



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

ODHAD MOŽNÝCH NÁSLEDKŮ PŘI ÚNIKU **HOŘLAVÉ LÁTKY**

ESTIMATION OF THE POTENTIAL CONSEQUENCES OF THE RELEASE FLAMMABLE
SUBSTANCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL MIČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MAREK TABAS, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Miček

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojní inženýrství (2301R016)

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

Odhad možných následků při úniku hořlavé látky

v anglickém jazyce:

Estimation of the potential consequences of the release flammable substances

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Celá řada látek a přípravků v chemickém průmyslu je klasifikována jako hořlavé, vysoce hořlavé nebo extrémně hořlavé. Ačkoli mnoho nehod spojených s únikem hořlavé látky má jen omezené následky, pravděpodobnost významné havárie je poměrně vysoká.

Tato práce je zaměřena na vytipování hořlavých látek/přípravků, které se na nehodách v chemickém průmyslu nejčastěji podílí a odhad možných následků tzv. typových havárií.

Cíle bakalářské práce:

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

Seznam odborné literatury:

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 12.11.2012

L.S

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca bola zameraná na odhad možných následkov pri úniku horľavej látky. Práca je rozdelená do troch hlavných častí. V prvej časti sú obsiahnuté vybrané závažné priemyselné havárie vo svete aj v Českej Republike a niektoré pojmy spojené s následkami pri úniku horľavej látky. Druhá časť obsahuje stručný popis použitého programu (ALOHA 5.4.3) spolu s charakteristikou niektorých vstupných parametrov pre modelované typové havárie – požiar typu Jet Fire zo zariadení používaných pre transport LPG. V tretej časti sú následky havárie. V závere práce je vyhodnotenie následkov a ich porovnanie.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

typová havária, odhad následkov, požiar typu Jet Fire

ABSTRACT

This bachelor's thesis was aimed to estimate the potential consequences of release of a flammable substance. The work is divided into three main parts. The first part contains selected major industrial accidents in the world and in the Czech Republic and some terms related with the consequences of release of flammable substance. The second part contains a brief description of the program (ALOHA 5.4.3) together with the characteristics of some input parameters for the modeled accidents - fire type Jet Fire of equipment used for the transport of LPG. In the third part are the consequences of the accidents. In the conclusion of this work consequences of modeled accidents are evaluated and compared.

KEYWORDS

modeled accident, estimation of the potential consequences, fire type Jet Fire

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MIČEK, M. *Odhad možných následků při úniku hořlavé látky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Tabas, Ph.D..

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu *Odhad možných následků při úniku hořlavé látky* vypracoval samostatne pod vedením Ing. Mareka Tabasa, Ph.D. a s použitím uvedenej literatúry.

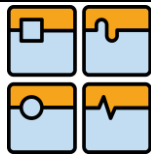
V Brne dňa 25. mája 2012

.....

Michal Miček


POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem vedúcemu svojej bakalárskej práce pánovi Ing. Marekovi Tabasovi, Ph.D. za ochotu, čas a odborné vedenie pri vypracovávaní tejto práce a za získané znalosti a cenné rady.



Obsah

1. ÚVOD.....	12
2. PREHĽAD VYBRANÝCH ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ	13
2.1 Priemyselné havárie v zahraničí	13
2.2 Priemyselné havárie v ČR	16
3. NIEKTORÉ POJMY SPOJENÉ S NÁSLEDKAMI PRI ÚNIKU HOREAVEJ LÁTKY	20
4. POPIS PROGRAMU ALOHA 5.4.3	21
5. IDENTIFIKÁCIA TYPOVEJ HAVÁRIE	23
5.1 Výber látky	24
5.2 Zariadenie	24
5.2.1 Železničná cisterna	25
5.2.2 Autocisterna	26
5.2.3 Tlakové fľaše	27
5.3 Uvažovaný scenár	27
5.4 Ostatné vstupné parametre potrebné pre odhad následkov v programe ALOHA 5.4.3	28
5.4.1 Meteorologické podmienky	28
5.4.2 Geografické údaje	28
5.4.3 Typ budovy a okolie budovy	29
5.4.4 Zhrnutie typových scenárov	29
6. VÝSLEDKY TYPOVÝCH HAVÁRIÍ	30
6.1 Výsledky pre železničnú cisternu	30
6.2 Výsledky pre autocisternu	32
6.3 Výsledky pre tlakové fľaše	33
6.4.Zhrnutie výsledkov	34
7. ZÁVER	36
ZOZNAM ZDROJOV	37
ZOZNAM OBRÁZKOV	39
ZOZNAM TABULIEK	40

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	


1. Úvod

V dnešnej dobe je pokrok v priemyselnej výrobe z veľkej časti utváraný hlavne ekonomickým pohľadom na výrobu. Zefektívňovanie procesu a zvyšovanie produktivity však nesie so sebou aj väčšie riziko vzniku nebezpečných situácií, a to hlavne ak výrobný proces zahŕňa prácu s nebezpečnými chemickými látkami. To môže viesť od malých technických porúch až po veľké priemyselné havárie, pri ktorých nie je ohrozené len životné prostredie, ale najmä ľudia (zamestnanci a obyvateľstvo v okolí podniku). Preto je veľmi dôležité klásť dôraz popri zefektívňovaní výroby aj na bezpečnosť a snahu predchádzať haváriám.

Z pohľadu do histórie je zrejmé, že začiatok väčšieho záujmu o priemyselnú bezpečnosť nastal približne v 80. a 90. rokoch minulého storočia. V tomto čase bolo zaznamenaných viacero závažných priemyselných havárií, ktoré v súvislosti s následkami podnietili záujem verejnosti. Medzi tie najznámejšie havárie patrí nepochybne talianske Seveso v roku 1976, pri ktorom do okolia unikol nebezpečný tetrachlordibenzoparadioxin. Zaznamenaných bolo 250 prípadov postihnutí, viac ako 700 ľudí bolo evakuovaných a oblasť dlhodobo kontaminovaná a uzavretá. Ešte v roku 1999 boli hodnoty trichlorethylenu v podzemnej a pramenitej vody v tejto oblasti 50 krát vyššie ako povoľovali bezpečnostné limity a dodnes sa tam rodia deti s genetickým postihnutím. K ďalším veľkým haváriám v roku 1974 patrí Flixborough Works vo Veľkej Británii (28 mŕtvych, 36 zranených, 1821 domov poškodených), roku 1984 Pemex v Mexiku (až 600 mŕtvych, až 7000 popálenín) a iné.

Hlavne na podklade týchto havárií sa začala rozvíjať nová odborná disciplína, bezpečnostné inžinierstvo, ktoré si kladie za cieľ predchádzať haváriám, prípadne minimalizovať škodlivé následky havárií, a to predovšetkým na zdraví ľudí, zvierat, životného prostredia či majetku. V legislatívnej oblasti to rieši direktíva SEVESO a v ČR zákon č. 59/2006 Sb., v ktorých sú obsiahnuté príslušné predpisy a systémy prevencie havárií spôsobené nebezpečnými chemickými látkami. Bezpečnostné inžinierstvo je založené na identifikácii nebezpečenstva a hodnotenie rizika. Pre tento účel je využívaná celá rada metód, postupov a programov. Veľmi významnou oblasťou v bezpečnostnom inžinierstve je odhad možných následkov pri úniku horľavých látok, a to hlavne s ohľadom na významnosť následkov a frekvenciu výskytu, ktorú dokumentujú havárie v priemysle.

Cieľom tejto bakalárskej práce bude vytypovanie horľavých látok, ktoré sa na nehodách v priemysle podieľajú najčastejšie a odhad možných následkov pri úniku danej látky, tzv. typovej havárie.

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2. Prehľad vybraných závažných havárií

2.1 Priemyselné havárie v zahraničí

Masachusetts - 1905, USA

Dňa 20. marca roku 1905 došlo v mestečku Brockton k havárii v továrni na topánky firmy Grover Shoe. V prevádzke bol dočasne zapojený starý kotol, ktorý bol zdrojom explózie. Štvorposchodová drevená budova sa zrútila, zahynulo 58 ľudí a 150 ľudí bolo zranených. Katastrofa priniesla pozornosť na priemyselnú bezpečnosť a sprísnenie bezpečnostných predpisov [1].

Halifax - 1917, Kanada

K výbuchu došlo dňa 6. decembra v roku 1917 v kanadskom prístave Halifax. K havárii došlo zrážkou francúzskej lode „Mont Blanc“, ktorá prevážala tony výbušných látok a nórskej lode „IMO“. Bol to najväčší výbuch spôsobený človekom pred vývojom jadrových zbraní. Tlaková vlna výbuchu zdemolovala takmer celú severnú časť mesta - Richmond District of Halifax, viac ako 4000 ľudí zomrelo a celková škoda bola vyčíslená na 35 miliónov kanadských dolárov [2].

Feyzen - 1966, Francúzsko

Dňa 4. januára v roku 1966 došlo pri každodennej technologickej operácii v rafinérii k prasknutiu zásobníka s propánom. Iniciácia nastala neďalekým autom, po čom nasledoval výbuch typu BLEVE. Neskôr explodovali ďalšie 4 zásobníky s benzínom a olejom. Trvalo 48 hodín, kým sa podarilo dostať požiar pod kontrolu. Explózia usmrtila 17 ľudí, 80 ľudí bolo zranených. Príčinou prvej explózie bola zlá konštrukcia odpúšťania zásobníku [3].

Flixborough - 1974, Veľká Británia

V júni roku 1974 došlo k úniku približne 30 ton cyklohexánu z reaktoru firmy Nypro. Dôvodom bolo zle navrhnuté dočasné potrubné vedenie, ktoré nebolo ani riadne skontrolované. Po zmiešaní pár a vzduchu došlo k iniciácii a následnému výbuchu a požiaru. Výbuch mal silu porovnateľnú s výbuchom 15 ton TNT. Pri havárii došlo ku 28 smrteľným zraneniam, 36 zraneniam v rámci podniku a 400 zraneniam v okolí. Škoda bola vyčíslená zhruba na 412 mil. amerických dolárov [4].



Obr. č. 1: Havária vo Flixborough

Illinois - 1984, USA

Smrtelná havária nastala dňa 23. júla 1984 v rafinérii firmy Union Oil Company. Z poškodenej nádrže sa vznietil unikajúci plyn, čo viedlo k následnému výbuchu. Plamene pohltili takmer celú rafinériu. Bolo zaznamenaných 19 úmrtí a škoda bola odhadnutá približne na 500 miliónov amerických dolárov [5].

San Juanico - 1984, Mexiko

Jedna z najväčších havárií sa stala 19. novembra v roku 1984 v Mexickom meste San Juanico. Trhlina na potrubí spôsobila, že unikajúci plyn sa vetrom dostal k poľnému horáku, po čom nasledovala séria výbuchov. Explózia zničila zariadenie a zdevastovala časť mesta San Juan Ixhuatepec. Až 600 ľudí bolo usmrtených a až 7000 utrpelo popáleniny [6].



Obr. č. 2: Havária v San Juanico

**Bhopál - 1984, India**

V noci z 2. na 3. decembra v roku 1984 došlo v indickom meste Bhopál k najväčšej priemyselnej havárii. Do jedného zo zásobníkov chemického podniku obsahujúceho 40m^3 methylisokyanátu vnikla voda, čo malo za následok okamžitú reakciu. Behom hodiny uniklo do ovzdušia až 30 ton toxickej látky, ktorá sa dostala do obytnej časti mesta. Následky boli tragické. Zomrelo 2500 ľudí, 50 000 ľudí bolo intoxikovaných a 200 000 ľudí bolo evakuovaných [7], [8].

Louisiana - 1988, USA

Havária sa stala 4. mája v roku 1988 v rafinérii podniku Shell. Príčinou bol únik 20 000 libier uhl'ovodíkov C-3 zo skorodovaného potrubia a následné vznietenie a výbuch, ktorý bolo počuť až 25km ďalej v New Orleans. Trvalo 8 hodín, pokiaľ požiarnici dostali požiar pod kontrolu. Explózia si vyžiadala 7 mŕtvych, 48 zranených, únik toxických chemikálií do ovzdušia a 4500 evakuovaných ľudí. Obyvatelia dodnes trpia na následky úniku toxických látok [9].

Toulouse - 2001, Francúzsko

K jedným z najväčších priemyselných havárií došlo dňa 21. septembra 2001 vo francúzskom meste Toulouse vo výrobnom závode spoločnosti Grande Paroisse Company. Výbuchu namerali hodnotu 3,4 Richtrovej stupnice a mal odhadovanú silu 20 až 40 ton TNT, čo zanechalo kráter široký 200 metrov a hlboký až 30 metrov. Pri explózií až 450 ton dusičnanu amónneho prišlo o život 30 ľudí, 2200 ľudí bolo zranených a škoda na majetku približne 1,5 miliardy euro [10].

Texas City - 2005, USA

Dňa 23. marca v roku 2005 došlo k havárii v rafinérii firmy BP. Podľa správy rafinéria mala radu nedostatkov vo vybavení, údržbe a celkový stav bol nevyhovujúci. Explózia usmrtila 15 ľudí a vyše 170 ich zranila. The Occupational Safety and Health Administration udelilo BP pokuty za stovky bezpečnostných porušení [11].



Obr. č. 3: Havária v Texas City

2.2 Priemyselné havárie v Českej Republike

Záluží u Mostu - 1974

V meste Záluží u Mostu došlo k havárii vo vtedajšej výrobni liehu dňa 19. júla v roku 1974. Zo skorodovaného potrubia začal unikať plyn. Výbuch mal silu 20 - 30 ton TNT a následkom bolo 17 mŕtvych, 124 zranených a výbuch zničil 313 objektov v okolí, medzi ktorými boli aj rodinné domy [12].



Obr. č. 4: Havária v Záluží u Mostu

Litvinov - 1996

V areáli chemických závodov Chemopetrol a.s došlo k havárii dňa 23. novembra v roku 1996. Ako najpravdepodobnejšia príčina sa javil únik benzínu z poškodeného potrubia a následná iniciácia so statickým výbojom v mieste predkanálie. Hasenie trvalo 7 dní a nocí, pričom neustále hrozila možnosť ďalších výbuchov [13].



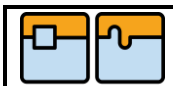
Obr. č. 5: Havária v Lítvinove

Kralupy nad Vltavou - 2007

K výbuchu a následnému požiaru v areáli Kaučuk Kralupy došlo dňa 13. septembra 2007. Počas požiaru sa v areály nachádzali aj barely s lítium, ktoré ešte niekoľkokrát explodovali. Príčinou bola pravdepodobne technická porucha. Havária sa zaobišla bez zranení, no škoda bola vyčíslená približne na 10mil. Kč [14].



Obr. č. 6: Havária v Kralupoch nad Vltavou

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pardubice - 2010

Dňa 21. augusta v roku 2010 došlo v areáli chemičky Synthesia v pardubickej mestskej časti Semtín k výbuchu nitroglycerínu a k následnému úniku nitróznych plynov. Pri havárii zahynuli 4 ľudia a zanechali značné materiálne škody [15].



Obr. č. 7: Havária v Pardubiciach



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tab. č. 1: Zhrnutie havárií uvedených v kapitole 2.1 a 2.2

Miesto havárie	Látka	Množstvo látky	Následky
Massechusetts, USA	para	neznáme	58 mŕtvych, 150 zranených,
Halifax, Kanada	kyselina pikrová, trinitrotoluen, piroxylin, benzol	2300 ton, 200 ton, 10 ton, 35 ton	4000 mŕtvych,
Feyzen, Francúzsko	propán	450 ton	17 mŕtvych, 80 zranených
Flixborough, GB	cyklohexán	30 ton	28 mŕtvych, 436 zranených
Illinois, USA	zemný plyn	34 ton	19 mŕtvych
San Juanico, Mexiko	bután, propán	10960 m ³ 2740 m ³	600 mŕtvych, 7000 zranených
Bhopál, India	toxické látky	42 ton	2500 mŕtvych
Louisiana, USA	uhl'ovodík	9 ton	7 mŕtvych, 48 zranených
Toulouse, Francúzsko	dusičnan amónny	450 ton	30 mŕtvych, 2200 zranených
Texas City, USA	uhl'ovodík	neznáme	17 mŕtvych, 170 zranených
Záluží u Mostu, ČR	etylén	neznáme	17 mŕtvych, 125 zranených
Lítvinov, ČR	benzín	neznáme	zdemolované zariadenie
Kralupy nad Vltavou, ČR	kvapalný kaučuk	neznáme	škoda za 10mil. Kč
Pardubice, ČR	nitroglycerín	neznáme	4 mŕtvi

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3. Niektoré pojmy spojené s následkami pri úniku horľavej látky

Únik horľavej (toxickej) látky sa dá rozdeliť na dva typy [16]:

- **únik okamžitý** (únik určitého množstva látky za krátku dobu)
- **únik kontinuálny** (únik určitého množstva látky trvajúci dlhšiu dobu)

S ohľadom na vlastnosti látky a typ úniku (okamžitý/kontinuálny) sa pri úniku horľavej látky rozoznávajú tieto typy následkov [16]:

- **Flash Fire** - rýchlosť plameňa je nižšia ako rýchlosť zvuku v danom prostredí, obvykle bez nárastu tlaku
- **Boiling Liquid, Expanding Vapor Explosion (BLEVE)** - typ havárie, pri ktorej dochádza k roztrhnutiu tlakovej nádoby na základe expanzie pár skladovanej horľavej látky vplyvom okolitého požiaru. Podmienkou na vznik takejto havárie je skladovanie kvapalín s nízkym bodom varu pod tlakom. Medzi následky pri vzniku BLEVE sú fireball (požiar v tvare stúpajúceho horľavého mraku alebo gule), tlaková vlna a fragmenty.
- **Vapour Cloud Explosion (VCE)** - výbuch oblaku pár je detonačné horenie, ktoré nemusí byť vždy sprevádzané tlakovou vlnou.
- **Rozptyl látky** - používa sa pri modelovaní dejov, pri ktorých sa prenáša teplo prúdením a difúziou. Rozptyl je vo veľkej miere ovplyvňovaný atmosférickými podmienkami (teplota ovzdušia, smer a rýchlosť vetra, trieda stability ovzdušia a iné) a topografiou.
- **Flare** - horenie unikajúceho plynu alebo pary.
- **Pool Fire** - horenie pár nad hladinou horľavej látky.
- **Jet Fire** - horenie dvojfázovej zmesi typu kvapalina - para pri plynulom úniku.

Niektoré ďalšie teoretické pojmy [16]:

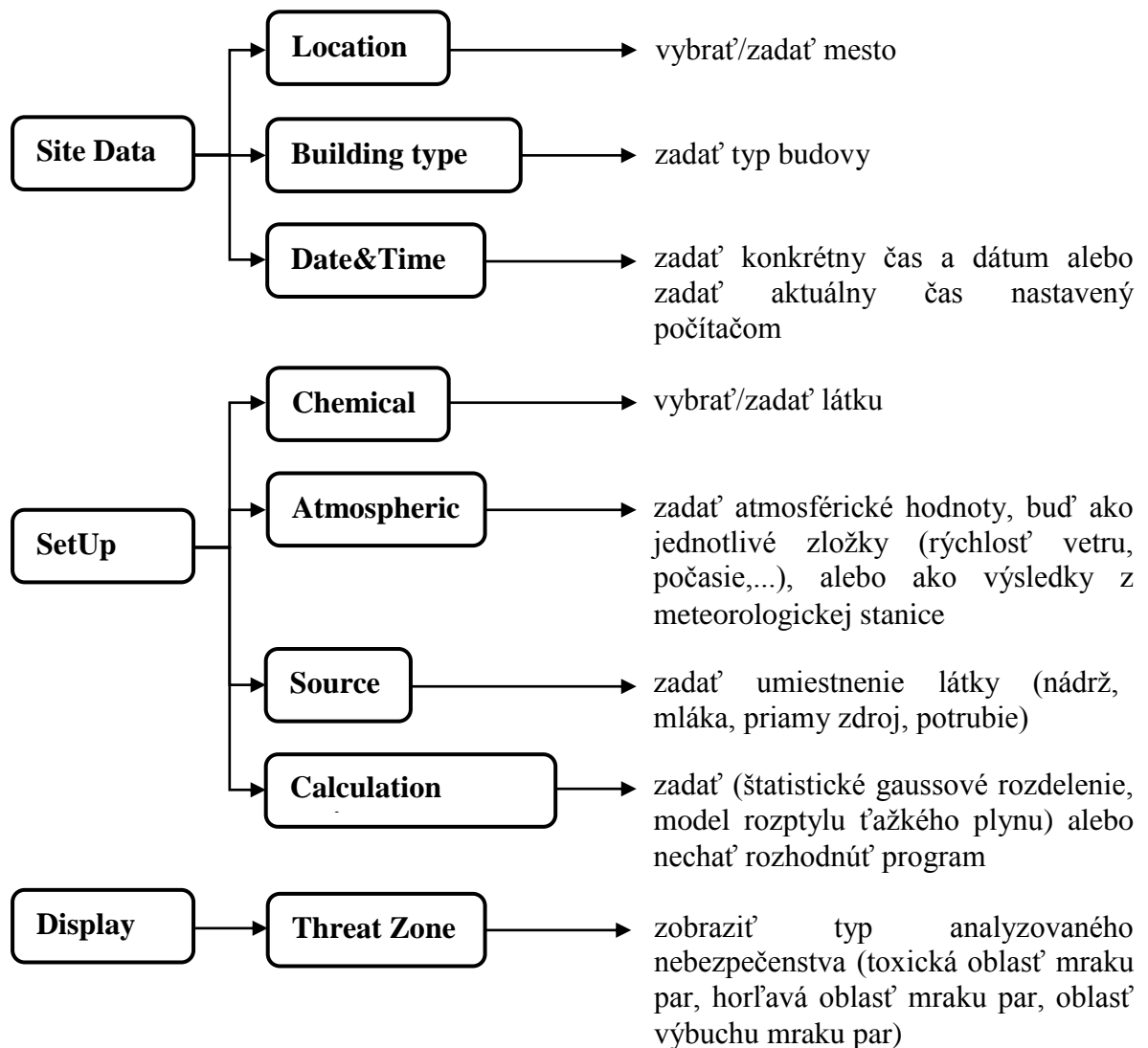
- **Požiar** - tepelná radiácia spôsobená nežiaducim horením, pri ktorej môže dôjsť k zraneniam obyvateľstva (fatálne zranenia), poškodeniu majetku alebo ohrozeniu životného prostredia.
- **Výbuch** - alebo explózia je exotermická reakcia, pri ktorej nastáva veľké uvoľnenie energie a tepla, často sprevádzané svetelným a zvukovým efektom. Na vznik výbuchu je potrebná koncentrácia medzi dolnou a hornou medzou výbušnosti a zdroj iniciácie. Výbuch, okrem tepelného toku, má za následky aj tlakovú vlnu a fragmenty. Explózia sa delí na deflagráciu a detonáciu.
- **Deflagrácia** - šírenie výbuchu podzvukovou rýchlosťou.
- **Detonácia** - šírenie výbuchu nadzvukovou rýchlosťou.



4. Popis programu ALOHA 5.4.3

ALOHA 5.4.3 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) je program vyvinutý americkou agentúrou U.S. EPA (Enviromental Protection Agency). Používa sa najmä v bezpečnostnom inžinierstve na odhad následkov havárií s nebezpečnými toxickými alebo horľavými látkami. Dokáže určiť približný rozsah pri úniku nebezpečnej látky ako aj oblasť zasiahnutú výbuchom alebo horením látky resp. rozptyl toxického mraku. Výsledky vykresľuje pomocou aplikácie MARPLOT, ktorá je súčasťou programu, na grafické pozadie. Program obsahuje databázu vlastností asi tisíc látok, ktoré sa najčastejšie vyskytujú v priemysle. V prípade potreby je možné doplniť databázu o menej bežné látky. Pri výpočtoch vyžíva štatistické gaussové rozdelenie alebo model ťažkého plynu. Treba mať na pamäti, že program pracuje s určitými obmedzeniami, a preto výsledky sú iba približné [17].

Pri výpočtoch v programe ALOHA 5.4.3 je nutné zadať nasledujúce vstupné parametre. vid' obr. č. 7



Obr. č. 8: Vstupné parametre v programe ALOHA 5.4.3

Všetky parametre majú vplyv na výsledky. Medzi parametre, ktoré najvýznamnejšie ovplyvňujú výsledok patria atmosférické podmienky (rôzny vplyv na rozptyl látky, šírenie látky atď.).

Program ALOHA 5.4.3 umožňuje odhad následkov pre nasledujúce typy zariadení a scenáre, viď nasledujúcu tabuľku [17].

Tab. č. 2: Typy zariadení a scenáre programu ALOHA 5.4.3

Zariadenie	Toxický scenár	Scenár horľavosti	Scenár výbuchu
Priamy zdroj			
Priamy únik	Toxický mrak par	Flash Fire	VCE
Mláka			
Vyparovanie	Toxický mrak par	Flash Fire	VCE
Pool Fire		Pool Fire	
Nádrž			
Nehoriaca	Toxický mrak par	Flash Fire	VCE
Horiaca		Jet Fire/Pool Fire	
BLEVE		BLEVE	
Potrubie			
Nehoriace	Toxický mrak par	Flash Fire	VCE
Horiaci(Jet Fire)		Jet Fire	

Pri toxickom scenári sa uvažujú tieto následky [17]:

- **Toxický mrak** - koncentrácia nebezpečnej - toxickkej látky vo vzduchu s účinkami na ľudský organizmus

Pri scenári horľavosti sa uvažujú tieto následky [17]:

- **Intenzita tepelného žiarenia** - tepelný tok s účinkami na ľudský organizmus
- **Oblak horľavej látky** – koncentrácia nebezpečnej – horľavej látky vo vzduchu, pri ktorej môže vzniknúť nebezpečenstvo vznietenia

Pri scenári výbuchu sa uvažujú tieto následky [17]:

- **Pretlak výbuchu** - sila tlakovej vlny

Pre scenáre spojené s únikom horľavej látky môže byť jeden z následkov aj tepelné žiarenie. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené následky na ľudský organizmus (silná bolesť/popáleniny druhého stupňa) pre vybrané intenzity tepelného žiarenia [17].

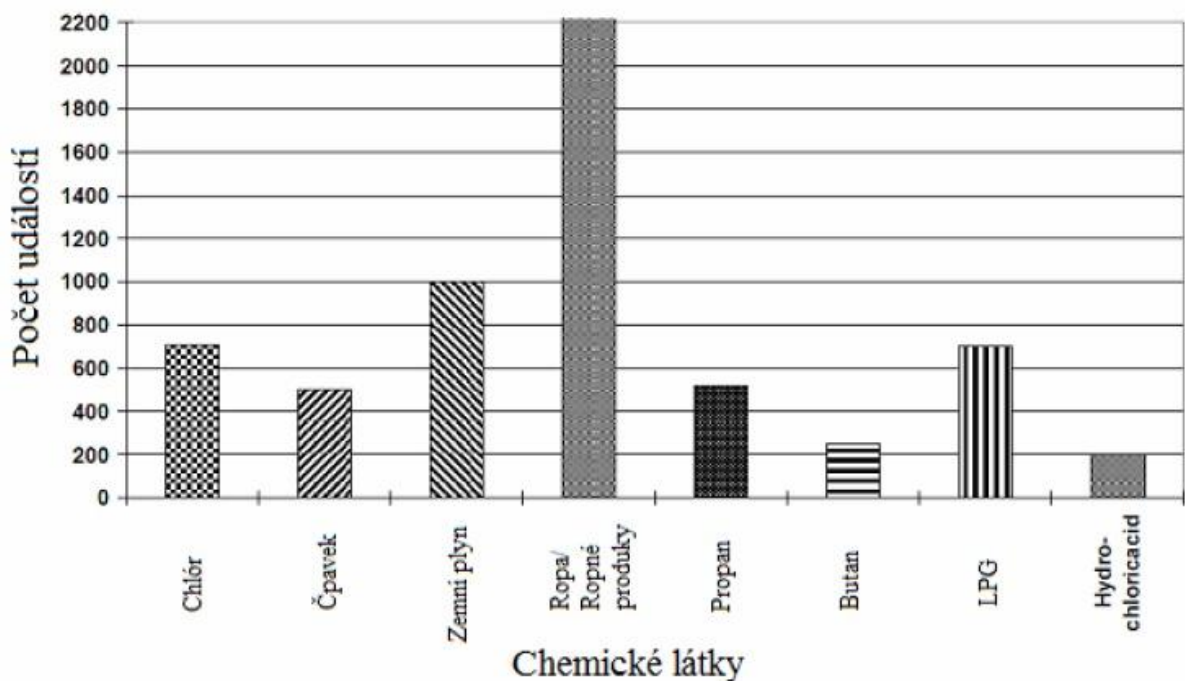


Tab. č. 3: Zranenia od intenzity tepelného žiarenia

Intenzita tepelného žiarenia (kW/m ²)	Čas na silnú bolesť (s)	Čas na popáleniny druhého stupňa (s)
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

5. Identifikácia typovej havárie

S ohľadom na havárie spojené s únikom horľavej látky v Českej Republike a v zahraničí (viď. kapitola 2) a zo štatistík, viď. nasledujúci obrázok (obr. č. 10) je zrejmé, že niektoré látky sa vo významných haváriách zúčastňujú častejšie ako iné. Medzi významných účastníkov havárií sa radia horľavé kvapaliny (ropné produkty) a plyny, resp. skvapalnené plyny (napr. propán, bután, LPG atď.).



Obr. č. 9: Závislosť medzi chemickou látkou a počtom udalostí

Vzhľadom na počet udalostí (závažných havárií) a možných následkov bol zvolený propán-bután (LPG) ako uvažovaná typová látka.

5.1 Výber látky

Propán - bután, tiež známy aj ako rafinérsky plyn sa používa samostatne ako palivo pre vykurovacie zariadenia. Tvorí hlavnú časť skvapalneného ropného plynu LPG (Liquid Petroleum Gas), ktoré sa používa aj ako palivo pre motorové vozidlá. Je to zmes propánu a butánu, v zime je to 60% propánu a 40% butánu, v lete naopak. Vyrába sa rafináciou. V súčasnosti zaberá asi 3% celkovej spotrebnej energie. Keďže LPG je plyn, nespôsobuje žiadne znečistenia zemi alebo vode. Je bez farby, chuti a zápachu, preto sa do LPG pridáva látka s výraznou vôňou, odorizant. Má mierne toxické účinky. Najčastejšie sa skladuje v tlakových fľašiach alebo zásobníkoch. Niektoré jeho vlastnosti sú uvedené v nasledujúcej tabuľke [18].

Tab. č. 4 : Vlastnosti látok propán a bután

	Bután	Propán
Chemický vzorec	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈
Molárna hmotnosť	58,123 g/mol	44,0962 g/mol
Kritická teplota	425,2 K	369,89 K
Kritický tlak	3,800 MPa	4,256 MPa
Kritický objem	255 cm ³ /kmol	200 cm ³ /kmol
Teplota topenia	134,75 K	86,15 K
Teplota varu	272,65 K	231,15 K
Teplota vznietenia	693,15 K	748,15 K
Výhrevnosť	2660,5 MJ/kmol	2045,6 MJ/kmol
Hustota ako plyn pri 15°C	2,48 kg/ m ³	1,910 kg/ m ³
Hustota ako kvapalina pri 0°C	600 kg/ m ³	582 kg/ m ³
Rozpustnosť vo vode pri 20°C	0,084 mg/ml	0,076 mg/ml

5.2 Zariadenie

Obvyklé zariadenia na prepravu a skladovanie LPG sú železničné cisterny, autocisterny, zásobníky a tlakové fľaše. Vzhľadom k relatívne vysokej hustote prepravy LPG po verejných komunikáciách (cesty, železnice) a nižšiemu stupňu zabezpečenia boli uvažované mobilné zariadenia tzn. železničné cisterny, autocisterny, a tlakové fľaše.

Obvyklé veľkosti mobilných zariadení:

- **Železničné cisterny** - objemy 65 m³ až 95 m³.
- **Autocisterny** - objemy 13 m³ až 21 m³.
- **Tlakové fľaše** - hmotnosti 0,4 kg až 33 kg.



5.2.2 Autocisterna

Obrázok typickej autocisterny o objeme 18 m³ je na nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 11: Autocisterna značky IVECO o objeme 18 m³

Základné technické údaje:

Tab. č. 6: Technické údaje autocisterny

Objem	18 m³
Dĺžka valcovej časti	5730 mm
Priemer valcovej časti	2000 mm
Hrúbka steny valcovej časti	10,5 mm
Prevádzkový pretlak	1 MPa
Skúšobný pretlak	2,7 MPa
Prevádzková teplota	-20 až +50 °C
Prielez	DN600
Plynná fáza	DN50
Kvapalná fáza	DN80



5.2.3 Tlakové fľaše

Obrázok tlakových fliaš o váhe 2 kg, 10 kg a 33 kg je na nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 12: Tlakové fľaše o váhe 2 kg, 10 kg a 33 kg značky PRIMAGAS

Základné technické údaje:

Tab. č. 7: Technické údaje tlakových fliaš

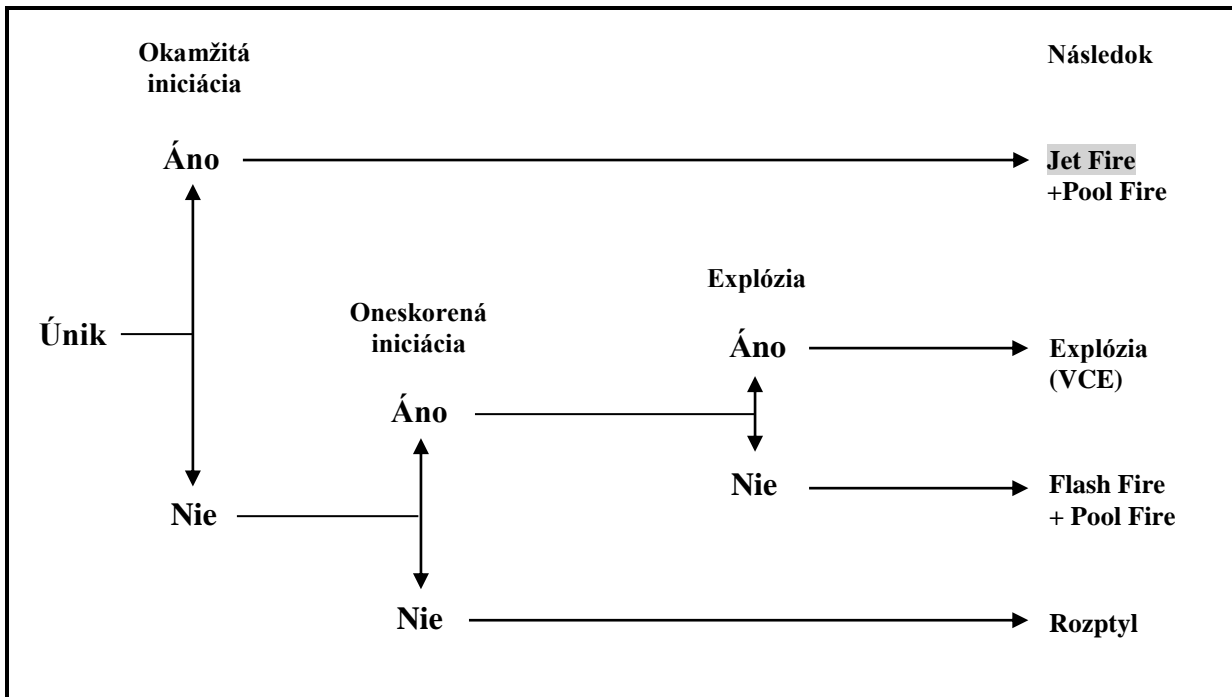
Váha	2 kg	10 kg	33 kg
Priemer valcovej časti	220 mm	300 mm	300 mm
Výška valcovej časti	235 mm	450 mm	930 mm
Pripojovacie potrubie/hadice	DN25	DN25	DN25

5.3 Uvažovaný typový scenár

Pre skvapalnené plyny (napr. LPG) uvádza odborná literatúra nasledujúce scenáre [19]:

- Rozptyl
- Flash Fire
- Jet Fire
- VCE
- BLEVE

Popis následkov jednotlivých scenárov je uvedený v kapitole 3. S ohľadom na rozsah bakalárskej práce bol uvažovaný scenár typický pre kontinuálny únik látky - Jet Fire.



Obr. č. 13: Uvažované scenáre pre kontinuálny únik skvapalnených plynov

5.4 Ostatné vstupné parametre potrebné pre odhad následkov v programe ALOHA 5.4.3

5.4.1 Meteorologické podmienky

Tab. č. 8: Meteorologické podmienky

Rýchlosť vetra	5 m/s
Smer vetra	SE
Teplota	20 °C
Meranie nad zemou	10 m
Typ krajiny	otvorená krajina
Oblačnosť	čiastočne zamračené
Inverzia	bez inverzie
Vlhkosť vzduchu	75 %

5.4.2 Geografické údaje

Tab. č. 9: Geografické údaje

Názov	Brno
Nadmorská výška	334 m.n.m.
Severná šírka	49 ° 12 ´
Východná dĺžka	16 ° 37 ´

Pri zadávaní údajov sa uvažuje, že Brno neleží v U.S. a časový posun zo štandardného času na GMT je -1 hodina.

5.4.3 Typ budovy a okolie budovy

Tab. č. 10: Typ budovy a okolie budovy

Typ budovy	jednopodlažná budova
Okolie budovy	nechránené okolie

5.4.4 Zhrnutie typových scenárov

Keďže program ALOHA 5.4.3 neobsahuje látku propán - pután bol pri výpočtoch bola konzervatívne zvolená látka propán. Obsah látky(plnenie zariadení) bol uvažovaný 85% z celkového objemu.

Tab. č. 11: Typové scenáre

Zariadenie	Údaje zariadenia		Ostatné podmienky	Typ následkov
Železničná cisterna	Objem	95 m ³	Rýchlosť vetra - 5 m/s Smer vetra - SE Teplota - 20 °C Meranie nad zemou - 10 m Typ krajiny - otvorená krajina Oblačnosť - čiastočne zamračené Inverzia - bez inverzie Vlhkosť vzduchu - 75 % Lokalita - Brno Nadmorská výška - 334 m.n.m Severná šírka - 49 ° 12 ' Východná dĺžka - 16 ° 37 ' Budova - jednopodlažná budova Nechránené okolie	Rozptyl
	Dĺžka v. č.	13400 mm		Flash Fire +Pool Fire
	Priemer v. č.	3000 mm		BLEVE
	Obsah látky	40542 kg		Jet Fire +Pool Fire
Autocisterna	Objem	18 m ³	Typ krajiny - otvorená krajina Oblačnosť - čiastočne zamračené Inverzia - bez inverzie Vlhkosť vzduchu - 75 % Lokalita - Brno Nadmorská výška - 334 m.n.m Severná šírka - 49 ° 12 ' Východná dĺžka - 16 ° 37 ' Budova - jednopodlažná budova Nechránené okolie	Rozptyl
	Dĺžka v. č.	5730 mm		Flash Fire +Pool Fire
	Priemer v. č.	2000 mm		BLEVE
	Obsah látky	7682 kg		Jet Fire +Pool Fire
Tlakové fľaše	Váha	2 kg, 10 kg, 33 kg	Lokalita - Brno Nadmorská výška - 334 m.n.m Severná šírka - 49 ° 12 ' Východná dĺžka - 16 ° 37 ' Budova - jednopodlažná budova Nechránené okolie	Rozptyl
	Výška v. č.	235 mm, 450 mm, 930 mm		Flash Fire +Pool Fire
	Priemer v. č.	220 mm, 300 mm, 300 mm		BLEVE
	Obsah látky	1,7 kg, 8,5 kg, 28,05 kg		Jet Fire +Pool Fire

6. Výsledky typových havárií

6.1 Výsledky pre železničnú cisternu:

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical is burning as it escapes from tank

Tank Diameter: 3 m

Tank Length: 13.4 m

Tank Volume: 95 m³

Tank contains liquid

Internal Temperature: 20° C

Chemical Mass in Tank: 40,542 kg

Tank is 85% full

Circular Opening Diameter: 8 cm

Opening is 0 m from tank bottom

Max Flame Length: 31 m

Burn Duration: 22 min

Max Burn Rate: 1,980 kg/min

Total Amount Burned: 40,542 kg

Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

THREAT ZONE:

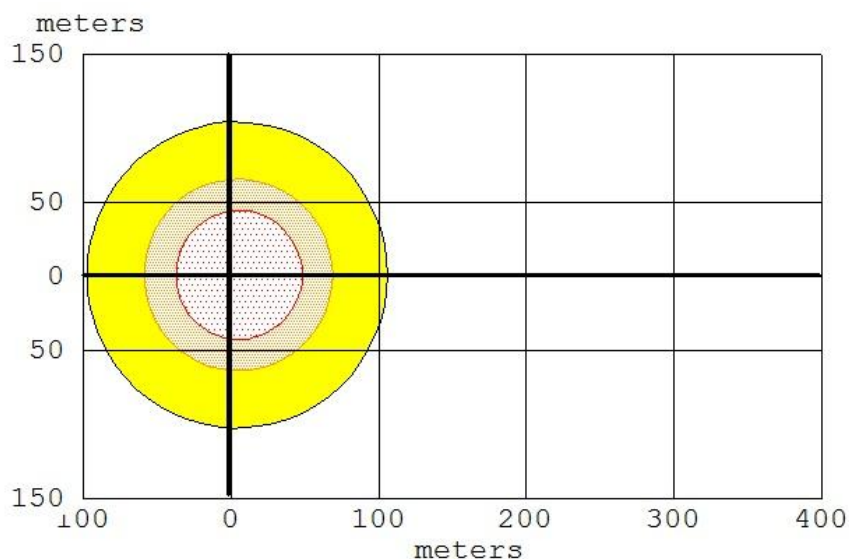
Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire

Red : 49 m --- (10.0 kW/m² = potentially lethal within 60 s)

Orange: 70 m --- (5.0 kW/m² = 2nd degree burns within 60 s)

Yellow: 107 m --- (2.0 kW/m² = pain within 60 s)

Vykreslenie nebezpečnej oblasti je na nasledujúcom obrázku.

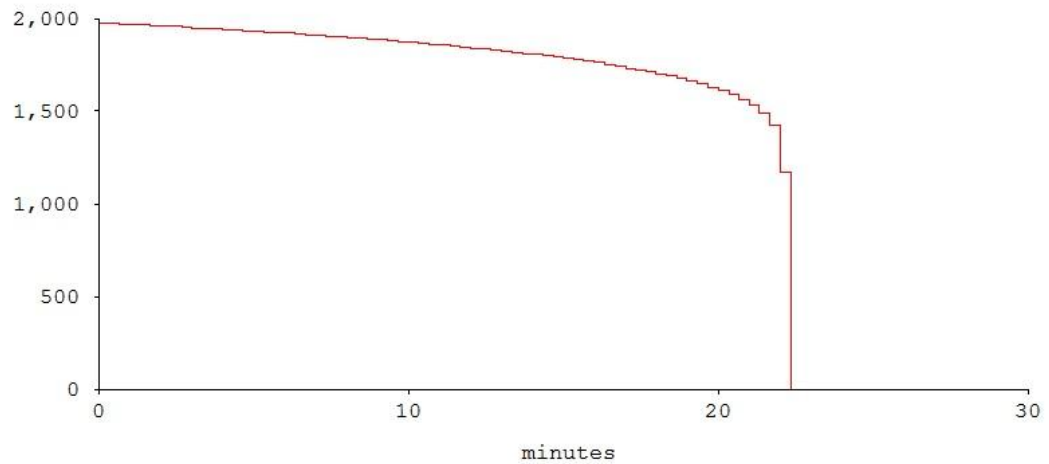


Obr. č. 14: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu zo železničnej cisterny



Dobu horenia môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku:

kilograms/minute



Obr. č. 15: Doba horenia propánu pri úniku zo železničnej cisterny

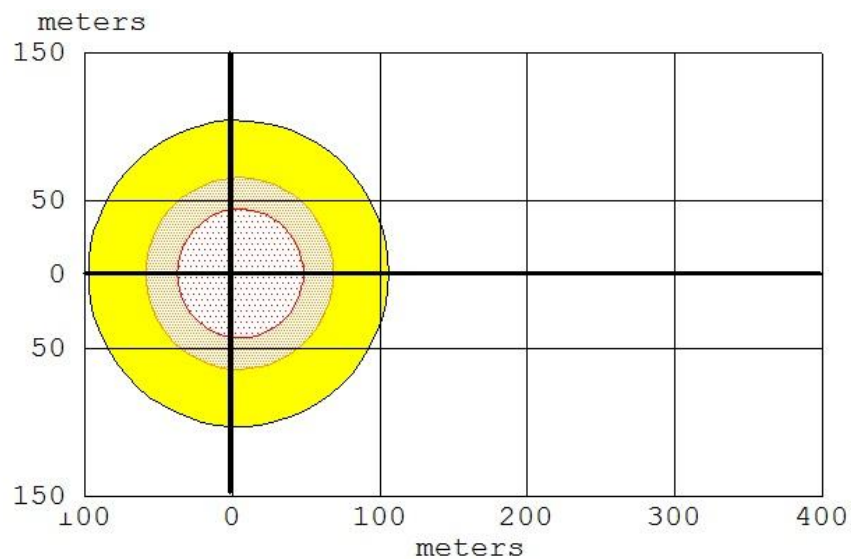
Najvýznamnejšie výsledky pri úniku propánu zo železničnej cisterny sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Tab. č. 12: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár železničnej cisterny

Maximálna dĺžka plameňa	31 m
Maximálna rýchlosť horenia	1980 kg/min
Doba horenia	22 min
Celkový spálený obsah	40542 kg
Nebezpečná vzdialenosť (smrteľné zranenia po 1 min)	49 m
Nebezpečná vzdialenosť (popáleniny druhého stupňa po 1 min)	70 m
Nebezpečná vzdialenosť (silná bolesť po 1 min)	107 m

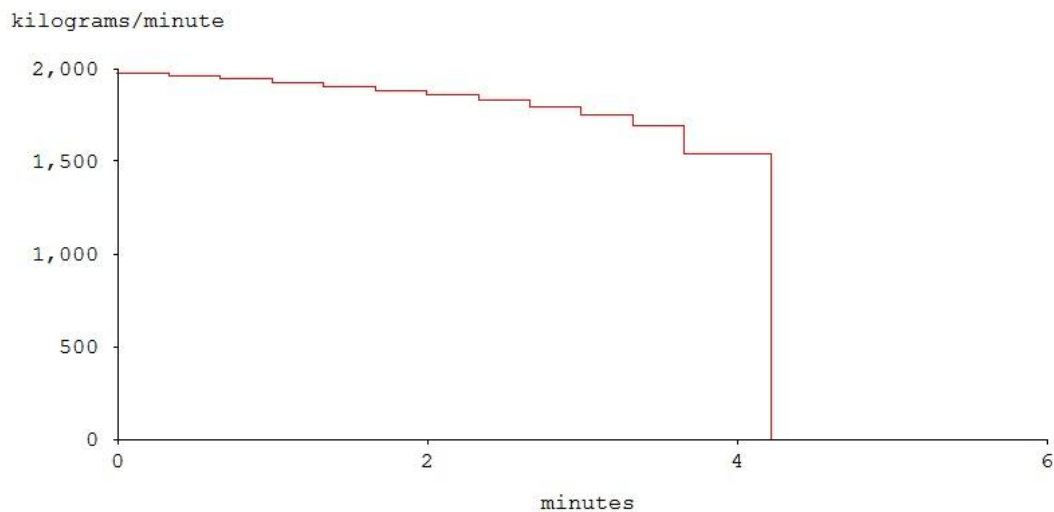
6.2 Výsledky pre autocisternu

Vykreslenie nebezpečnej oblasti je na nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 16: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu z autocisterny

Dobu horenia môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku:



Obr. č. 17: Doba horenia propánu pri úniku z autocisterny



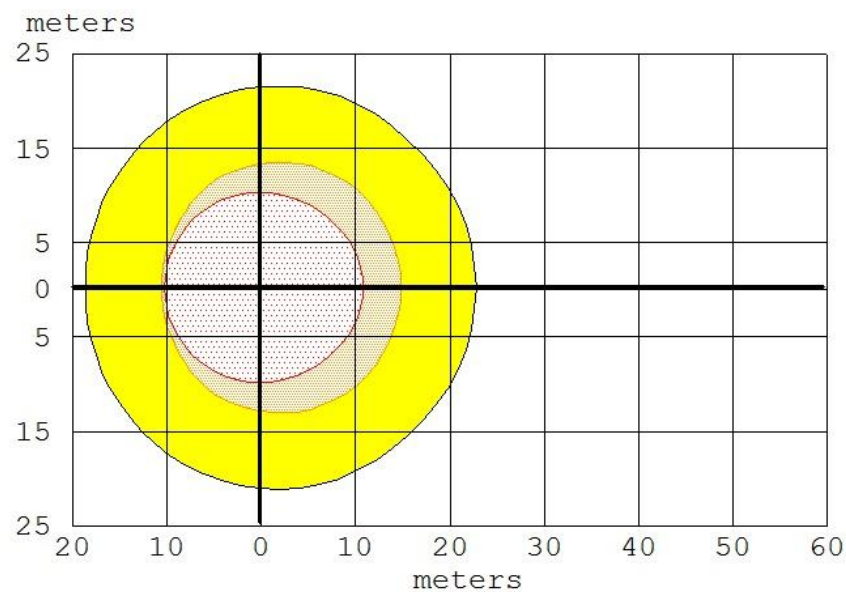
Najvýznamnejšie výsledky pri úniku Propánu zo železničnej cisterny sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Tab. č. 13: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár autocisterny

Maximálna dĺžka plameňa	31 m
Maximálna rýchlosť horenia	1980 kg/min
Doba horenia	4 min
Celkový spálený obsah	7682 kg
Nebezpečná vzdialenosť (smrteľné zranenia po 1 min)	49 m
Nebezpečná vzdialenosť (popáleniny druhého stupňa po 1 min)	70 m
Nebezpečná vzdialenosť (silná bolesť po 1 min)	107 m

6.3 Výsledky pre tlakové fľaše

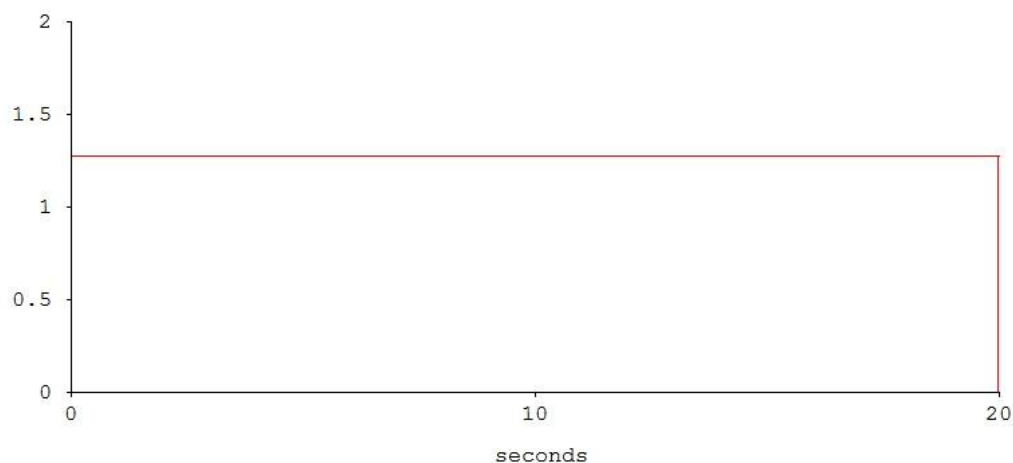
Vykreslenie nebezpečnej oblasti je na nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 18: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu z tlakovej fľaše

Dobu horenia môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku:

kilograms/second



Obr. č. 19: Doba horenia propánu pri úniku z autocisterny

Tab. č. 14: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár 33 kg tlakovej fľaše

Maximálna dĺžka plameňa	7 m
Maximálna rýchlosť horenia	19,2 kg/min
Doba horenia	20 s
Celkový spálený obsah	25.4 kg
Nebezpečná vzdialenosť (smrteľné zranenia po 1 min)	11 m
Nebezpečná vzdialenosť (popáleniny druhého stupňa po 1 min)	15 m
Nebezpečná vzdialenosť (silná bolesť po 1 min)	23 m

6.4 Zhrnutie výsledkov


Z nasledujúcej tabuľky č. 15 sú zrejmé dosahy požiaru typu Jet Fire pre všetky modelované typové scenáre. S ohľadom na vlastnosti použitého programu ALOHA 5.4.3 nebolo možné modelovať scenáre pre tlakové fľaše malých objemov (tlakové fľaše váhy 2 kg a 10 kg)

Tab. č. 15: Zhrnutie výsledkov pre všetky typové scenáre

	Železničná cisterna	Autocisterna	Tlaková fľaša 33 kg
Maximálna dĺžka plameňa	31 m	31 m	7 m
Maximálna rýchlosť horenia	1980 kg/min	1980 kg/min	19,2 kg/min
Doba horenia	22 min	4 min	20 s
Celkový spálený obsah	40542 kg	7682 kg	25.4 kg
Nebezpečná vzdialenosť (smrteľné zranenia po 1 min)	49 m	49 m	11 m
Nebezpečná vzdialenosť (popáleniny druhého stupňa po 1 min)	70 m	70 m	15 m
Nebezpečná vzdialenosť (silná bolesť po 1 min)	107 m	107 m	23 m

Z výsledkov modelovania požiaru typu Jet Fire je zrejmé, že následky závisia hlavne na pripojovacích rozmeroch a objemu zariadení. Táto skutočnosť je zrejmá z diaľky plameňa a rýchlosti horenia pre železničnú cisternu a autocisternu, ktoré používajú rovnaké pripojovacie rozmery (DN80). S ohľadom na rozdielne objemy je však úplne odlišná doba horenia.

Z výsledkov pre tlakovú fľašu o hmotnosti 33 kg je zjavné, že smrteľné zranenia po 1 min nastanú už vo vzdialenosti 11 m od zdroja. Popáleniny druhého stupňa po 1 min nastanú vo vzdialenosti 15m od zdroja a silná bolesť po 1 min nastane vo vzdialenosti 23 m.

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7. Závěr:

Táto bakalárska práca bola zameraná na odhad možných následkov pri úniku a následnom požiari horľavej látky (LPG/propánu). Pre odhad následkov bol použitý program ALOHA 5.4.3, ktorý umožňuje modelovať celú radu havarijných scenárov pre horľavé aj toxické látky. Vzhľadom na rozsah práce bola táto práca zameraná iba na jeden typ požiaru (Jet Fire) z najfrekvencovanejších zariadení používaných pre transport LPG.


V úvodnej časti práce boli stručne popísané a zhrnuté vybrané závažné priemyselné havárie zo zahraničia aj z Českej republiky. Z tohto zhrnutia je zrejmé, že aj napriek postupnému zlepšovaniu v oblasti bezpečnostného inžinierstva, sa priemyselné havárie stávajú dodnes a kráčajú ruka v ruke s vývojom v priemysle. Z tabuľky uvedenej v závere tejto časti je tiež zrejmé, že havárie spojené s únikom horľavej látky sú spojené s významnými stratami na zdraví a životoch a s ekonomickými stratami. V tejto časti práce boli tiež spomenuté niektoré pojmy spojené s únikom horľavej látky, ktoré sa vyskytujú aj neskôr v práci.

V ďalšej časti práce bol stručne popísaný použitý program ALOHA 5.4.3 spolu s prehľadným zoznamom vstupných parametrov, ktoré je nutné do programu zadať a možnými scenármi pre jednotlivé typy zariadení, vid' tab. č. 2. Nasledovala identifikácia typovej havárie, kde na základe štatistík z priemyselných havárií (obr. č. 10) bola ako typová látka vybraná LPG/Propán. S prihliadnutím k hustote prepravy LPG po verejných komunikáciách (cesty, železnice) a nižšiemu stupňu zabezpečenia boli ako typové zariadenia zvolené železničné cisterny, autocisterny, a tlakové fľaše. Uvažovaný typový scenár – požiar typu Jet Fire je detailne popísaný v kapitole 5.3.

V závere práce boli vypísané výsledky modelovania typových scenárov. Grafické zobrazenie tepelných tokov 10 kw/m^2 , 5 kw/m^2 a 2 kw/m^2 je uvedené v kapitole 6.3 a zhrnuté najvýznamnejších údajov je v tab. č. 15. Z výsledkov je zrejmé, že na požiari typu Jet Fire majú najvýznamnejší vplyv pripojovacie rozmery (dĺžka plameňa a rýchlosť horenia), naopak množstvo látky ovplyvňuje najviac dobu horenia. V prípade železničnej a automobilovej cisterny môže dôjsť k smrteľným zraneniam už vo vzdialenosti 49 m od zdroja po 1 min. Vo vzdialenosti 70 m od zdroja úniku môže dôjsť k popáleninám druhého stupňa po 1 min. V prípade tlakových fliaš sú tieto vzdialenosti nasledujúce – 11 m od zdroja po 1 min môže dôjsť k smrteľným zraneniam a 15 m od zdroja po 1 min môže dôjsť k popáleninám druhého stupňa.



Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že požiar typu Jet Fire je veľmi nebezpečný a je nutné sa tejto téme v praxi venovať.

Na záver je možné konštatovať, že cieľ bakalárskej práce uvedený v zadaní bol splnený.

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

Zoznam použitých zdrojov:

- [1] WIKIPEDIA. *Grover Shoe Factory disaster* [online]. 2008, 4.9.2012 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Grover_Shoe_Factory_disaster
- [2] WIKIPEDIA. *Halifax Explosion* [online]. 2003, 10.3.2013 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Halifax_Explosion
- [3] WIKIPEDIA. *Feyzin disaster* [online]. 2009, 17.2.2013 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Feyzin_disasterxplosion
- [4] WIKIPEDIA. *Flixborough disaster* [online]. 2004, 11.12.2012 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Flixborough_disasterisasterxplosion
- [5] GROVES, Adam. *UNION OIL COMPANY REFINERY FIRE, ROM E OVILLE: JULY 23, 1984* [online]. 2006 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/94/Union%20Oil%20Company%20Refinery%20Fire,%201984.pdf?sequence=2>
- [6] WIKIPEDIA. *San Juanico disaster* [online]. 2008, 1.3.2013 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/San_Juanico_disaster
- [7] MAŠEK, Ivan; MIKA, Otakar J.; ZEMAN, Miloš. *Prevence závažných průmyslových havárií*. 1 vyd. Brno : VUT v Brně, Fakulta chemická, 2006. 98 s. ISBN 80-214-3336-1.
- [8] WIKIPEDIA. *Bhópálská katastrofa* [online]. 2006, 9.3.2013 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Bh%C3%B3p%C3%A1lsk%C3%A1_katastrofa
- [9] WIKIPEDIA. *Shell plant explosion in Diamond, Louisiana* [online]. 2011, 21.2.2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_plant_explosion_in_Diamond,_Louisiana
- [10] KELNAR, Lubomír. Poučíme se z havárie v Toulouse?. Rescue report. 2005, č. 1, s. 4-5 a 10.
- [11] WIKIPEDIA. *Texas City Refinery explosion* [online]. 2005, 12.2.2013 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_Refinery_explosion
- [12] LITVINOV.SATOR.EU. *Výbuch v chemičce v Záluží 19.7.1974* [online]. 2011 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: <http://litvinov.sator.eu/kategorie/zanikle-obce/zaluzi/vybuch-v-chemicce-v-zaluzi-1971974>
- [13] 1996: Chemopetrol v Litvínově zachvátil požár – seznámení s prostředím a prostředky *POŽÁRY* [online]. 2010 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/36892-1996-chemopetrol-v-litvinove-zachvatil-pozar-seznameni-s-prostredim-a-prostredky/>
- [14] PORKÁT, Václav. Výbuch v Kaučuku Kralupy. *POŽÁRY* [online]. 2007 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/8285-vybuch-v-kaucuku-kralupy/>
- [15] Poplach v Pardubicích: Z chemičky po výbuchu unikl plyn. *BLESK* [online]. 2012 [cit. 2013-03-9]. Dostupné z: <http://www.blesk.cz/clanek/zpravy-udalosti/180039/poplach-v-pardubicich-z-chemicky-po-vybuchu-unikl-plyn.html>
- [16] ŠOVČÍKOVÁ, Ľ., CONEVA, I., MIKA, O., SABO, J.,: *Závažné priemyselné havárie a ich následky*. Žilina: FŠI ŽU, EDIS, 2005, 141 s., ISBN 80-8070-467-8
- [17] The CAMEO® Software System, *ALOHA® User's manual* [online]. U.S. Environmental Protection Agency and National Oceanic and Atmospheric Administration, 2007 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1003UZB.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQ>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

uery=&File=D%3A\ZYFILES\INDEX%20DATA\06THRU10\TXT\00000008\P100
 3UZB.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h|-
 &MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y1
 50g16/i425&Display=p|f&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyA

- [18] WIKIPEDIA. *Liquefied petroleum gas* [online]. 2003, 21.3.2013 [cit. 2013-04-22].
 Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas
- [19] Reference Manual Bevi Risk Assessments, v. 3.2. [online]. National Institute of Public
 Health and the Environment (RIVM). Bilthoven (the Netherlands), 2009 [cit. 2013-04-
 27]. Dostupné z: http://infonorma.gencat.cat/pdf/AG_AQR_2_Bevi_V3_2_01-07-2009.pdf

Zoznam obrázkov

Obr. č. 1: Havária vo Flixborough	14
Obr. č. 2: Havária v San Juanico	14
Obr. č. 3: Havária v Texas City	15
Obr. č. 4: Havária v Záluží u Mostu	16
Obr. č. 5: Havária v Lítvinove	17
Obr. č. 6: Havária v Kralupoch nad Vltavou	17
Obr. č. 7: Havária v Pardubiciach	18
Obr. č. 8: Vstupné parametre v programe ALOHA 5.4.3	21
Obr. č. 9: Závislosť medzi chemickou látkou a počtom udalostí	23
Obr. č. 10: Schéma železničnej cisterny o objeme 95 m ³	25
Obr. č. 11: Autocisterna značky IVECO o objeme 18 m ³	26
Obr. č. 12: Tlakové fľaše o váhe 2 kg, 10 kg a 33 kg značky PRIMAGAS	27
Obr. č. 13: Uvažované scenáre pre kontinuálny únik skvapalnených plynov	28
Obr. č. 14: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu zo železničnej cisterny	30
Obr. č. 15: Doba horenia propánu pri úniku zo železničnej cisterny	31
Obr. č. 16: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu z autocisterny	32
Obr. č. 17: Doba horenia propánu pri úniku z autocisterny	32
Obr. č. 18: Nebezpečná oblasť pri úniku propánu z tlakovej fľaše	33
Obr. č. 19: Doba horenia propánu pri úniku z autocisterny	34

Zoznam tabuliek

Tab. č. 1: Zhrnutie havárií uvedených v kapitole 2.1 a 2.2	19
Tab. č. 2: Typy zariadení a scenáre programu ALOHA 5.4.3	22
Tab. č. 3: Zranenia od intenzity tepelného žiarenia	23
Tab. č. 4: Vlastnosti látok propán a bután	24
Tab. č. 5: Technické údaje železničnej cisterny	25
Tab. č. 6: Technické údaje autocisterny	26
Tab. č. 7: Technické údaje tlakových fliaš	27
Tab. č. 8: Meteorologické podmienky	28
Tab. č. 9: Geografické údaje	28
Tab. č. 10: Typ budovy a okolie budovy	29
Tab. č. 11: Typové scenáre	29
Tab. č. 12: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár železničnej cisterny	31
Tab. č. 13: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár autocisterny	33
Tab. č. 14: Zhrnutie výsledkov pre typový scenár 33 kg tlakovej fľaše	34
Tab. č. 15: Zhrnutie výsledkov pre všetky typové scenáre	35