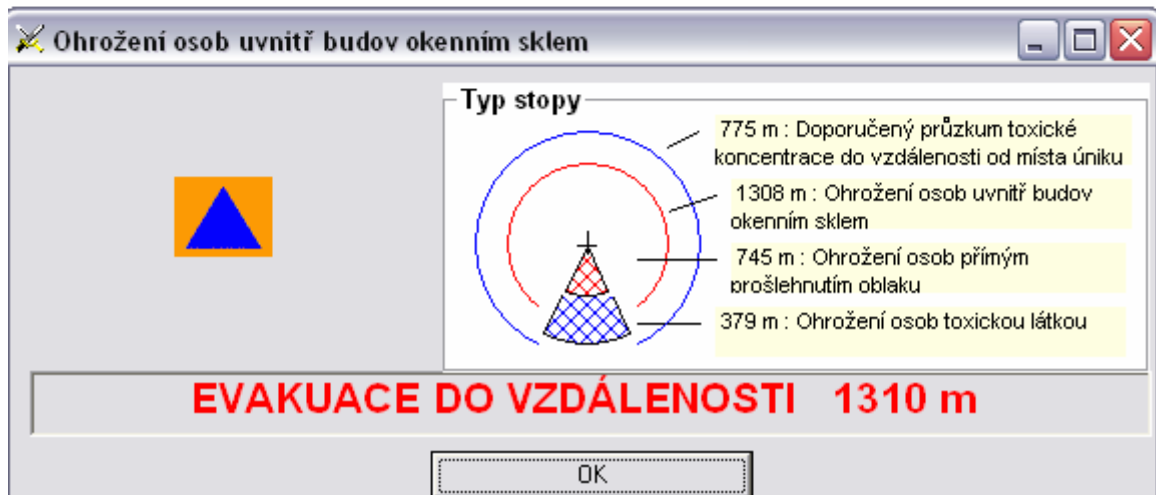
NUTNÝ ODSUN OSOB 928 m (3040 ft.)

Závažné poškození budov

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 782 m (2570 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem

DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 1310 m (4290 ft.)



g) situace č.5 – výbuch potrubí zemního plynu

TerEx Verze 2.9.1 11:08:29 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1108

Model:

JET FIRE - Déletrvající masivní únik plynu se zahořením

Látka:

Methan

Přetlak látky 600 kPa

Průměr otvoru 0,1 m

Teplota látky 20 °C

Doba hoření 60 s

Výška plamene : 22 m (72,2 ft.)

Popáleniny 1.st : 49 m (161 ft.)

Mortalita 10% : 26 m (85,3 ft.)

Mortalita 50% : 21 m (68,9 ft.)

Zápal suchého dřeva : 11 m (36,1 ft.)

Narušení pevnosti oceli : 4 m (13,1 ft.)

Ohrožení osob - popáleniny 1.stupně tepelnou radiací

NUTNÝ ODSUN OSOB 49 m (161 ft.)



h) situace č.6 – únik amoniaku z chladicího zařízení

TerEx Verze 2.9.1 10:23:38 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1016

Model:

PUFF - Jednorázový únik vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku

Látka:

Amoniak

Teplota kapaliny v zařízení 25 °C

Celkové uniklé množství kapaliny 450 kg

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Ohrožení osob toxickou látkou

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 491 m (1610 ft.)

Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 814 m (2670 ft.)

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 97 m (318 ft.)

Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním

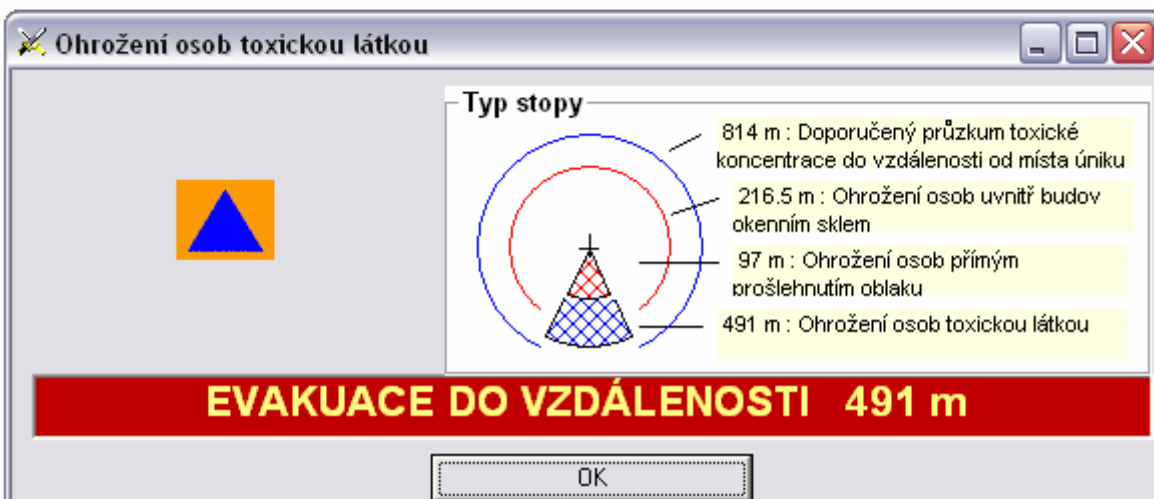
NUTNÝ ODSUN OSOB 153 m (500 ft.)

Závažné poškození budov

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 128 m (418 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem

DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 217 m (710 ft.)



i) situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku

TerEx Verze 2.9.1 11:10:41 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1110

Model:

PUFF - Jednorázový únik plynu do oblaku

Látka:

Sirovodík

Celkové uniklé množství plynu 2000 kg

Rychlost větru v přízemní vrstvě: 1 m/s

Pokrytí oblohy mraky 0 %

Doba vzniku a průběhu havárie Noc, ráno nebo večer

Typ atmosférické stálosti : F - inverze

Ohrožení osob toxickou látkou

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 1370 m (4480 ft.)

Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 1890 m (6180 ft.)

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 305 m (1000 ft.)

Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním

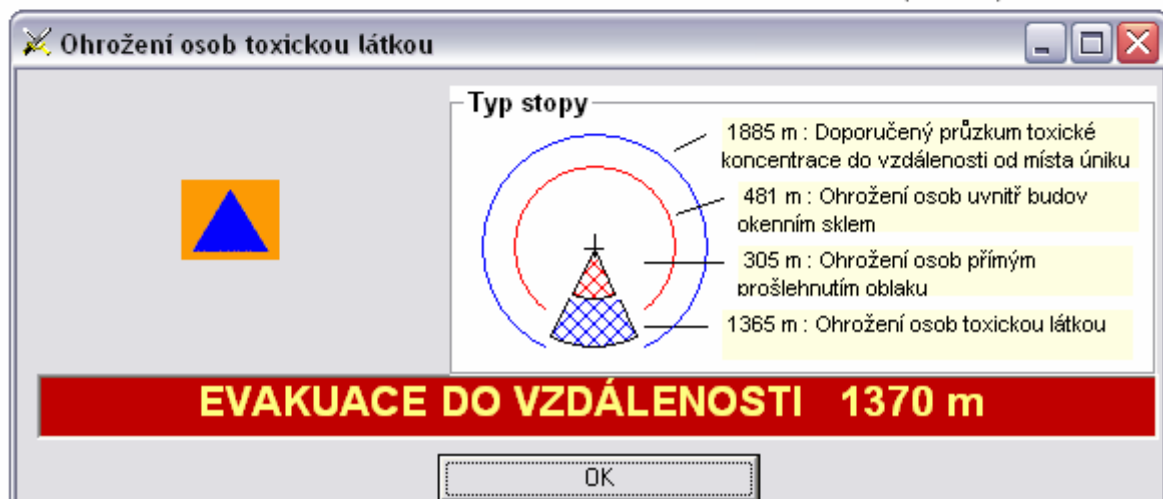
NUTNÝ ODSUN OSOB 345 m (1130 ft.)

Závažné poškození budov

NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 293 m (961 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem

DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 481 m (1580 ft.)



j) situace č.8 – únik vodíku z potrubí s následným zahořením

TerEx Verze 2.9.1 11:12:21 08.04.2008 Licence pro : Univerzita obrany Brno

Událost: TE080408\_1108

Model:

JET FIRE - Déletrvající masivní únik plynu se zahořením

Látka:

Vodík

Přetlak látky 15000 kPa

Průměr otvoru 0,05 m

Teplota látky 20 °C

Doba hoření 60 s

Výška plamene : 31 m (102 ft.)

Popáleniny 1.st : 111 m (364 ft.)

Mortalita 10% : 58 m (190 ft.)

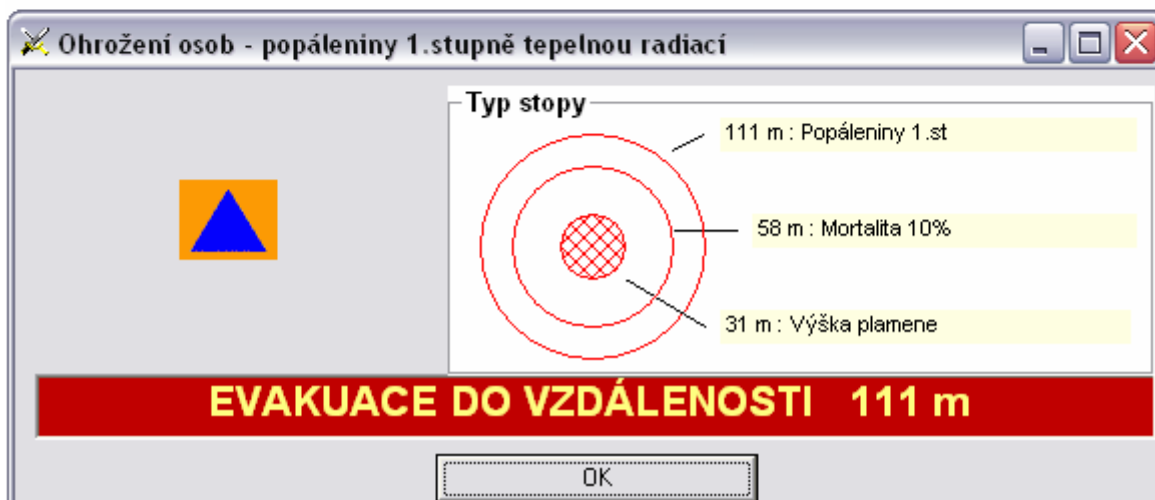
Mortalita 50% : 49 m (161 ft.)

Zápal suchého dřeva : 26 m (85,3 ft.)

Narušení pevnosti oceli : 12 m (39,4 ft.)

Ohrožení osob - popáleniny 1.stupně tepelnou radiací

NUTNÝ ODSUN OSOB 111 m (364 ft.)



## PŘÍLOHA 2. Výstupní protokoly ROZEX

a) Situace č.1 – únik acetyleny ze zásobníku s následným zahořením

Tisková sestava

Page 1 of 1



### 9. Jednorázový únik hořlavé látky - neutrální plyn

#### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

**acetylen (Plyn)**

#### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Hmotnost uniklé látky (kg)	1000
Rychlost větru (m/s)	1
Typ atmosférické stálosti: <b>F - Středně stabilní podmínky</b>	
Typ Povrchu pro šíření oblaku: <b>Městská a průmyslová oblast</b>	

#### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Maximální vzdálenost epicentra od místa úniku:</b>	<b>330 [m]</b>
<b>Dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku:</b>	<b>530 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 100 kPa:</b>	<b>27 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 30 kPa:</b>	<b>52 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 10 kPa:</b>	<b>110 [m]</b>
<b>Maximální vzdálenost pro dosah vlny 10 kPa od úniku:</b>	<b>440 [m]</b>

#### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:24:15

® ROZEX 2003, © 1991-2006 TLP, s.r.o. (ver. 2.1.399)

b) Situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví.

Tisková sestava

Page 1 of 1



## 8. Plošný odpar toxické látky z louže - těžký plyn

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

**brom (Kapalina)**

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Teplota okolního vzduchu (°C)	20
Velikost louže - plocha (m <sup>2</sup> )	5
Rychlost větru (m/s)	1
Volba toxické koncentrace 50% mortalita pro expozici 5-10 minut, zraňující při okamžité expozici <b>0,007848 kg/m<sup>3</sup>, 1200 ppm</b>	

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

**Maximální dosah koncentrace:** 23 [m]

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:30:06

® ROZEX 2003, © 1991-2006 TLP, s.r.o. (ver. 2.1.399)



c) Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

Tisková sestava

Page 1 of 1



## 2. Jednorázový únik toxické látky - těžký plyn

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

**chlor (Plyn)**

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Teplota okolního vzduchu (°C)	20
Hmotnost uniklé látky (kg)	40
Rychlost větru (m/s)	1
Volba toxické koncentrace 50% mortalita pro expozici 5-10 minut, zraňující při okamžité expozici <b>0,00297 kg/m<sup>3</sup>, 1000 ppm</b>	

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Maximální dosah koncentrace:</b>	<b>160 [m]</b>
<b>Doba příchodu oblaku:</b>	<b>240 [s]</b>

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:39:55

® ROZEX 2003, © 1991-2006 TLP, s.r.o. (ver. 2.1.399)



## 9. Jednorázový únik hořlavé látky - neutrální plyn

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

**propan-butan (Zkapalněný plyn)**

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Hmotnost uniklé látky (kg)	40000
Rychlost větru (m/s)	1
Typ atmosférické stálosti: <b>F - Středně stabilní podmínky</b>	
Typ Povrchu pro šíření oblaku: <b>Městská a průmyslová oblast</b>	

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Maximální vzdálenost epicentra od místa úniku:</b>	<b>1110 [m]</b>
<b>Dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku:</b>	<b>1480 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 100 kPa:</b>	<b>73 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 30 kPa:</b>	<b>140 [m]</b>
<b>Zóna ohrožení od epicentra výbuchu &gt; 10 kPa:</b>	<b>290 [m]</b>
<b>Maximální vzdálenost pro dosah vlny 10 kPa od úniku:</b>	<b>1400 [m]</b>

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:44:54



## 18. Požár při úniku hořlavé látky z potrubí

### ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:

<b>metan (Plyn)</b>
---------------------

### ZADÁNÍ:

Teplota látky (°C)	20
Přetlak látky v zařízení (kPa)	600
Ekvivalentní průměr otvoru (m)	0,1

### VÝSLEDKY VÝPOČTU

<b>Viditelný dosah plamene:</b>	<b>22 [m]</b>
<b>Popáleniny I. stupně při expozici 1 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>26 [m]</b>
<b>Narušení pevnosti konstr. oceli při expozici 3 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>5 [m]</b>
<b>Zápal suchého dřeva při expozici 3 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>10 [m]</b>
<b>Dosah působení na nechráněné osoby od okraje plamene pro 50% mortalitu osob</b>	
<b>Expozice [s]</b>	<b>15 60 120 180</b>
<b>Vzdálenost [m]</b>	<b>7 11 15 17</b>
<b>Maximální vzdálenost možné iniciace od místa úniku a dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku:</b>	<b>21 [m]</b>

### DATUM A ČAS VÝPOČTU

10.3.2008 12:46:17
--------------------



## 1. Jednorázový únik toxické látky - neutrální plyn

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

<b>amoniak (Zkapalněný plyn)</b>
----------------------------------

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	25
Hmotnost uniklé látky (kg)	450
Rychlost větru (m/s)	1
Typ atmosférické stálosti: <b>F - Středně stabilní podmínky</b>	
Typ Povrchu pro šíření oblaku: <b>Městská a průmyslová oblast</b>	
Volba toxické koncentrace 50% mortalita pro expozici 5-10 minut, zraňující při okamžité expozici <b>0,0087 kg/m<sup>3</sup>, 12000 ppm</b>	

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Maximální dosah oblaku:</b>	<b>400 [m]</b>
<b>Doba tvorby oblaku:</b>	<b>6,7 [min]</b>

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:47:54
--------------------



## 2. Jednorázový únik toxické látky - těžký plyn

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

**sulfan (Plyn)**

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Teplota okolního vzduchu (°C)	20
Hmotnost uniklé látky (kg)	2000
Rychlost větru (m/s)	1
Volba toxické koncentrace 50% mortalita pro expozici 5-10 minut, zraňující při okamžité expozici <b>0,001668 kg/m<sup>3</sup>, 1200 ppm</b>	

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Maximální dosah koncentrace:</b>	<b>770 [m]</b>
<b>Doba příchodu oblaku:</b>	<b>1230 [s]</b>

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:50:33



## 18. Požár při úniku hořlavé látky z potrubí

### **ZVOLENÁ NEBEZPEČNÁ LÁTKA:**

<b>vodík (Plyn)</b>
---------------------

### **ZADÁNÍ:**

Teplota látky (°C)	20
Přetlak látky v zařízení (kPa)	15000
Ekvivalentní průměr otvoru (m)	0,05

### **VÝSLEDKY VÝPOČTU**

<b>Viditelný dosah plamene:</b>	<b>31 [m]</b>
<b>Popáleniny I. stupně při expozici 1 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>52 [m]</b>
<b>Narušení pevnosti konstr. oceli při expozici 3 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>10 [m]</b>
<b>Zápal suchého dřeva při expozici 3 min ve vzdálenosti od plamene:</b>	<b>19 [m]</b>
<b>Dosah působení na nechráněné osoby od okraje plamene pro 50% mortalitu osob</b>	
<b>Expozice [s]</b>	<b>15 60 120 180</b>
<b>Vzdálenost [m]</b>	<b>13 23 30 35</b>
<b>Maximální vzdálenost možné iniciace od místa úniku a dosah zóny mortality osob efektem FLASH FIRE od místa úniku:</b>	<b>19 [m]</b>

### **DATUM A ČAS VÝPOČTU**

10.3.2008 12:52:48
--------------------

## PŘÍLOHA 3. Výstupní protokoly Aloha

a) Situace č.1 – únik acetylenu ze zásobníku s následným zahořením

### SITE DATA:

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 hours DST (user specified)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ACETYLENE Molecular Weight: 26.04 g/mol  
TEEL-1: 2500 ppm TEEL-2: 2500 ppm TEEL-3: 6000 ppm  
LEL: 25000 ppm UEL: 1000000 ppm  
Ambient Boiling Point: -84.6° 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: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters Relative Humidity: 5%

### SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 1 meters Tank Length: 3 meters  
Tank Volume: 2.36 cubic meters  
Tank contains liquid  
Internal Storage Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 1 tons Tank is 95% full  
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%  
Fireball Diameter: 56 meters Burn Duration: 5 seconds

### THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball  
Red : 150 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)  
Orange: 212 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
Yellow: 332 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)





c) Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

**SITE DATA:**

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 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: -34.9° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters Relative Humidity: 5%

**SOURCE STRENGTH:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Non-flammable chemical is escaping from tank  
Tank Diameter: 1 meters Tank Length: .75 meters  
Tank Volume: 0.59 cubic meters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 40 kilograms Tank is 3% full  
Circular Opening Diameter: 50 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Release Duration: 1 minute  
Max Average Sustained Release Rate: 667 grams/sec  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 40.0 kilograms  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**THREAT ZONE:**

Model Run: Heavy Gas  
Red : 412 meters --- (20 ppm = AEGL-3(60 min))  
Orange: 1.0 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2(60 min))  
Yellow: 1.6 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1(60 min))

d) Situace č.4 – výbuch železniční cisterny naplněné LPG

**SITE DATA:**

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 hours DST (user specified)

**CHEMICAL DATA:**

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol  
TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm  
IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm  
Ambient Boiling Point: -43.0° 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: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters Relative Humidity: 5%

**SOURCE STRENGTH:**

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 2.5 meters Tank Length: 17 meters  
Tank Volume: 83.4 cubic meters  
Tank contains liquid  
Internal Storage Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 40 tons Tank is 87% full  
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%  
Fireball Diameter: 192 meters Burn Duration: 12 seconds

**THREAT ZONE:**

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball  
Red : 481 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)  
Orange: 679 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
Yellow: 1.1 kilometers --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)



f) Situace č.6 – únik amoniaku z chladícího zařízení

**SITE DATA:**

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 hours DST (user specified)

**CHEMICAL DATA:**

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol  
ERPG-1: 25 ppm ERPG-2: 150 ppm ERPG-3: 750 ppm  
IDLH: 300 ppm LEL: 160000 ppm UEL: 250000 ppm  
Ambient Boiling Point: -34.2° 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: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters Relative Humidity: 5%

**SOURCE STRENGTH:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 1 meters Tank Length: 2 meters  
Tank Volume: 1.57 cubic meters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 450 kilograms  
Tank is 46% full  
Circular Opening Diameter: 50 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Release Duration: 1 minute  
Max Average Sustained Release Rate: 7.5 kilograms/sec  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 450 kilograms  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**THREAT ZONE:**

Model Run: Heavy Gas  
Red : 446 meters --- (750 ppm = ERPG-3)  
Orange: 814 meters --- (150 ppm = ERPG-2)  
Yellow: 1.6 kilometers --- (25 ppm = ERPG-1)

g) Situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku

**SITE DATA:**

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 hours DST (user specified)

**CHEMICAL DATA:**

Chemical Name: HYDROGEN SULFIDE                      Molecular Weight: 34.08 g/mol  
ERPG-1: 0.1 ppm      ERPG-2: 30 ppm                      ERPG-3: 100 ppm  
IDLH: 100 ppm              LEL: 43000 ppm                      UEL: 455000 ppm  
Ambient Boiling Point: -61.1° 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: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest                      Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C                      Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters                      Relative Humidity: 5%

**SOURCE STRENGTH:**

Leak from hole in spherical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 2 meters                      Tank Volume: 4.19 cubic meters  
Tank contains liquid                      Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 2 tons                      Tank is 53% full  
Circular Opening Diameter: 30 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Release Duration: 1 minute  
Max Average Sustained Release Rate: 30.2 kilograms/sec  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 1,814 kilograms  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**THREAT ZONE:**

Model Run: Heavy Gas  
Red : 1.2 kilometers --- (100 ppm = ERPG-3)  
Orange: 1.8 kilometers --- (30 ppm = ERPG-2)  
Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.1 ppm = ERPG-1)

h) Situace č.8. – únik vodíku z potrubí s následným zahořením

**SITE DATA:**

Location: BRNO, CZECH REPUBLIC  
Building Air Exchanges Per Hour: .1 (user specified)  
Time: April 21, 2008 1435 hours DST (user specified)

**CHEMICAL DATA:**

Chemical Name: HYDROGEN Molecular Weight: 2.02 g/mol  
TEEL-1: 145000 ppm TEEL-2: 280000 ppm TEEL-3: 500000 ppm  
LEL: 40000 ppm UEL: 750000 ppm  
Ambient Boiling Point: -252.9° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 1 meters/second from 0° true at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: B  
Inversion Height: 50 meters Relative Humidity: 5%

**SOURCE STRENGTH:**

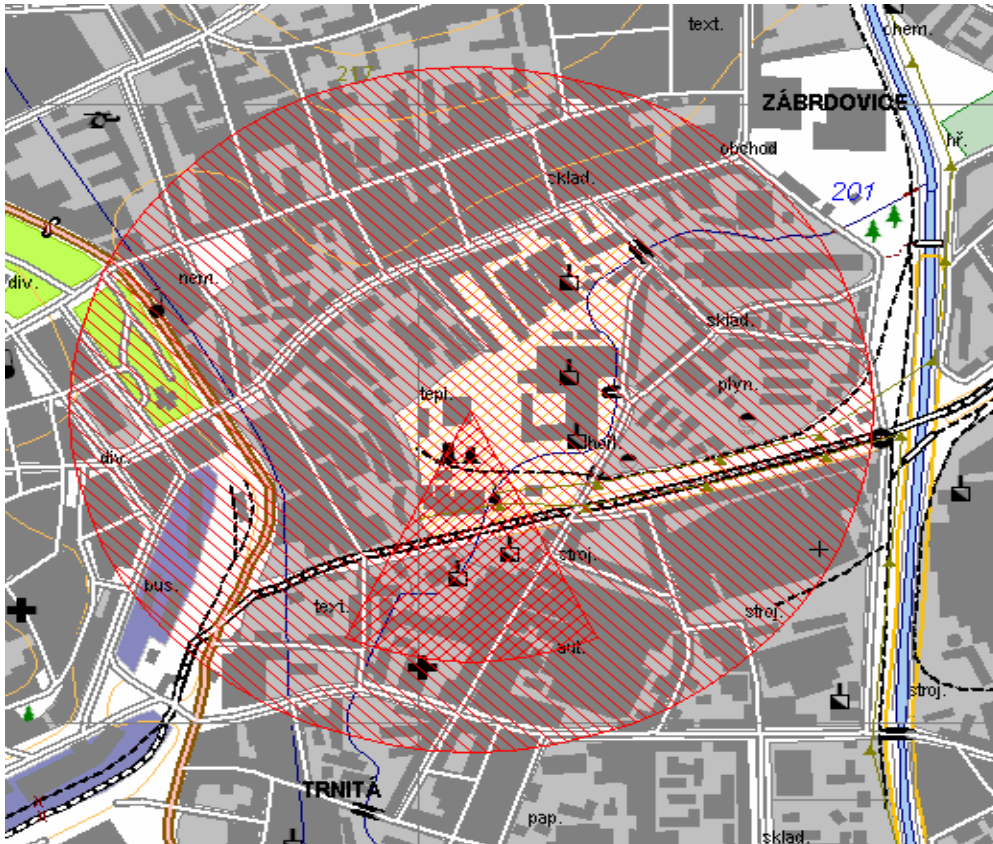
Flammable gas is burning as it escapes from pipe  
Pipe Diameter: 5 centimeters Pipe Length: 100 meters  
Unbroken end of the pipe is connected to an infinite source  
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 19.6 sq cm  
Pipe Press: 15 atmospheres Pipe Temperature: 20° C  
Max Flame Length: 2 meters  
Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Burn Rate: 105 kilograms/min  
Total Amount Burned: 1,344 kilograms

**THREAT ZONE:**

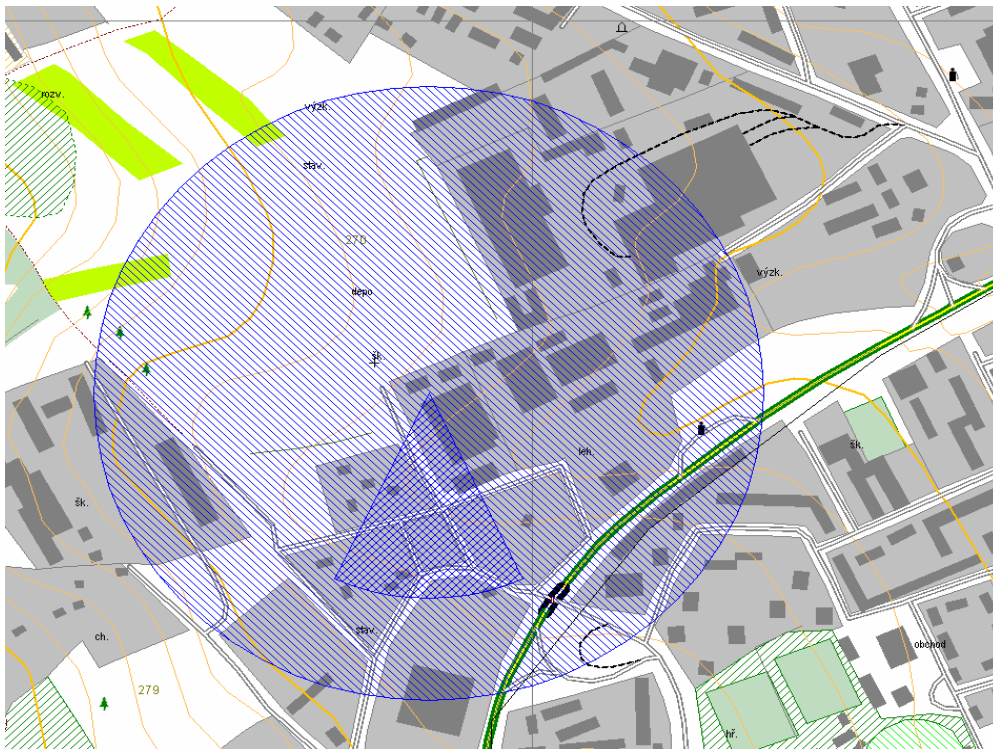
Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire  
Red : less than 10 meters(10.9 yards) --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)  
Orange: less than 10 meters(10.9 yards) --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
Yellow: 13 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

## PŘÍLOHA 4. Mapové výstupy TerEx

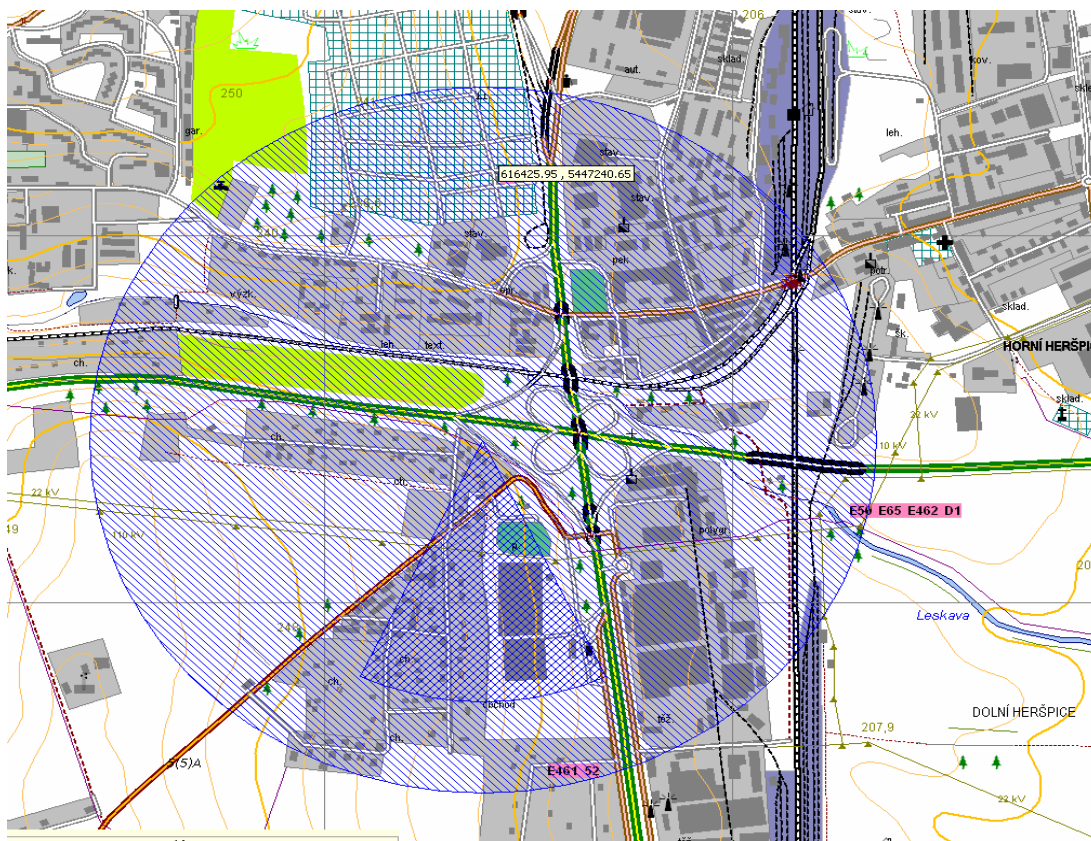
a) Situace č.1 – únik acetylenu ze zásobníku s následným zahořením



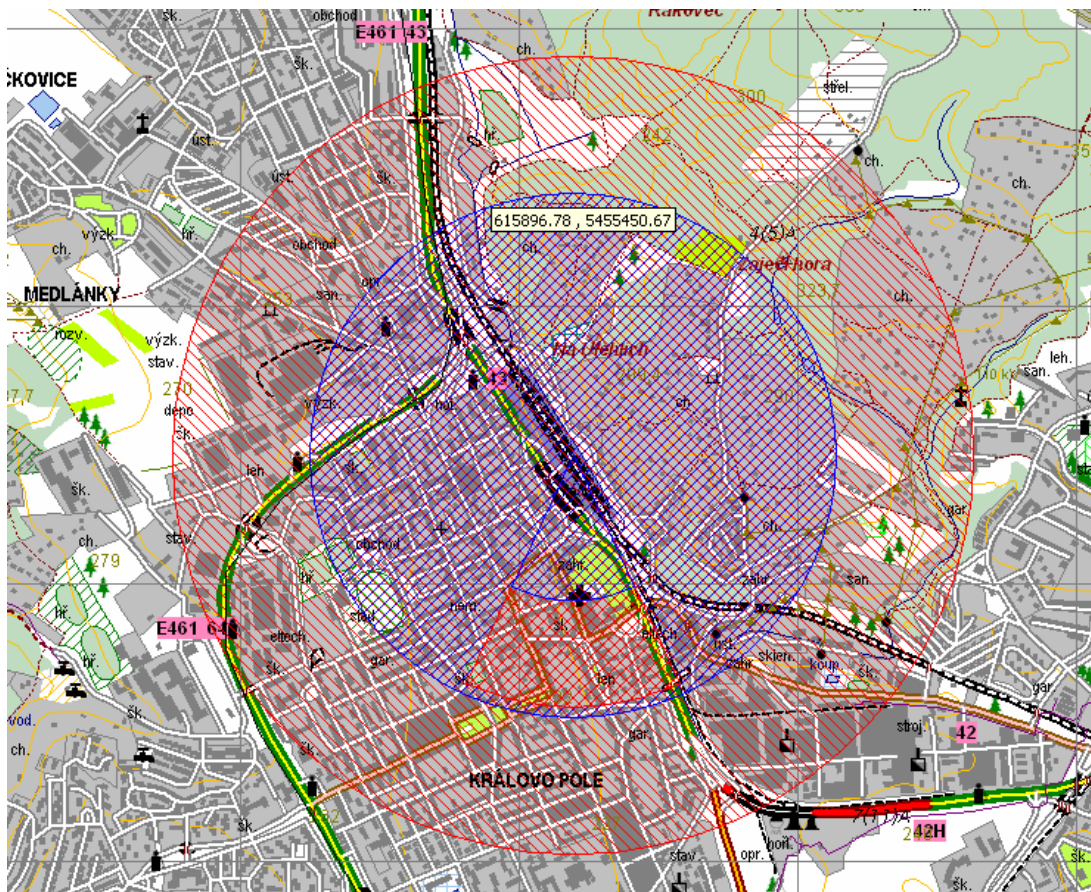
b) Situace č.2 – pomalý odpar bromu po rozbití zásobních láhví.



c) Situace č.3 – únik 40-ti kg chlóru z nákladního automobilu

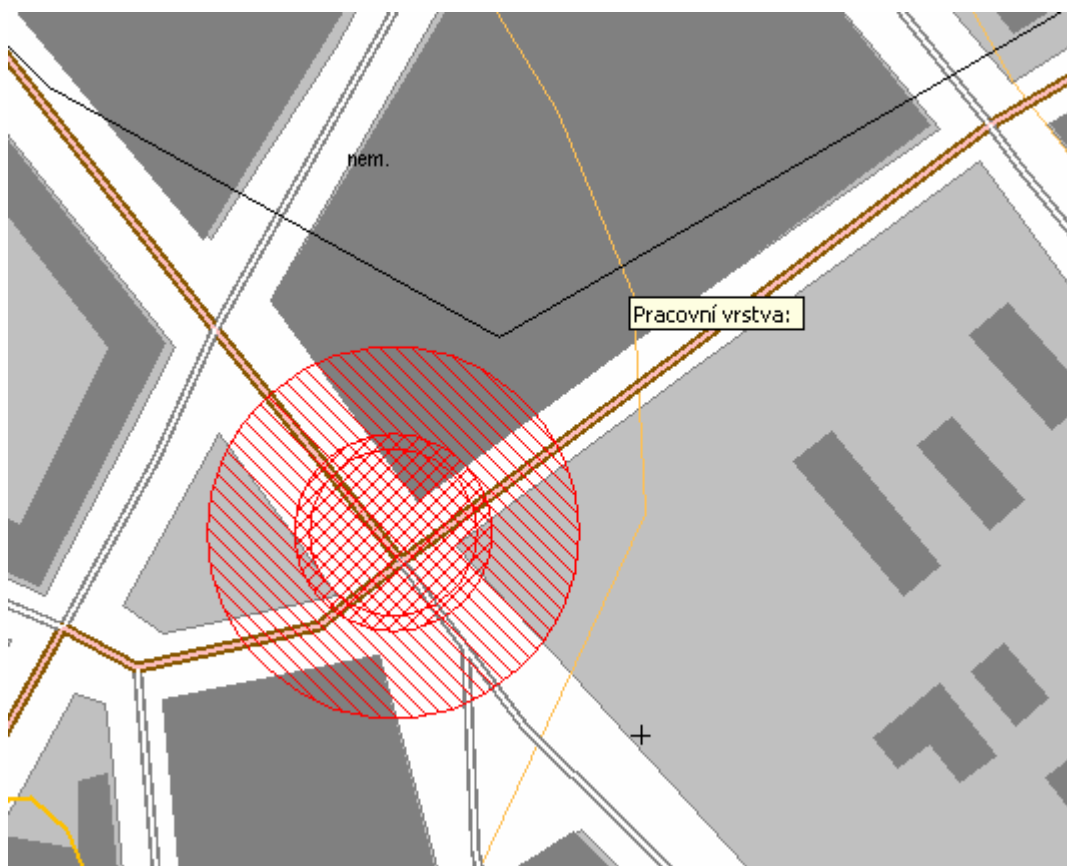


d) Situace č.4 – výbuch železniční cistny naplněné LPG

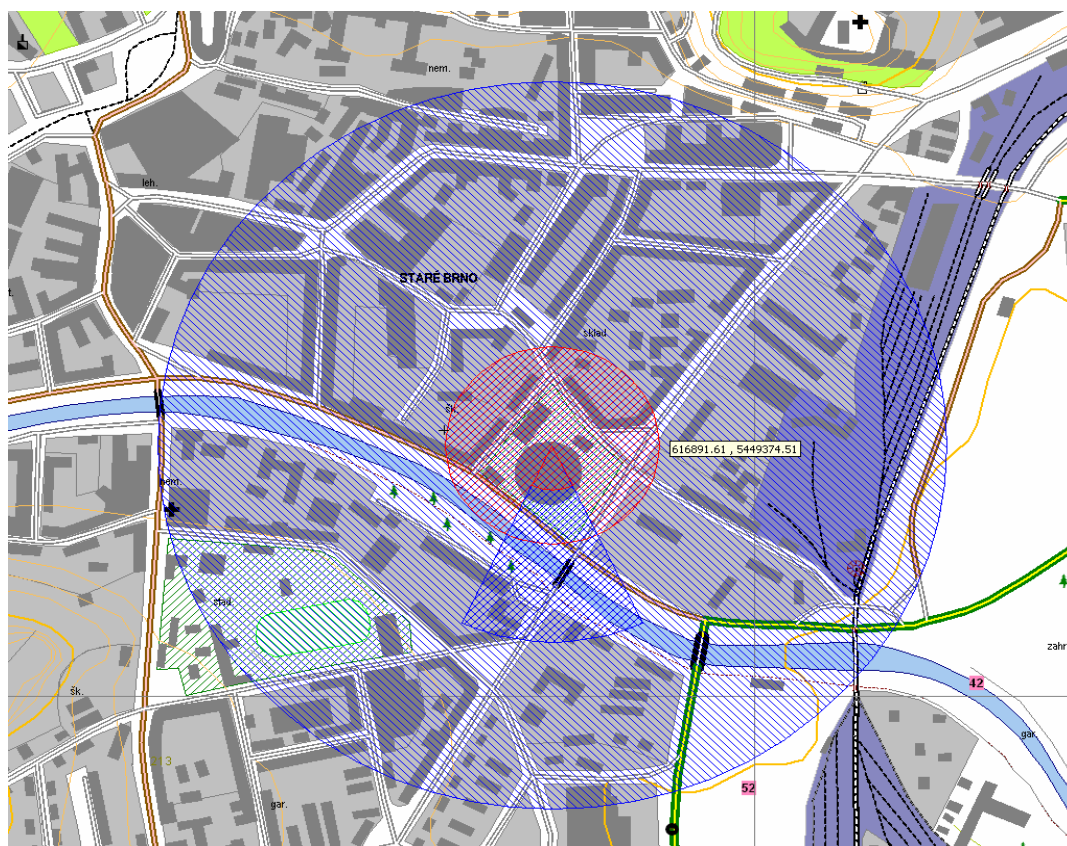




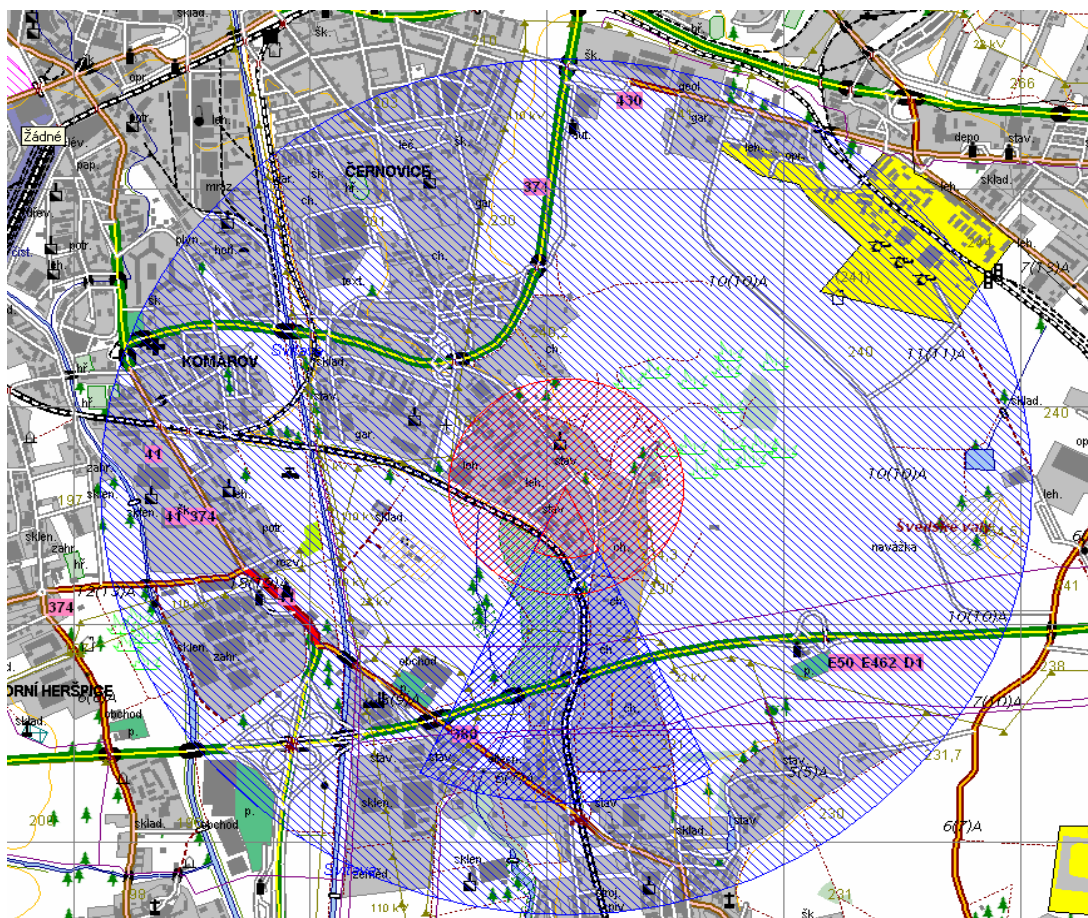
e) Situace č.5 – výbuch potrubí zemního plynu



f) Situace č.6 – únik amoniaku z chladicího zařízení



g) Situace č.7 – únik sirovodíku ze zásobníku



h) Situace č.8. – únik vodíku z potrubí s následným zahořením

