

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav procesního a ekologického inženýrství

Ing. Domingos Filipe LIPI

KOMPLEXNÍ BEZPEČNOSTNÍ STUDIE VÝROBY HNO₃

COMPLEX SAFETY STUDY OF HNO₃ PRODUCTION LINE

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Prof. Ing. František Babinec, CSc.

Oponenti: Prof. Ing. Petr Schneider, DrSc.

Doc. Ing. Milan Oravec, Ph.D.

Ing. Jaromír Škarka, CSc.

Datum obhajoby: 20 listopadu 2003

KLÍČOVÁ SLOVA

Únik nebezpečných látek, katalytická oxidace, zdroj rizika, přijatelnost rizika

KEY WORDS

Nitrates and Nitrites, Source Modelling, Catalytic Oxidation, Risk Assessment,

Práce je uložena v areálové knihovně FSI VUT v Brně, Technická 2896/2,
616 69 Brno

OBSAH

ABSTRACT	4
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	5
2 CÍL PRÁCE	6
3 POUŽITÉ METODY PŘI HODNOCENÍ RIZIK	7
3.1 Hodnocení zdrojů rizik závažné havárie	7
3.1.1 Metoda výběru	7
3.1.2 IAEA-TECDOC-727	7
3.1.3 Dow's Fire & Explosion Index	8
3.1.4 Dow's Fire & Explosion Index	8
3.1.5 HAZOP	8
3.2 Modelování následků havárie a hodnocení přijatelnosti rizik	8
4 VÝSLEDKY BEZPEČNOSTNÍ STUDIE	9
4.1 Hodnocení zdrojů rizik závažné havárie	10
4.1.1 Metoda výběru	10
4.1.2 Metoda IAEA - TECDOC-727	11
4.1.3 Metoda Dow's Fire and Explosion Index	13
4.1.4 metoda Dow's Chemical Exposure Index – CEI	14
4.1.5 Metoda HAZOP	15
4.2 Modelování následků havárie a hodnocení přijatelnosti rizik	16
4.2.1 Příklad výpočtu / odhadu fatálně zraněných	18
4.3 Hodnocení bezpečnostních opatření	19
5 ZÁVĚR	20
6 LITERATURA	21
7 CURRICULUM VITAE	24

ABSTRACT

This dissertation work is aimed to safety appraisal of modern technology for production of diluted nitric acid HNO_3 60% using the GRAND PAROISSE procedure. Ammonia and filtered air are the significant incoming feedstock for the chemical production. The nitric acid is the resulting product. Ammonia is classified by the decree of the government no. 258/2001 Sb., [44] as a dangerous toxic substance with the limited stored quantity 50 tones - the object of the category **A** and 200 tones - the object of the category **B**, to which the prevention industrial accident law applies (law no. 353/1999 Sb.,) [57]. The danger identification shows that there is a possibility of the ammonia leakage and the toxic cloud formation. Also an explosive mixture of a gaseous ammonia with air when exceeding the lower explosibility limit is dangerous.

An object of this dissertation work is a complex appraisal of a modern technology unit for production of diluted nitric acid HNO_3 60% using the GRAND PAROISSE procedure. The partial target of the dissertation is an usability evaluation of generally used danger identification methods and the risk evaluation of the sources. The main target is a separation of a significant risk sources, a primary cause identification of the serious events, recognition of an initial events of serious accidents a logical development of scripts, risk evaluation and risk suitability determination.

Risks evaluation of serious indoor accident is realized in accordance with methodic directives issued by Ministry of Environment of the Czech Republic [54]. Designed quantity was the reference point for risks assessment. For risks assessment of serious accident it is required to include [57]:

- Identification of risk sources, probability and seriousness of risks
- Expression of risks when life and health of people, animals, environment and properties is in danger
- Description of potential consequences of a serious accident, review of risks acceptability

In this work index methods for general risk judgment [13], [38], but also systematic methods for identification of risks sources [16], [17] are applied. For quantitative risk evaluation, procedures based on logical charts are being used. During evaluation of social risks acceptability criterion of a risk acceptability set by separate directive [44] is being used. By a suitable use of above described methodologies and procedures, they supply one another, cross-checking one another and this way create total complex picture of possible risk.

The result of complex safety study is very valuable information that will be used mainly a basic information for modernization of existing technologies, designing new technologies and for state administration bodies during creation of accidental plans of specific locality, or during territorial planning.

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současné době objektivně roste potřeba posuzování rizik vyplývajících z průmyslových činností pro obyvatelstvo, životní prostředí a majetek. Integrace bezpečnosti a její rozvoj úzce souvisejí se sociálním a ekonomickým rozvojem společnosti a mají prioritu ve většině států. Stejně tak existuje potřeba využít účelně a optimálně omezené zdroje pro hodnocení rizika a řízení bezpečnosti. Identifikace, klasifikace a prioritizace rizika představuje otázku zásadního významu.

V zemích EU je procesní a pracovní bezpečnosti věnována řada směrnic, doporučení a dodatků. Na základě negativních následků velkých průmyslových havárií ve Flixborough a Sevesu byl v zemích EC přijat v roce 1982 předpis známý pod názvem „Direktiva SEVESO“ – 82/501/EEC - On the Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities, která významně zdůrazňuje principy prevence v procesním průmyslu [7]. Tzv. krize svědomí společnosti byla rovněž jedním z následků období velkých neočekávaných havárií se závažnými následky. Od ledna 1997 v EU platí novelizovaná direktiva 96/82/EC (SEVESO II - Comah) „On the Control of Major Accident Hazards Involving Dangerous Substances“ [8]. Obdobná situace je i v USA, kde platí předpis OSHA 1910.119 – „Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals“. Jednotky spadající do oblasti působnosti zákona bývají označovány jako jednotky typu SEVESO (Seveso establishment).

Česká republika v roce 1999 přijala harmonizovaný zákon č. 353/1999 Sb. [57] „O prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky“. Zákon vychází z direktiv SEVESO, SEVESO II. Naplnění podstaty tohoto zákona vyžaduje aplikační znalosti metod a postupů respektovaných ve vyspělých zemích Evropy. Seznam metod a postupů i jejich znalost a aplikační schopnosti jsou pouze nutným předpokladem pro implementaci zákona v chemických průmyslových podnicích. Metody se vzájemně doplňují, nekonkurují si. Teprve aplikací vhodných metod lze získat přehled o míře a akceptovatelnosti rizika v příslušném objektu.

Takový metodický návod však v okamžiku vysloveného požadavku na implementaci zákona nebyl k dispozici, vznikal teprve v průběhu implementace zákona v různých průmyslových objektech v ČR. Implementace v ČR se v průmyslových podnicích setkává s potížemi různého druhu. Časový harmonogram zavádění politiky prevence v EU poměrně silně kontrastuje s přístupem v ČR, nezanedbatelné jsou i finanční nároky na analýzy rizik především realizaci opatření. V oblasti prevence závažných havárií je v ČR ve srovnání s EU významný časový odstup se všemi praktickými důsledky.

Předložená disertační práce je příspěvkem k vypracování vhodné metodicky komplexní analýzy a hodnocení společenského rizika závažné havárie v procesním průmyslu.

2 CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce je komplexní posouzení bezpečnosti soudobé moderní technologie výroby kyseliny dusičné HNO_3 . Do výroby vstupuje jako základní surovina amoniak, který je hodnocen jako toxický, hořlavý i výbušný. Při katalytickém spalování vznikají oxidy NO_x . Vznikající kyselina dusičná má rovněž nebezpečné vlastnosti.

Dílčím cílem disertace je ocenění použitelnosti obecně užívaných metod pro identifikaci nebezpečí a hodnocení zdrojů rizika. Konkrétně byly použity níže uvedené metody v následujícím pořadí:

- metoda výběru jednotek pro QRA
- metoda IAEA-TECDOC-727
- metoda Dow's Fire&Explosion Index
- metoda Dow's chemical Exposure Index
- metoda HAZOP (Analýza nebezpečnosti a provozuschopnosti)
- analýza stromem události
- analýza stromem poruch
- Software ALOHA 5.2.1

Hlavním cílem je selekce významných zdrojů rizika, identifikace primárních příčin závažných událostí, nalezení iniciačních událostí závažných havárií, logický rozvoj scénářů, ohodnocení rizika a stanovení přijatelnosti rizika.

3 POUŽITÉ METODY PŘI HODNOCENÍ RIZIK

Způsob hodnocení rizik závažné havárie v objektu je realizován v souladu s metodickými pokyny vydanými MŽP. Postupnou aplikací doporučených selektivních, screeningových a systematických metod byly v objektu identifikovány závažné zdroje rizika, které vyžadují kvantitativní ocenění a analýzu rizika.

3.1 Hodnocení zdrojů rizik závažné havárie

Při hodnocení rizik závažné havárie v objektu skladovací bylo nutno na úvod určit takové zdroje rizika, které představují potenciální nebezpečí pro obyvatelstvo za hranicemi areálu. Identifikace rizik byla zaměřena na vyhodnocení jednotlivých zařízení z hlediska nebezpečnosti (v této části hodnocení rizik ještě neobsahuje modelování následků závažné havárie).

Pro identifikaci nebezpečných jednotek, předběžné ocenění rizika, modelování následků závažné havárie a stanovení přijatelnosti společenského rizika byly použity níže uvedené metody či postupy.

3.1.1 Metoda výběru

Metoda výběru je výchozím krokem pro komplexní hodnocení rizika při zpracovávání bezpečnostní dokumentace dle zákona č. 353/1999 Sb. metoda výběru se používá pro stanovení rizik pro skladování, manipulaci a transport nebezpečných látek. Při zachování principu efektivní oddělitelnosti jednotlivých hodnocených zařízení nacházejících se v objektu byly jednotlivé technologické celky rozděleny na 6 procesních a skladovacích zařízení. V jednotlivých zařízeních se nacházejí jsou přítomné látky nebezpečné pouze z hlediska hořlavých vlastností, proto byly jednotky posouzeny pouze z hlediska hořlavosti.

3.1.2 IAEA-TECDOC-727

Metoda IAEA-TECDOC-727 byla použita pro předběžné hodnocení následků závažných rizik. Metoda je založena na klasifikaci nebezpečných aktivit ve sledované oblasti pomocí kategorizace následků a pravděpodobnosti výskytu velké havárie přesahující hranice objektu. Kategorizace následků vede uživatele k přibližnému výpočtu smrtelných zranění při události v průmyslovém zařízení nebo při přepravě nebezpečných látek. Odhad následků vychází z průměrných povětrnostních podmínek a z předpokladu 100% fatálních zranění v oblasti zasažené účinky havárie. Odhad pravděpodobnosti je založen na dostupných informacích o frekvenci výskytu (počtu událostí/rok). Následky a pravděpodobnosti uvažované ve scénářích typových havárií jsou ve vzájemné relaci.

3.1.3 Dow's Fire & Explosion Index

Metoda Dow's Fire and Explosion Index je nástroj používaný pro vyhodnocení reálné možnosti požáru, exploze a reaktivity u procesního zařízení s uvážením jeho obsahu. Metoda FEI je navržena pro stanovení maximální očekávané ztráty, tj. ztráty, se kterou je třeba skutečně počítat za nejnepříznivějších provozních podmínek. Výpočtem zjištěná hodnota indexu požáru a výbuchu byla použita k odhadnutí patřičného stupně nebezpečí posuzované jednotky, poloměru zasažené plochy a velikost zasaženého prostoru.

3.1.4 Dow's Fire & Explosion Index

Index chemického ohrožení (CEI) je relativně metoda pro kvantitativní posouzení potencionálního ohrožení lidského zdraví v blízkosti chemických provozů, kde existuje reálná možnost úniku nebezpečné chemické látky. Je velmi obtížné stanovit absolutní míru rizika, metoda CEI umožňuje vzájemné relativní porovnání různých zdrojů rizika. Na základě CEI však nelze rozhodnout o tom, zda-li provoz je či není bezpečný. CEI je možné použít pro zařízení určená pro skladování nebo zpracování toxických látek, a to jak pro nové projekty, tak i stávající zařízení.

3.1.5 HAZOP

Cílem bezpečnostní studie metodou HAZOP byla identifikace zdrojů rizika, tj. identifikace takových vlastností, stavů a situací, které se mohou v provozu vyskytnout a jsou nebezpečné. Zejména se pomocí této metody hodnotí vliv lidského činitele, protože manuální úkony a odpovědnost obsluhy hrají důležitou roli z hlediska zajišťování bezpečného provozu. V posuzovaném objektu byl při provádění systematické studie metodou HAZOP hlavní důraz kladen na procesy stáčení, skladování a přepravy zkapalněných uhlovodíkových plynů uvnitř objektu. Hodnocení metodou HAZOP bylo zaměřeno na identifikaci takových zdrojů rizika, které souvisejí s konkrétním zařízením, specifickým uspořádáním a způsobem provozu.

3.2 Modelování následků havárie a hodnocení přijatelnosti rizik

Pro modelování úniku a rozptylu nebezpečných látek do okolí od místa úniku byl použit program ALOHA 5.2.1. Modelování úniků a rozptylu plynu do okolí bylo provedeno pro nejčastější povětrnostní podmínky. Při modelování byly nastaveny vstupní podmínky tak, aby byly vymezeny (vypočteny) vzdálenosti, na kterých budou dosaženy koncentrace plynu na dolní a horní mezi výbušnosti. Tyto hranice jsou rozhodující pro stanovení velikosti mraku před jeho případnou iniciací, která může vyvolat explozi oblaku par.

4 VÝSLEDKY BEZPEČNOSTNÍ STUDIE

Při hodnocení byly posuzovány takové části procesních zařízení, ve kterých se nacházejí nebezpečné látky ve smyslu zákona č. 353/1999Sb. [57], a jsou možným zdrojem jejich úniku.

Na základě seznamu nebezpečných látek nacházejících se na území objektu, opakovaných fyzických prohlídek objektu byly identifikovány následující skladovací a procesní zařízení, pro které bylo provedeno hodnocení rizika:

- nadzemní kulové zásobníky amoniaku 2x550t,
- železniční cisterna amoniaku (množství jedné cisterně 40t),
- potrubní stáčení amoniaku (DN 80, délka 80 m, 0,3t)
- amoniak v potrubí (DN 150 – kapalným amoniak do procesu 9,6 t)
- zásobník čpavkové vody (obsah zásobníku 45t)

V podmínkách nepřetržitého provozu, je nutné hodnotit zdroje rizika v následujících etapách provozu:

- provoz,
- odstavování,
- mimořádné podmínky.

Normální provozní stav objektů byl hodnocen v analýze rizik závažných havárií a výsledky jsou shrnuty v této kapitole. Při hodnocení byly vzaty v úvahu všechny provozní podmínky, a na tomto základě byly identifikovány zdroje rizika závažné havárie.

Postupy pro odstavování a najíždění výrobního zařízení jsou součástí předpisů. Zařízení je odstavováno řízeně a plánovaně, doba mezi odstávkami je relativně dlouhá, pravidelné revize provádějí specializované firmy. Při najíždění a odstavování nedochází z hlediska teplot a tlaků k významným změnám, a proto tyto postupy nepředstavují významné zvýšení rizika závažné havárie.

4.1 Hodnocení zdrojů rizik závažné havárie

4.1.1 Metoda výběru

Pomocí této metody byl získán ucelený přehled o všech zařízeních na území hodnoceného areálu. Zároveň jsou pomocí této metodiky identifikovány jednotlivé jednotky, které by svými následky případné havárie přesáhly za hranice posuzovaného areálu, a vyžadují tedy další podrobnější analýzu rizika.

Na základě výsledků získaných pomocí metody výběru bylo identifikováno 4 závažných zdrojů rizika, které svými následky výrazně zastiňují ostatní zdroje rizika (viz tabulka 5.1).

Tab. 5.1: Přehled vybraných zdrojů rizik/jednotek pro QRA

Zdroj č.	Zařízení	Látka	Nebezpečná vlastnost látky	Proces
Z1	Zásobník	Amoniak	toxicita	Skladování
Z4	Zásobník	Amoniak	toxicita	Stáčení
Z8	Potrubí	Amoniak	toxicita	Přeprava
Z10	Potrubí	Amoniak	toxicita	Přeprava

Zdroj č. 1 – Kulové zásobníky amoniaku

Nadzemní kulové zásobníky mají kapacitu 2 x 550 tun amoniaku, skladování probíhá při teplotě okolí. Zásobníky jsou považovány za samostatnou jednotku. Stanovená hodnota indikačního čísla pro uvedený zásobník dosahuje hodnoty $A=366,7$. Zásobníky jsou situovány v blízkosti hranice objektu, vzdálenost od hranice pozemku je vyšší než 100 m. nejvyšší selektivní číslo pro danou jednotku má hodnotu $S=138,6$. Jednotka zřetelně vyžaduje kvantitativní posouzení rizika.

Zdroj č. 4 – Železniční cisterna s amoniakem

Na pozici stáčení byla hodnocena jedna železniční cisterna obsahující 40 t amoniaku, v objektu je možné stáčet až 4 cisterny najednou. V tomto případě je zdroj rizika hodnocen jako procesní jednotka. Stanovená hodnota indikačního čísla pro uvedený zásobník dosahuje hodnoty $A=133,3$. Cisterna je od hranice objektu vzdálena méně než 100 m, což zvyšuje hodnotu selektivního čísla. Největší selektivní číslo pro danou jednotku má hodnotu $S=118,5$. Jednotka vyžaduje kvantitativní posouzení rizika.

Zdroj č. 8 – amoniak v potrubí

Potrubní rozvod amoniaku byl hodnocen pro potrubí DN 150 kapalného amoniaku v několika místech. Stanovená hodnota indikačního čísla pro uvedený zásobník dosahuje hodnoty $A=32$. potrubí je od hranice objektu vzdálena cca 120 m. Selektivní číslo pro takovou jednotku je shodné s hodnotou indikačního čísla, $S=32$. Jednotka vyžaduje kvantitativní posouzení rizika.

4.1.2 Metoda IAEA - TECDOC-727

S přihlédnutím k bezpečnostní studii realizované metodou „výběru podle Purple Book CPR 18E“ [16] byla další analýza zaměřena na zdroje rizika, které byly identifikovány metodou výběru.

- nadzemní kulové zásobníky amoniaku 2x550t,
- železniční cisterna amoniaku (množství jedné cisterně 40t),
- potrubní stáčení amoniaku (DN 80, délka 80 m, 0,3t)
- amoniak v potrubí (DN 150 – kapalný amoniak do procesu 9,6 t)
- zásobník čpavkové vody (obsah zásobníku 45t)

Další hodnocené zdroje rizika (slouží k ověření a porovnání výsledků z předcházející metody):

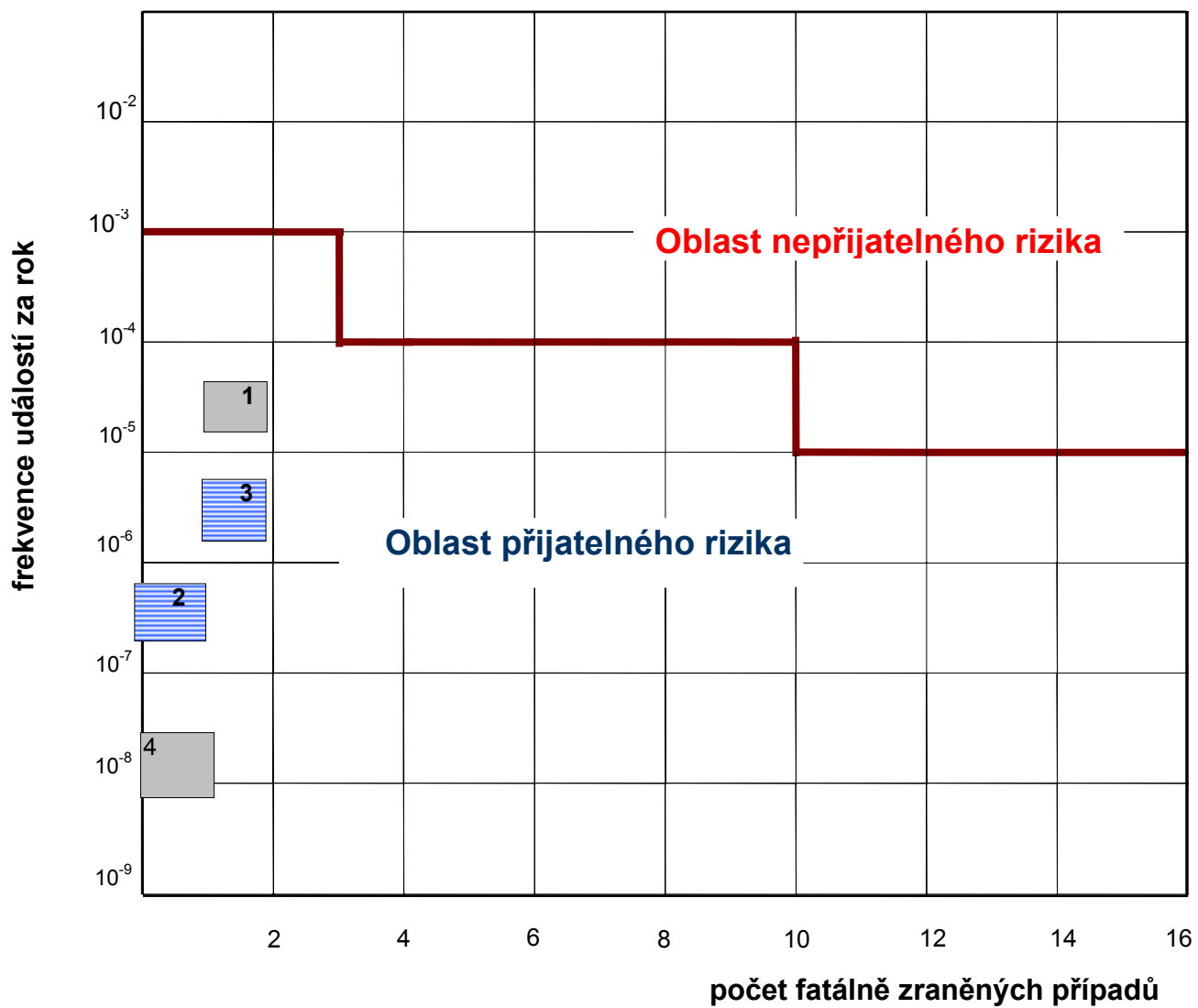
- zásobník EXXSOL D60 (válcový zásobník – objem 270 m³)

Uvedené zdroje rizika jsem posoudil z hlediska možných dopadů na obyvatelstvo při eventuální závažné havárii (rozsah fatálních zranění a frekvence události).

Tab. 5.2: Souhrnné výsledky hodnocení rizik podle metody IAEA-TECDOC 727

Zdroj č.	Látka	Hodnocené zařízení	Dosah následků [m]	Fatální zranění [osob]	Četnost událostí [případ/rok]
1	Amoniak	Zásobník 1000 m ³	1000	1,8	3 x 10 ⁻⁵
2	Amoniak	Cisterna	200	0	3 x 10 ⁻⁷
3	Amoniak	Potrubí	1000	1,8	3 x 10 ⁻⁶
4	EXXSOL	Zásobník	25	0	3 x 10 ⁻⁸

Pro lepší přehlednost se výsledky znázorňují v tzv. matici rizik. Jedná se o grafické zobrazení zdrojů rizika v souřadnicích frekvence událostí versus počet fatálně zraněných. Poloha bodu, který reprezentuje jednotlivý zdroj rizika, přímo charakterizuje míru rizika, které posuzovaný zdroj rizika představuje pro okolní obyvatelstvo.



Seznam identifikovaných zdrojů rizika:

1. Zásobník amoniaku
2. Železniční cisterna s amoniakem
3. Potrubí s amoniakem
4. Zásobník EXXSOLU D60

Obr. 4.1: Matice rizik pro hodnocená zařízení

4.1.3 Metoda Dow's Fire and Explosion Index

S ohledem na převládající typ vyskytující se chemické látky v hodnoceném areálu, jsem pro další posouzení nebezpečnosti z hlediska požáru a výbuchu použil metodiku Dow's Fire and Explosion Index. Posouzení jednotlivých výrobních či skladovacích jednotek metodou FEI je považováno v zmích EU za standard pro zjištění procesní bezpečnosti, bezpečnosti osob a prevenci ztrát.

Metoda Dow's Fire and Explosion Index je nástroj používaný pro vyhodnocení reálné možnosti požáru, exploze a reaktivity u procesního zařízení s uvážením jeho obsahu. Metoda FEI je navržena pro stanovení maximální očekávané ztráty, tj. ztráty, se kterou je třeba skutečně počítat za nejnepříznivějších provozních podmínek.

S přihlédnutím k bezpečnostní studii realizované metodou „výběru podle Purple Book CPR 18E“ [16] byla další analýza zaměřena na následující zdroje rizika:

Významné zdroje rizika (podle Purple Book) [16]

- nadzemní kulové zásobníky amoniaku 2x550t,
- železniční cisterna amoniaku (množství jedné cisterně 40t),
- potrubní stáčení amoniaku (DN 80, délka 80 m, 0,3t)
- amoniak v potrubí (DN 150 – kapalný amoniak do procesu 9,6 t)

Ostatní hodnocené zdroje rizika (slouží k ověření a porovnání výsledků z předcházející metody):

- Válcový stojatý zásobník EXXSOL D60 (objem 270 m³)

Souhrnné výsledky bezpečnostní studie metou F&EI jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 5.3: Souhrn výsledky hodnocení rizik podle metody F&EI

Procesní jednotka hlavní substance	MF [-]	F&EI [-]	Stupeň nebezpečnosti jednotky	Hodnocení zdroje rizika
Zásobník amoniaku	4	29,60	I.	Malý, nepatrný
Železniční cisterna amoniaku	4	34,40	I.	Malý, nepatrný
Amoniak v potrubí DN 150	4	12,25	I.	Malý, nepatrný
Zásobník EXXSOL D60	10	54	I.	Malý, nepatrný

4.1.4 Metoda Dow's Chemical Exposure Index – CEI

Na základě výsledků předcházejících studií metodami IAEA-TECDOC-727, metoda výběru podle „Purple Book CPR 18E“ [16] a Dow's Fire & Explosion Index byly identifikovány následující významné zdroje rizika pro hodnocení metodou CEI:

- nadzemní kulové zásobníky amoniaku 2x550t,
- železniční cisterna amoniaku (množství jedné cisterně 40t),
- potrubní s kapalným amoniakem (DN 150 – potrubí nelze účelně odpojit)
- potrubí s plynným amoniakem (DN 150 – potrubí nelze účelně odpojit)v

Pomocí metody CEI byl stanoven Index chemického ohrožení pro skladování a přepravu amoniaku. Protože je hodnota CEI ve třech případech větší než 200, jednotky vyžadují další posouzení nebezpečnosti. Ve výše uvedených odstupových vzdálenostech do posuzovaných zdrojů rizika je nutno počítat s definovanými následky podle hodnot ERPG.

Havárie takového zdroje rizika by tedy mohla negativně ovlivnit image podniku u okolního obyvatelstva, proto bude v dalších studiích kladen důraz na detailnější identifikaci příčin potenciálních havárií a budou navržena vhodná opatření pro snížení rizik. Výsledky budou dále porovnány s výstupy z programu ALOHA 5.2.1.

Tab. 5.4: Souhrn výsledky hodnocení rizik podle metody CEI

Výsledky Dow's CEI						
Procesní substance	jednotka	hlavní	CEI	Nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-1} [m]	Nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-2} [m]	Nebezpečná vzdálenost HD _{ERPG-3} [m]
1. amoniak-zásobník			581	10000	5818	2593
2. amoniak-cisterna			438	10000	4375	1955
3. amoniak- potrubí s kapalinou			568	10000	5678	2537
3. amoniak- potrubí s plynem			88	2517	880	393

4.1.5 Metoda HAZOP

Díky studii HAZOP byly zjištěny některé závažné nedostatky, které mohou vést k havarijnímu úniku amoniaku ze skladovacích zásobníků nebo na přepravní (potrubní) trase cisterna - čerpací stanice - zásobníky.

V souvislosti se stáčením amoniaku ze železničních cisteren, jeho skladováním a rozvodem amoniaku po objektu lze identifikovat především tyto závažné zdroje rizika a jim odpovídající havarijní scénáře:

- v případě úniku amoniaku do záchytné jímky je s ohledem na trvalé propojení záchytných jímek možnost využít kapacitních schopností obou, jímky jsou však trvale napojeny na kanalizace oteplené vody. Uzavíratelná ruční armatura v podzemním prostoru bude při havárii prakticky nepřístupná,
- není dořešen způsob zpracování/likvidace amoniaku zachyceného v jímce.,
- při roztržení potrubní větve stáčení amoniaku z cisterny (cisteren) do zásobníku může dojít k uvolnění celého obsahu cisterny do okolí. Doporučuje se instalace rychlouzávěrné dálkově ovládané armatury a vodní ochrana (mlžení, zkrápění), a to i s ohledem na časové sekvence,
- netěsnosti na potrubních spojích u armatur mohou být zdrojem malých úniků amoniaku, na vybraných lokalitách je vhodné posoudit možnost a vhodnost umístění detektorů. Únik amoniaku mimo jímku je zdrojem rizika pro životní prostředí,
- jednotlivé části systému rozvodu amoniaku po závodě jsou odděleny ručními uzávěrnými armaturami, z hlediska požadavků na bezpečnost je takový způsob oddělení nedostačující, nedává při závažné havárii obsluze možnost rychle a efektivně zasáhnou, oddělit jednotlivé objemy a minimalizovat tak následky havárie (možnost souběžného úniku),
- s ohledem na množství stáčeného, uskladněného a zpracovávaného amoniaku se jeví jako vhodné vybudování velínu s počítačovou podporou režimu stáčení, skladování a distribuce amoniaku,
- v případě úniku z potrubí, a tedy i z utrženého potrubního větve je uniklé množství dáno objemem/zadržím úseku, který lze při havárii/ události uzavřít a tak oddělit od okolních jednotek.

4.2 Modelování následků havárie a hodnocení přijatelnosti rizik

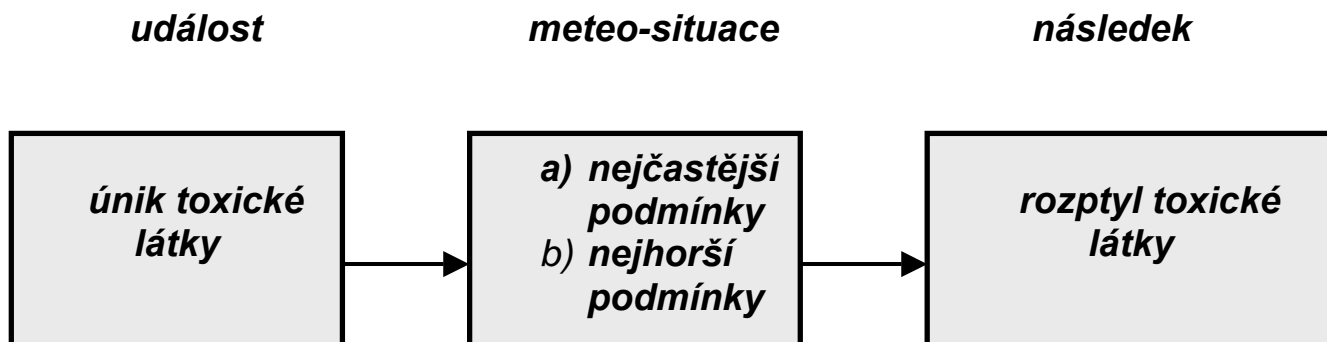
Následků úniku toxické látky v objektu jsou modelovány systémem ALOHA 5.2.1, který používá 6 tříd stability ovzduší (podle Pasquilla). Jelikož v České republice se používá klasifikace dle Bubníka, která má 5 tříd stability ovzduší, bylo nutné provést konverzi mezi stabilitou ovzduší klasifikovanou ve stupnici dle Bubníka do tříd stability klasifikované dle Pasquilla. Pro provedení této konverze byla použita k tomuto účelu speciálně vytvořená softwarová aplikace.

Pro účely modelování úniku nebezpečných látek se přednostně používají třídy stability B,D,E a F. Konverzi ze 6 tříd stability podle Pasquilla do 4 tříd stability pro účely modelování ukazuje následující tabulka.

Tab. 5.5: Konverze tříd stability pro modelování

Rychlost větru	A	B	B/C	C	C/D	D	E	F
$< 1,7 \text{ m.s}^{-1}$	B _{STŘEDNÍ}			D _{NÍZKÁ}			F _{NÍZKÁ}	
$1,7 - 5 \text{ m.s}^{-1}$				D _{STŘEDNÍ}			E _{STŘEDNÍ}	
$> 5 \text{ m.s}^{-1}$				D _{VYSOKÁ}				

Při modelování toxické látky hrají důležitou úlohu povětrnostní podmínky zejména rychlost a směr větru, které výrazně ovlivní potenciální následky havárie. Předpoklady použité pro modelování následků rozptylu toxické látky:



Obr. 5.2: Logický graf předpokladů modelování

Seznam modelovaných situací pro systém stáčení, skladování a distribuce kapalného amoniaku v objektu:

Pro kulový zásobník o objemu 1000 m³ jsou posouzeny tyto scénáře úniku:

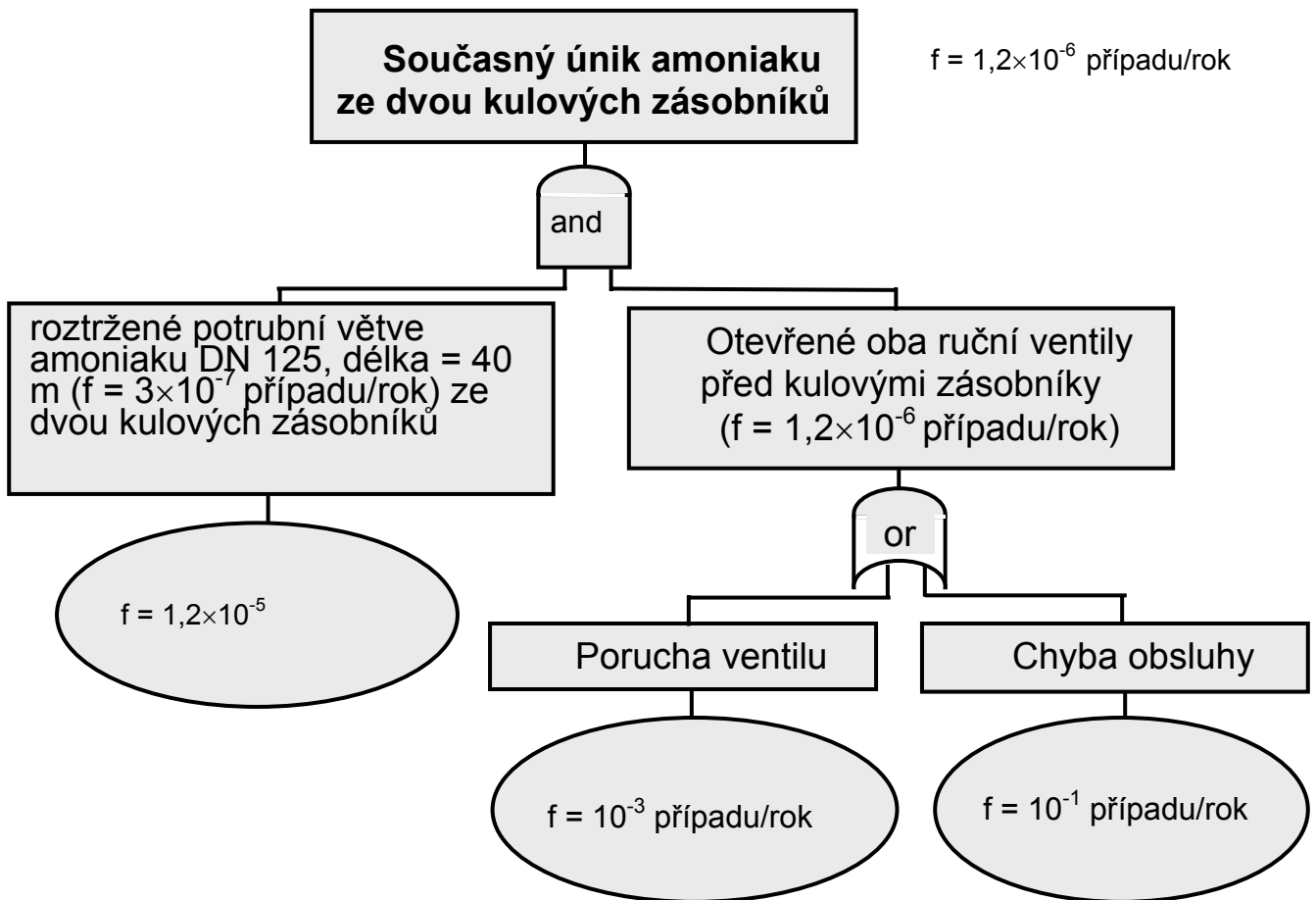
- Kontinuální únik ze dvou kulových zásobníků roztrženým stáčecím společným potrubím potrubí DN 125,
- Okamžitý únik amoniaku ze zásobníku do 1 minuty.

Pro železniční cisternu o kapacitě 40 tun kapalného amoniaku jsou posouzeny následující scénáře úniku:

- Kontinuální únik ze železniční cisterny do 10 minut velkým otvorem v plášti cisterny,
- Okamžitý únik ze železniční cisterny do 1 minuty velkým otvorem v plášti cisterny.

Každý z uvedených scénářů je posuzován při dvou třídách stability ovzduší (nejčastější atmosférické podmínky a nejhorší atmosférické podmínky z hlediska dopadu na obyvatelstvo). Celkový postup odhadu ztát a posouzení přijatelnosti společenského rizika závažné havárie je pro Vybraný scénář popsán v následujícím textu.

4.2.1 Příklad výpočtu / odhadu fatálně zraněných



Obr. 5.3: Strom poruch úniku amoniaku

Modelování ukázalo, že v případě třídy stability ovzduší F je dosah následků 2500m. nejhorší následky lze očekávat při východním směru větru. Pravděpodobnost výskytu takové události vyplývá z větrné růžice 2,81% ($P = 0,0281$). Při nezávislosti obou jevů (únik ze dvou zásobníků společným potrubím a výskytu atmosférických podmínek) lze pravděpodobnost průniku obou jevů stanovit jako aritmetický součin:

$$F = f \times P = 1,2 \times 10^{-6} \times 2,81 \times 10^{-2} = 3,372 \times 10^{-8} \text{ případu/rok}$$

4.3 Hodnocení bezpečnostních opatření

Hodnocení bezpečnostních opatření obsahuje hodnocení stávajících preventivních opatření a soubor doporučených opatření pro nejzávažnější zdroje rizika v objektu.

Detailní posouzení stávajících bezpečnostních opatření je součástí bezpečnostní studie metodou HAZOP. Ze studie vyplývají ve vztahu k bezpečnostním opatřením následující skutečnosti:

1. Zásobníky amoniaku

- Uzavírací (hraniční) armatury oddělující zásobníky jsou ruční, z analýzy rizika vyplynul požadavek na instalaci dálkově ovládaných armatur pro rychle a účinné uzavření a oddělení zásobníků od potrubního rozvodu, tím se výrazně sníží riziko havárie.
- Vybavení kulových zásobníků pojistnými ventily bude při revizi nádob doplněno druhým nezávislým pojistným ventilem (odpovídající požadavkům EU).

2. Cisterny s amoniakem

- Cisterny jsou dimenzovány na přetlak při vyšších letních teplotách okolního prostředí, jsou vybaveny slunečním štítem proti přímému působení slunečního záření, s ohledem na bezpečnost okolí nejsou vybaveny pojišťovacími ventily.
- Všechny cisterny mají hydraulicky rychlouzávěrný ventil typu EVA nebo GESTRA, který významně snižuje riziko úniku amoniaku z cisterny.

3. Potrubí s amoniakem

- Potrubí splňuje požadavky pro případ amoniaku, potrubí je ocelové celosvařované, neizolované a je opatřeno ochranným nátěrem.
- Potrubní rozvod lze rozdělit ručními armaturami na tři části, uzavřením armatur lze snížit následky závažné havárie.
- Na všech výparnicích amoniaku jsou instalovány pojistné ventily nastavené na 1,6 MPa přetlaku.
- V jednotlivých provozech je indikace tlaku amoniaku v potrubí.

5 ZÁVĚR

Cílem disertační práce je komplexní bezpečnostní studie zaměřena na výběr a identifikaci závažných zdrojů rizika závažné havárie v hodnoceném objektu a hodnocení následků případné havárie vzhledem k okolnímu obyvatelstvu.

Při hodnocení a identifikaci rizik byly aplikovány metody a postupy uznávané v zemích EU. Byly použity metody indexové pro všeobecné posouzení rizika (Dow's Fire and Explosion Index, IAEA – TECDOC - 727), ale také metody systematické pro identifikaci zdrojů rizika (HAZOP). Několik metod bylo nutno použito z důvodu absence jedné komplexní metody (postupy), pomocí které by bylo možné provést celé komplexní hodnocení rizika. Postupná aplikace jednotlivých metod ukázala, že pro posuzované zdroje rizika, některé metody selhávají. Dosažené výsledky nejsou objektivní.

Pro kvantitativní ocenění rizika – pravděpodobnost vzniku závažné havárie – byly použity postupy založené na logických grafech (Fault Tree, Event Tree). Při odhadu následků závažné havárie, například úniku toxického plynu, hraje významnou roli vliv meteorologických podmínek. Následky případné závažné havárie byly modelovány programem ALOHA 5.2.1. Byly popsány zdroje iniciačních událostí a posouzena přijatelnost rizik.

Modelování závažných havárií ukazuje, že následky závažné havárie překročí hranice objektu především v případě havárie kulového zásobníku, železniční cisternu a potrubního rozvodu amoniaku. V těchto případech závažné havárie jsou ohroženy okrajové části obytných zón (železniční trať, pozemní komunikace a obytné domy) nacházející se v blízkosti objektu, je tedy nutno zastavit provoz na obslužných komunikacích. Následky těchto havárií lze, v některých případech, zmírnit včasným varováním a evakuací osob v sousedních objektech.

Výsledkem komplexní bezpečnostní studie jsou informace, které jsou zejména podkladem pro modernizaci stávajících technologií, projektování nových technologií v objektu a pro orgány státní správy při vytvoření havarijních plánů dané lokality.

6 LITERATURA

- [1] A Guide to Hazard and Operability Studies, Chemical Industry Safety & Council of the Chemical Industries Association Limited, 1987
- [2] AIChE technical manual Dow's Chemical Exposure Index, American Institute of Chemical Engineers, 1994
- [3] Babinec, F.: Průmyslové podniky, SEVESO II a direktiva IPPP. Sborník, 48. Konference chemického a procesního inženýrství. Ing. Jan Novosad. 1. Vydání. Praha: Ing. Jan Novosad, procesní inženýrství, 2001. ISBN: 80 – 86059 –32 –4
- [4] C.J Van Kuijen. Prevention of Industrial Accidents in The Netherlands Industry and Environment, Vol.11 No. 3, 2-7, 1998.
- [5] Committee for the Prevention of Disasters: Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book CPR 18E), Hague, 1999.
- [6] Council directive 82/501/EEC on Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities (SEVESO I), 1982
- [7] Council directive on Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities, 82/501/EEC, Commission of the European Communities, 1990
- [8] Council directive 96/82EC on the Control of Major Accident Hazards Involving Dangerous Substances (SEVESO II), 1996, p.19
- [9] Crawley, F.K.: Do Hazard and Operability Studies have their limit actions? Loss Prevention Bulletin issue 121, February 1995, p.3-5
- [10] CROWL, A. D., LOUVAR, J. F. Chemical Process Safety. Fundamentals with Applications. 1st ed. Englewood Cliffs, New Jersey: PTR Prentice Hall, Inc., 1990. 426 p. International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences. ISBN 0-13-129701-5
- [11] Databáze HSDB, HAZARDTEXT, CHRIS, RTECS
- [12] Dow's Fire and Explosion Index, Hazard Classification Guide. AIChE, New York, 1994
- [13] Dow's Chemical Exposure Index, Guide. First Edition. New York: AIChE, 1994. 38 p. AIChE Technical Manual ISBN: 0-8169-0647-5
- [14] DUISER, J.A., HOFTIJZER G.W., OPSCHOOR, G., VERHAGEN, L.A., VAN LEEUWEN, D., VAN BUYTENEN, C.J.P., WIEKEMA, B.J., HOUWELING, J., TRENSE, R.W.: Methods for the calculation of physical effects – CPR 14E. Second Edition. Voorbung: TNO. 1992, p.394

- [15] Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 1st edition. New York: AIChE, 1989. 586 p. Center for Chemical Process Safety. ISBN 0-8169-0402-2
- [16] Guidelines for Quantitative Risks Assessment. CPR 18E "Purple Book" Committee for the Prevention of Disasters, 1st edition. The Hague. 1999
- [17] Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety. 1st edition. New York: AIChE, 1989. 170 p. Center for Chemical Process Safety. ISBN 0-8169-0423-5
- [18] Charsley, P.: HAZOP and Risk Assessment. Loss Prevention bulletin. Issue 124. 1995 p.16-19
- [19] Chemical Process Quantitative Risk Analysis: American Institute of Chemical Engineers, 1989. New York, CCPS. ISBN: 0-8169-0402-2
- [20] STRÁŽNICKÝ, P., IVÁNEK, L., BABINEC, F. Experience with selection of instalation for quantitative risk assessment. Proceedings, 29th International Conference SSChE. Markoš Josef, Štefuca Vladimír. 1. edition. Bratislava: Slovak University of Technology, 2002. p. 171 ISBN 80-227-1690-1
- [21] KLETZ, T.: HAZOP and HAZAN, Identifying and Assessing process Industry Hazards, 3rd edition, Institution of Chemical Engineers, Rugby, GB, 1993.
- [22] KLETZ, T. A: Some thought on Frank Crawley's articles, Loss Prevention Bulletin, Issue 121, February 1995, p.5
- [23] LAWLEY, H.G.: Operability Studies and Hazard Analysis, Chem. Eng. Program., vol.70, 1974, No.4, p.45-56
- [24] LEES, F. P. Loss Prevention in the Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control. Butterworth & Co (Publishers) Ltd, London, 1980 1316 p. ISBN 0-408-10604-2
- [25] LEES, F. P. Loss Prevention in the Process Industries. Butterworths Heinemann, second edition, London 1997
- [26] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Modelování úniku nebezpečné látky. Sborník, 46. konference chemického a procesního inženýrství. Ing. Jan Novosad. 1. vydání. Praha: Ing. Jan Novosad, Procesní inženýrství, 1999. Sborník 1. str.137 ISBN 80-86059-28-6
- [27] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Release of Dangerous Substances – Source Modelling, Sborník přednášek, Mezinárodní konference TD 2000 – DIAGON 2000. Ing. Vlastimil Olivka. 1. vydání. Zlín: Academia centrum Fakulty technologické, 2000. str. 192-197 ISBN 80-214-1578-9

- [28] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Release of Hazardous Substances-Source Modelling. Proceedings, 27th International Conference SSChE. Markoš Josef, Štefuca Vladimír. 1. edition. Bratislava: Slovak University of Technology, 2000. p. 91 ISBN 1 80-227-1350-3
- [29] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Release of Hazardous Substances- Source Modelling. Proceedings, 14th International Congress of Chemical and Process Engineering. Ing. Jan Novosad. 1st Edition. Praha: Process Engineering Publisher, 2000. Summaries 4, Systém Engineering. p. 227 ISBN 0-7318-005-7
- [30] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Odhad úniku kapalné látky potrubím. Sborník přednášek, Mezinárodní konference TD 2001 – DIAGON 2001. Ing. Vlastimil Olivka. 1. vydání. Zlín: Academia centrum UTB, 2001. str. 84-88 ISBN 80-7318-005-7
- [31] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Estimation of Liquid Leakage from a Piping.. Proceedings, 28th International Conference SSChE. Markoš Josef, Štefuca Vladimír. 1. edition. Bratislava: Slovak University of Technology, 2001. p. 166 ISBN: 80-227-1533-6
- [32] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Outflow of Liquefied Gas (Gas Compressed to Liquid State). Sborník, 48. konference chemického a procesního inženýrství. Ing. Jan Novosad. 1. vydání. Praha: Ing. Jan Novosad, Procesní inženýrství, 2001. Sborník 2. str.41 ISBN: 80-86059-32-4
- [33] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Risk Assessment of the Nitric Acid Production Line. Proceedings, 29th International Conference SSChE. Markoš Josef, Štefuca Vladimír. 1. edition. Bratislava: Slovak University of Technology, 2002. p. 175 ISBN: 80-227-1690-1
- [34] LIPI, D.F., BABINEC, F.: Safety Assessment of the Nitric Acid Production Line. Proceedings, 15th International Congress of Chemical and Process Engineering. Ing. Jan Novosad. 1st Edition. Praha: Process Engineering Publisher, 2002. Summaries 5, Systém Engineering. p. 373 ISBN 80-86059-33-2

7 CURRICULUM VITAE

Jméno: Ing. Domingos Filipe LIPI
Narozen: 12.12.1975
Adresa: K Silu 1980, 393 01 Pelhřimov
E-mail: dlipi@yahoo.com
Telefon: 777 700 202

Vzdělání:

2001	Rigorózní zkoušky (PhD.)
10/1999 – 10/2001	VUT – FSI Brno, Postgraduální studium
09/1994 – 06/1999	VUT FSI Brno, obor: Konstrukční a procesní inženýrství
09/1990 – 06/1994	SPŠS Pelhřimov
09/1989 – 06/1990	SPŠS Pelhřimov – Jazyková příprava
09/1981 – 06/1989	Základní škola, Lunda – Norte, Angola

Znalosti:

Anglický jazyk	plynně slovem i písmem
Portugalský jazyk	plynně slovem i písmem
Španělský jazyk	plynně slovem i písmem

Zaměstnání:

09/199 – 06/2003	Akademický pracovník, výuka základní částí bezpečnostního inženýrství, VUT – FSI, ústav procesního a ekologického inženýrství
------------------	---

Po absolvování vysoké školy jsem zahájil doktorské studium na Ústavu procesního a ekologického inženýrství FSI VUT v Brně, kde jsem se v rámci studia zabýval problematikou modelování zdroje úniku nebezpečné látky a hodnocení průmyslových rizik, vzhledem k dopadu následků potencionální havárie na okolní životní prostředí. Od zahájení studia jsem publikoval sedm příspěvků na mezinárodních konferencích a dva příspěvky na národních konferencích.