



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR INŽENÝRSTVÍ RIZIK

DEPARTMENT OF RISK ENGINEERING

POSOUZENÍ ZDROJŮ ENVIRONMENTÁLNÍCH A ZDRAVOTNÍCH RIZIK VE VYBRANÉM PODNIKU

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISK SOURCES IN A SELECTED COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Lukáš Magera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zuzana Balgová, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Lukáš Magera**
Studijní program: Řízení rizik technických a ekonomických systémů
Studijní obor: Řízení rizik technických systémů
Vedoucí práce: **Ing. Zuzana Balgová, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Ústav/odbor: Odbor inženýrství rizik

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 diplomové práce:

Posouzení zdrojů environmentálních a zdravotních rizik ve vybraném podniku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Použití chemických látek v průmyslové výrobě je vždy spojeno s nebezpečím jejich potenciálního úniku. Na základě vyhodnocení bude navržen postup včetně návrhu opatření vedoucí ke snížení rizik.

Cíle diplomové práce:

Na základě vyhodnocení rizik bude navržen postup včetně návrhu opatření vedoucí ke snížení rizik. Provedení analýzy používaných nebezpečných chemických látek ve vybraném podniku, odhad rizik pro jednotlivá nebezpečí vedoucích k poškození zdraví a škodám na životním prostředí a majetku. Návrh preventivních opatření pro zabránění vzniku havárie.

Seznam literatury:

Zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo

chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších

předpisů (zákon o prevenci závažných havárií). Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2015, ročník 2015, číslo 224.

Mašek I., Mika O. J., Zeman M.: Prevence závažných průmyslových havárií, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, ISBN 80-214-3336-1, Brno 2006.

Mika O. J., Polívka L.: Radiační a chemické havárie, Policejní akademie České republiky v Praze, ISBN 978-80-7251-321-5, Praha 2010.

SKŘEHOT, Petr a Jan BUMBA. Prevence nehod a havárií. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. ISBN isbn978-80-86973-73-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

ABSTRAKT

V diplomové práci je řešena problematika posouzení firmy nakládající s nebezpečnými chemickými látkami. V teoretické části byly řešeny právní a metodologické požadavky pro zhodnocení všech možností účinku nebezpečných chemických látek. V praktické části byla provedena analýza, vyhodnocena přijatelnost analyzovaných rizik a byly navrženy opatření ke snížení incidence identifikovaných rizik

ABSTRACT

This diploma theses deals with complex assessment of firm that handles dangerous chemical substances. Theoretical part is aimed at law and methodological requirements to evaluate every possible effect of dangerous chemical substances. Experimental part focuses on the risk analysis, acceptability of analyzed risks and in the end there was provided some insights for lowering identified risks.

KLÍČOVÁ SLOVA

Posouzení rizik závažné havárie; nebezpečná látka; havarijní plánování; krizový management

KEYWORDS

Risk assessment of severe accident, dangerous substance, emergency planning, risk management

MAGERA, Lukáš. *Posouzení zdrojů environmentálních a zdravotních rizik ve vybraném podniku*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Zuzana Balgová Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským). Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Ústavu Soudního Inženýrství v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana ÚSI VUT.

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Zuzaně Balgové Ph.D. za odborné vedení, konzultace, vstřícný přístup, trpělivost a návrhy k práci, díky kterým jsem byl schopen tuto práci napsat. Rád bych také poděkoval své rodině a přátelům za podporu a pevné nervy při tvorbě této diplomové práce.

Obsah

ABSTRAKT	1
ABSTRACT.....	1
KLÍČOVÁ SLOVA	1
KEYWORDS.....	1
1 Úvod.....	1
2 Teoretická část	2
2.1 Vymezení základních pojmů.....	2
2.1.1 Nebezpečná látka	2
2.1.2 Riziko.....	2
2.1.3 Zařízení	2
2.1.4 Objekt.....	2
2.1.5 Mimořádná událost	2
2.1.6 Závažná havárie	3
2.1.7 Havarijní plánování.....	3
2.1.8 Havarijní připravenost	3
2.1.9 Havarijní plán	3
2.1.10 Základní pojmy problematiky hořlavých látek.....	4
2.2 Modely požárů a výbuchů.....	7
2.3 Prevence závažných havárií v rámci legislativy České republiky	8
Návrh na zařazení do skupiny A nebo B.	9
2.4 Metody pro hodnocení rizik.....	11
2.4.1 H&V index.....	11
2.5 Metodologie ARAMIS.....	13
2.6 Event Tree Analysis	19
2.6.1 Metodický postup ETA.....	19

2.7	Hodnocení přijatelnosti rizik havarijních scénářů.....	21
2.8	Posouzení vlivu lidského faktoru	22
2.9	Software ALOHA	24
3	Analýza dané společnosti.....	27
3.1	Identifikace objektu a údaje o jeho zařazení	27
3.1.1	Identifikace krajského úřadu podávajícího informaci	27
3.1.2	Identifikace spolupracujícího subjektu na podávané informaci	27
3.1.3	Popis činnosti provozovatele	28
3.1.4	Analýza prostředí	28
3.2	Návrh na zařazení objektu do skupiny A nebo B.....	29
3.3	Analýza rizik	35
3.4	Metoda H&V index v podniku.....	35
3.4.1	Stanovení indexů nebezpečnosti nebezpečných chemických látek	36
3.4.2	Stanovení indexů zranitelnosti životního prostředí	38
3.4.3	Syntéza indexů nebezpečnosti a zranitelnosti prostředí	40
3.5	Analýza dle metodologie ARAMIS	43
3.5.1	Identifikace zdrojů rizik.....	43
3.5.2	Tvorba možných scénářů závažné havárie	46
3.5.3	Popis identifikovaných scénářů událostí.....	47
3.5.4	Popis kritérií pro odhad následků	53
3.5.5	Odhad následků jednotlivých scénářů	57
3.5.6	Odhad roční frekvence závažných havárií.....	68
3.5.7	Určení výsledných scénářů	69
3.5.8	Stanovení míry skupinového rizika	72
3.5.9	Hodnocení přijatelnosti rizik	72
3.6	Lidský faktor	74

3.7	Zhodnocení analýzy rizik a návrh opatření	81
4	Závěr	82
5	Seznam použité literatury	83
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	87
6	Přílohy.....	88
6.1	Množství CHLS pro zařazení objektu do skupiny A nebo B.....	88
6.2	Příloha 2: Jmenovitě vybrané nebezpečné CHLS	90
6.3	Příloha 3: Vzor návrhu na zařazení objektu.....	92
6.4	Příloha 1 Postup stanovení H&V indexu	93
6.4.1	Hodnocení indexu nebezpečnosti pro vodní prostředí.....	93
6.4.2	Hodnocení indexu nebezpečnosti pro půdní prostředí.....	94
6.4.3	Hodnocení indexu nebezpečnosti pro biotické prostředí	95
6.4.4	Hodnocení indexu nebezpečnosti hořlavosti látky	97
6.4.5	Hodnocení Index zranitelnosti povrchových vod	98
6.4.6	Hodnocení indexu zranitelnosti podzemních vod.....	98
6.4.7	Hodnocení indexu zranitelnosti půdního prostředí.....	101
6.4.8	Hodnocení indexu složek biotických složek prostředí	101
6.4.9	Celkové hodnocení závažnosti havárie	101
6.5	Příloha 5: Meteorologické podmínky.....	104

1 Úvod

Nedílnou součástí dnešního života je průmyslová činnost, jež představuje nejen technický pokrok, ale také celou řadu negativních dopadů. Znečišťování životního prostředí a úniky chemických látek z technologických procesů jsou stále velkým problémem spousty společností. K průmyslovým haváriím dnes již dochází poměrně zřídka, ale pokud k nim dojde, mají rozsáhlé negativní dopady na zdraví a životy lidí, životní prostředí a majetek.

Havárie, u kterých figurují nebezpečné chemické látky, vysoce ohrožují životní prostředí. V nebezpečí jsou především živé organismy, pro které může mít jedna havárie horší následky než dlouhodobé působení průmyslové činnosti.

V minulosti se odehrál velké množství závažných havárií, na základě kterých byly vypracovány závazné předpisy a zákony pro zlepšení havarijní připravenosti, prevenci a minimalizaci dopadů úniku nebezpečných chemických látek, požárů a výbuchů.

Z hlediska prevence závažných havárií je důležitá bezpečnostní dokumentace, podle které jsou zpracovávány vnější a vnitřní havarijní plány pro jednotlivé podniky.

Cílem této práce je analýza rizik v dané společnosti, dle platných zákonných požadavků pro prevenci závažných havárií a nakládání s nebezpečnými chemickými látkami.

2 Teoretická část

2.1 Vymezení základních pojmů

Havarijní připravenost v chemickém podniku s nebezpečnými látkami provází řada termínů. Termíny, jež jsou dále vymežovány, se vztahují na objekty a zařízení, v nichž mohou nebezpečné chemické látky způsobit havárii [1][2].

2.1.1 Nebezpečná látka

Nebezpečnou látkou se dle zákona o prevenci závažných havárií rozumí vybraná chemická látka nebo směs, která vykazuje jednu nebo více nebezpečných vlastností (např. hořlavost, toxicitu, karcinogenost atd.) [1][2].

2.1.2 Riziko

Riziko je pojem, jenž nemá doposud obecně uznávanou definici, ale lze jej charakterizovat jako jev, který vzniká s určitou pravděpodobností a přináší s sebou negativní dopady. Riziko bývá popisováno dvěma parametry, mírou neurčitosti a velikostí nebezpečnosti [1][3]. Rizikem R zjednodušeně rozumíme součin pravděpodobnosti vzniku nebezpečné události P a jejích následků N. To lze vyjádřit symbolickým zápisem $R = P \cdot N$.

2.1.3 Zařízení

Zařízením je technická nebo technologická jednotka, v níž se nebezpečná látka vyrábí, zpracovává, používá, přepravuje či skladuje, a která zahrnuje všechny části, jež jsou nezbytné pro provoz zařízení (např. stavební objekty, potrubí, skladovací tankoviště apod.) [1][2] [35].

2.1.4 Objekt

Objektem se rozumí celý prostor nebo soubor prostorů, ve kterém se nachází jedna či více nebezpečných látek v jednom nebo více zařízeních, která užívá buď právnická, nebo podnikající fyzická osoba. [1][2] [35]

2.1.5 Mimořádná událost

Mimořádnou událostí (dále jen „MU“) se dle zákona č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému rozumí škodlivé působení sil a jevů, které jsou vyvolané činností

člověka, přírodními vlivy, a také havárie ohrožující život, zdraví, majetek či životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací. [1][2] [35]

2.1.6 Závažná havárie

Závažná havárie je definována jako nežádoucí mimořádná, částečně anebo zcela neovladatelná, časově i prostorově ohraničená událost, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu zahrnujícím nebezpečnou látku a vede k ohrožení na životech a zdraví lidí, zvířat, životním prostředí nebo k újmě na majetku [1][3][2].

2.1.7 Havarijní plánování

Havarijním plánováním se rozumí soubor činností, postupů a vazeb uskutečňovaných ministerstvy a jinými ústředními správními úřady, krajskými a obecními úřady a dotyčnými právníckými nebo podnikajícími fyzickými osobami k plánování opatření a k provádění záchranných a likvidačních prací při vzniku mimořádných událostí, a to vždy s použitím existujících sil a prostředků (např. integrovaný záchranný systém) s cílem [18]:

- analyzovat existující rizika a zvýšit povědomí o rizicích na daném území,
- minimalizovat škodlivé účinky mimořádné události na životy a zdraví osob, životní prostředí, hospodářská zvířata, majtkové a kulturní hodnoty,
- stanovit opatření k odvrácení nebo omezení účinků mimořádné události a způsob odstranění následků.

2.1.8 Havarijní připravenost

Havarijní připravenost je souhrn činností zahrnujících plánování, organizování, zabezpečení potřebných sil a prostředků a provádění patřičných opatření s cílem omezit rozvoj a důsledky havárií [18].

2.1.9 Havarijní plán

Havarijní plán je dokument, v němž jsou uvedeny činnosti a opatření vedoucí ke zmírnění nebo odstranění následků MU nebo vzniklé havárie[18].

V současné době jsou zpracovávány tři typy havarijních plánů[2]:

Havarijní plán kraje – je dle zákona č. 239/2000 Sb. zpracováván hasičským záchranným sborem kraje a je určen k provádění záchranných a likvidačních prací na území kraje a pro řešení MU, při nichž je vyhlášen třetí nebo zvláštní stupeň poplachu.

Vnitřní havarijní plán – je nástrojem pro zajištění havarijní připravenosti v areálu provozovatele. Zpracovávají je provozovatelé:

- jaderných zařízení nebo pracoviště s velmi významným zdrojem ionizujícího záření, dle zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů
- objekty a zařízení zařazené do skupiny B, dle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů.

Vnější havarijní plán – zpracovávají se pro územní zóny havarijního plánování k zabezpečení ochrany obyvatelstva, životního prostředí, hospodářských zvířat, majetkových a kulturních hodnot [18].

- pro jaderná zařízení nebo pracoviště s velmi významným zdrojem ionizujícího záření, dle zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů
- pro objekty/zařízení zařazené do skupiny B, dle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů.
- zpracovatelem vnějšího havarijního plánu je hasičský záchranný sbor kraje. Vnější havarijní plány se prověřují minimálně jedenkrát za 3 roky cvičením havarijní připravenosti [18].

2.1.10 Základní pojmy problematiky hořlavých látek

Hořlavá látka

Hořlavá látka je látka ve formě plynu, páry, kapaliny, pevné látky nebo jejich směsi, která, pokud dojde k iniciaci, může vyvolat exotermickou reakci s oxidačním prostředkem (nejčastěji se vzduchem) [6].

Výbuch

Výbuch je náhlá oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně [6].

Deflagrace

Deflagrace je výbuch šířící se podzvukovou rychlostí [9].

Detonace

Detonace je výbuch šířící se nadzvukovou rychlostí a vyznačující se rázovou vlnou[7], [9], [7].

Rozsah výbušnosti

Rozsah výbušnosti je rozsah koncentrace hořlavé látky ve vzduchu, při které může nastat výbuch [6].

Dolní mez výbušnosti DMV

Dolní mez výbušnosti je nejnižší koncentrace par ve vzduchu, pod níž se plamen za přítomnosti zdroje zapálení nešíří [12].

Horní mez výbušnosti H MV

Horní mez výbušnosti je nejvyšší koncentrace par se vzduchem, nad níž se již plamen nešíří[6].

Bod vzplanutí FP (Flash Point)

Bod vzplanutí je minimální teplota, za stanovených podmínek zkoušky, při které kapalina vytvoří dostatečné množství plynů nebo par, že po aplikaci iniciačního zdroje okamžitě vzplane[8].

Mezní koncentrace kyslíku LOC (Limiting Oxygen Concentration)

Mezní koncentrace kyslíku je nejvyšší koncentrace kyslíku ve směsi hořlavé látky, vzduchu a inertního plynu, při které nemůže dojít k výbuchu[8].

Hoření

Hoření je složitý děj založený na fyzikálně-chemických přeměnách, probíhajících v reakčním pásmu, doprovázený uvolňováním tepla a obvykle i světla. Pro vznik hoření jsou nutné tři základní podmínky, a to přítomnost hořlavé látky, oxidačního prostředku a dostatečně silného iniciačního zdroje. Tento soubor podmínek tak tvoří tzv. požární trojúhelník, který je zobrazen na Obr. 2.1



Obr. 2.1 Pozární trojúhelník [18]

Hoření je komplikovaný pochod jak z hlediska makrostruktury, tak i z hlediska mikrostruktury plamene, respektive reakčního pásma. Z hlediska makrostruktury je hoření pochod, při kterém nastává výměna hmoty mezi reagujícím systémem a okolím. Lze rozlišit dva základní typy hoření:

- 1) SPALOVÁNÍ – spalování je proces, který je využíván v technických odvětvích k získávání energie a/nebo chemických produktů. Spalování se obvykle vyznačuje regulovaným dávkováním hořlaviny a oxidačního prostředku do reakčního prostoru [3].
- 2) POŽÁR – požár je nežádoucí proces založený na hoření spalitelných látek. Oba výše uvedené jevy se vyznačují výměnou hmoty s okolím. Při spalování je do reakčního pásma dávkováno palivo a hořlavina odděleně, nebo se těsně před reakčním pásmem mísí. Příkladem takového spalování může být hoření paliva v topeništi parních kotlů, ve spalovacích turbínách, v průmyslových hořácích, v kamnech nebo i v plamenu svíčky. Při požáru je do plamene (reakčního pásma) transportován vzduch nebo vzdušný kyslík prouděním nebo difúzí [3].

Z hlediska makrostruktury lze od hoření odlišit výbuch. Ten je fyzikálně-chemický jev, někdy pouze fyzikální jev, spojený s uvolněním energie. Výbuch na rozdíl od prostého hoření se vyznačuje tím, že při něm nedochází k výměně hmoty s okolím, nebo je tato výměna velmi omezena.

2.2 Modely požárů a výbuchů

Havarijně uniklé hořlavé plyny po určitém rozptýlení mohou ve vzduchu generovat požár jako vzplanutí (tzv. Flash fire) nebo tryskový požár (jet fire). Uniklé kapaliny nebo zkapalněné hořlavé plyny mohou generovat požár louže (pool fire) či ohňovou kouli (Fireball) [11].

Tryskový požár (Jet Fire)

Tyto požáry vznikají hořením havarijně unikajících plynů z tlakového zařízení (nejčastěji potrubí). Jejich hlavní nebezpečí spočívá v sálání tepla od plamenů v místech jejich působení [11].

Vzplanutí par (Flash Fire)

Jde krátce trvající požár, který vzniká při havarijním úniku paliva (plynu, prachu nebo par hořlavé kapaliny) rozptylujícího se ve vzduchu bez generování škodlivého přetlaku po zapálení, protože se plameny šíří vzniklým oblakem podzvukovou rychlostí a nedochází k výbuchu [11].

Je charakterizován vysokou teplotou s krátkým trváním. Vdechnutí horkého vzduchu může vážně poškodit plíce s potenciálem možného udušení. Požár je velmi nebezpečný v uzavřených prostorách, neboť i když je relativně malý, může kontakt s plameny způsobit popáleniny, a protože hoření spotřebuje přítomný kyslík s tvorbou kouře, může způsobit udušení přítomných osob [13].

Požár kaluží (Pool Fire)

Havarijní úniky kapalin s teplotami pod jejich normálními body varů často končí jako kaluže (ohrazených vodorovných hladin na povrchu). Pokud je unikající kapalina pod tlakem, který převyšuje její normální bod varu, tak část se bude mžikově vypařovat na páry a zbývající část kapaliny bude tvořit kaluž [8].

Takto vytvořené kaluže vytvářejí rostoucí oblak par kapalin míšených se vzduchem. Oblak je poté zapálen nějakým iniciačním činidlem. Vzniklý požár kaluže je nebezpečný pro osoby a objekty v sousedství sáláním tepla plamenů a generováním oblaků kouře s nebezpečnými zplodinami hoření a sazemi. Tyto ničivé účinky jsou funkcí druhu hořlavé kapaliny, geometrie kaluže, doby trvání požáru a vzdálenosti terčů ohrožení [8].

Exploze hořlavých par (Vapour cloud explosion)

Obecně platí, že hořlavé a vznětlivé látky mohou v dostatečné koncentraci s okysličovadlem vytvářet výbušnou atmosféru, není-li zkouškami prokázán opak. Z hlediska výbušnosti jsou důležitými faktory zejména dostatečná koncentrace hořlavé látky v prostoru, stupeň rozptýlení hořlavých látek v prostoru a její promísení s oxidačním prvkem. Pásmo výbušnosti je pro každou látku specifické a je omezeno z hlediska koncentrace horní meze výbušnosti a spodní meze výbušnosti. Uvnitř tohoto pásma tvoří hořlavá látka s oxidačním prvkem hořlavou (výbušnou) směs. Z hlediska teploty hořlavé kapaliny pásmo výbušnosti vymezují Horní bod výbušnosti UEP a Dolní bod výbušnosti LEP [9].

2.3 Prevence závažných havárií v rámci legislativy České republiky

V České republice jsou platné předpisy Evropské unie a ty jsou přeneseny pomocí právních předpisů na průmyslové podniky na našem území. Výrobní podniky jsou vždy zatíženy rizikem možné havárie, která může způsobit ztráty na životech lidí a majetku. V ohrožení je však také životní prostředí a všechny živé organismy v něm. Součástí platné legislativy je tedy prevence vzniku závažné havárie, avšak jsou zavedeny i požadavky na snížení efektu závažné havárie. Průmyslové havárie mohou ovlivnit nejen prostor závodu a jeho nejbližšího okolí, nejzávažnější havárie mohou mít následky na úrovni států nebo části kontinentu [35].

Zákon č. 224/2015 Sb. je základní právní předpis, který upravuje oblast prevence závažných havárií. Je vytvořen na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU (Seveso III) a stanovuje systém prevence závažných havárií pro objekt a zařízení, kde je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemická směs s cílem snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky případných závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářských zvířat, životní prostředí a majetek [35].

Tento zákon ruší zákon č. 59/2016 Sb. o prevenci závažných havárií. Cílem bylo snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na zdraví a životy lidí, životní prostředí a majetek [35].

Pro splnění zákonných požadavků je provozovatel průmyslového objektu povinen zpracovat seznam umístěných nebezpečných látek (NL) dle šablony v příloze 1 (6.1).

Určení množství nebezpečných látek vychází ze součtu všech dílčích množství nebezpečných látek, které jsou v objektu aktuálně nebo potenciálně umístěny [36], [37].

Pro zpracování seznamu je nutné provést kompletní audit všech nebezpečných látek a směsí v objektu. V seznamu pro zařazení objektu jsou rozhodující údaje:

- název látky definovaný podle IUPAC nebo ISO,
- identifikace látky číslem CAS,
- celkové množství látky v objektu v tunách,
- klasifikace nebezpečné látky podle nařízení (ES) č. 1272/2008,
- fyzikální forma látky (plyn, kapalina)

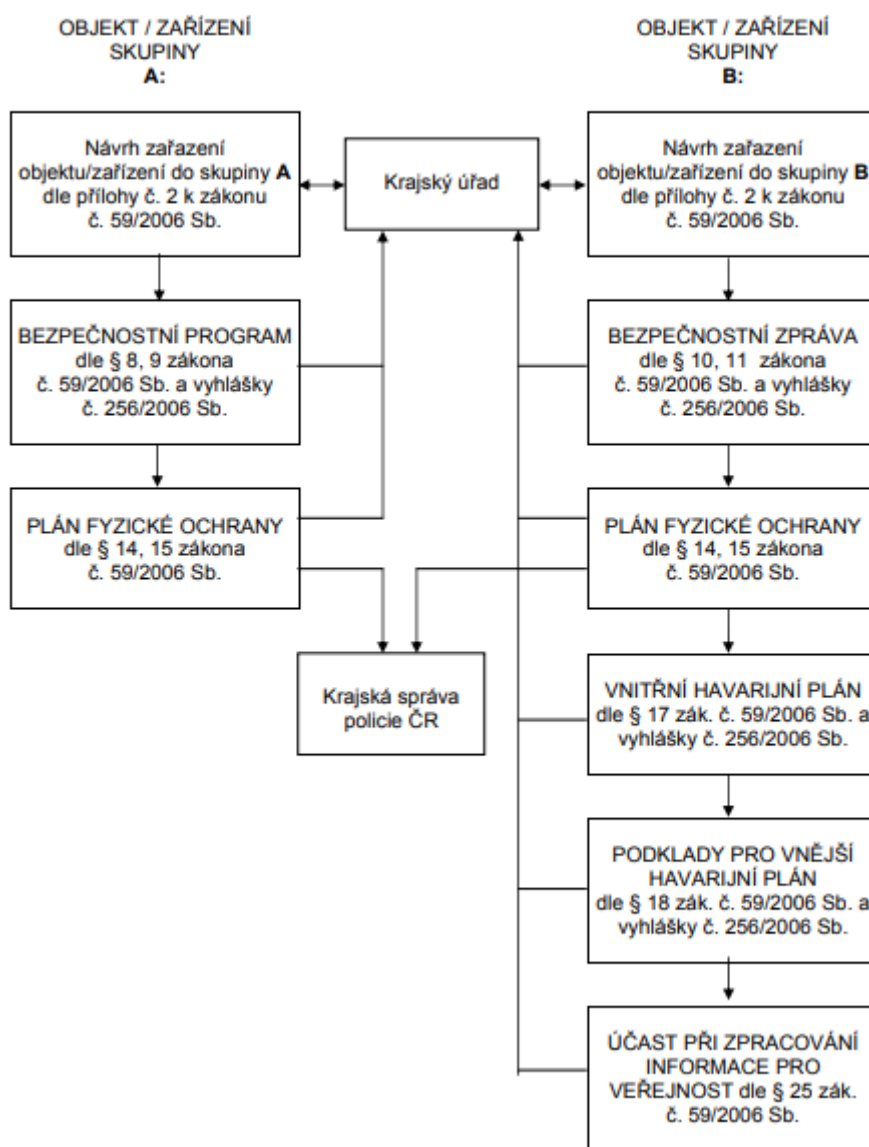
Návrh na zařazení do skupiny A nebo B.

Provozovatel spolu se seznamem NL je povinen předložit návrh na zařazení do skupiny A nebo B. Rozhodující složkou pro rozdělení do skupiny je množství (hmotnost) uskladněné nebezpečné chemické látky. Pokud umístěné množství nebezpečné chemické látky nebo směsi překračuje kvalifikační množství tabulky přílohy č. 1 (6.1) nebo přílohy č. 2. (6.2) zákona, je objekt zařazen do skupiny A nebo B. Avšak v případě nepřekročení kvalifikačního množství uvedeného v tabulce I nebo tabulce [35].

Vzorec pro sčítání poměrných množství se použije nejprve s kvalifikačním množstvím pro skupinu A. Pokud je výsledek výpočtu hodnoty N menší než 1 objekt nebude zařazen do působnosti zákona. Povinností provozovatele je zpracovat protokol o nezařazení podle vzoru v příloze č. 2 k zákonu. Tento protokol je provozovatel povinen předložit příslušnému krajskému úřadu, pokud množství látky přesáhne 2 % kvalifikačního množství pro skupinu A. V opačném případě je protokol o nezařazení uložen pro případnou kontrolu. Avšak pokud výsledek výpočtu hodnoty N je roven nebo větší než 1, bude objekt zařazen do působnosti zákona. Konkrétní zařazení do skupiny A nebo B rozhodne opakování výpočtu podle téhož vzorce, kdy bude pro výpočet dosazeno kvalifikační množství pro skupinu B. V tomto případě je provozovatel povinen zpracovat dokumenty spjaté se zařazením [35].

Na základě zařazení je provozovatel povinen zpracovat bezpečnostní dokumentaci.

V případě zařazení do skupiny A je povinen předložit bezpečnostní program a pravidelně jej aktualizovat. Postup vypracování požadované dokumentace je zobrazen na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Postup vypracování bezpečnostní dokumentace dle zákona o prevenci závažných havárií [13]

2.4 Metody pro hodnocení rizik

2.4.1 H&V index

Metodika Hazard and Vulnerability Index (H&V Index) byla vytvořena v rámci disertační práce Kateřiny Stuchlé na pracovišti VŠB – TU Ostrava. V roce 2003 byla metoda Ministerstvem životního prostředí doporučena jako oficiální metodika pro hodnocení rizik s dopadem na životní prostředí a byla zveřejněna ve věstníku MŽP č. 3/2003.

Jedná se o indexovou metodu, která slouží pro hodnocení environmentálního rizika podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií a také pro prioritizaci rizik na územních celcích, zhruba do velikosti okresu [12].

Hodnocení dopadů na ŽP metodou H&V Index vychází z analýzy rizik závažné havárie, kde je stanovena pravděpodobnost úniku nebezpečné látky do ŽP a množství uniklé látky. Není-li provedeno kvantitativní hodnocení závažné havárie a není tedy známo množství uniklé nebezpečné látky, je nutno uvažovat únik veškerého množství nebezpečné látky. Pokud nejsou složky ŽP ohroženy závažnou havárií, není jejich hodnocení nutné [12].

Princip metody H&V Index spočívá ve stanovení indexu zranitelnosti jednotlivých složek životního prostředí vůči účinkům nebezpečných chemických látek a indexu nebezpečnosti látky. Index zranitelnosti je stanovován pro následující složky ŽP [12]:

- povrchové vody,
- podzemní vody,
- půdní prostředí,
- biotická složka prostředí.

Tento index reflektuje vliv vlastností jednotlivých složek ŽP, např.: propustnost půdy, propustnost hydrogeologického podloží, využití půdy, využívání podzemní a povrchové vody, zvláště chráněná území přírody, ochranná pásma atd.

Index nebezpečnosti látky se dělí dle typu ohrožení do 2 skupin [12]:

Index toxické nebezpečnosti látky:

- s dopadem na vodní prostředí,
- s dopadem na půdní prostředí,

- s dopadem na biotickou složku prostředí.

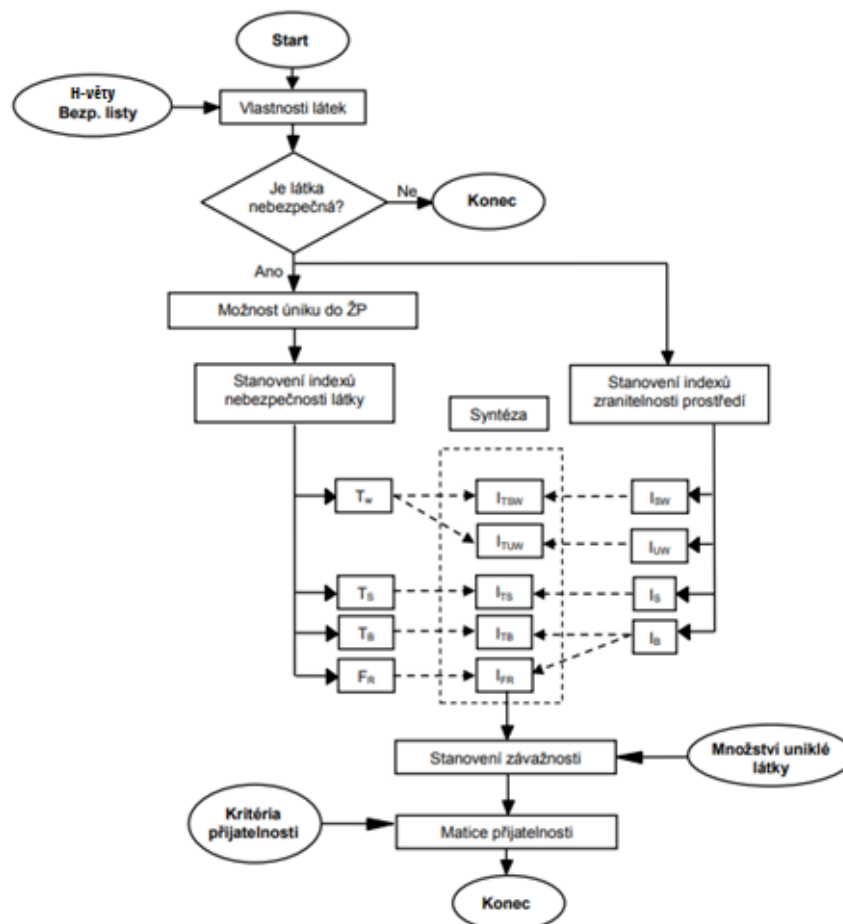
Index nebezpečí hořlavosti látky:

- s dopadem na biotickou složku prostředí.

Indexy nebezpečnosti látky jsou stanovovány na základě fyzikálně-chemických a toxikologických vlastností dané látky

Na základě syntézy indexů nebezpečnosti a zranitelnosti jsou stanoveny dílčí indexy, vyjadřující závažnost dopadů na složku životního prostředí pro konkrétní nebezpečnou chemickou látku. Kombinace výsledných indexů s množstvím uniklé látky určuje kategorii závažnosti posuzované havárie pro jednotlivé složky ŽP a může být vyhodnocena přijatelnost rizika posuzovaného scénáře [12].

Postup posouzení rizik metodou H&V Index je zobrazen na Obr. 2.3. Více dopodrobna je postup hodnocení rozebírán v praktické části 3.4.



Obr. 2.3 Diagram postupu hodnocení dle metody H&V Index

2.5 Metodologie ARAMIS

Metodologie ARAMIS („Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of the SEVESO II directive“) vznikla jako projekt 5. rámcového programu EU v období let 2002 – 2004. Členy týmu byly renomované evropské instituce jako například INERIS, EPSC, JRC, TU Delft, atd. Projekt ARAMIS navrhl harmonizovanou metodologii hodnocení rizik, jejímž cílem je především snížení nejistot a variability výsledků a zahrnutí hodnocení efektivity managementu rizik do analýzy. ARAMIS je nutno chápat jako komplexní nástroj pro efektivní provedení identifikace a analýzy rizik s celou řadou předpřipravených a doporučovaných kroků. Metodologie je alternativou

k doposud využívaným deterministickým a probabilistickým přístupům k hodnocení rizik [21].

Cíle metodologie ARAMIS lze shrnout následovně:

nabídnout harmonizovaný postup hodnocení rizik a tím snížit nejistoty,

poskytnout efektivní nástroj pro plnění podmínek SEVESO II. direktivy,

zahrnout do hodnocení rizik stávající bezpečnostní opatření a úroveň řízení rizik,

vyhodnotit rizika na základě integrace indexu závažnosti následků, účinnosti managementu a zranitelnosti okolního prostředí [21].

Celý postup lze rozdělit do tří základních kroků, výstupy těchto kroků jsou příslušné indexy:

hodnocení závažnosti následků (S – severity index),

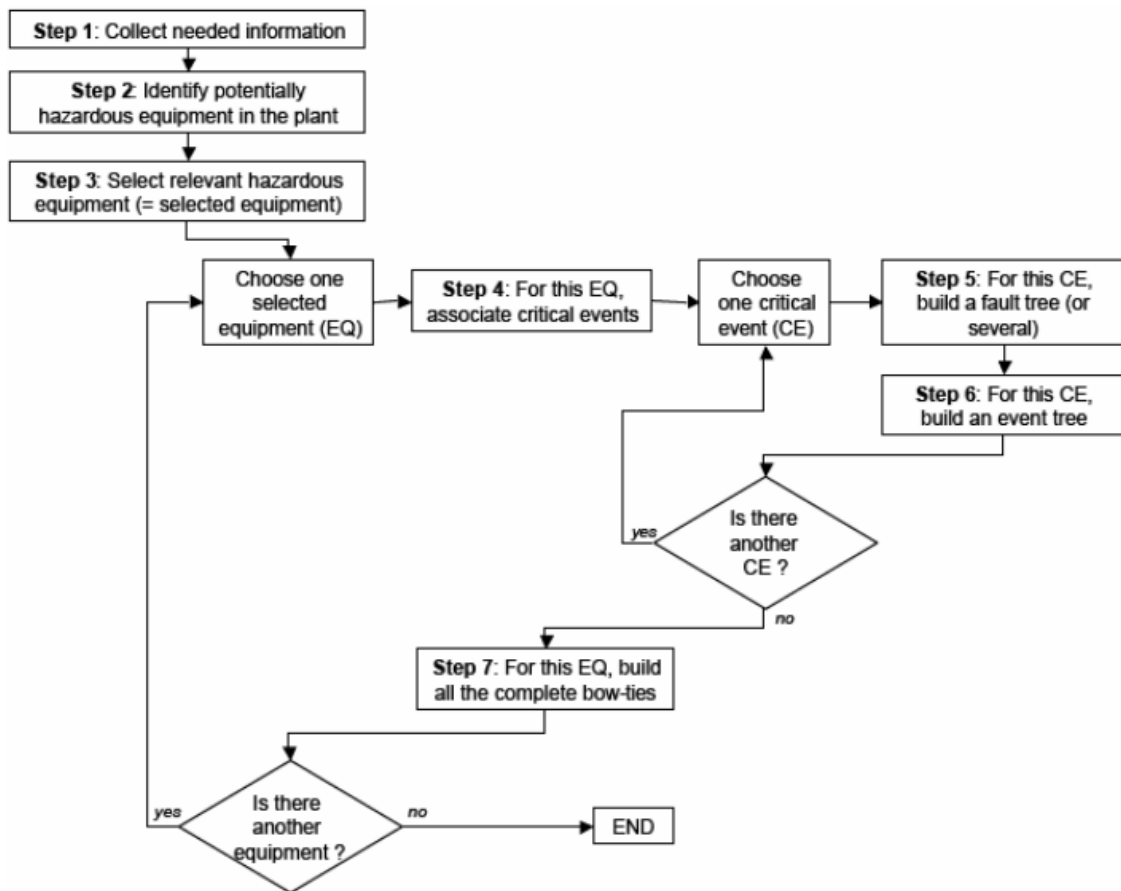
hodnocení účinnosti řízení rizik (M – management index),

hodnocení zranitelnosti okolního prostředí (V – vulnerability index).

Všechny indexy lze vyhodnocovat samostatně, ale především S a M index jsou značně provázány při výběru referenčních scénářů havárií a stanovení závažnosti následků, kdy účinná opatření pro snížení rizik mohou ovlivnit frekvenci havárií nebo omezit dosah následků havárií. Pro stanovení S indexu neboli referenčních scénářů havárií je potřeba provést dvě dílčí hodnocení podle metod pro identifikaci zdrojů rizik.

Metoda MIMAH ((Methodology for the Identification of Major Accident Hazards) je metoda založena na standardizovaném přístupu pomocí stromu poruch (FTA) a stromu událostí (ETA). Výsledkem je ucelený pohled na proces a jeho součásti, kde se příčiny a následky havárie střetávají v jediném bodě – kritické události. Nejprve je potřeba provést výběr nebezpečných zařízení v podniku nebo regionu. Zařízení obsahující nebezpečné látky jsou vybrána pro další hodnocení, pokud množství nebezpečných látek je větší než definované prahové množství. Toto prahové množství je stanoveno v závislosti na nebezpečných vlastnostech látek, jejich fyzikálním stavu a umístění vůči jiným nebezpečným zařízením. Výsledkem hodnocení metodou MIMAH jsou obecné scénáře havárií, které představují nejhorší možné scénáře, a které je potřeba upravovat podle konkrétních podmínek v hodnoceném podniku, což je obsahem další metody.

Nejprve byla aplikována metoda MIMAH, základní kroky MIMAH jsou uvedeny na obrázku



Obr. 2.4 Diagram hodnocení metody MIMAH [21]

Cílem MIMAH je identifikovat potenciální scénáře závažné havárie, které se mohou vyskytnout v průmyslovém procesu. MIMAH definuje maximální nebezpečný potenciál v zařízení. V této fázi hodnocení je scénáře nutno chápat jako nejhorší případy, které mohou nastat bez zvažování bezpečnostních opatření (včetně managementu bezpečnosti).

První tři kroky metody MIMAH (sběr informací, identifikace potenciálních zdrojů rizika, výběr významných zdrojů rizik). Obecně je ale pro účely identifikace zdrojů rizika metodou MIMAH definováno 16 typů zařízení. Pro naše účely jsou důležité EQ 4 – skladování v tlakových zásobnících, EQ 8 – tlakové přepravní zařízení, a EQ 15 – plnicí linky.

Pro každý vybraný zdroj rizika musí být přiřazena kritická událost (CE – Critical Event). Kritická událost je definována jako únik obsahu (LOC – Loss of Containment) tekutin

ze zařízení nebo pro pevné látky přesněji změna fyzikálního stavu (LPI – Loss of Physical Integrity). Metoda MIMAH předpokládá následujících 12 kritických událostí [21]:

- CE1 – Dekompozice
- CE2 – Exploze
- CE3 – Materiál v pohybu (způsobený vzduchem)
- CE4 – Materiál v pohybu (způsobený kapalinou)
- CE5 – Vznícení
- CE6 – Trhlina pláště s únikem par
- CE7 – Trhlina pláště s únikem kapaliny
- CE8 – Únik kapaliny z potrubí
- CE9 – Únik plynu z potrubí
- CE10 – Katastrofální roztržení
- CE11 – Zhroucení nádoby
- CE12 – Zhroucení střechy

Pro přiřazení kritické události k závažnému zdroji rizika je používána matice typu zařízení a 12 potenciálních kritických událostí.

Dalším krokem je sestavení stromu poruch pro každou kritickou událost. Pro každou kritickou událost je nejprve přiřazen jeden nebo více obecných stromů poruch. Metoda MIMAH navrhuje 14 předdefinovaných stromů poruch, které jsou omezeny na 5 úrovní spojených AND a OR hradly. Tyto stromy poruch jsou připraveny jako seznam všech možných příčin a měly by být přizpůsobeny konkrétnímu zařízení.

Dále je každé kritické události přiřazen strom událostí, který je možné generovat automaticky pomocí matic v závislosti na fyzikálním stavu a nebezpečných vlastnostech látek. Metodologie definuje 13 nebezpečných projevů (Dangerous Phenomena DP):

- DP1 – Požár kaluže (Poolfire),
- DP2 – Požár zásobníku (Tankfire),
- DP3 – Požár typu Jetfire (Jetfire),
- DP4 – Výbuch mraku par (VCE),
- DP5 – Požár typu Flashfire (Flashfire),
- DP6 – Toxický mrak (Toxic cloud),

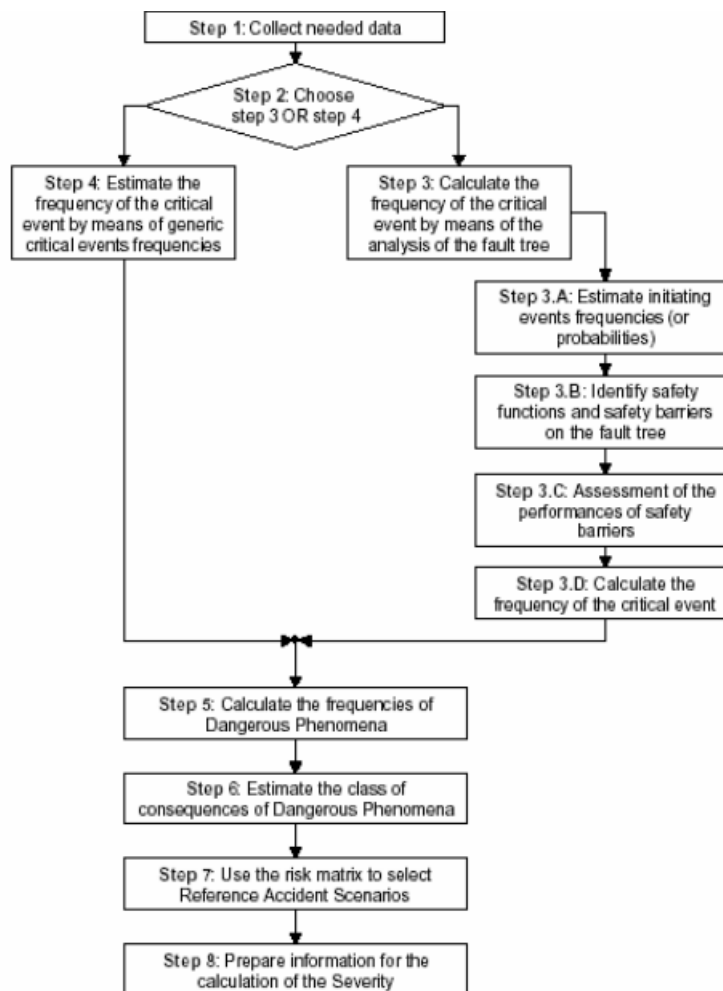
- DP7 – Požár (Fire),
- DP8 – Rozlet úlomků (Missiles ejection),
- DP9 – Vývin přetlaku (Overpressure generation),
- DP10 – Požár typu Fireball (Fireball),
- DP11 – Poškození životního prostředí (Environmental Damage),
- DP12 – Výbuch prachu (Dust explosion),
- DP13 – Překypění a následný požár kaluže (Boilover and resulting poolfire).

Závažná událost (ME) je definována jako závažný účinek na cíl (lidské zdraví, zařízení, životní prostředí, ...) vyplývající z nebezpečného projevu. Možné závažné účinky jsou:

- Tepelné záření (Thermal radiation),
- Přetlak (Overpressure),
- Úlomky (Missiles),
- Toxické účinky (Toxic effects),

Tyto závažné události ovšem nejsou ve stromech událostí zobrazovány vzhledem k celkovému počtu možných variant. Předdefinované stromy událostí by rovněž měly být upraveny podle místních podmínek hodnoceného zařízení. Některé události nemusí být reálné, například vzhledem k teplotním a tlakovým podmínkám v zařízení. Metodologie proto doporučuje upravit předdefinované stromy událostí podle příslušných H-vět nebezpečných látek.

Poté následuje metoda MIRAS. Základní kroky metody MIRAS jsou uvedeny na následujícím schématu (Obr. 2.5):



Obr. 2.5 Diagram hodnocení metody MIRAS [21]

Cílem MIRAS je vybrat referenční scénáře havárií ze scénářů identifikovaných v části MIMAH. Metoda je založena na studiu vlivu prvků bezpečnosti a řízení rizik na scénáře vybrané v MIMAH. Referenční scénáře havárií (RAS) představují reálný nebezpečný potenciál zařízení po zvážení bezpečnostních systémů (včetně managementu). V metodologii MIRAS jsou zvažovány:

- bezpečnostní systémy instalované na zařízení,
- systém managementu bezpečnosti,
- frekvence výskytu havárií,
- možné následky havárií.

Další kroky mají za cíl odhadnout frekvenci kritické události pro hodnocení FTA a ETA diagramy. Tato frekvence může být získána pomocí stanovení frekvence kritické události analýzou stromu poruch, a ta postupuje následovně:

- stanovení frekvencí iniciačních událostí,
- určení bezpečnostních bariér ve stromech poruch,
- vyhodnocení účinku bezpečnostních bariér,
- výpočet frekvence kritické události.

Výstupem případové studie jsou stromy poruch se stanovenými frekvencemi kritických událostí [21].

Výsledkem této části metody MIRAS je frekvence kritické události, v případě frekvence kritické události menší než 10^{-7} /rok není potřeba aplikovat další následné kroky.

2.6 Event Tree Analysis

Analýza stromu událostí je postup, který sleduje průběh procesu od iniciační události přes konstruování události vždy na základě dvou možností. Metoda ETA je induktivní metoda, která slouží pro názorné zobrazení systémového stromu událostí. Tento strom událostí má podobu rozvětveného grafu s dohodnutou symbolikou. Jsou v něm znázorněny všechny události, které se v posuzovaném systému mohou vyskytnout[23], [24].

2.6.1 Metodický postup ETA

- 1) *Vymezení systému nebo činnosti, které jsou předmětem zájmu [23]*

Specifikují se a jasně se vymezí hranice systému nebo činnosti, pro které se má provést analýza ETA.

- 2) *Identifikace iniciačních událostí, které jsou předmětem zájmu [23]*

Provede se třídění, aby se identifikovaly události, které jsou předmětem zájmu, nebo kategorie událostí, na které se analýza zaměří[23].

- 3) *Identifikace zmírňujících faktorů a fyzických jevů [23]*

Identifikují se různé zmírňující faktory, které mohou ovlivnit průběh iniciační události k jejím výstupům. Mezi tyto zmírňující faktory se zahrnují jak technické systémy, tak lidské zásahy/rozhodnutí. Identifikují se též fyzické jevy nebo nahodilé události, jako je vznícení nebo meteorologické podmínky, které ovlivní průběh, a nakonec výstup iniciační události[23].

4) *Vymezení posloupností a výstupů a jejich kvantifikace* [23]

Pro každou iniciační událost se přesně stanoví různé výstupy (např. scénáře nehody), které mohou nastat, a provede se aktuální kvantitativní analýza na základě zkonstruovaného stromu událostí.

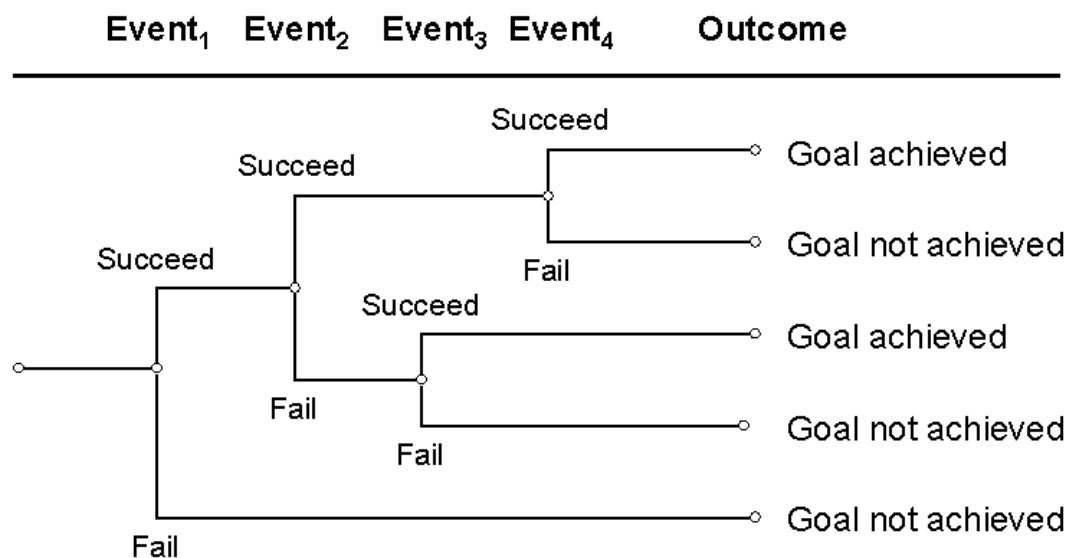
5) *Analýza výstupů*

Potom se analyzují různé výstupy s ohledem na jejich následky a jejich dopad na výsledky analýzy.

6) *Použití výsledků analýzy ETA* [24]

Kvalitativní a kvantitativní výsledky analýzy se potom převedou na nutné zásahy

Výstupem analýzy ETA je poté ETA diagram:



Obr. 2.6 Schéma ETA diagramu [23] [19]

Před zahájením kvantitativní analýzy pravděpodobnosti výstupů různých posloupností událostí je nutné pečlivě analyzovat kvalitativní hlediska modelu stromu událostí. Tato hlediska zahrnují závislosti iniciační událostí a vrcholových událostí. K jednotlivým

hradlům jsou poté vypracovány pravděpodobnosti vzniků a jednotlivé scénáře jsou vypočítány na základě součinu jednotlivých pravděpodobností [24].

V této diplomové práci byly použita metoda ETA pro vyhotovení diagramů a k odhadům pravděpodobnosti vzniku a průběhu havarijních scénářů. S jejich pomocí byl proveden odhad výsledné roční frekvence koncové události F_s , která slouží jako vstupní parametr pro výpočet roční frekvence scénáře havárie F_h (rovnice (2.1)) [34].

$$F_h = F_s \cdot P_{VNL} \cdot P_{VO} \cdot P_{atm.podmínky} \quad (2.1)$$

Kde F_s je výsledná roční frekvence koncové události scénáře, P_{VNL} je pravděpodobnost výskytu nebezpečné látky (pokud není ZR přítomen neustále), P_{VO} je pravděpodobnost výskytu osob v dané lokalitě a $P_{atm.}$ je pravděpodobnost meteorologické situace v době havárie. Některé koeficienty mohou v konstantních podmínkách nabývat hodnoty 1 (např. P_{atm} a P_{VO}) [34].

2.7 Hodnocení přijatelnosti rizik havarijních scénářů

Je nutné vyhodnotit, zda jsou identifikovaná rizika přijatelná, nebo je nutné implementovat nějaké opatření pro snížení incidence nebo následků potenciální havárie [34].

V případě kvantitativní metody hodnocení závažných havárií je optimální provedení pomocí vypočítání míry skupinového rizika. Skupinové riziko v rámci prevence závažných havárií je riziko, kterému je vystavena skupina lidí ovlivněných závažnou havárií a představuje frekvenci takové události, při které zahyne N osob současně.

Výpočet skupinového rizika se vypočítá [34]:

$$R = F_h \cdot N \quad (2.2)$$

Kde R je vypočítaná míra skupinového rizika, F_h je roční roční frekvence scénáře havárie vypočítaná na základě analýzy ETA a N – je odhad počtu usmrcených osob (v této diplomové práci odhadováno za pomoci simulaci v softwaru ALOHA) [34].

Když se hodnotí přijatelnost rizika havárií pro účely zákona o prevenci závažných havárií, jedná se o porovnání hodnoty předchozím postupem odhadnutého skupinového rizika

scénářů závažné havárie v objektu s mezní hodnotou přijatelnosti roční frekvence závažné havárie. Skupinové riziko scénáře závažné havárie pro okolí hodnoceného objektu se považuje za přijatelné, jestliže platí:

$F_h < F_p$, kde pro F_p platí vztah

$$F_p = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{N^2} \quad (2.3)$$

Kde opět - F_p je přijatelná roční frekvence závažné havárie, F_h dříve zjištěná roční frekvence scénáře závažné havárie a N je odhad počtu usmrčených osob.

Pokud by byla míra skupinového rizika vyhodnocena jako nepřijatelná, bylo by nutné zavést další preventivní opatření pro snížení incidence nebo mortality [34].

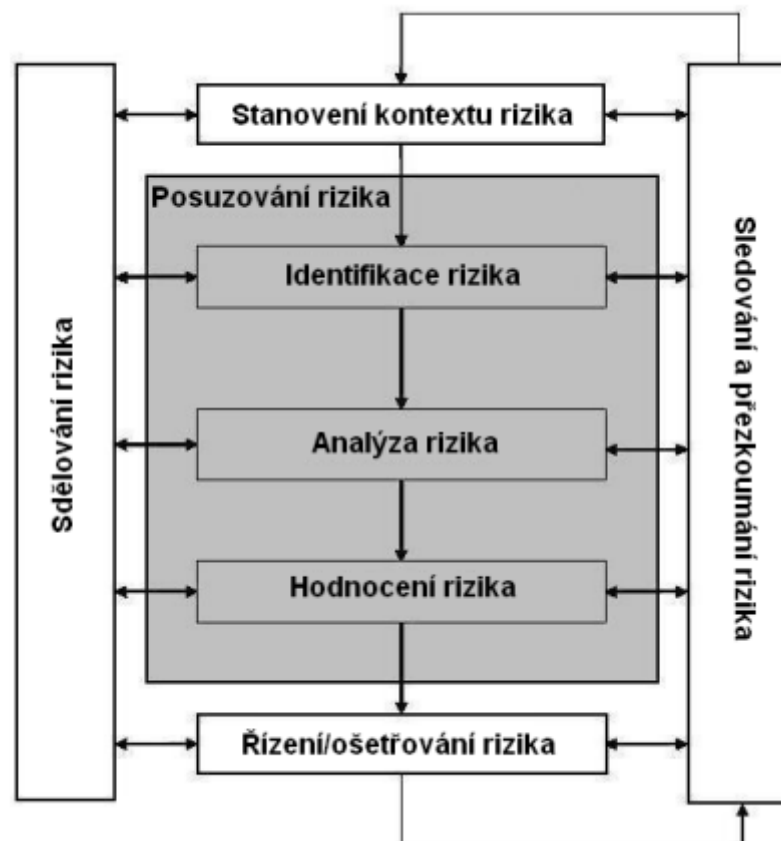
2.8 Posouzení vlivu lidského faktoru

Součástí české legislativy je také vyhodnocení lidské činnosti v pracovním systému. Prováděním činností v technologickém prostředí je člověk brán jako „rizikový element“. Zaměstnavatel je za účelem zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci povinen soustavně vyhledávat nebezpečné činitele a procesy pracovního prostředí a neustále pracovat na jejich odstranění nebo zmírnění negativních účinků. Nebezpečným činitelem jsou míněny nejen viditelné aspekty pracovišť a prostředí, ale také lidé samotní. Člověk je vždy nejslabším článkem v zajištění bezpečnosti na pracovišti a tím pádem také nejsložitějším k odstranění rizik s ním spojenými. V důsledku to znamená, že jakékoliv selhání lidského faktoru ovlivňuje ostatní prvky analyzovaného systému[29], [30].

Nejlepším přístupem pro analýzu spolehlivosti lidského vlivu je použití kombinace kvantitativní a kvalitativní analýzy. Současné přístupy používané v ČR nekladou příliš velký důraz na kvantitativní způsob hodnocení. Nejčastěji používaný je popisný systém posouzení aktuálního stavu, který však není exaktní metodou. Správně vypracovaná analýza lidského faktoru by měla zahrnovat tyto kroky[29], [30]:

- (1) Analýzu úkolů
- (2) Identifikaci lidských chyb
- (3) Kvantifikaci spolehlivosti člověka (tj. určení pravděpodobnost vzniku chyby)

Identifikace rizik spojených s lidským činitelem zahrnuje zjišťování zdrojů rizik, událostí na ně vázaných, jejich příčin a potenciálních následků. Analýza rizika je procesem pochopení povahy rizika a stanovení úrovně rizika, kdy úroveň rizika (velikost rizika) je vyjádřena jako kombinace následků a jejich možnosti (pravděpodobnosti) výskytu. Hodnocení rizika je proces porovnání výsledků analýzy rizika s kritérii rizika k určení, zda riziko je přijatelné. Management rizik lidského faktoru je zobrazen na Obr. 2.7



Obr. 2.7 Management rizik lidského faktoru [30]

Pravděpodobnost vzniku lidské chyby

Lidská chyba je vždy výsledek, jenž byl ovlivněn několika různými vlivy. Individuální kvality a emocionální stavy jedince jsou neoddiskutovatelnými součástmi člověka jako takového a je nutné je vzít v potaz. Existuje řada dalších faktorů, jakými je obtížnost prováděného úkolu, podmínky, ve kterých je úkol vykonáván a podobně [29], [30].

Hodnocení lidského faktoru je věnována řada sofistikovaných metod a pravděpodobnost vzniku chyby je vyjadřována semikvantitativně (body, koeficienty) případně kvantitativně jako pravděpodobnost (vyjádřená jako hodnota mezi 0 a 1), že při úkonu udělá člověk chybu. V rámci této diplomové práce byla využita semikvantitativní metoda pro odhad pravděpodobnosti lidského selhání. Jednotlivé činnosti byly rozděleny do kategorií podle složitosti úkolu a charakteru prostředí, ve kterém byly prováděny. Kategorizace činností umožnila ohodnotit pravděpodobnost vzniku lidské chyby v relativním měřítku od nejnižší po nejvyšší pomocí bodového hodnocení [29], [30].

Bodová hodnota pravděpodobnosti lidské chyby tedy reprezentuje veličinu pravděpodobnosti vzniku rizikové situace. Základním východiskem pro aplikaci tohoto přístupu je předpoklad, že dané činnosti budou prováděny osobami s příslušnou kvalifikací.

Následky lidských chyb

Následky lidských mají několik možností následků. Ty mohou být nejčastěji vyhodnoceny jakožto peněžní ztráta. Další možností následků lidské chyby jsou potenciální ztráty životů pracovníků provádějící svou práci. Protože prioritním účelem této diplomové práce je posouzení rizika spojeného s ochranou života a zdraví pracovníků, následky lidské chyby jsou klasifikovány třemi úrovněmi následků [29], [30]:

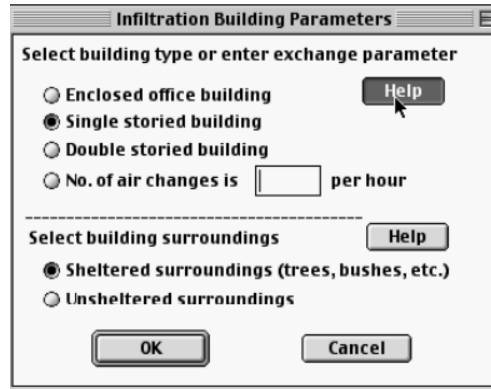
- bez následků,
- úmrtí jedné osoby,
- úmrtí několika osob.

Využití metody je popsáno v praktické části 3.6.

2.9 Software ALOHA

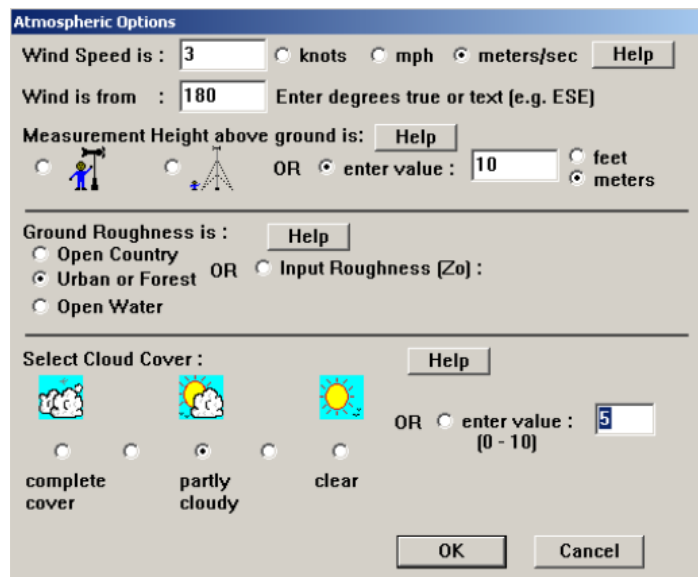
Je softwarový nástroj určený k reakci na způsobenou havárií, nebo pro havarijní plánování a spolupracuje se systémy CAMEO a MARPLOT. Program ALOHA není podporován v českém jazyce [22], [31].

Pro úspěšné modelování v softwaru ALOHA je nutné zadat vstupní parametry. Jeden z prvních parametrů, který je možné zvolit, je typ budovy uskladnění NCHL a její okolí [31].



Obr. 2.8 Výběr typu budov

Dalším krokem je zadání atmosférických podmínek, což je společný parametr v místě události. V menu **SetUp** volba **Atmospheric** můžeme zadat potřebné údaje ve dvou krocích. Údaje, které neznáme, je možné vyhledat na internetu, nebo je konzervativně odhadneme (tj. spíše horší než lepší) [31].



Obr. 2.9 Nastavení atmosférických podmínek

Vymezení uniklé nebezpečné chemické látky

V další části analýzy v softwaru ALOHA je nutná specifikace unikající NCHL. Software má obsažen poměrně rozsáhlou knihovnu chemických látek obsahující jednotlivé nebezpečné limity (meze výbušnosti, mezní toxicity atd.) Pro často používané látky je pravděpodobné, že budou v knihovně již obsaženy. Pokud by se jednalo o látku speciální, je možné využít program CAMEO chemicals, jenž je propojen s programem ALOHA. V programu CAMEO chemicals je možné najít nebezpečné vlastnosti látek pro většinu existujících NCHL [31].

V softwaru ALOHA je možno počítat s vertikálními větrnými poryvy na gaussovskou disperzi a disperzi těžkých plynů a odpařování z kaluže. Jsou zohledňovány také odrazy od povrchu země a vliv atmosférické inverze. Termodynamické hledisko je zde také zohledňováno, a to s přenosem tepla z odpařující se kaluže a povrchu země. Výstup modelu zahrnuje sumarizaci uživatelských vstupů. Jsou k dispozici grafy a mapové zobrazení se směrem šíření, velikosti oblaku a koncentrací látek. Celkový výsledek lze uložit do archívu a porovnávat s ostatními modely [22], [31].

Softwarový nástroj vychází z polohy zdroje rizika, informací o chemických vlastnostech chemické látky, atmosférických podmínek, charakteru krajiny a množství uniklé látky. Po zadání vstupních informací vykreslí odhad ohrožené oblasti do třech zón ohrožení. Zóny jsou vyznačeny barevně. Červená křivka znamená nejvyšší koncentraci látky v ovzduší tudíž největší ohrožení, následuje oranžová a potom žlutá barva. Tomuto odhadu předchází výběr příslušných vhodných hodnot koncentrace látky v ovzduší LOC (Levels of concern) [22], [31].

3 Analýza dané společnosti

3.1 Identifikace objektu a údaje o jeho zařazení

Název společnosti:

Air Products spol. s r.o.

Sídlo a adresa provozovatele:

Ústecká 30, 405 02 Děčín Identifikační číslo 41324226

Tel. číslo do Tuřanka 94, 627 00 Brno-Slatina:

545 217 248

3.1.1 Identifikace krajského úřadu podávajícího informaci

Sídlo:

Žerotínovo nám. 449/3, 601 82 Brno

Identifikační číslo:

70888337

Odbor životního prostředí, oddělení technické ochrany životního prostředí:

724 107 728

3.1.2 Identifikace spolupracujícího subjektu na podávané informaci

Sídlo:

Zubatého 1, 614 00 Brno

Identifikační číslo:

70884099

Oddělení krizového řízení a ochrany obyvatelstva

950 630 179

3.1.3 Popis činnosti provozovatele

Jedná se o objekt, jenž se zabývá plněním a skladováním plynů. Plyny jsou skladovány v kapalně formě v zásobnících a pomocí čerpadel jsou plněny do tlakových lahví. Některé plyny jsou dováženy od dodavatelů a následně jsou v areálu skladovány. Vyráběné i skladované plyny jsou poté distribuovány zákazníkům.

Provozovanou činnost lze charakterizovat jako strojní výrobu a z této skutečnosti vyplývá i míra rizika ohrožení okolních prostorů. Umístění objektu nezvyšuje možnost kumulace zdrojů rizika a tím i možnost vzniku domino efektů nebo eskalace případné havárie.

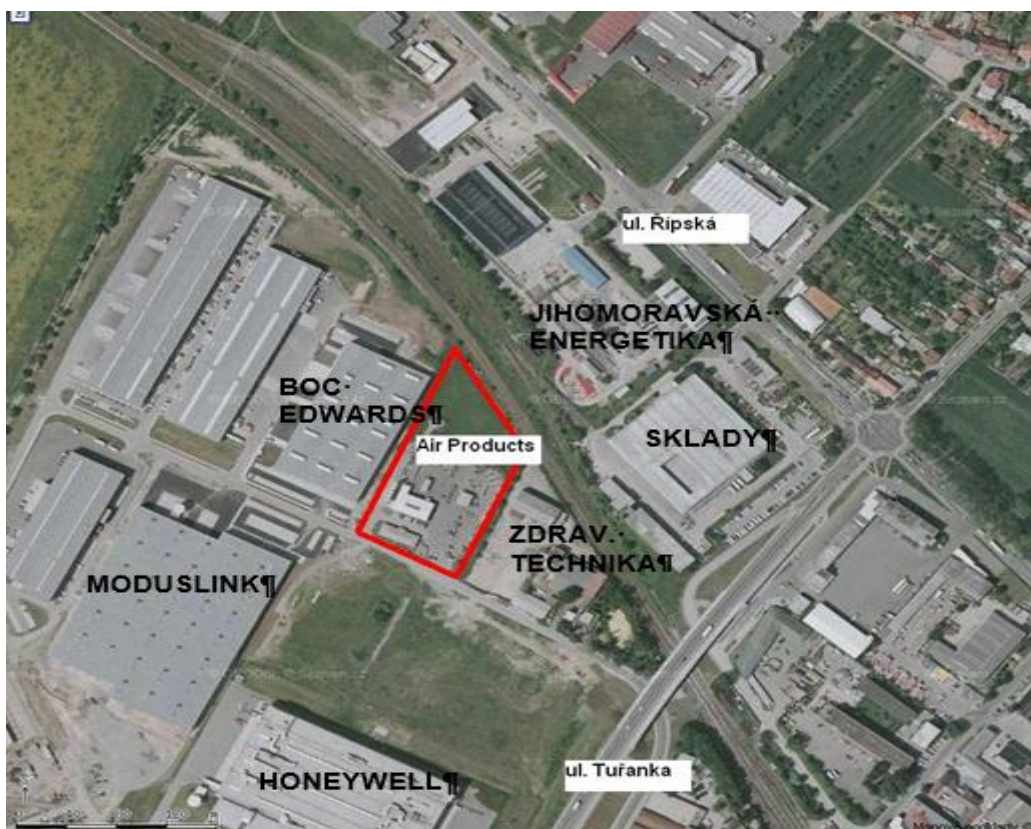
3.1.4 Analýza prostředí

Na Obr. 3.1. je znázorněn areál firmy Air Products se všemi okolními objekty. Areál plnicí stanice Air Products se nachází na okraji jihovýchodní části města Brna v městské části Slatina.

V bezprostřední blízkosti objektu plnicí stanice AP Brno-Slatina jsou situovány tyto objekty:

- Brněnská zdravotní technika – bezprostředně sousedí z východní strany
- Železniční trať Českých drah – ve vzdálenosti cca 50 m
- Edwards Services, s.r.o. – bezprostředně sousedí ze západní strany
- Jihomoravská energetika
- Moduslink

Vzhledem k charakteru okolních objektů nebyly zjištěny prvky, které mohou havárii způsobit nebo zhoršit její následky.



Obr. 3.1 Obrázek umístění objektu

3.2 Návrh na zařazení objektu do skupiny A nebo B

Dle zákona 224/2015 je nutno vypracovat návrh o zařazení objektu do skupiny A nebo B. Vzor tohoto návrhu lze najít v příloze 3.

Tab. 3.1 Tabulka návrhu na zařazení objektu do skupiny A nebo B [35]

Látka	Množství [t]	Klasifikace látky	Fyzikální forma látky
Vodík, směsi s vodíkem Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	0,254 + 0,337 = 0,591	H220, H280	Vodík, směsi s vodíkem Jmenovitě vybraná nebezpečná látka
Kyslík Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	61,746	H270, H281	Zkapalněný plyn
Směsi s kyslíkem Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	2,674	H270, H281	Stlačený plyn
Acetylen Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	10	H220, H230, H280	Stačený plyn

LPG Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	6,6	H220, H280	Zkapalněný plyn
Propylen Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	9,24	H220, H280	Zkapalněný plyn
Chlor Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	0,063	H270, H280, H330, H315, H319, H335, H400, H410	Stlačený plyn
Bezvodý amoniak Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	0,5247	H221, H280, H314, H318, H331, H400, H411	Stlačený plyn
Chlorovodík (zkapalněný plyn) Jmenovitě vybraná nebezpečná látka	0,111	H280, H331, H314, H318	Zkapalněný plyn
Oxid siřičitý	0,185	H280, H 331, H314	Stlačený plyn
Dichlorsilan	0,036	H220, H 280, H330, H314, H318	Stlačený plyn
Oxid dusný	8	H270, H280	Zkapalněný plyn
Fluorodusík	1	H270, H280	Zkapalněný plyn
Silan	0,02	H220, H280	Stlačený plyn
Metan	0,51	H220, H280, H330, H314, H318	Stlačený plyn
Dusík	17,98	H280, H281	Zkapalněný plyn + Stlačený plyn
Argon	53,98	H280, H281	Zkapalněný plyn + Stlačený plyn
Oxid uhličitý	29,3	H280	Zkapalněný plyn
Oxid uhličitý směs	6,0	H280	Zkapalněný plyn
Nafta Jmenovitě vybrané nebezpečné látky	0,78	H226, H351, H304, H332, H315, H373, H411	kapalina
Fluorid sírový	1,5	H280	Zkapalněný plyn
Hexafluoretan	1,1	H280	Zkapalněný plyn
Helium	0,709	H280, H281	Zkapalněný plyn + Stlačený plyn

Popis výpočtu návrhu zařazení dle zákona 224/215:

a) Oddíl „H“ - NEBEZPEČNOST PRO ZDRAVÍ

H 2 AKUTNÍ TOXICITA – součet poměrů za oddíl H 2 (výpočet pro skupinu A):

$$\left(\frac{\text{Oxid siřičitý [t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Dichlorsilan [t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Chlor [t]}}{10}\right) + \left(\frac{\text{Amoniak [t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Chlorovodík [t]}}{25}\right) \quad (3.1)$$

$$\left(\frac{0,185}{50}\right) + \left(\frac{0,036}{50}\right) + \left(\frac{0,063}{10}\right) + \left(\frac{0,5247}{50}\right) + \left(\frac{0,111}{25}\right) = 0,025654 \quad (3.2)$$

H 2 AKUTNÍ TOXICITA – součet poměrů za oddíl H 2 (výpočet pro skupinu B):

$$\left(\frac{\text{Oxid siřičitý [t]}}{200}\right) + \left(\frac{\text{Dichlorsilan [t]}}{200}\right) + \left(\frac{\text{Chlor [t]}}{25}\right) + \left(\frac{\text{Amoniak [t]}}{200}\right) + \left(\frac{\text{Chlorovodík [t]}}{250}\right) \quad (3.3)$$

$$\left(\frac{0,185}{200}\right) + \left(\frac{0,036}{200}\right) + \left(\frac{0,063}{25}\right) + \left(\frac{0,5247}{200}\right) + \left(\frac{0,111}{250}\right) = 0,029$$

b) Oddíl „P“ - FYZIKÁLNÍ NEBEZPEČNOST

P4 OXIDUJÍCÍ PLYNY – součet poměrů za oddíl P4 (výpočet pro skupinu A):

$$\left(\frac{\text{Oxid dusný [t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Fluorodusík [t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Kyslík a jeho směsi [t]}}{200}\right) + \left(\frac{\text{Chlór [t]}}{10}\right) \quad (3.4)$$

$$\left(\frac{8}{50}\right) + \left(\frac{1}{50}\right) + \left(\frac{61,746 + 2,674}{200}\right) + \left(\frac{0,063}{10}\right) = 0,5084 \quad (3.5)$$

P4 OXIDUJÍCÍ PLYNY – součet poměrů za oddíl P4 (výpočet pro skupinu B):

$$\left(\frac{8}{200}\right) + \left(\frac{1}{200}\right) + \left(\frac{61,746 + 2,674}{2000}\right) + \left(\frac{0,063}{25}\right) = 0,0797 \quad (3.6)$$

H 2 HOŘLAVÉ PLYNY – součet poměrů za oddíl P2:

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\text{Metan [t]}}{10}\right) + \left(\frac{\text{Silan [t]}}{10}\right) + \left(\frac{\text{Dichlorsilan [t]}}{10}\right) \\ &+ \left(\frac{\text{Vodík + směsi [t]}}{5}\right) + \left(\frac{\text{Acetylén [t]}}{5}\right) \\ &+ \left(\frac{\text{LPG[t]}}{50}\right) + \left(\frac{\text{Propylén [t]}}{50}\right) \\ &+ \left(\frac{\text{Amoniak [t]}}{50}\right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} &\left(\frac{0,51}{10}\right) + \left(\frac{0,02}{10}\right) + \left(\frac{0,036}{10}\right) + \left(\frac{0,254 + 0,337}{5}\right) + \left(\frac{10}{5}\right) \\ &+ \left(\frac{6,6}{50}\right) + \left(\frac{9,24}{50}\right) + \left(\frac{0,525}{50}\right) = 2,502 \end{aligned} \quad (3.8)$$

H 2 HOŘLAVÉ PLYNY – součet poměrů za oddíl P2 (výpočet pro skupinu B):

$$\begin{aligned} &\left(\frac{0,51}{50}\right) + \left(\frac{0,02}{50}\right) + \left(\frac{0,036}{50}\right) + \left(\frac{0,254 + 0,337}{50}\right) + \left(\frac{10}{50}\right) \\ &+ \left(\frac{6,6}{200}\right) + \left(\frac{9,24}{200}\right) + \left(\frac{0,525}{200}\right) = 0,305 \end{aligned} \quad (3.9)$$

P5c HOŘLAVÉ KAPALINY:

$$\left(\frac{\text{Nafta [t]}}{10}\right) = \left(\frac{0,78}{2500}\right) = 0,000312 \quad (3.10)$$

c) Oddíl „E“ - NEBEZPEČNOST PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

E 1 Nebezpečnost pro vodní prostředí v kategorii 1 – součet poměrů za oddíl E 1 (Výpočet pro skupinu A):

$$\left(\frac{Amoniak [t]}{50}\right) + \left(\frac{Chlór [t]}{10}\right) = \left(\frac{0,525}{50}\right) + \left(\frac{0,063}{10}\right) \quad (3.11)$$
$$= 0,0168$$

E 1 Nebezpečnost pro vodní prostředí v kategorii 1 – součet poměrů za oddíl E 1 (Výpočet pro skupinu B):

$$\left(\frac{Amoniak [t]}{200}\right) + \left(\frac{Chlór [t]}{25}\right) = \left(\frac{0,525}{200}\right) + \left(\frac{0,063}{25}\right) \quad (3.12)$$
$$= 0,0168$$

E 2 Nebezpečnost pro vodní prostředí v kategorii 2:

$$\left(\frac{Nafta [t]}{10}\right) = \left(\frac{0,78}{2500}\right) = 0,000312 \quad (3.13)$$

Při nízkém počtu chemikálií v objektu by bylo možné udělat zhodnocení pouze tabulkově na základě jednoduchého porovnání. Při této možnosti vychází, že množství acetylénu je větší než limit tabulky II, sloupec 2 (limitní množství dané látky nebo skupiny pro zařazení do skupiny A), ale menší než sloupec 3 (limitní množství dané látky nebo skupiny pro zařazení do skupiny B).

Jelikož se v objektu vyskytuje velké množství druhů nebezpečných chemických látek, bylo nutno ověřit zařazení objektu také výpočtem. Výsledky většiny kategorií potvrzují tabulkovou metodu, a to, že všechny dílčí výsledky výpočtů kromě rovnice (3.8) jsou menší než 0. U rovnice (3.8) je patrné, že největším přispěvatelem byl acetylén (10 t). Poloha skladování acetylénu v areálu je zobrazena Obr. 3.2. Byla vypočítána také nebezpečnost pro zařazení objektu do skupiny B. Výsledky výpočtu pro všechny kategorie byly menší než nula. Objekt by tedy měl být zařazen do skupiny A.



Měřítko 1:150

- Vjezd pro dodavatele
- Hlavní vchod/vjezd
- Acetylenový svazek lahví

Obr. 3.2 Zobrazení umístění největšího zdroje rizika dle množství v areálu

3.3 Analýza rizik

V návaznosti na předchozí kapitulu byla v rámci této diplomové práce vypracována analýza rizik pro vybrané chemické látky v objektu. Níže v Tab. 3.2 Jsou uvedeny NCHL jakožto zdroje rizik v objektu, pro které je nutno zvážit provedení podrobnější analýzy

Zdroje rizika, které byly vybrány k podrobnější analýze jsou v Tab. 3.2 vyznačeny žlutou barvou. Podmínka vypracování analýzy byla v počtu manipulací za rok, pokud bylo s látkou manipulováno alespoň 10krát za měsíc (120 manipulací za rok), byla NCHL zhodnocena v podrobnější analýze. Z důvodu podobnosti fyzikálních vlastností propan-butanu a propylénu byl propylén vyřazen z dalších analýz z důvodu nižších počtů manipulací. Kyslík sám o sobě nemá žádné toxikologické nebezpečí, proto byl vyřazen z analýzy H&V index, který je předmětem další kapitoly, avšak je předmětem analýzy ARAMIS začínající v kapitole 3.5.1.

Tab. 3.2 Výběr zdroje rizika na základě manipulací během roku

<u>Nebezpečné látky</u>	<u>Četnost v t pro rok 2015</u>	<u>Kg/lahev 50 l</u>	<u>Počet manipulací lahev /rok</u>
<u>Kyslík</u>	1829	14,5	126138
Acetylen	184	10	18400
Propan, propan-butan	105,13	21	5006
<u>Propylen</u>	47,1	21	2243
Vodík	1,1	0,75	1467
Čpavek/Amoniak	14,5	27	537
<u>Oxid dusný</u>	2,8	37,5	75
<u>Metan</u>	0,35	8,45	41
<u>Fluorid boritý</u>	0,2	10	20
<u>Fluordusík</u>	0,11	22,7	5
<u>Oxid siřičitý</u>	0,26	60	4
<u>Chlorovodík</u>	0,11	37	3

3.4 Metoda H&V index v podniku

První částí analýzy rizik bylo zhodnocení vybraných nebezpečných chemických látek pomocí indexové metody H&V. V první části analýzy je nutné zjistit toxikologické

a fyzikální vlastnosti látek pro analýzu. V následující tabulce (Tab. 3.3) jsou zobrazena data pro analyzované nebezpečné chemické látky v podniku.

Tab. 3.3 Ekotoxikologická data pro vybrané NCHLS [15][16][25][26]

Název NCHL	LC ₅₀ krysa (mg/m ³) 1 h	EC ₅₀ dafnie (mg/l) 48 h	LD ₅₀ krysa (mg/kg)	IC ₅₀ řasy (mg/l), 72 h	LC ₅₀ ryby (mg/l), 96 h	Teplota bodu varu (°C)
Nafta	4100	---	2379	22	21	180
Amoniak	9850	101	350	-	0,75-3,4	37,7
Acetylén	>106 491	242	---	57	545	-84
Vodík	---	---	---	---	---	-259
Propan	504 987	27,14	---	11,9	49,47	-42,1
Butan	475 423	14,2	---	7,7	24,1	-1

3.4.1 Stanovení indexů nebezpečnosti nebezpečných chemických látek

V této části se zabýváme problematikou, zdali je NCHL nebezpečná pro určitou složku životního prostředí. Hodnotíme nebezpečnost jednotlivých NCHL ve vztahu k jednotlivým složkám životního prostředí. Indexy nebezpečnosti pro životní prostředí jsou rozděleny následovně:

Index toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí T_w

Stanovení indexu nebezpečnosti pro vodní prostředí T_w

Název látky	Kód toxicity A _w	Kód fyzikálních vlastností B _w	Index T _w
Nafta (H411)	-	-	3
Amoniak(H400)	-	-	4
Acetylén	1	1	1
Vodík	1	1	1
Propan	1	1	1
Butan	1	1	1

Pro část vybraných NCHL (nafta, amoniak) bylo určení indexu toxicity pro vodní prostředí poměrně jednoduché. Nafta spadá do řádku 2 v Tab. 6.1. z důvodu obsahu věty o nebezpečnosti H411 v bezpečnostním listu. Amoniak obsahuje větu o nebezpečnosti H400, což jej nominuje do pro index T_w 4 nebo 5. Porovnání s Tab. 6.1

je vždy prováděno v sestupném pořadí dle dostupnosti informací. Porovnáním LC₅₀ ryby pro amoniak bylo zjištěno, že amoniak má index toxicity pro vodní prostředí T_w=4.

Pokud látka neobsahuje větu o toxické nebezpečnosti pro vodní prostředí (H400, H410 nebo jiné), je nutno látku podrobit porovnání dle Tab. 6.2 a Tab. 6.3. Výsledný index T_w je součinem jednotlivých indexů A_w · B_w. Ty byly poté vyhodnoceny dle Tab. 6.4

Ostatní NCHL analyzované alternativní metodou byly vyhodnoceny na hodnotu 1.

Index toxické nebezpečnosti látky pro půdní prostředí T_s

Index toxicity pro půdní prostředí je dle metody H&V index složitější. Neexistuje jednoznačné a ustálené stanovení toxicity pro půdní organismy. Je však předpokládáno, že toxické látky pro vodní prostředí budou toxické také pro organismy v půdním prostředí.

Tab. 3.4 Stanovení indexu indexu nebezpečnosti pro půdní složku prostředí T_s

Název látky	Kód toxicity	Kód fyzikálních vlastností B ₁	Kód fyzikálních vlastností B ₂	Index T _s
Nafta	2	-	-	2
Amoniak	1	-	-	1
Acetylen	1	-	-	1
Vodík	1	-	-	1
Propan	2	-	-	2
Butan	2	-	-	2

V Tab. 3.4 jsou zobrazeny výsledné indexy T_s. Indexy toxicity byly získány na základě porovnání ekotoxikologických charakteristik NCHL a jejich porovnáním s Tab. 6.5.

V tomto případě je však prováděno vyhodnocování dle dostupnosti informací v jiném pořadí, a to EC₅₀ (48 hodin, dafnie), LC₅₀ (96 hodin, ryba a poté IC₅₀ (72 hodin, řasy). Vyhodnocení indexů T_s pro jednotlivé NCHL je zobrazeno v Tab. 3.4. Vyhodnocení lze také provést alternativním způsobem, tedy syntézou indexů A_s a B_s. Tuto část metody nebylo nutno využít z důvodu určení indexu T_s přímo z ekotoxikologických informací.

Index toxické nebezpečnosti pro biotickou složku prostředí T_B

Index toxické nebezpečnosti pro biotickou se stanovuje obdobně jako alternativní posouzení u indexů toxické T_w a T_s. Při vyhodnocení lze postupovat dle diagramu

v příloze Obr. 6.1. Pro tento index je vždy nutno vzít v úvahu fyzikální vlastnosti NCHL a tím pádem vždy dochází k využití tabulek Tab. 6.6, Tab. 6.7 a Tab. 6.8, kde v Tab. 6.6 je zjištěn dílčí index A_B a v Tab. 6.7 je zjištěn kód fyzikálních vlastností B_B . Následným součinem A_B a B_B a porovnáním s Tab. 6.8 je získán výsledná index T_B .

Tab. 3.5 Stanovení indexu nebezpečnosti pro biotickou složku prostředí T_B

Název látky	Kód toxicity A_B	Kód fyzikálních vlastností B_B	Index T_B
Nafta	1	1	1
Amoniak	1	3	1
Acetylén	1	4	2
Vodík	1	4	2
Propan	1	4	2
Butan	1	3	1

Výsledné indexy nebezpečnosti T_B jsou znázorněny Tab. 3.5.

Index nebezpečí hořlavosti látky s dopadem na biotickou složku prostředí

Poslední index nebezpečí se zabývá hořlavostí látky. Zde jsou kritériem fyzikální a chemické vlastnosti NCHL a vyhodnocujeme, zda je látka skladována jako kapalina nebo plyn. Pro vyhodnocení indexu F_R byla využita tabulka Tab. 6.9 a výsledky jsou zaznamenány v Tab. 3.6.

Tab. 3.6 Stanovení indexu nebezpečnosti hořlavosti látky s dopadem na biotickou složku prostředí

Název látky	Index F_R
Nafta	1
Amoniak	3
Acetylén	3
Vodík	3
Propan	3
Butan	3

3.4.2 Stanovení indexů zranitelnosti životního prostředí

Další části jsou stanovovány indexy zranitelnosti životního prostředí. Stanovení je rozděleno na čtyři části a to na:

a) Index zranitelnosti povrchových vod

Index zranitelnosti povrchových vod je stanovován na základě přítomnosti různých hydrologických kategorií v dosahu účinků případné havárie. Průběh hodnocení je zobrazen na Obr. 6.2.

Areál firmy Air Products je napojen na kanalizaci, tedy index $I_{sw} = 3$.

b) Index zranitelnosti podzemních vod

Podzemní vody jsou hodnoceny dle charakteristiky horninového prostředí kolektoru a rizika znečištění, vodohospodářského významu kolektoru, vodohospodářské funkce pokryvů a stupně ochrany vod. Vyhodnocení jednotlivých příspěvateľů je prováděno dle tabulek Tab. 6.10, Tab. 6.11, Tab. 6.12, Tab. 6.13. Po vyhodnocení jednotlivých příspěvků je proveden součet, a ten je vyhodnocen dle Tab. 6.14.

Objekt se nachází v průmyslové zóně se silnou zástavbou, objekty jsou vybaveny záchytnými jímkami a v blízkém okolí se nevyskytuje žádná oblast s jakýmkoliv stupněm ochrany vodních zdrojů [28]. Součet jednotlivých příspěvateľů je tedy 4 a po vyhodnocení dle Tab. 6.14 tedy index zranitelnosti podzemních vod vychází na $I_{uw} = 1$.

c) Index zranitelnosti půdního prostředí I_s

Při posuzování zranitelnosti půdního prostředí je potřeba zvažovat nejen bonitu půdy, ale také možnost šíření nebezpečné látky skrze půdu samotnou. Index zranitelnosti lze opět vyhodnotit dvěma způsoby. Lze to provést napřímo dle tabulky Tab. 6.15 pomocí dělení půdních typů HPJ, nebo alternativně pomocí podrobného dělení v zákoně.

Při vyhodnocení okolí firmy Air Products s.r.o. bylo zjištěno, že půdní prostředí v okolí areálu je zařazeno do kategorie HPJ – 10 [28]. Hodnota indexu zranitelnosti půdního prostředí je tedy $I_s = 3$.

d) Index zranitelnosti biotických složek prostředí I_B

Zde se hodnotí zranitelnost biotických složek prostředí. Opět se okolí firmy Air Products s.r.o. hodnotí tabulkově dle Tab. 6.16. Dle dostupných informací se objekt nachází v půdním prostředí, jež je zařazeno do kategorie zemědělská půda [28]. Hodnota indexu je tedy $I_B = 1$.

3.4.3 Syntéza indexů nebezpečnosti a zranitelnosti prostředí

Po získání vyhodnocení všech indexů jak nebezpečnosti chemických látek, tak i indexů zranitelnosti okolí je nutné provést syntézu těchto indexů. Veškeré výpočty syntéz indexů jsou uvedené v rovnicích (3.14) (3.18). Všechny provedené výpočty jsou dělány pro naftu. Nejprve byl vypočítán *index toxicity pro povrchové vody*:

$$\begin{aligned} I_{TSW} &= \max\left(\frac{I_{SW} + T_W}{2}; \frac{T_W + I_{SW} + I_S}{3}\right) \\ &= \max\left(\frac{3 + 3}{2}; \frac{3 + 3 + 3}{3}\right) = \max(3; 3) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Výsledná hodnota indexu nebezpečnosti toxicity pro povrchové tedy 3.

Index toxicity pro podzemní vody pro naftu:

$$I_{TUW} = \frac{T_W + I_{UW} + I_S}{3} = \frac{3 + 1 + 3}{3} = 2,3 \quad (3.15)$$

Výpočetně index vyšel 2,3, avšak po zaokrouhlení vychází index $I_{TUW} = 2$

Index toxicity pro biotickou složku prostředí:

$$I_{TB} = \frac{I_B + T_B}{2} = \frac{1 + 1}{2} = 1 \quad (3.16)$$

Index pro biotickou složku $I_{TB} = 1$.

Index toxicity pro půdní složku prostředí I_{TS} :

$$I_{TS} = \frac{I_S + T_S}{2} = \frac{3 + 2}{2} = 2,5 \quad (3.17)$$

Index dopadu hořlavé látky/směsi na biotickou složku prostředí:

$$I_{FR} = \frac{I_B + F_R}{2} = \frac{1 + 1}{2} = 1 \quad (3.18)$$

Veškeré výsledky jsou zaznačeny v Tab. 3.7.

Tab. 3.7 Vypočítané výsledné indexy toxicity po syntéze

Látka	Indexy toxicity pro:				Index dopadu hořlavé látky/směsi na biotickou složku prostředí
	povrchové vody	podzemní vody	biotickou složku prostředí	půdní prostředí	
	I_{TSW}	I_{TUW}	I_{TB}	I_{TS}	
Nafta	3	2	1	3	1
Amoniak	4	3	1	2	2
Acetylén	2	2	2	2	2
Vodík	2	2	2	2	2
Propan	2	2	2	3	2
Butan	2	2	1	3	2

Závažnost havárie na životní prostředí je stanovena kombinací množství látky, která může uniknout do příslušné složky ŽP a dílčích indexů. Odděleně jsou odhadovány závažnosti účinků toxických látek v povrchových vodách, půdním prostředí, podzemních vodách a v biotické složce prostředí. Na základě Tab. 3.7 se jeví, že amoniak má největší potenciál způsobit škodu na povrchových vodách v okolí. Dále můžeme vyhodnotit, že v okolí je nejvíce ohroženo půdní prostředí. Vše však musí být ještě dáno do perspektivy s uloženým množstvím NCHL ve firmě.

Jednotlivé indexy byly porovnány s tabulkami Tab. 6.17 až Tab. 6.21 a pomocí škály A–E byly rozděleny do jednotlivých kategorií závažnosti. Výsledné kategorie závažnosti havárie jsou znázorněny v Tab. 3.8.

Tab. 3.8 Kategorie závažnosti dopadů havárie

Nebezpečná látka	Množství [t]	Kategorie závažnosti				
		I_{TSW}	I_{TUW}	I_{TB}	I_{TS}	I_{FR}
Nafta	Pod 1	B	B	A	B	A
Amoniak	Pod 1	B	B	A	A	A
Acetylén	5-10	B	A	A	B	A
Vodík	Pod 1	A	A	A	A	A
Propan	1-5	B	B	B	C	A
Butan	1-5	B	B	A	C	A

Závažnost jednotlivých kategorií jsou znázorněny v Tab. 3.9.

Tab. 3.9 Klasifikace kategorií závažnosti

A	Zanedbatelný dopad na danou složku ŽP
B	Malý dopad na danou složku ŽP
C	Výrazný dopad na danou složku ŽP
D	Velmi výrazný dopad na danou složku ŽP
E	Maximální dopad na danou složku ŽP

Na základě Tab. 3.8 lze vidět, že většina analyzovaných látek spadá do kategorie zanedbatelného nebo malého dopadu na složky životního prostředí. Pouze propan a butan mají v daném množství výrazný dopad na půdní složku okolního životního prostředí. U těchto látek je však třeba si uvědomit, že hmotnost 1-5 tun není množství, které je pravděpodobné, že by uniklo najednou skladování v láhvích 33 kg.

Metoda H&V index je koncipována jakožto metoda prevence závažných havárií, a proto jsou výsledky této analýzy i přes přítomnost klasifikace C u propanu a butanu možné interpretovat jakožto pozitivní. Můžeme tedy předpokládat, že v souvislosti s množstvím uskladněného materiálu nebudou mít skladované NCHL výrazný dopad na životní prostředí pro okolí areálu Air Products s.r.o.

3.5 Analýza dle metodologie ARAMIS

3.5.1 Identifikace zdrojů rizik

V rámci metody ARAMIS je nutno nejprve podrobně analyzovat rozvržení vnitřních a venkovních prostor. V této části je součástí analýzy také kyslík, který byl v předchozí části vyřazen. Areál je technologicky rozložen na dvě části, plnárnu a venkovní skladovací plochu. Plnicí linky jsou v objektu plnárny a mají kapacitu 72 lahví. Budova plnárny je členěna na místnost plnění, provozní kancelář, místnost údržby a místnost technického zázemí provozu. Místnost plnění má rozměry 40 x 21,6 x 6 m. Kromě kyslíku mohou být v plnárně tlakové láhve plněny také dusíkem, argonem a CO₂.

Technologie kyslíku je rozdělena na tyto sekce:

- zásobníky kyslíku 25 a 35 m³ (Obr. 3.3 tank označen modrou barvou)
- stlačení, zplynění a přívod kyslíku do plnárny
- plnárna kyslíku do lahví tlak 20 MPa (Obr. 3.3 budova označena oranžovou barvou)

Zásobník na kapalný kyslík je dvouplášťový, a je dle potřeby plněn z autocisteren (AC).

Ze zásobníku se kapalný kyslík dopravuje čerpadlem do odpařovačů, kde dochází ke zplynění kyslíku. Dále se kyslík ohřívá minimálně na + 10 °C v elektrickém ohříváči. Plynný kyslík je poté pod tlakem max. 25,0 MPa dopravován potrubím do plnárny, kde je připojen k jednotlivým plnicím stanicím. Láhve jsou poté plněny na 20,0 MPa. Po ukončení plnění se láhve odpojí, a následně se expedují do skladu tlakových lahví. Z této sekce byly vybrány zdroje rizik 1 až 3 (zásobník s kyslíkem, automobilová cisterna a plnicí linky plynného kyslíku) v Tab. 3.10.

Otevřený sklad tlakových lahví:

Skladování je členěno na sekce:

- otevřená skladová plocha (většina areálu Obr. 3.3)
- sklad LPG, propan, propan-butan, propylen (Obr. 3.3 přístřešek označen černou barvou)

Otevřená skladová plocha plynů bez zastřešení o celkové ploše 4617 m², je zhotovena ze zámkové dlažby. V rámci skladové plochy se nachází šest ocelových přístřešků. První z nich je bez obvodových konstrukcí, má rozměry 10 x 12 x 4,75 m a je určen pro LPG. Druhý přístřešek bez obvodových konstrukcí o půdorysném rozměru 12,8 x 5,8 x 4,75 m je určen pro třídění lahví. Dále se v areálu nachází čtyři přístřešky s obvodovými konstrukcemi z vlnitého plechu o rozměrech každého 6,5 x 2,4 x 2,75 m, které jsou určeny pro umístění medicínálních a toxických plynů.

Dle dostupných informací firma Air Products využívá technologický postup pro skladování tlakových lahví v rámci otevřených skladových ploch a následuje příslušná ustanovení ČSN 07 8304.

Postup skladování spočívá v využití vysokozdvížného vozíku pro přesun tlakových lahví do skladového prostoru a jejich umístění v rámci vyčleněných a označených skladových oddílů. Uskladnění tlakových lahví je prováděno v přepravních paletách, které jsou zajištěny proti samovolnému pohybu.

Distribuce mimo areál firmy Air Products s.r.o. je poté prováděna pomocí nákladních vozidel, do kterých jsou palety naloženy pomocí vysokozdvížných vozíků.

Tab. 3.10 Seznam zdrojů rizik pro podrobnější analýzu

ZR1	Zásobník s kyslíkem 35 m ³
ZR2	Automobilová cisterna na stáčení kyslíku 20 m ³
ZR3	Plnicí linky plynného kyslíku (200 bar)
ZR4	Acetylenový svazek lahví
ZR5	Láhev s propanem
ZR6	Láhev s vodíkem



● ZR1	Zásobník s kyslíkem 35 m ³
● ZR2	Automobilová cisterna na stáčení kyslíku 20 m ³
● ZR3	Plnicí linky plynného kyslíku (200 bar)
● ZR4	Acetylenový svazek lahví
● ZR5	Láhev s propanem
● ZR6	Láhev s vodíkem

Tab. 3.11 Okolní objekty a jejich vzdálenosti od areálu

Sousední objekty a plochy	Vzdálenost od plotu [m]
Edwards Services, s.r.o.	15
Modus Link Czech Republic, s.r.o.	65
Honeywell, spol. s.r.o.	69
ABB s.r.o.	63
Fabro s.r.o.	100
Depo České pošty	15
Železniční trať	30

Obr. 3.3 Mapové zobrazení identifikovaných zdrojů rizik v areálu

3.5.2 Tvorba možných scénářů závažné havárie

V následující tabulce jsou podle evropské metodologie MIMAH uvedeny možné havarijní jevy a hlavní události, které mohou vzniknout. Navazuje na identifikované zdroje rizik z [4].

Dle celkové metodologie ARAMIS (kap. 2.5) byla zpracována následující tabulka přiřazující EQ zařízení určité CE (kritické události) [4].

Tab. 3.12 Tabulka vzájemného ovlivnění nebezpečných CHLS

	CE 1 Rozklad	CE 2 Exploze	CE 3 šíření materiálů vzduchem	CE 4 šíření materiálů kapalinou	CE 5 iniciátor požáru	CE 6 Porušení zařízení v plynné části	CE 7 Porušení zařízení v kapalně části	CE 8 Únik z potrubí kapalin	CE 9 Únik z potrubí plynů	CE 10 Katastrofická trhlina	CE 11 Zhroucení nádoby	CE 12 Zhroucení střechy
EQ 4					x	x	x	x	x	x		
EQ 8					x	x	x	x	x	x		
EQ 15			x	x	x			x	x			

Nebezpečných situací, které mohou vzniknout je nepřehledné množství. Aby tuto analýzu bylo možno vyhotovit, je potřeba přijmout jisté předpoklady a zjednodušení.

Předpoklady pro vyloučení scénářů:

- nebyly uvažovány malé provozní úniky, tj. úniky, kdy je přítomna obsluha (součást každodenní práce obsluhy)
- nebyl brán v potaz domino efekt
- všechny zásobníky, tlakové lahve jsou naplněny do své maximální kapacity
- náhodně v jednom okamžiku vznikne pouze 1 iniciační událost
- v objektu platí omezení rychlosti pro vozidla, proto se nepředpokládá únik NCHL z důvodu dopravní nehody
- byl vyloučen scénář vypuštění celého obsahu svazku acetylénu najednou z důvodu rozpuštění acetylénu v acetonu, při porušení celistvosti láhve ve svazku dochází k vývinu acetonu poměrně pomalu

- vyloučena byla iniciační událost – katastrofická porucha dvouplášťového zásobníku kyslíku z důvodu velmi nízké pravděpodobnosti vzniku [4].

Při tvorbě scénářů a hodnocení jednotlivých NCHL budou důležitými kritérii hodnocení jejich:

- hořlavost a schopnost exploze (hořlavé a zkapalněné plyny)
- oxidační schopnosti
- nebezpečnost pro lidské zdraví (toxické plyny)

Iniciační událost je počátek scénáře události. V našem případě to označuje událost, při které dojde k úniku nebezpečné látky i přesto, že existuje preventivní opatření proti jejímu vzniku [4].

Poté, co dojde k iniciační události, se scénář události dále rozvíjí až do koncového stavu. Ten může být v našem případě výbuch, požár nebo únik toxické látky do okolí. Jeho silné oxidační vlastnosti mohou způsobit požár organických látek v okolí úniku. Po aplikování těchto zjednodušení byly identifikovány následující scénáře (popsány v kapitole 3.5.3).

3.5.3 Popis identifikovaných scénářů událostí

Iniciační události

Iniciační událost je první událostí v havarijním scénáři. Identifikované iniciační události jsou uvedeny Tab. 3.13. Tyto iniciační události byly identifikovány jakožto nejpravděpodobnější scénáře. IU 1 – katastrofická porucha tlakové lahve je scénář, který se může stát pro jakoukoliv tlakovou láhev v areálu. Při tomto scénáři je potřeba také vycházet z předpokladu, že porucha láhve se stane u jejího dna.

Tab. 3.13 Tabulka identifikovaných iniciačních událostí

Označení iniciační události	Popis iniciační události
IU1	Katastrofická porucha tlakové lahve
IU2	Lom hadice kapalného kyslíku při přečerpávání
IU3	Porucha ventilu lahve, otvor DN 10

IU 2 – lom hadice kapalného kyslíku je iniciační událost využita a blíže popsána v havarijním scénáři 1. IU3 – porucha ventilu lahve je opět iniciační událost, která je

platná pro všechny lahve v areálu, avšak analýza je vypracována pouze pro vybrané NCHL s potenciálně nejvýznamnějším dopadem.

Pro jednotlivé objekty byly sestaveny scénáře událostí (SC) metodou „ETA“ (analýza stromu událostí) [4].

Scénář SC 1

Scénář SC 1 je havarijní scénář pro únik kapalného kyslíku z tlakové hadice při přečerpávání kyslíku z důvodu lomu hadice. Tento scénář platí pouze pro zdroje rizika ZR 1 a ZR 2.

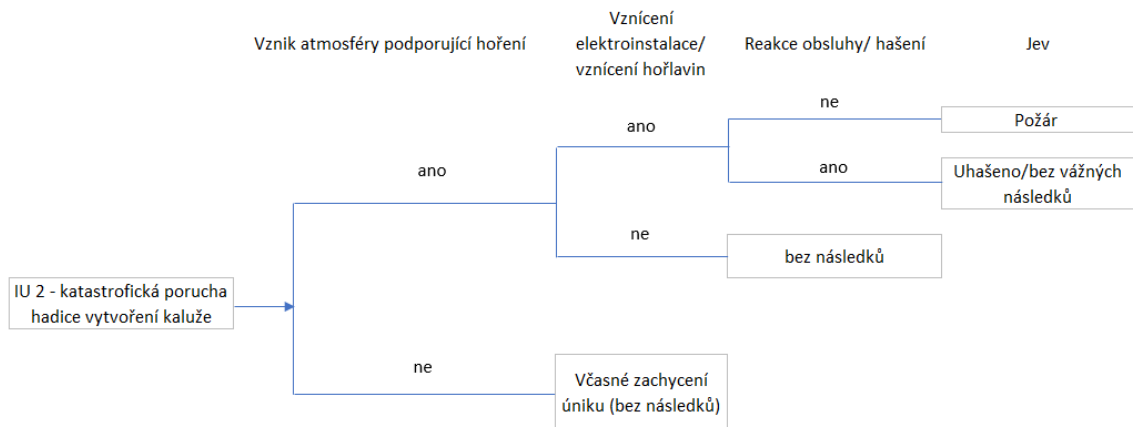
Vždy předpokládáme nejzávažnější výsledek scénáře a v tomto případě je kritickým úkonem doplňování kapalného kyslíku z AC (20 m³) do zásobníku kapalného kyslíku (35 m³).

Uniklé množství je přímo úměrné reakční době obsluhy, která uzavírá armatury okamžitě při zpozorování úniku. Z kaluže kapalného kyslíku se odpařuje plynný kyslík ve formě těžké mlhy, a ta se šíří do okolí.

V případě, že vzduch s takto významnou koncentrací kyslíku dosáhne organických látek (dřevo, papír, plasty, oděvy, ...) je možný vznik požáru.

U přečerpávání by měl být vždy přítomen řidič automobilové cisterny. Scénář ve formě diagramu stromu poruch je zobrazen na Obr. 3.4.

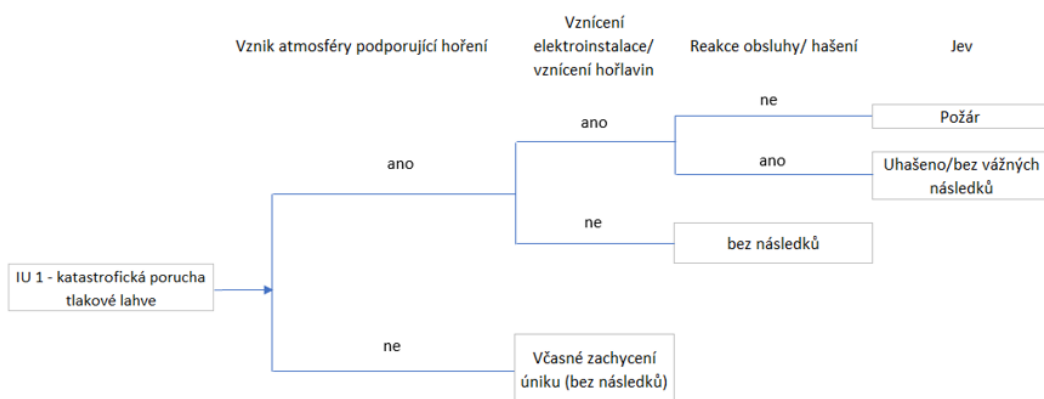
Odhad uniklého množství vychází z délky stáčecí hadice 5,5 m a DN 40, průtoku čerpadla 200 l/min. Byl proveden odhad, že reakční doba obsluhy je 30 s. Množství uniklého kapalného kyslíku tedy může být odhadnuto na 100 kg.



Obr. 3.4 ETA diagram scénáře SC 1

Scénář SC 2

Havarijní scénář 2 je zpracován pro zdroj rizika ZR 3 – únik plynného kyslíku při plnění lahví o tlaku 20 MPa. V rámci plnění se každá lahev o objemu 50 l plní samostatným uzavíracím plnicím potrubím. Iniciační událostí je katastrofická porucha tlakové lahve těsně po naplnění před uzavřením. Obsluha musí uzavřít hlavní přívodní ventil na trase. V tomto případě je diagram ETA shodný průběh scénáře, ale má jinou iniciační událost, tedy i jinou výslednost četnost.



Obr. 3.5 ETA diagram scénáře SC 2

Scénáře 1 a 2 byly vytvořeny na základě brainstormingu se zástupci firmy Air products.

Scénář SC 3

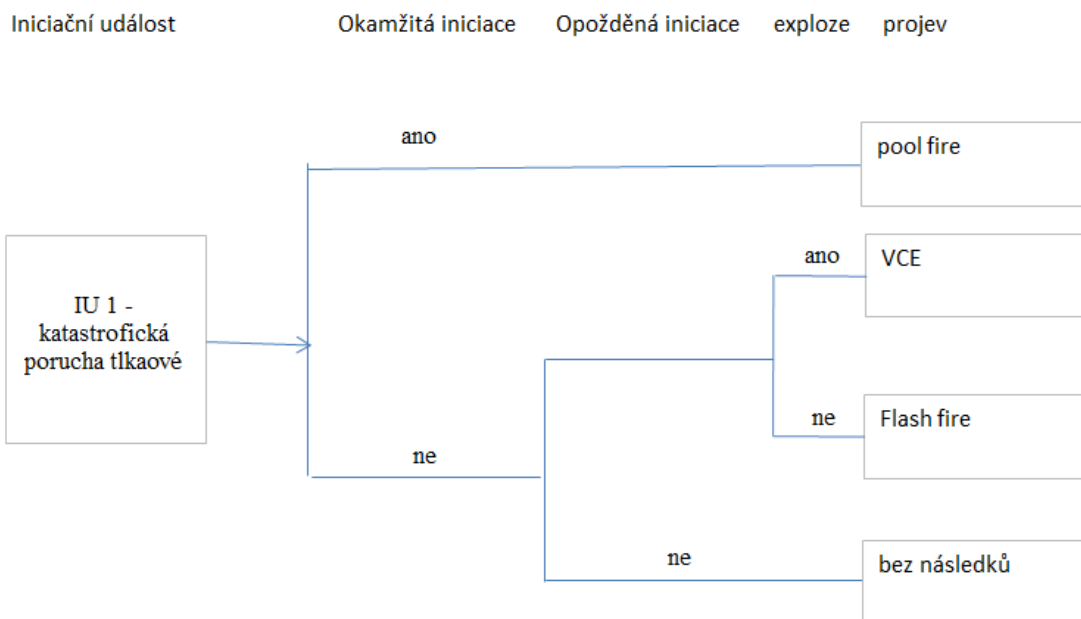
Scénář je zhotoven pro zdroj rizika ZR5 – jednorázový únik celého obsahu lahve. Scénář vychází z iniciační události 1 – katastrofická porucha tlakové lahve.

Scénář platí pro všechny zkapalněné plyny (propan, propan – butan, propylen).

Pokud dojde k iniciační události a okamžitému úniku z tlakové lahve, situace se bude vyvíjet několika možnými způsoby dle Obr. 3.6. Pokud ihned po úniku dojde k iniciaci požáru (např. od horké části vysokozdvížného vozíku), bude kapalný plyn hořet typem pool fire. Jestliže však nedojde k okamžité iniciaci, propan-butan se bude odpařovat z kapalně fáze na zemi, plynná fáze utvoří oblak plynu, který se bude v závislosti na povětrnostních podmínkách šířit okolím. Zbylý neodpařený kapalný podíl se bude odpařovat podstatně pomaleji z důvodu vyrovnání tlaků. Vzhledem k tomuto chování NCHL je proto nejdůležitější počáteční odpar. Pokud dojde po vytvoření oblaku hořlavého plynu k jeho iniciaci (opožděná iniciace), bude nejpravděpodobnějším efektem tzv. Flash Fire, tedy vyhoření oblaku bez výrazných tlakových účinků.

Méně pravděpodobné je, že po iniciaci nastane exploze oblaku (VCE) s tlakovými účinky na okolí. Z hlediska účinků nastane nejhorší situace, pokud k iniciaci dojde v čase, kdy je dosaženo maximálního množství plynu v mezích výbušnosti.

Jestliže k iniciaci oblaku nedojde, oblak se po určité době zředí vzduchem pod koncentrací odpovídající DMV a plyn se rozplyne bez ohrožení okolí.



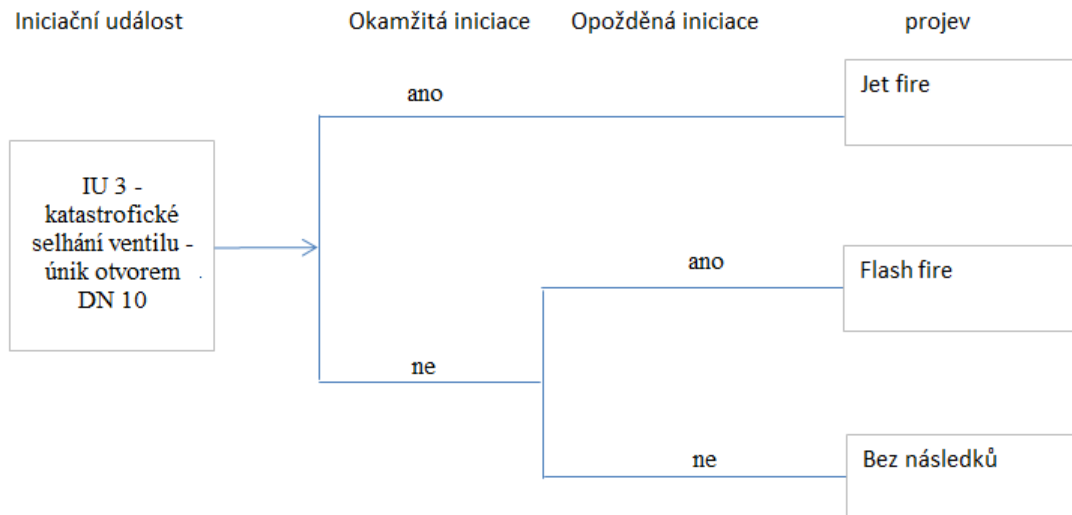
Obr. 3.6 ETA diagram scénáře SC 4

Scénář SC 4

Havarijní scénář 5 byl vytvořen pro zdroje rizik ZR 4 a ZR 6.

V případě acetylénu je uvažován únik ze společného potrubí svazku 12 lahví. ECE diagram události je zobrazen na Obr. 3.7.

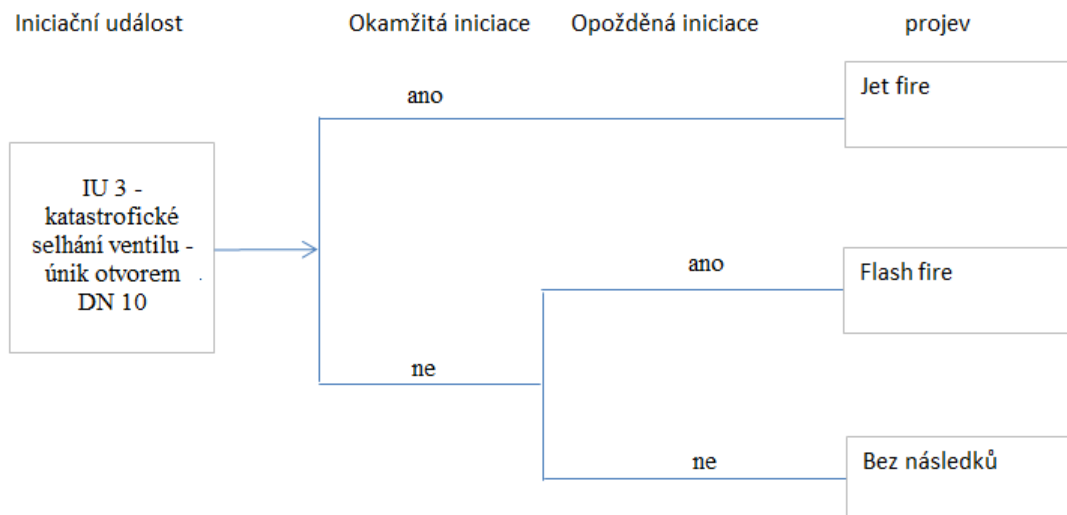
Acetylén se bude vyvíjet z lahve postupně, z acetonu a porézni hmoty. Pokud dojde k okamžité iniciaci (jiskrou), budou unikající plyny hořet typem jet fire. Pokud k okamžité iniciaci nedojde, bude vytvořena výbušná směs se vzduchem, která může v případě opožděné iniciace vyhořet v podobě havárie flash fire. Vzhledem k maximálnímu množství, které se může vytvořit v mezích výbušnosti a malé pravděpodobnosti (částečného) utěsnění oblaku, není předpokládána exploze mraku (VCE).



Obr. 3.7 ETA diagram scénáře SC 5

Scénář SC 5

Stejně jako pro acetylenový svazek je pro vývin vodíku scénář události obdobný, a je zobrazen v ECE diagramu na Obr. 3.8. Vzhledem k poměrně vysoké aktivační energii je nejpravděpodobnější koncový stav Jet fire. Pokud nedojde k okamžité iniciaci je z důvodu vysoké aktivační energie vyšší pravděpodobnost disipace vodíku do atmosféry, nežli by mělo dojít ke koncovému stavu flash fire. Jednotlivé ETA diagramy byly použity z [4].



Obr. 3.8 ETA diagram scénáře SC 6

3.5.4 Popis kritérií pro odhad následků

V předchozí kapitole byly popsány scénáře, možných úniků NCHL. V Tab. 3.14 jsou uvedeny maximální hodnoty uniklé NCHL pro jednotlivé havarijní scénáře. Tyto hodnoty vychází právě z jednotlivých zjednodušení a z množství uskladněných plynů v lahvích a zásobnících, které byly pospány v oddíle 3.5.3. Pro scénář 1 je to únik 100 kg kyslíku, pro SC 2 se jedná o únik 18 kg kyslíku v prostoru plnicí stanice. Dále jsou ve stejném stylu uvedeny limitní hodnoty uniklých NCHL pro další scénáře. Tyto informace jsou použity jako vstupní data pro software ALOHA a také pro výpočet odhadu následků jednotlivých scénářů.

Tab. 3.14 Bližší specifikace scénářů

Scénář (SC)	Specifikace scénáře	Limitní hodnoty
1	Prasknutí hadice na připojení AC a zásobníku s kapalným kyslíkem	100 kg
2	Katastrofická porucha naplněné lahve s kyslíkem o tlaku 20 MPa a únik do prostoru plnicí stanice	18 kg
3	Katastrofická porucha naplněné lahve s propanem a jednorázový únik celého obsahu	33 kg
4	Katastrofická porucha na potrubí svazku 12 lahví s acetylénem a únik otvorem DN 10	108 kg
5	Katastrofická porucha na ventilu tlakové lahve s vodíkem a únik otvorem DN 10	0,84 kg

Dále pro vyhotovení grafického znázornění v programu ALOHA bylo nutné získat další informace:

Atmosférická stabilita

Modelování rozptylu se provádí pro nejběžnější třídu atmosférické stability, avšak je nutno také přihlídnout k tomu, při jaké atmosférické stabilitě mají scénáře největší dosah. Dle zadaných atmosférických parametrů by atmosférická stabilita okolí firmy Air Products s.r.o. měla být ohodnocena nejhůře C, avšak konzervativně volíme pro scénáře atmosférickou stabilitu D, jakožto variantu s nejvíce kritickým dopadem.

Rychlost větru

Rychlost větru je významný parametr pro vznik a šíření oblaku.

Vždy byla uvažována nejpravděpodobnější rychlost větru $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a jeho směr. Dle meteorologické stanice byl nejpravděpodobnější směr větru stanoven jako severní. V příloze 6.5 je uveden

Teplota vzduchu

V případě atmosférické stability D je uvažována teplota $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Počet a osob v okolí objektu

Pro celkové ocenění a hodnocení skupinového rizika v případě vzniku závažné havárie je zapotřebí znát počet osob vyskytujících se na potenciálně zasaženém území v okolí objektu.

V bezprostřední blízkosti areálu Air Products s.r.o. se vyskytují objekty zmíněné v Tab. 3.15. V Tab. 3.15 jsou také uvedeny potenciální počty osob v okolních objektech. Informace uvedené v Tab. 3.15 byly poskytnuty firmou Air products.

Tab. 3.15 Počet osob v okolí objektu

Název objektu	Vzdálenost od plotu objektu AP (m)	Počet osob
Air Products	-	6
1 Edwards Services, s.r.o.	15	300
2 Modus Link Czech Republic, s.r.o.	65	100
3 Honeywell, spol. s.r.o.	69	200
4 ABB s.r.o.	100	Mimo dosah

5 Fabro s.r.o.	100	25
6 Depo České pošty	15	25
7 Železniční trať	30	-

Síla tlakové vlny

Při odhadu dopadů tlakové vlny na osoby v okolí jejího vzniku je nejdůležitějším parametrem hodnota přetlaku v daném bodě. Pro odhad závažnosti jsou obecně využívána data v následující tabulce (Tab. 3.16)

Tab. 3.16 Hodnoty přetlaku mechanické exploze pro určení podílu zmeřelých osob [4]

Max. přetlak výbuchové vlny [kPa]	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	
	osoby uvnitř domů	osoby vně domů
> 30	1	1
30 až 10	0,025	0
<10	0	0

Dle dat v tabulce lze poměrně jednoduše vyhodnotit následek působení tlakové vlny na člověka a odhadnutí pravděpodobnosti jeho úmrtí [10].

Pro odhad poškození budov je možné použít empiricky zjištěné hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 3.17. Tabulka ukazuje odstupňovanou míru poškození budov dle velikosti přetlaku na základě měnící se vzdálenosti od výbuchu.

Tab. 3.17 Hodnoty přetlaku exploze pro určení rozsahu poškození budov [4], [13]

Zóna	Úroveň poškození budov	Stručná charakteristika	Přetlak [kPa]
A	totální destrukce	Budovy jsou poškozeny tak, že nemohou být rekonstruovány, ale musí být postaveny kompletně znovu.	> 83
B	těžké poškození	Řada nosných konstrukčních a stavebních prvků je narušena a částečně zborcená; zdi, které nejsou zbořeny, jsou významně poškozeny a popraskány; zbývající části musí být zbourány.	83 – 35
C	střední poškození	Budovy jsou použitelné, ale zdi jsou značně popraskané; nosné konstrukční prvky mohou být poškozeny; poškozeny jsou i vnitřní stěny a střešní krytina.	35 – 17
D	malé poškození	Rozbitá okna a dveře, vznik mírných prasklin ve zdech a konstrukčních prvcích; částečné zničení střešní krytiny.	17 – 3,5

Takto definované odhady následků jsou využity nejen pro mechanickou explozi, ale v rámci této diplomové práce hlavně pro typ koncového stavu vapour cloud explosion.

Flash fire

Havárie typu flash fire se vyznačuje velmi rychlým vyhořením oblaku a je očekáváno, že všechny osoby, které se v oblasti hořícího oblaku nacházejí budou čelit fatálním následkům. Naopak osoby mimo hořící oblak budou vystaveny nízkému riziku poranění. Oblast zóny plamene je dána hranicemi oblaku o koncentraci DMV.

Jet Fire, Pool Fire

Dle [4] se odhaduje, že v případě požáru je doba expozice osob tepelným tokem 20 sekund. Během této doby lidé buď stačí utéci na bezpečné místo nebo zahynou působením tepelného toku.

Ve vzdálenostech, kde dosažený tepelný tok je vyšší než $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, je pravděpodobné že člověk nacházející se v těchto místech zemře. Ve vzdálenostech, kde je intenzita menší než $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, je rozhodující doba expozice, umístění překážek, možnost úniku aj. V rámci této diplomové práce se nepředpokládá úmrtí osob nalézajících se uvnitř budov či v oblasti s intenzitou tepelného toku menší než $35 \text{ kW}/\text{m}^2$. Závislost intenzity tepelného toku a jejích projevů je zobrazeno v Tab. 3.18.

Tab. 3.18 Hodnoty účinku intenzity tepelného toku pro určení poškození okolí [13]

Intenzita tepelného toku (kW/m^2)	Projev
nad 100	Destrukce oceli
nad 35	Smrt osob při době 20 s
12,8	Popáleniny druhého stupně při době 20 s vně budov
10	Zapálení dřeva, plastů
6,9	Popáleniny prvního stupně u nechráněných osob při době 20 s
5	Popáleniny prvního stupně u nechráněných osob při době 60 s
2	Bolest na nechráněné kůži po dobu působení 60 s

3.5.5 Odhad následků jednotlivých scénářů

Scénář SC 1

Po proběhnutí iniciační události a úniku 100 kg kapalného kyslíku, bude vytvořena kaluž, která zabírá prostor o průměru okolo 3 m s vrstvou 2 cm. Z takovéto kaluže je odpařován plynný kyslík a ten se šíří do okolí, kde při styku s organickými může způsobit požár.

Praktické zkušenosti firmy potvrzují velmi krátký dosah oblaku zvýšené koncentrace kyslíku. Dle experimentu provedeného firmou v dřívějších dobách, kdy se naplnila nádoba o ploše cca 1 m² kapalným kyslíkem, byla zjištěna již ve vzdálenosti cca 0,5 m od nádoby s kapalným kyslíkem koncentrace kyslíku ve vzduchu pouze 21 %. V těsné blízkosti nádoby se zvýšila na 30 procent. Může tedy být tvrzeno, že oblak s vysokou koncentrací kyslíku je tvořen velmi pozvolně.

Dosah účinků je omezen na plochu o průměru 3 m.

Pravděpodobnost úmrtí je velmi malá. Pro případ této diplomové práce však můžeme předpokládat smrt obsluhy automobilové cisterny, z důvodu započítání nejkritičtějšího dopadu.

Software ALOHA není určen pro modelování požáru. Průběh havarijního scénáře je však dostatečně popsán pro odhad dopadů.

Scénář SC 2

Pro odhad toho, jestli dojde k dosažení nebezpečné koncentrace kyslíku 23,5 % [33], můžeme vyjít z údajů poskytnutých v kapitole 3.5, tedy $40 \times 21,6 \times 6 \text{ m} = 5184 \text{ m}^3$.

Pokud dojde k iniciační události a z tlakové lahve 50 l se uvolní celý obsah lahve, dojde k vypouštění 10,7 m³ kyslíku. Pokud vyjdeme z průměrných dat, tak atmosférický vzduch obsahuje 21 % kyslíku. Což v celkovém objemu 5184 m³ vzduchu činí 1088 m³.

Výpočtem za použití poměrového zlomku dojdeme k výsledné koncentraci kyslíku ve vnitřním prostoru na 21,2 %.

Odhad následků:

Projev úniku tlakového plynu bude dobře slyšitelný a není pravděpodobné, že by došlo ke ztrátám na životě nebo vzniku požáru. Pravděpodobnost zabránění je vzata v potaz v dalších kapitolách.

Software ALOHA není určen pro modelování požáru. Průběh havarijního scénáře je však dostatečně slovně popsán pro odhad dopadů.

Scénář SC 3

Scénář 3 modelován pro láhev propanu 33 kg, která je umístěna v přístřešku severovýchodně od pomyslného středu objektu Air Products s.r.o., zobrazeném jakožto iniciační místo události na Obr. 3.9. V Tab. 3.19 jsou uvedeny vstupní data pro výpočet koncového stavu pool fire pro havarijní scénář 3.

Tab. 3.19 Vstupní data pro SC 3 [výstup ze softwaru ALOHA]

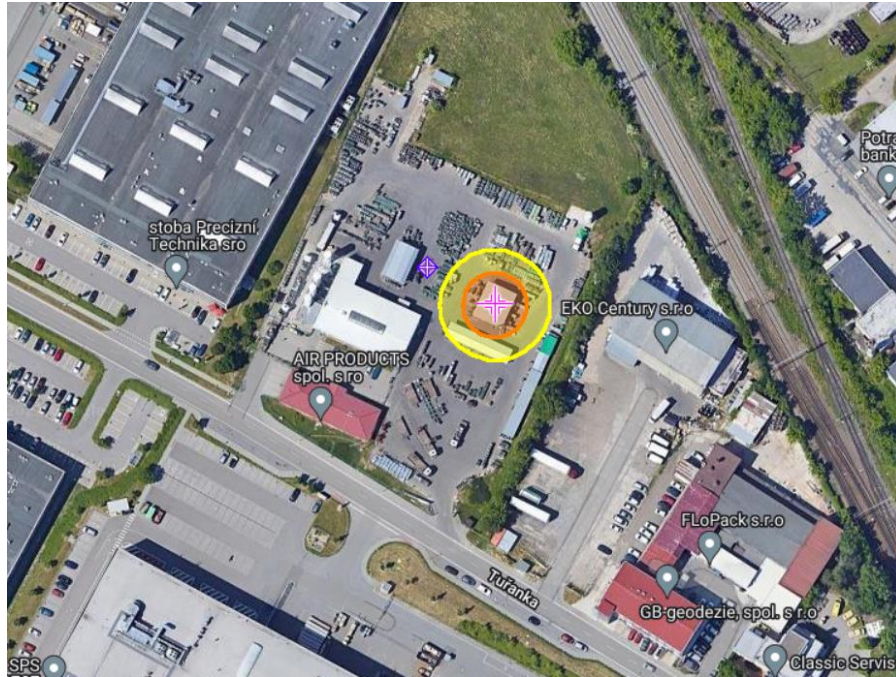
Použité modely	Parametry pro výpočty	Vypočítané parametry
Pool fire	Hmotnost propanu 33 kg	Doba požáru: 51 s Teplota plamene: 633 °C

Dle vypočítaných parametru by požár neměl trvat déle než 51 vteřin.

Tab. 3.20 Dosah tepelného toku pro scénář pool fire propanu [výstup ze softwaru ALOHA]

Hodnota tepelného toku [kW·m ⁻²] po dobu 51 s	Dosah daného tepelného toku od středu požáru [m]
>2	18
>5	10
>10	0

Mapové zobrazení dopadů havárie je na Obr. 3.9, kde žlutá barva označuje oblast s hodnotou tepelného toku >2 kW·m⁻² a oranžová je oblast s hodnotou tepelného toku >5 kW·m⁻² po dobu požáru.



Obr. 3.9 Dosah scénáře požár kaluže (pool fire) propanu [výstup ze softwaru ALOHA]

Pokud by zaměstnanec viděl tvorbu daného požáru, na základě intenzity tepelného toku získané ze softwaru ALOHA, by měl být schopen pohotově zareagovat a dostat se do bezpečí. Vzhledem k relativně malému rozsahu havárie a vzdálenosti k nejbližším objektům nejsou pravděpodobné ztráty na životech uvnitř ani mimo objekt.

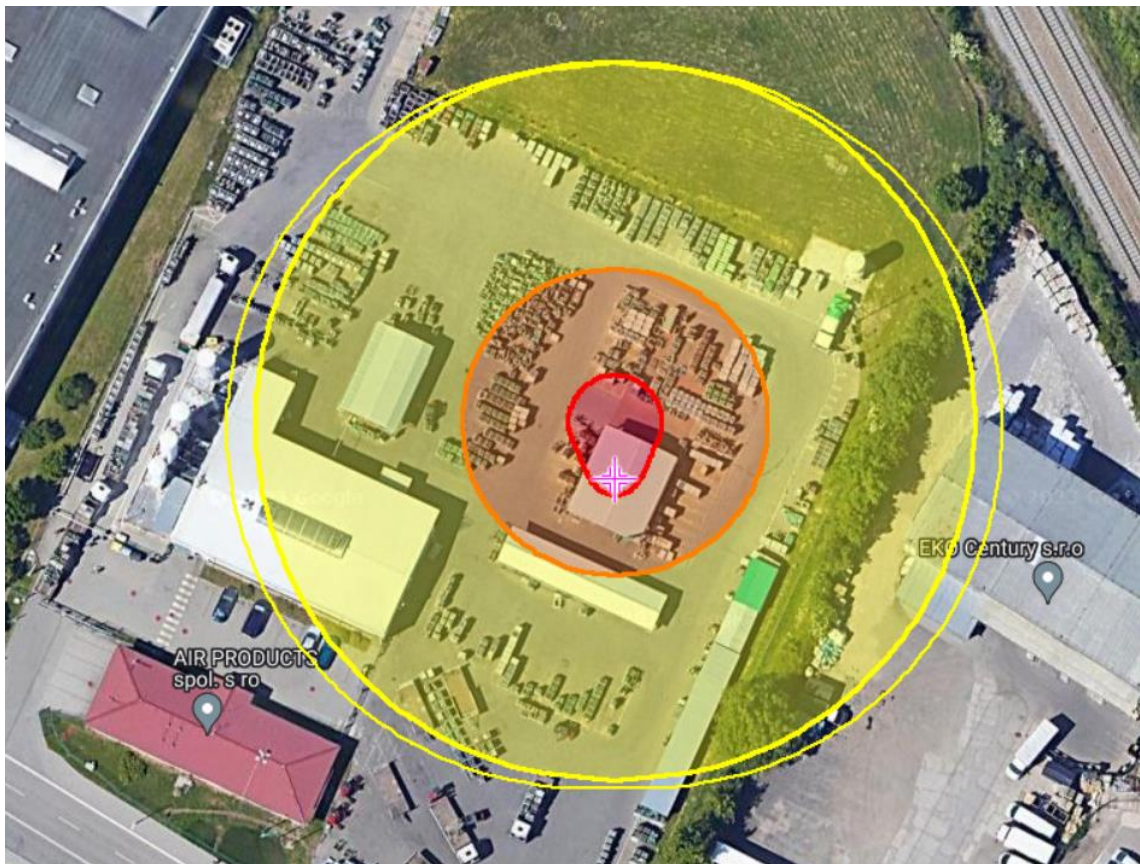
Koncový stav VCE:

V Tab. 3.21 jsou uvedena vypočítaná data pro koncový stav vapour cloud explosion scénáře 3. Vstupní data pro tento koncový stav opět pocházejí z Tab. 3.19, byl upraven model průběhu scénáře havárie (zpožděná iniciace).

Tab. 3.21 Vyhodnocení dopadů koncového stavu VCE scénáře 3 pro atmosférickou stabilitu D [výstup ze softwaru ALOHA]

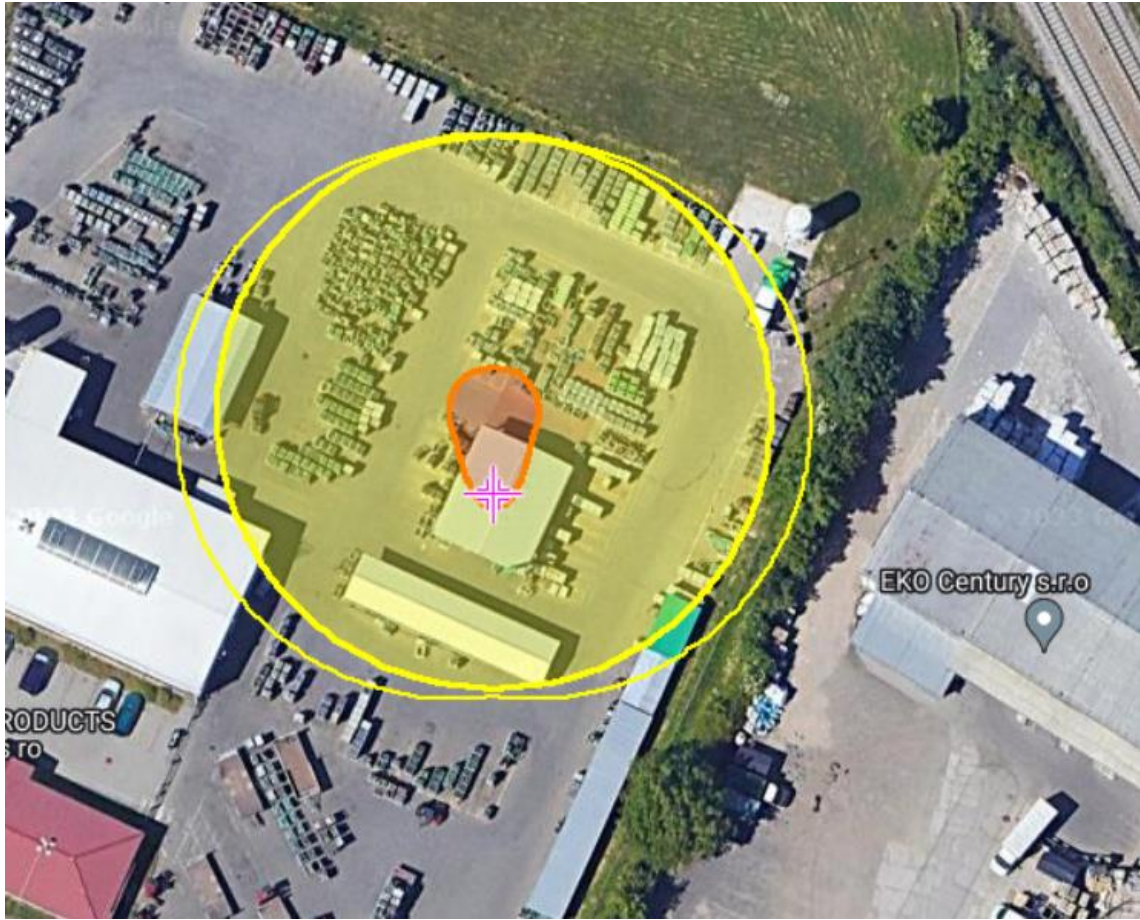
Použité modely	Centrum exploze od místa úniku [m]	Dosah přetlaku od centra exploze [m]		
		>30 kPa (Velmi pravděpodobné úmrtí)	30 – 10 kPa (Pravděpodobné zranění)	<10 kPa
Evaporating puddle Overpressure (blast force) from VCE	5	14	27	54

Rozsah havárie je poměrně velký. Jak je možné vidět na Obr. 3.10. a Tab. 3.21 dosah přetlakové vlny o síle <10 kPa zaujímá skoro celý areál objektu Air Products s.r.o. Tento přetlak však není smrtelný. Mimo objekt Air Products s.r.o. se proto nepředpokládají následky na životech. Do vzdálenosti 14 m od místa úniku dojde k usmrcení osob. Je předpokládáno usmrcení dvou osob. Tento koncový stav není pravděpodobným výsledkem této havárie, avšak je svou podstatou nejdestruktivnější. Během směny by se v místech potenciální havárie měl pohybovat maximálně 1 zaměstnanec. Konzervativně tedy budeme předpokládat smrt 2 zaměstnanců.



Obr. 3.10 Dosah scénáře VCE pro únik propanu v rozmezích přetlaku pro poškození zdraví [výstup ze softwaru ALOHA]

Dosah příslušné tlakové vlny od centra exploze pro posouzení poškození majetku ukazuje následující tabulka obrázek (Tab. 3.22, Obr. 3.11).



Obr. 3.11 Dosah scénáře VCE pro únik propanu v rozmezích přetlaku pro poškození budov v okolí [výstup ze softwaru ALOHA]

Jak je možné vidět z obrázku a tabulky (Tab. 3.22, Obr. 3.11), není pravděpodobné poškození budovy plněrní, a také při tomto úniku nedojde k dosažení kritického přetlaku 55 kPa. Přístřešek pro propan bude zasažen přetlakem, který může způsobit střední poškození. Pokud by došlo k tomuto koncovému stavu, byla by nutná inspekce daného přístřešku. Není však předpokládáno vážnější poškození budov.

Tab. 3.22 Poškození budov SC 3 koncový stav vapour cloud explosion [výstup ze softwaru ALOHA]

Hodnota přetlaku [kPa]	Úroveň poškození budov	Dosah tlakové vlny o daném přetlaku od centra exploze [m]
55	Těžké poškození budov	0
> 35	Střední poškození budov	13
> 6,5	Mírné poškození mírné poškození budov	37

Koncový stav Flash Fire:

Pro výpočet byla opět uvažován únik plynu z kaluže a následné zapálení o jiskru z okolního zdroje.

Tab. 3.23 Vstup pro analýzu koncového stavu flash fire propanu [výstup ze softwaru ALOHA]

Použité modely	Parametry pro výpočty	Vypočtené parametry
Gas release from puddle Flammable Area of Vapor Cloud	Hmotnost propanu 33 kg	max. dosah DMV: 5 m max. šíře mraku: 0,3 m max. množství směsi v mezích výbušnosti: <0,1 kg

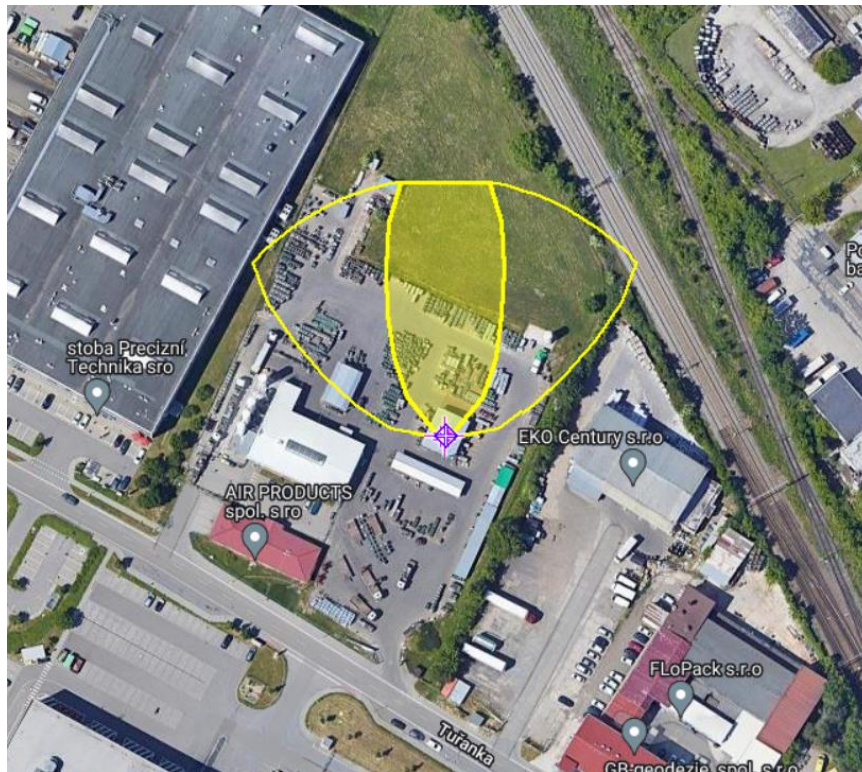
V případě havárie flash fire se předpokládá, že všechny osoby přítomné v oblasti, kde látka je v koncentraci dolní meze výbušnosti, zahynou.

THREAT ZONE:

```
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Heavy Gas
Red   : 15 meters --- (21000 ppm = LEL)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 21 meters --- (12600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 54 meters --- (2100 ppm = 10% LEL)
```

Obr. 3.12 Obrázek výstupu ze softwaru ALOHA pro koncový stav flash fire propanu [výstup ze softwaru ALOHA]

Jak je možné vidět na Obr. 3.12 software ALOHA není schopen modelovat tento typ havárie v plném rozsahu. Na Obr. 3.13 je pouze zobrazena zóna s koncentrací 10 % DMV. Zóna, ve které koncentrace propanu dosahuje DMV je Obr. 3.12 je vzdálena 15 m od místa úniku NCHL a tvar, do kterého se bude plyn formovat si lze odvodit z Obr. 3.13. V dané oblasti 15 m od místa úniku je pravděpodobné, že dojde k úmrtí přítomných osob.



Obr. 3.13 Dosah scénáře Flash fire pro únik propanu [výstup ze softwaru ALOHA]

Vzhledem k velikosti oblasti s koncentrací DM (21000 ppm), která je srovnatelná s kritickou oblastí koncového stavu VCE můžeme předpokládat úmrtí 2 zaměstnanců.

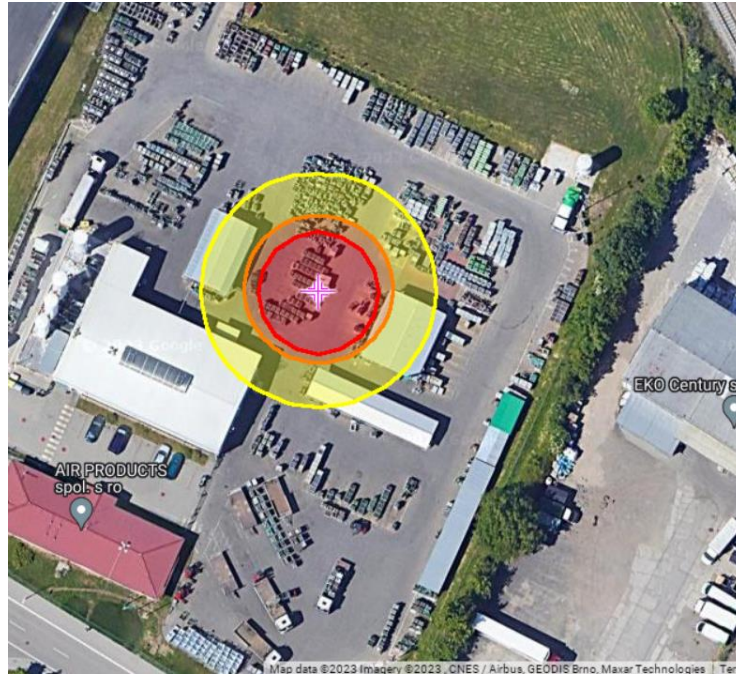
Scénář SC 4

Koncový stav jet fire

Jedná se o havárii, kdy otvorem z poškozeného ventilu uniká acetylen, který hoří. Nejhorší varianta nastává, když acetylen uniká ze svazku dvanácti lahví, jehož celkový obsah je 108 kg [14].

Tab. 3.24 Vstup a vypočítané parametry pro analýzu koncového stavu jet fire a flash fire acetylénu [výstup ze softwaru ALOHA]

Použité modely	Parametry pro výpočty	Vypočtené parametry požáru
Gas release from vessel or pipe	Tlak v lahvi 2 MPa; otvor DN 10, max.	max. dosah plamene od místa úniku: 10 max. šířka plamene: cca. 2 m
Jet Fire	Max. únik 108 kg	Délka hoření 6 min



Obr. 3.14 Dosah scénáře jet fire svazek acetylénu [výstup ze softwaru ALOHA]

V tomto případě bude požár trvat až 6 minut a plamen může dosáhnout velikosti až 5 metrů. Mapové zobrazení rizikových oblastí dle intenzity tepelného toku lze vidět na Obr. 3.14. Zóny s jednotlivými intenzitami tepelného toku jsou uvedeny v Tab. 3.25.

Tab. 3.25 Dosah tepelného toku jet fire svazek acetylénu [výstup ze softwaru ALOHA]

Hodnota tepelného toku [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$] po dobu 51 s	Dosah daného tepelného toku od středu požáru [m]
>2	20
>5	13
>35	10

Jedná se o z dálky velmi dobře viditelný typ havárie, není tedy možné náhodné přiblížení se. Pokud by někdo byl v kritické oblasti (perimetr 10 m) přesně v dobu vzniku havárie, je stále pravděpodobný jeho únik do bezpečí, jelikož nemá v cestě příliš mnoho překážek (Obr. 3.1). Konzervativně však v rámci této diplomové práce můžeme stanovit, že dojde k úmrtí 1 pracovníka.

Koncový stav flash fire

Pro výpočet byla opět uvažována varianta úniku acetylénu ze svazku acetylenových lahví s celkovou hmotností acetylénu 108 kg. Vstupní data byla opět použita stejná, jako pro koncový stav jet fire (Tab. 3.24).

Vyhodnocení této havárie probíhá obdobně jako koncový stav flash fire při scénáři 3.



Obr. 3.15 Mapové zobrazení flash fire acetylenový svazek lahví [výstup ze softwaru ALOHA]

Opět jako v předchozím případě nebylo možné namodelovat kontury plamenné zóny. Avšak dle Obr. 3.16 bude pravděpodobně zasažena zóna o velikosti 23 m. Tento výsledek je nejdůležitější ze všech možných scénářů. Proto konzervativně odhadujeme úmrtí 3 pracovníků v areálu.

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
 Model Run: Heavy Gas
 Red : 23 meters --- (25000 ppm = LEL)
 Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
 make dispersion predictions less reliable for short distances.
 Orange: 33 meters --- (15000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

Obr. 3.16 Výstup zóny nebezpečí pro flash fire acetylenového svazku [výstup ze softwaru ALOHA]

Scénář SC 5

Jedná se o obdobnou havárii jako u scénáře 5, avšak v tomto případě je analyzován vodík. Vstupní parametry jsou uvedeny v Tab. 3.26.

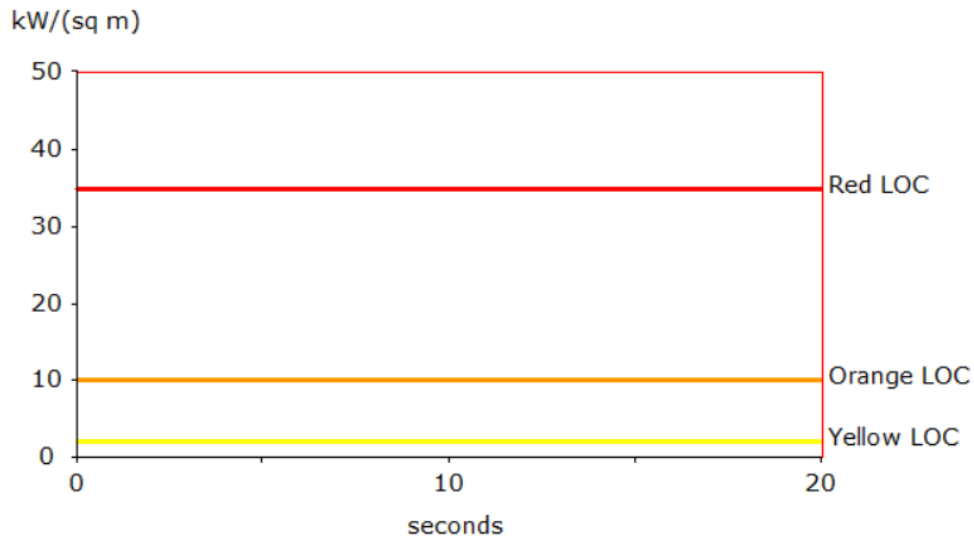
Tab. 3.26 Vstupní parametry pro model vodíku [výstup ze softwaru ALOHA]

Použité modely	Parametry pro výpočty	Vypočtené parametry požáru
Gas release from vessel or pipe Jet Fire	Tlak v lahvi 200 kPa; otvor DN 10, max. Hmotnost v lahvi 0,84 kg	max. dosah plamene od místa úniku: 1 m Délka hoření 20 s

Koncový stav jet fire.

Obecně pro vodík nebylo možné vytvořit žádné vizualizace na mapě. Z důvodu nízkých skladovacích hmotností, únik z 1 láhve (0,84 kg) nezpůsobí obrovské škody. Co však bylo možné vytvořit, byly grafy intenzit tepelného toku v jednotlivých vzdálenostech. V grafech níže (Obr. 3.17, Obr. 3.18, Obr. 3.19) jsou zobrazeny intenzity tepelného

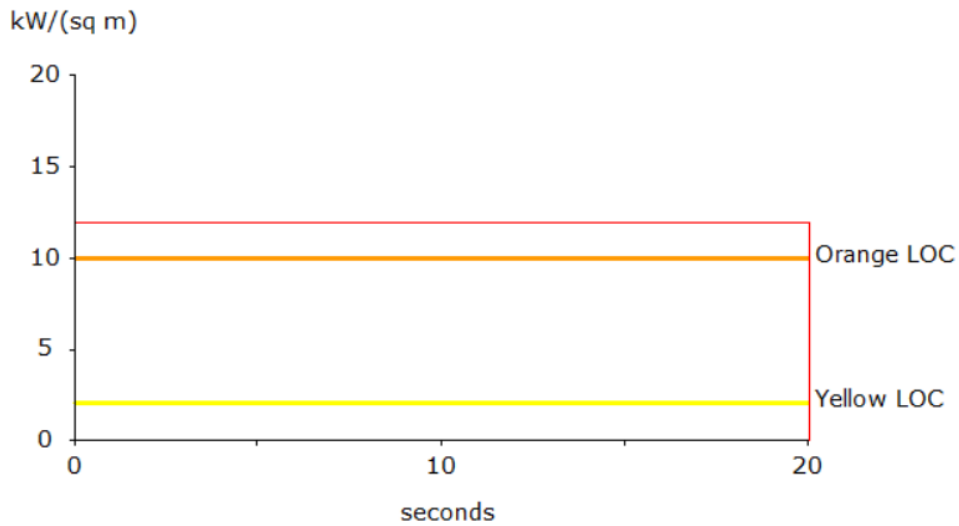
toku koncového stavu jet fire vodíku vzdálenostech 1, 2 a 3 m od havárie.



At Point: East: 0 meters North: 1 meters

Obr. 3.17 Graf intenzity tepelného toku ve vzdálenosti 1 m [výstup ze softwaru ALOHA]

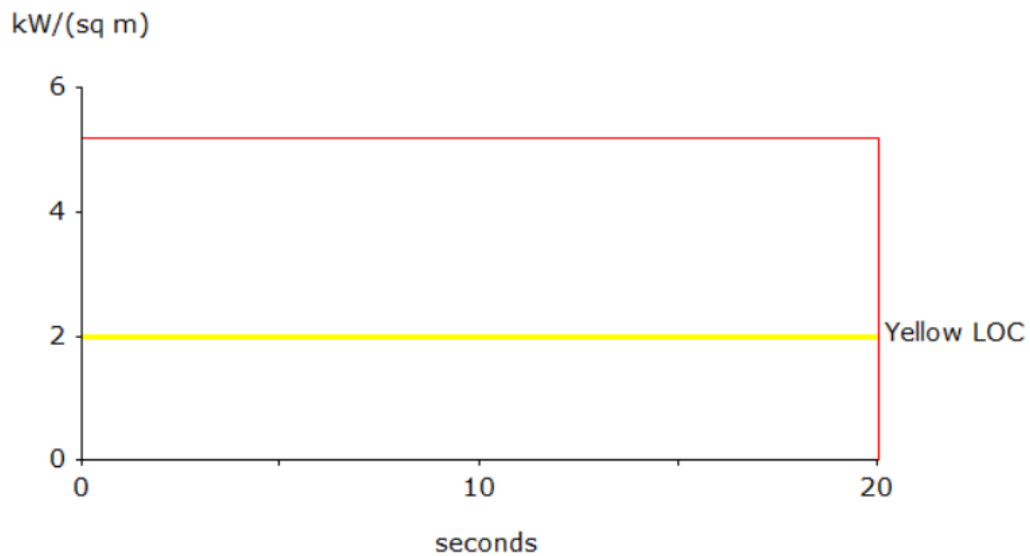
Na Obr. 3.17 je znatelné, že v blízkosti 1 m byla intenzita tepelného toku vypočítána na 50 kW. V této vzdálenosti by člověk byl vystaven kritické intenzitě.



At Point: East: 0 meters North: 2 meters

Obr. 3.18 Graf intenzity tepelného toku ve vzdálenosti 2 m [výstup ze softwaru ALOHA]

Dle Obr. 3.18 je však patrné, že intenzita tepelného toku rapidně klesá se zvyšující se vzdáleností od havárie.



At Point: East: 0 meters North: 3 meters

Obr. 3.19 Graf intenzity tepelného toku ve vzdálenosti 3 m

Na Obr. 3.19 je již vidět, že ve vzdálenosti 3 metry dosahuje intenzita tepelného toku pouze 6 kW. Je tedy pravděpodobné, že nedojde ke ztrátám na životě.

Koncový stav flash fire

Tento koncový stav nebylo možné namodelovat opět z důvodu nízkého množství vodíku v lahvi při iniciační události. Pokud nedojde k okamžité iniciaci, je pravděpodobné, že se vodík neškodně disipuje do okolního prostředí. Tento koncový stav byl tedy vyřazen z dalšího hodnocení.

3.5.6 Odhad roční frekvence závažných havárií

Nutným krokem kvantitativní analýzy je odhad pravděpodobnosti vzniku a průběhu reprezentativních scénářů havárií a jejich koncových stavů. Iniciační událost je první událostí v havarijním scénáři a pro tu musí být známa pravděpodobnost vzniku. Po získání pravděpodobnosti iniciační události se dále postupuje metodou ETA pro stanovení

četností koncových stavů reprezentativních scénářů. Následující tabulka shrnuje údaje použité při stanovení četností událostí Tab. 3.27.

Údaje pravděpodobnosti vzniku poruchy materiálu byly získány z příručky „purple book“ [4]. Katastrofická porucha lahve má dle [4] četnost vzniku $1 \cdot 10^{-6}$ za rok.

Tab. 3.27 Pravděpodobnost vzniku iniciačních událostí [4]

Ozn.	Údaj	Pravděpodobnost vzniku
IU 1	Katastrofická porucha tlakové lahve	$1 \cdot 10^{-6}$
IU2	Četnost vzniku ruptury plného průřezu tlakové přečerpávací hadice	$4,55 \cdot 10^{-4}$
IU3	Porucha ventilu a únik otvorem DN 10	$1 \cdot 10^{-6}$

3.5.7 Určení výsledných scénářů

Kvantifikace četností koncových stavů reprezentativních scénářů je provedena pomocí stromů událostí (ETA) uvedených v kapitole 3.5.3.

Kvantifikace scénáře SC 1

Četnost ruptury přečerpávací hadice byla doložena na základě četnosti vzniku ruptury ($4 \cdot 10^{-6}/h$ [4]) a ročním použitím přečerpávací hadice. Hadice je používána pro stáčení je 12x za měsíc, po dobu cca 45 min. To jednoduchým součinem ($12 \cdot 12 \cdot 45$) odpovídá 108 hodinám za rok. Poté můžeme vypočítat využití hadice za rok (P_1):

$$P_1 = \frac{\text{Počet hodin přečerpávání kyslíku za rok} \left[\frac{\text{hod}}{\text{rok}} \right]}{\text{Počet hodin v 1 roce } (365 \cdot 60) [\text{hod}]} = \frac{108}{8760} \quad (3.19)$$

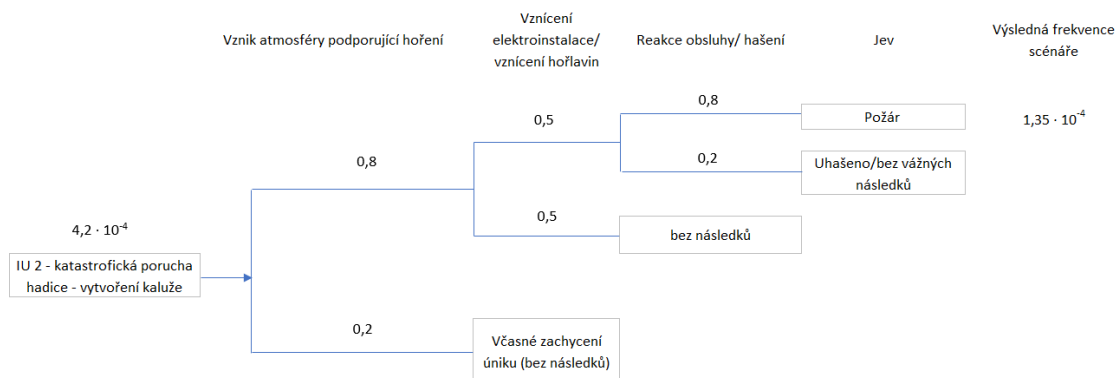
$$= 1,2 \cdot 10^{-2} [\text{rok}^{-1}]$$

Pro odhad roční četnosti je nutno převést četnost vzniku ruptury na roční četnost. Opět provedeno jednoduchým součinem ($4 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 365$) a výsledná roční četnost tedy činí $3,5 \cdot 10^{-6}$ [rok].

Součine ročního využití hadice a roční incidencí vzniku ruptury hadice získáme pravděpodobnost vzniku iniciační události. Výpočet je zobrazen v následující rovnici (3.20):

$$IU_2 = \text{Roční využití hadice} \cdot \text{Roční incidence} \quad (3.20)$$

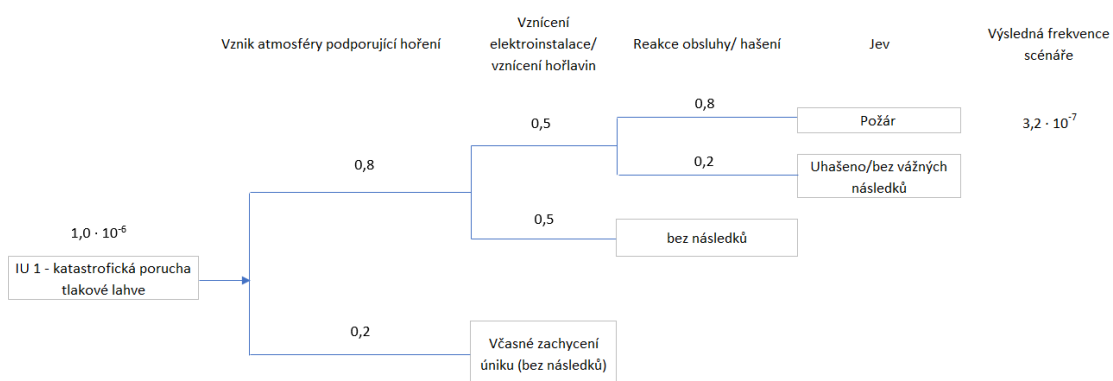
$$= 1,2 \cdot 10^{-2}[\text{rok}^{-1}] \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}[\text{rok}] = 4,2 \cdot 10^{-4}$$



Obr. 3.20 Kvantifikovaná scénář ETA pro SC 1

Kvantifikovaná scénář ETA je zobrazen na Obr. 3.20. výsledná frekvence scénáře je získána pomocí součinu jednotlivých hradel ($4,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,8$). Takto byly vypočítány výsledné frekvence veškerých koncových stavů stromů ETA i v dalších odstavcích. Pravděpodobnosti jednotlivých hradel spojených s pravděpodobností efektivní reakce zaměstnanců byly při rozhovorech s firmou ohodnoceny na 20 %.

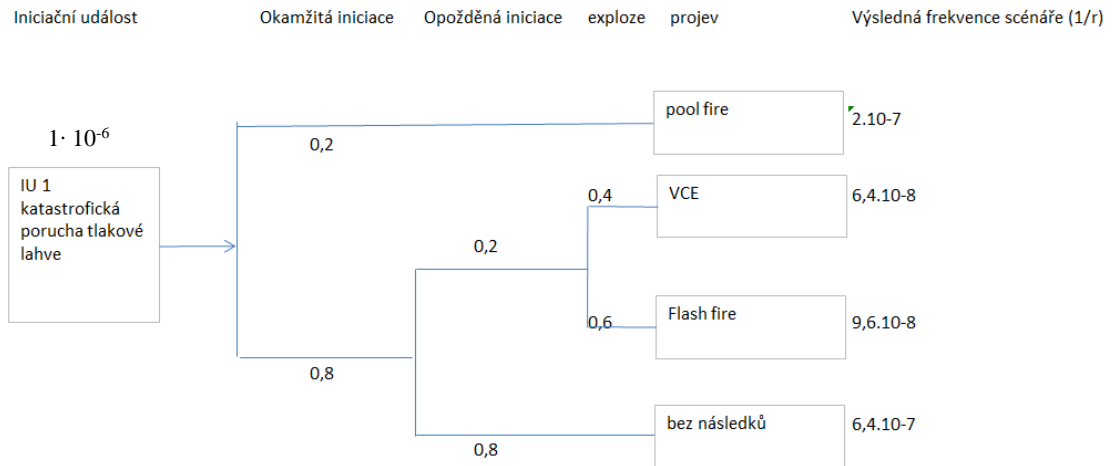
Kvantifikace scénáře SC 2



Obr. 3.21 Kvantifikovaný ETA diagram pro SC 2

Průběh scénáře SC 2 byl vypočítán obdobně jako tak bylo u SC 1.

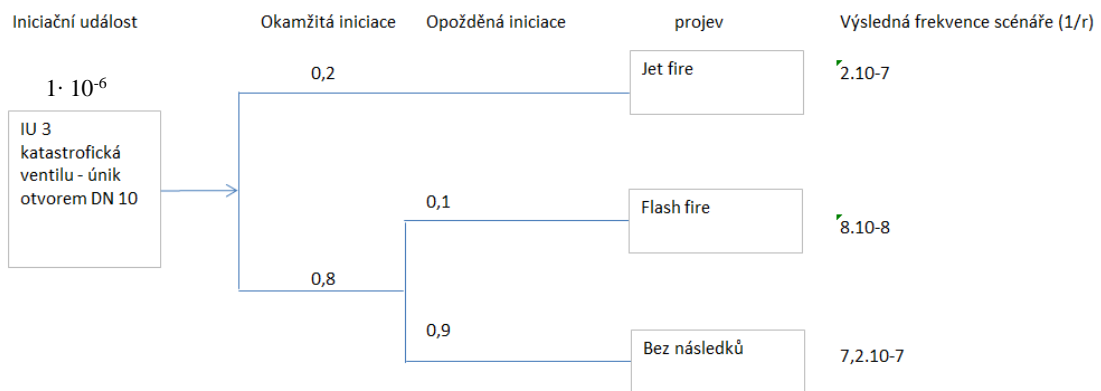
Kvantifikace scénáře SC 3



Obr. 3.22 Kvantifikovaný ETA diagram pro SC 4

Pravděpodobnosti iniciací jsou ohodnoceny v příručce „purple book“ [4]. Byly dle uvedených pravděpodobností průběhů vyhodnoceny SC 3 a SC4. V obou případech dochází dle zdroje [4] ve 20 % procentech případů k okamžité iniciaci.

Kvantifikace scénáře SC 4



Obr. 3.23 Kvantifikovaný ETA diagram pro SC 5

Kvantifikace scénáře SC 5

Pro kvantifikaci scénáře 5 není potřebný diagram ETA. Pouze dojde k okamžité iniciaci s pravděpodobností vzniku 20 %, obdobně jako na obrázku Obr. 3.23, avšak bez přítomnosti možného koncového stavu obsahující opožděnou iniciaci.

3.5.8 Stanovení míry skupinového rizika

Přehled číselného vyjádření složek rizika (frekvence a následků) pro identifikované scénáře závažných havárií ve tvaru:

$$R = F_h \cdot N \quad (3.21)$$

kde

R – míra skupinového rizika scénáře závažné havárie (počet usmrcených osob za rok),

F_h – zjištěná roční frekvence scénáře závažné havárie,

N – odhad počtu usmrcených osob

Tab. 3.28 Výsledná tabulka výpočtu skupinového rizika

Scénáře	F_h	N	Skupinové riziko R
1 - požár	$1,35 \cdot 10^{-4}$	1	$1,35 \cdot 10^{-4}$
2 - požár	$3,2 \cdot 10^{-7}$	0	0
3 – Pool fire (propan)	$2,0 \cdot 10^{-7}$	0	0
3 – Vapour cloud explosion (propan)	$6,4 \cdot 10^{-8}$	2	$1,28 \cdot 10^{-7}$
3 – Flash fire (propan)	$9,6 \cdot 10^{-8}$	2	$1,92 \cdot 10^{-7}$
4 – Jet fire (acetylén)	$2,0 \cdot 10^{-7}$	1	$2,00 \cdot 10^{-7}$
4 – Flash fire (acetylén)	$8,0 \cdot 10^{-8}$	3	$2,40 \cdot 10^{-7}$
5 – Jet fire (vodík)	$2,0 \cdot 10^{-7}$	0	0

U tří scénářů dochází k ohrožení více než jednoho člověka na životě.

3.5.9 Hodnocení přijatelnosti rizik

Skupinové riziko scénáře závažné havárie pro okolí objektu se považuje za přijatelné, jestliže:

$$F_h < F_p \quad (3.22)$$

kde pro F_p platí vztah:

$$F_p = \frac{10^{-3}}{N^2} \quad (3.23)$$

F_p – přijatelná roční frekvence závažné havárie,

N – odhad počtu usmrcených osob

Tab. 3.29 Tabulka zhodnocení přijatelnosti rizika

SC	F_h	F_p	Hodnocení rizika ZH (přijatelné / nepřijatelné)
1	$1,35 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	přijatelné
3 - VCE	$1,28 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	přijatelné
3 – flash fire	$1,92 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	přijatelné
4 – jet fire	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-3}$	přijatelné
4 – flash fire	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	přijatelné

V rámci analýzy byla všechna vyhodnocována rizika vyhodnocena jako přijatelná. Byla takto vyhodnocena z důvodu kombinace již bezpečného uskladnění jednotlivých nebezpečných látek (tedy nemožnost vytvoření závažnějších scénářů), a skladování optimálních množství nebezpečných chemických látek. V rámci této analýzy byly vypracovány modely v softwaru ALOHA, které mají konstantní nastavení vstupních atmosférických parametrů. Této možnosti bylo využito z důvodu snížení rozsahu analýzy, a dále výstup této analýzy byl orientován na zjištění rizik spojených s hořlavostí a výbušností látek, které jsou přítomny v areálu. Z důvodu pozice a již zmíněných množství jednotlivých materiálů, nebezpečné koncentrace nikdy nepřesáhly mimo areál společnosti Air Products s.r.o. Proto nebylo potřebné měnit vstupní parametry jednotlivých scénářů (atmosférická stabilita, směr a rychlost větru).

Některé scénáře byly vyhodnoceny tak, že hrozí úmrtí jednoho nebo více lidí. Je nutné si uvědomit, že při nakládání s NCHL je tento následek vždy možný, a proto je přítomna Tab. 3.29, kde na základě porovnání F_h a F_p je zhodnocena přijatelnost rizik, která byla představena v jednotlivých scénářích.

3.6 Lidský faktor

Důležitým faktorem pro analýzu a prevenci závažné havárie je právě lidský faktor. Je nutno podotknout, že spolehlivost a zamezení chybování lidského činitele hraje významnou roli v prevenci nehod. Je nutné vzít v potaz vliv lidského činitele pro kritická místa identifikována v dřívějších kapitolách. Pro zhodnocení působení lidského faktoru byla využita metoda HTA analýza v tabulkové formě. Tabulkový výstup provedení této analýzy je zobrazen v Tab. 3.32. Kritéria pro dílčí vyhodnocení metody jsou zobrazena v Tab. 3.30 a Tab. 3.31.

Tab. 3.30 Odhad pravděpodobnosti výskytu chyby lidského činitele

Typ úkonu	Pravděpodobnost chyby
Speciální úkon s velkou možností chyby	9
Složité úkon ve ztížených podmínkách	7
Složité úkon v normálních podmínkách	5
Jednoduchý úkon ve ztížených podmínkách	3
Jednoduchý úkon v normálních podmínkách	1

V Tab. 3.30 je typ úkonu prováděný pracovníkem přiřazen numericky vyjádřené pravděpodobnosti vzniku chyby. Nejvyšší pravděpodobnost vzniku chyby je u provádění speciálních úkonů ve ztížených podmínkách. Pravděpodobností 7 a 9 nebyl ohodnocen ani jeden typ pochybení lidského faktoru

Tab. 3.31 Odhad následků chyby lidského činitele

Pracovní úraz	Bodová hodnota následků
Úmrtí více osob	10
Úmrtí jedné osoby	1
Bez úmrtí	0

V Tab. 3.31 je zobrazeno bodové hodnocení následků na životech z důvodu pochybení lidského faktoru.

Tab. 3.32 Tabulkový výstup metody HTA pro hodnocení lidského faktoru

Prováděná činnost	Pracovní úkon	Rozklad pracovního úkonu	Popis pochybení při provádění úkonu	Popis následku pochybení	Pravděpodobnost	Následky	Riziko	Opatření proti chybě	Redukovaná pravděpodobnost	Redukované riziko
1. Obsluha automobilové cisterny s kapalným kyslíkem	Přistavení na pozici a odjezd	Řidič poškodí ventil automobilové cisterny	Chvilkový výpadek pozornosti	Smrt člověka	3	1	3	Výběr vhodného kandidáta	3	3
	Zajištění AC proti posunu	Řidič nezajistí AC před napojením k zásobníku před posunutím	Nedodržení stanovených pracovních postupů a bezpečnostních pravidel řidičem AC s kapalným kyslíkem.	Smrt člověka	1	1	1	Systém výcviku	1	1
	Napojení AC ke stáječcímu	Kontrola spáru a materiálu dopravního potrubí a stáječcí tlakové hadice	Nedodržení stanovených pracovních postupů a bezpečnostních pravidel řidičem AC s kapalným kyslíkem.	Smrt člověka	5	1	5	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta, systém motivace	3	3
		Chybné napojení	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	3	1	3	Systém výcviku	1	1
	Přečerpání kapalného kyslíku	Nepřítomnost v průběhu přečerpávání	Nedodržení stanovených pracovních postupů a bezpečnostních pravidel řidičem AC s kapalným kyslíkem.	Smrt více lidí následkem požáru	1	10	10	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta, systém motivace, práce prováděná pod dozorem	1	10

Prováděná činnost	Pracovní úkon	Rozklad pracovního úkonu	Popis pochybení při provádění úkonu	Popis následku pochybení	Pravděpodobnost	Následky	Riziko	Opatření proti chybě	Redukovaná pravděpodobnost	Redukované riziko
	Odpojení od stáčecího zařízení	Poškození stáčecího zařízení vlivem neodpojení AC	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	3	1	3	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta, systém motivace	1	1
2. Obsluha plnicí linky kyslíku	Příprava láhve k naplnění	Vybrat správně značenou láhev pro naplnění	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	1	1	1	Systém výcviku, systém motivace	1	1
			Pracovník neporozumí svému úkolu	Smrt člověka	1	1	1	Systém výcviku	1	1
		Kontrola vad materiálu na tlakové lahvi	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	5	1	5	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	3
			Pracovník neporozumí svému úkolu	Smrt člověka	5	1	5	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	3
	Připojení lahve a spuštění.	Kontrola funkčnosti uzávěrů a nepřítomnosti mastnoty na uzávěrech	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	5	1	5	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	3
			Chyba z únavy	Smrt člověka	5	1	5	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	3
		Nesprávné uložení lahví do plnicí stanice	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	3	1	3	Systém výcviku	1	1
	Ukončení procesu	Láhev je příliš plná, pozdní ukončení procesu	Nedodržení stanovených pracovních postupů.	Smrt člověka	3	1	3	Systém výcviku, výběr vhodného kandidáta	1	1

Prováděná činnost	Pracovní úkon	Rozklad pracovního úkonu	Popis pochybení při provádění úkonu	Popis následku pochybení	Riziko			Opatření proti chybě	Redukovaná pravděpodobnost	Redukované riziko
					Pravděpodobnost	Následky	Riziko			
			Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	3	1	3	System výcviku, systém motivace	1	1
3. Obsluha tlakových lahví	Naložení a vyložení vozidla s NCHLS	Naložení a vyložení plných lahví v přepravním boxu do/z korby	Nedodržení stanovených pracovních postupů	Smrt člověka	5	1	7	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	5	5
			Chybné rozhodnutí zaměstnance	Smrt člověka	7	1	7	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	5	5
		Správné umístění boxu lahví v areálu	Chybné rozhodnutí managementu	Smrt více lidí	1	10	10	Analýza rizik, vytvoření bezpečného rozvržení pracoviště	1	10
			Chyba z nepozornosti	Smrt více lidí	1	10	10	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	1	10
		Kontrola zajištění lahví v přepravním boxu	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt člověka	5	1	5	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	3

Prováděná činnost	Pracovní úkon	Rozklad pracovního úkonu	Popis pochybení při provádění úkonu	Popis následku pochybení	Pravděpodobnost	Následky	Riziko	Opatření proti chybě	Redukovaná pravděpodobnost	Redukované riziko
	Manipulace s talkovými lahvemi	Naložení lahví do přepravního boxu	Špatně zvolené postupy operací	Smrt člověka	3	1	3	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	1	1
		Kontrola materiálových vad na láhvi	Opomenutí jednoduchého úkonu nebo rutinního kroku	Smrt více lidí	5	10	50	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	3	30
	Třídění lahví	Umístění lahve na správné místo v areálu	Chyba z nepozornosti	Smrt člověka	1	1	1	System výcviku, výběr vhodného kandidáta	1	1

Analýza HTA byla rozdělena do 3 hlavních sekcí, které pokrývají kritické procesy, do kterých vstupuje lidský faktor. Tyto sekce jsou: 1. Obsluha automobilové cisterny s kapalným kyslíkem, 2. Obsluha plnicí linky kyslíku, 3. Obsluha tlakových lahví. Jednotlivé sekce byly analyzovány společně s vedením firmy Air Products a byly ohodnoceny dle tabulek Tab. 3.30 a Tab. 3.31.

Tab. 3.33 Matice rizik pochybení lidského faktoru

Matice rizika				
Pravděpodobnost chyby	9	0	9	90
	7	0	7	70
	5	0	5	50
	3	0	3	30
	1	0	1	10
		0	1	10
Bodová hodnota následků				

Součinem pravděpodobnosti vzniku pochybení a bodových ohodnocení následků nám vzniká umělá hodnota rizika, kterou je nutné porovnat s maticí rizik (Tab. 3.33), ve které jsou barevně zobrazeny míry rizika (Tab. 3.34).

Tab. 3.34 Míra rizika pro bezpečnost

R1 – bez rizika
R2 – malé riziko
R4 – velké riziko
R5 – extrémní riziko

Po zhodnocení jednotlivých úkonů je nutno vzít v potaz ještě opatření, jež byla firmou přijata pro snížení pravděpodobnosti vzniku pochybení, nebo následků havárie. Opatření, jež byla přijata ani jednou v analýze nezmírnila následky. Tato skutečnost vychází právě ze samotné povahy havárie, kdy pokud k ní dojde, jsou odhadovány ztráty na životech, tedy není možné snížit dopady na životech. Ve firmě jsou však aplikována opatření, která snižují incidenci rizikových stavů. Z důvodu toho, že opatření byla skoro vždy na základě školení, byla míra vzniku incidentu vždy snížena o jeden stupeň (tedy o 2 body). Výsledným parametrem analýzy je tedy sloupec vpravo v Tab. 3.32 redukované riziko selhání lidského faktoru.

V první sekci zabývající se přečerpáváním kyslíku z automobilové cisterny se nachází případ, který by vedl k úmrtí více nežli jednoho člověka, což vypadá, že je v rozporu

se scénáři v předchozích kapitolách. V této analýze je však nedodržen předpoklad, že zaměstnanec v rámci reakce na událost zastaví přesun kyslíku. V tomto případě je zaměstnanec nepřítomen a nemůže tedy vykonat tuto činnost. Tento typ rizik, tedy opomenutí základních povinností zaměstnanců, je nejfrekventovanější a často má největší dopad na bezpečnost a zdraví zaměstnanců a lidí v okolí. Ve firmě je proto zaveden systém školení a zaučování, který vede ke snižování incidence těchto rizik. Tento systém obsahuje:

- Nástupní školení
- Doplnovací školení
- Přezkoušení vnitřních provozních předpisů
- Požární ochrana
- Bezpečnost a ochrana zdraví
- Technická zařízení (vysokozdvihový vozík atd.)

Vznik rizik spojených s pozorností zaměstnance může být také spjatý s:

- Nedostatečným odpočinkem před směnou
- Napjatými rodinnými vztahy
- Onemocněním nebo nastupujícím onemocněním zaměstnance

Tyto důvody nebyly součástí analýzy, avšak také mohou přispět k pochybení člověka.

Dále při analýze dalších sekcí byly nalezeny incidenty, při kterých když dojde k lidskému pochybení, může dojít ke smrti více lidí. Tyto kritické operace jsou většinou spojeny s pozorností zaměstnance a kontrolními operacemi, které zaměstnanec provádí.

V rámci komunikace s firmou AP s.r.o. byl nalezen potenciální bod pro zlepšení, a to vizualizace pracovních postupů a možných chyb. Tato vizualizace by spočívala v tvorbě grafických návodů, které by byly doprovázeny textem. Takto zpracované materiály by mohly sloužit jakožto pomůcka k prvotnímu zaškolení nových pracovníků anebo k opětovnému školení (nebo tzv. „oživení znalostí“) již zaučených zaměstnanců, kteří mohli zapomenout dílčí úkony. Tyto materiály by také mohly obsahovat vizuální pomůcky pro identifikaci možných chyb a poruch na láhvích, které by mohli zaměstnanci používat, pokud by si nebyli jistí svým úsudkem při kontrole lahví, nebo jiných technologických celků ve firmě Air Products s.r.o.

3.7 Zhodnocení analýzy rizik a návrh opatření

V rámci analýzy rizik této diplomové práce byly zpracovány 3 jednotlivé analýzy. První byla provedena dle tabulkové metody H&V index. V rámci této analýzy nebyla zpozorována žádná kritická množství látek, jež by představovala zvýšené riziko toxického působení na okolní látky. Zvýšená rizika toxického působení byla vypočítána pouze pro propan a butan. Tyto látky jsou však skladovány v lahvích 33 kg, což je množství, které by nemělo tvořit vážnou hrozbu pro okolí. Na základě této analýzy nebyly vytvořeny žádné návrhy pro zlepšení.

V další části byla zhotovena analýza dle metodologie ARAMIS. V této části byly zhotoveny podrobné analýzy, které souvisejí s hořlavostí a výbušností jednotlivých skladovaných látek. V rámci této analýzy byly identifikovány zdroje rizik, vytvořeny scénáře pravděpodobného průběhu havárie (také pomocí modelování v softwaru ALOHA), odhadnuty následky a poté zhodnocena přijatelnost těchto rizik. V rámci této analýzy byl vyhodnocen havarijní scénář 4 (únik acetylénu ze svazku lahví 108 kg z důvodu selhání ventilu) s koncovým stavem flash fire jakožto riziko s největším dopadem. Všechna rizika byla nakonec přijata jakožto přijatelná.

Ve 3. analýze byla použita metoda HTA pro hodnocení rizika lidského faktoru. V této části byla zhodnocena pravděpodobnost a dopad pochybení zaměstnanců Air Products s.r.o. V rámci této analýzy byly zjištěny pracovní úkony a nebezpečné chování, které by mohly vést k ohrožení na životě zaměstnanců firmy. Identifikované nebezpečné úkony byly téměř vždy spjaty s nepozorností nebo „lehkovážností“ zaměstnance. Riziko těchto úkonů je v této firmě nejvíce snižováno pomocí systému zaučování a také pomocí detailního výběrového řízení.

Během analýzy HTA byl nalezen potenciální bod pro zlepšení, a to v tvorbě vizuálních pomůcek pro zaučení a identifikaci chyb při rutinních kontrolách láhví.

4 Závěr

Cílem mé diplomové práce byla analýza, posouzení a vyhodnocení rizik firmy Air Products s. r. o., jež je situována v Brně ve Slatině. Byla zhotovena rešerše právních požadavků a nutných metod k vypracování komplexní analýzy používaných nebezpečných chemických látek v zavedeném procesu. Firma Air Products s. r. o. se zabývá výrobou, plněním a skladováním plynů.

Nejprve byl proveden výpočet zařazení objektu do skupiny A nebo B, který byl založen na základě poslední inventury skladovaných nebezpečných látek. Bylo zjištěno, že sledovaný objekt patří do skupiny A především z důvodu velké hmotnosti skladovaného acetylénu.

Poté byla provedena indexová metoda H&V index pro látky, jež splňovaly podmínky pro vypracování (množství manipulací alespoň 10x za měsíc). Dle této metodiky žádná z těchto látek nepředstavuje vážné environmentální riziko pro okolní krajinu. Bylo diskutováno, že i přes přítomnost hodnocení indexu C pro propan a butan při působení na půdní složku prostředí, nebudou tyto látky mít významný ekotoxikologický dopad. Je to z důvodu uskladňování propanu a propan butanu v lahvích o hmotnosti NCHL 33 kg.

Další toxické chemické látky přítomné v objektu nepředstavují vážnější riziko, a to z důvodu nízkého objemu jejich skladování.

Následně byla provedena komplexní analýza celého objektu. Na základě počtu operací s nebezpečnými chemickými látkami bylo identifikováno 6 zdrojů rizika. Pro tato rizika byly dle metod ARAMIS a ETA vypracovány scénáře, pravděpodobnost jejich vzniku a závažnost jejich dopadů. Po ukončení analýz a hodnocení rizik byly vyhodnoceny všechny scénáře jako přijatelné. V poslední části byla vypracována analýza selhání lidského faktoru. Při této analýze byly vyhodnoceny možné pracovní úkony, které mohou vést k ohrožení bezpečnosti zaměstnanců. Nejnebezpečnější z těchto úkonů byly spjaty s nepozorností zaměstnanců.

V rámci analýzy HTA byla nalezena příležitost pro zlepšení, a to ve vypracování vizuálních pomůcek pro zaškolení a identifikaci potenciálních chyb a vad na tlakových lahvích nebo jiných technologických částech objektu Air Products s.r.o.

5 Seznam použité literatury

- [1] BARTLOVÁ, I., Prevence a připravenost na závažné havárie. 2. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2017, 67. s. ISBN 978 - 80-7385-184-2.
- [2] MAŠEK, Ivan, Otakar J. MIKA a Miloš ZEMAN. Prevence závažných průmyslových havárií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2006. Knihovnicka.cz. ISBN 80-214-3336-1.
- [3] MIKA, Otakar J., Lubomír POLÍVKA a Miloš ZEMAN. Radiační a chemické havárie. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2010. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7251-321-5.
- [4] NETHERLANDS. (1999). Guidelines for quantitative risk assessment: "purple book". The Hague, Directorate-General for Social Affairs and Employment.
- [5] ŠEFČÍK, Vladimír. Analýza rizik. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7318-696-8.
- [6] NEDĚLNÍKOVÁ, H.: Požáry od výbuchů s únikem NCHL v ČR (výťah ze statistiky požárů). Praha: MV – GŘ HZS ČR, 2019.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.
- [8] ČSN ISO 8421-1: 1996. Požární ochrana – Slovník – Část 1: Obecné termíny a jevy požáru.
- [9] ČSN EN 1127-1 ED2: 2012. Výbušná prostředí – Zamezení a ochrana proti výbuchu – Část 1: Základní pojmy a metodologie.
- [10] AICHE/CCPS: 1994. Guidelines for Evaluation of the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fire and BLEVES.
- [11] SKŘEHOT, Petr, Jan BUMBA a Miloš ZEMAN. Prevence nehod a havárií. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-86973-73-9
- [12] DANIHELKA, Pavel a Kateřina BLAŽKOVÁ. METODIKA PRO HODNOCENÍ DOPADŮ HAVÁRIÍ S ÚČASTÍ NEBEZPEČNÉ LÁTKY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ H&V index II.
- [13] BERNATÍK, Aleš. Prevence závažných havárií I. Ostrava, 2006. Učební text. VŠB.

- [14] Bezpečnostní program ve smyslu zákona č.224/2015/ Sb.: SIAD Czech, spol. s. r. o. 5. Braňany: Výrobna acetylénu a plnírna technických plynů, 2016.
- [15] Bezpečnostní list podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č . 1907/2006, ve znění směrnice 453/2010/ES: Amoniak, bezvodý SIAD. 7. Braňany, 2015.
- [16] Bezpečnostní list podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č . 1907/2006, ve znění směrnice 453/2010/ES: MOTOROVÁ NAFTA B, D, F, TŘ. 2. Praha: Čepro, 2017.
- [17] HOUSECROFT, Catherine E. a A. G. SHARPE. Anorganická chemie. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.
- [18] Hasičský záchranný sbor. *Havarijní plánování* [online]. 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/>
- [19] MAREK, Jiří. Analýza rizik s využitím rozhodovacích stromů a analýza jeho citlivosti, včetně simulací. [online]. 2005, 1.1.2.1-3, [cit. 2011-01-11]. Dostupný z WWW: http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/2tlv/1121-3.pdf
- [20] Malý, S., Paleček, M.: K posuzování bezpečnostní dokumentace podle zákona č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií [on-line]. 2002, [cit. 2022-04-13]. Dostupné z:
- [21] BERNATÍK, Aleš. Prevence závažných havárií II. 1. Ostrava: VŠB, 2006.
- [22] HRUŠKOVÁ, V. Zhodnocení vybraných softwarových nástrojů určených pro modelování úniku nebezpečných látek při haváriích v chemickém průmyslu. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2013. 110 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc.
- [23] OSTROM, Lee a Cheryl WILHELMSSEN. Risk Assessment. 2019-08-27. Dostupné z: doi:10.1002/9781119483342
- [24] ANDREWS, J.D. a S.J. DUNNETT. Event-tree analysis using binary decision diagrams. IEEE Transactions on Reliability. 49(2), 230-238. ISSN 00189529. Dostupné z: doi:10.1109/24.877343
- [25] Bezpečnostní list podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č . 1907/2006, ve znění směrnice 453/2010/ES: Vodík SIAD. 6. Braňany, 2015.

- [26] Bezpečnostní list podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č . 1907/2006, ve znění směrnice 453/2010/ES: Propan-butan Unipetrol 10. Litvínov 2021
- [27] Bezpečnostní list podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č . 1907/2006, ve znění směrnice 453/2010/ES: Acetylén SIAD. 6. Braňany, 2015
- [28] Hydrogeologická mapa 1 : 50 000 – Regiony. Česká geologická služba [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/hgcr50/>
- [29] FUCHS, Pavel. ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK S OHLEDEM NA LIDSKÝ FAKTOR: Posouzení rizik z chybování člověka při rekonstrukci rozvodu. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. Praha, r 2013, 20-30.
- [30] PETR, Skřehot. ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK S OHLEDEM NA LIDSKÝ FAKTOR: Identifikace potenciálních lidských chyb pomocí kombinované metodiky HTA-PHEA. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. Praha, 2013, 3-10.
- [31] ALOHA instruction Manual [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://www.disaster-info.net/lideres/english/jamaica/bibliography/ChemicalAccidents/CameoPkg/alohaInstructor.pdf>
- [32] BARTA, Jiří. ALOHA – modelování a simulace: Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNAŘE.
- [33] The hazards of oxygen and oxygen-enriched mixtures. Safetygram Air products s.r.o. [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.airproducts.com/-/media/files/en/900/900-13-101-us-hazards-of-oxygen-safetygram-33.pdf>
- [34] Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Odborné pracoviště pro prevenci závažných havárií. Metodika přístupu k identifikaci zdrojů rizik, analýze rizik a hodnocení rizik průmyslových havárií pro posouzení rizik v rámci prevence závažných havárií [online]. In: . [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/sites/default/files/obsah/josra/metodika-pristupu-k-identifikaci-zdroju-rizik-analyze-rizik-hodnoceni-rizik-prumyslovych-havarii-pro/soubory/cert-metodika-posouzeni-rizik.pdf>

Právní předpisy

- [35] Zákon č.224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů
- [36] Směrnice Rady 82/501/EEC o zdrojích nebezpečí závažných havárií v určitých průmyslových činnostech
- [37] Směrnice Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek
- [38] Směrnice Rady 2003/105/ES kterou se mění směrnice Rady 96/82/ES o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek
- [39] Směrnice Rady 2012/18/EU o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES
- [40] Nařízení ES č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (nařízení CLP)

Seznam použitých zkratek a symbolů

NCHL	Nebezpečná chemická látka
CHLS	Chemická látka a směs
DMV	Dolní mez výbušnosti
HMV	Horní mez výbušnosti
NL	Nebezpečné látky
PZH	Prevence závažné havárie
SC	Scénář
Společnost	Air Products spol. s r.o.
IU	Iniciační událost
ZH	Závažná havárie
ZR	Zdroj rizika
ŽP	Životní prostředí

6 Přílohy

6.1 Množství CHLS pro zařazení objektu do skupiny A nebo B

Tabulka množství CHLS pro zařazení objektu do skupiny A nebo B

Kategorie nebezpečnosti v souladu s nařízením (ES) č. 1272/2008	Množství nebezpečné látky v tunách	
	Sloupec 2	Sloupec 3
	A	B
Oddíl „H“ - NEBEZPEČNOST PRO ZDRAVÍ		
H1 AKUTNÍ TOXICITA kategorie 1, všechny cesty expozice	5	20
H2 AKUTNÍ TOXICITA		
- kategorie 2, všechny cesty expozice	50	200
- kategorie 3, inhalační cesta expozice (viz poznámka 1)		
H3 TOXICITA PRO SPECIFICKÉ CÍLOVÉ ORGÁNY – JEDNORÁZOVÁ EXPOZICE	50	200
Toxicita pro specifické cílové orgány – jednorázová expozice kategorie 1		
Oddíl „P“ - FYZIKÁLNÍ NEBEZPEČNOST		
P1a VÝBUŠNINY (viz poznámka 2)		
- nestabilní výbušniny, nebo		
- výbušniny, oddíl 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 nebo 1.6, nebo	10	50
- látky nebo směsi, které mají výbušné vlastnosti podle metody A.14 dle nařízení (ES) č. 440/2008 (viz poznámka 3) a nenáleží do třídy nebezpečnosti organické peroxidy nebo samovolně reagující látky a směsi		
P1b VÝBUŠNINY (viz poznámka 8) Výbušniny, oddíl 1.4 (viz poznámka 4)	50	200
P2 HOŘLAVÉ PLYNY Hořlavé plyny, kategorie 1 nebo 2	10	50
P3a Hořlavé aerosoly (viz poznámka 5.1)	150	500
„Hořlavé“ aerosoly kategorie 1 nebo 2 obsahující hořlavé plyny kategorie 1 nebo 2 nebo hořlavé kapaliny kategorie 1	(čisté)	(čisté)
P3b Hořlavé aerosoly (viz poznámka 5.1)	5000	50000
„Hořlavé“ aerosoly kategorie 1 nebo 2 neobsahující hořlavé plyny kategorie 1 nebo 2 ani hořlavé kapaliny kategorie 1 (viz poznámka 5.2)	(čisté)	(čisté)
P4 OXIDUJÍCÍ PLYNY Oxidující plyny, kategorie 1	50	200
P5a HOŘLAVÉ KAPALINY		
- Hořlavé kapaliny, kategorie 1, nebo	10	50
- hořlavé kapaliny kategorie 2 nebo 3 udržované za teplot nad jejich bodem varu nebo		

- jiné kapaliny s bodem vzplanutí ≤ 60 °C, udržované za teplot nad jejich bodem varu (viz poznámka 6)		
P5b HOŘLAVÉ KAPALINY - Hořlavé kapaliny kategorie 2 nebo 3, u kterých zejména podmínky zpracování jako vysoký tlak nebo vysoká teplota mohou vytvořit nebezpečí závažné havárie, nebo	50	200
- jiné kapaliny s bodem vzplanutí ≤ 60 °C, u kterých zejména podmínky zpracování jako vysoký tlak nebo vysoká teplota mohou vytvořit nebezpečí závažné havárie (viz poznámka 6)		
P5c HOŘLAVÉ KAPALINY		
Hořlavé kapaliny, kategorie 2 nebo 3, nespádající pod položky P5a a P5b	5000	50000
P6a Samovolně reagující látky a směsi a organické peroxidy		
Samovolně reagující látky a směsi, typ A nebo B, nebo organické peroxidy, typ A nebo B	10	50
P6b Samovolně reagující látky a směsi a organické peroxidy		
Samovolně reagující látky a směsi, typ C, D, E nebo F, nebo organické peroxidy, typ C, D, E nebo F	50	200
P7 SAMOZÁPALNÉ kapaliny a tuhé látky		
Samozápalné kapaliny, kategorie 1	50	200
Samozápalné tuhé látky, kategorie 1		
P8 OXIDUJÍCÍ KAPALINY A TUHÉ LÁTKY		
Oxidující kapaliny, kategorie 1, 2 nebo 3, nebo oxidující tuhé látky, kategorie 1, 2 nebo 3	50	200
Oddíl „E“ - NEBEZPEČNOST PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ		
E1 Nebezpečnost pro vodní prostředí v kategorii akutní 1 nebo chronická 1	100	200
E2 Nebezpečnost pro vodní prostředí v kategorii chronická 2	200	500
Oddíl „O“ - JINÁ NEBEZPEČNOST		
O1 Látky nebo směsi se standardní větou o nebezpečnosti EUH014	100	500
O2 Látky a směsi, které při styku s vodou uvolňují hořlavé plyny, kategorie 1	100	500
O3 Látky nebo směsi se standardní větou o nebezpečnosti EUH029	50	200

6.2 Příloha 2: Jmenovitě vybrané nebezpečné CHLS

Nebezpečné látky	Číslo CAS(23)	Množství nebezpečné látky v tunách	
		Sloupec 2	Sloupec 3
		A	B
1. Dusičnan amonný (viz poznámka 7)	-	5000	10000
2. Dusičnan amonný (viz poznámka 8)	-	1250	5000
3. Dusičnan amonný (viz poznámka 9)	-	350	2500
4. Dusičnan amonný (viz poznámka 10)	-	10	50
5. Dusičnan draselný (viz poznámka 11)	-	5000	10000
6. Dusičnan draselný (viz poznámka 12)	-	1250	5000
7. Oxid arseničný, kyselina arseničná nebo její soli	1303-28-2	1	2
8. Oxid arsenitý, kyselina arsenitá nebo její soli	1327-53-3		0,1
9. Brom	7726-95-6	20	100
10. Chlor	7782-50-5	10	25
11. Sloučeniny niklu v inhalovatelné práškové formě: oxid nikelnatý, oxid nikličitý, sulfid nikelnatý, sulfid niklitý, oxid niklitý	-		1
12. Etylenimin	151-56-4	10	20
13. Fluor	7782-41-4	10	20
14. Formaldehyd (koncentrace $\geq 90\%$)	50-00-0	5	50
15. Vodík	1333-74-0	5	50
16. Chlorovodík (zkapalněný plyn)	7647-01-0	25	250
17. Alkyl olova	-	5	50
18. Zkapalněné hořlavé plyny, kategorie 1 nebo 2 (včetně LPG) a zemní plyn (viz poznámka 13)	-	50	200
19. Acetylen	74-86-2	5	50
20. Etylenoxid	75-21-8	5	50
21. Propylenoxid	75-56-9	5	50
22. Methanol	67-56-1	500	5000
23. 4, 4'-metylen bis (2-chloranilin) nebo jeho soli, v práškové formě	101-14-4		0,01
24. Methylisokyanát	624-83-9		0,15
25. Kyslík	7782-44-7	200	2000
26. 2,4-toluen diisokyanát 2,6-toluen diisokyanát	91-08-7 584-84-9	10	100
27. Karbonyldichlorid (fosgen)	75-44-5	0,3	0,75
28. Arsan (arsenovodík)	7784-42-1	0,2	1
29. Fosfan (fosforovodík)	7803-51-2	0,2	1
30. Chlorid simatý	10545-99-0		1
31. Oxid sírový	09.11.7446	15	75
32. Polychlordibenzofurany a polychlordibenzodioxiny (včetně TCDD), kalkulované jako ekvivalent TCDD (viz poznámka 14)	-		0,001
33. Tyto KARCINOGENY nebo směsi obsahující tyto karcinogeny v koncentracích vyšších než 5 % hmotnostních:	-	0,5	2

4-aminobifenyl nebo jeho soli, benzotrchlorid benzidin nebo jeho soli, bis(chlormethyl)ether chlormethylmethylether, 1,2-dibrommethan diethylsulfát, dimethylsulfát dimethylkarbamoylchlorid, 1,2-dibrom-3-chlorpropan, 1,2-dimethylhydrazin dimethylnitrosoamin, hexamethylfosfotriamidj hydrazin, 2-naftylamin nebo jeho soli, 4-nitrodifenyl a 1,3 propansulton			
34. Ropné produkty a alternativní paliva			
a) benzíny a primární benzíny,			
b) letecké petroleje (včetně paliva pro reaktivní motory),			
c) plynové oleje (včetně motorové nafty, topných olejů pro domácnost a směsí plynových olejů)	-	2500	25000
d) těžké topné oleje			
e) alternativní paliva sloužící ke stejným účelům a mající podobné vlastnosti, pokud jde o hořlavost a nebezpečnost pro životní prostředí jako produkty uvedené v písmenech a) až d)			
35. Bezvodý amoniak	7664-41-7	50	200
36. Fluorid boritý	02.07.7637	5	20
37. Sirovodík	04.06.7783	5	20
38. Piperidin	110-89-4	50	200
39. Bis(2-dimethylaminoethyl)(methyl)amin	3030-47-5	50	200
40. 3-(2-ethylhexyloxy)propylamin	5397-31-9	50	200
41. Směsi (*) chlornanu sodného klasifikované ve třídě akutní toxicita pro vodní prostředí, kategorie 1 [H400] obsahující méně než 5 % aktivního chlóru a neklasifikované v žádné jiné kategorii nebezpečnosti v tabulce I přílohy I.		200	500
(*) Za předpokladu, že směs při nepřítomnosti chlornanu sodného nebude klasifikována ve třídě akutní toxicita pro vodní prostředí 1 [H400].			
42. Propylamin (viz poznámka 15) 1	107-10-8	500	2000
43. Terc-butyl-akrylát (viz poznámka 15)	1663-39-4	200	500
44. 2-methyl-3-butenitril (viz poznámka 15)	16529-56-9	500	2000
45. Tetrahydro-3,5-dimethyl-1,3,5-thiadiazin-2-thion (Dazo-met) (viz poznámka 15)	533-74-4	100	200
46. Methyl-akrylát (viz poznámka 15)	96-33-3	500	2000
47. 3-methylpyridin (viz poznámka 15)	108-99-6	500	2000
48. 1-brom-3-chlorpropan (viz poznámka 15)	109-70-6	500	2000

6.3 Příloha 3: Vzor návrhu na zařazení objektu

Vzor návrhu zařazení objektu nebo zařízení do skupiny A nebo B

Identifikace objektu nebo zařízení:

Název objektu /zařízení:

Ulice:

Místo a PSČ:

tel/fax/e-mail:

IČ:

Identifikace fyzické osoby oprávněné jednat jménem provozovatele

Jméno:

Jméno:

Příjmení:

Příjmení:

Bydliště:

Bydliště:

Druh, množství, klasifikace a fyzikální forma nebezpečné látky látka množství v tunách klasifikace látky*) fyzikální forma látky:

Látka
látka

množství v tunách

klasifikace látky

fyz.forma

Popis stávající nebo plánované činnosti provozovatele:

Popis a grafické znázornění okolí objektu nebo zařízení se všemi prvky, které mohou závažnou havárii způsobit nebo zhoršit její následky (situace, katastrální mapa):

Tabulky I a II přílohy č.1 zákona, doplněné o sloupec údajů o množství látek či skupin látek v objektu nebo zařízení, použitých pro výpočet návrhu zařazení.

Popis výpočtu podle přílohy č.1 k zákonu č.59/2006 Sb.

6.4 Příloha 1 Postup stanovení H&V indexu

6.4.1 Hodnocení indexu nebezpečnosti pro vodní prostředí

Tab. 6.1 Posouzení toxicity látky pro vodní prostředí [12]

Klasifikace CLP	Toxicita pro vodní organismy	Kód toxicity T _w
H400, H410	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) < 0,1 mg/l	5
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) < 0,1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) < 0,1 mg/l	
H411	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 0,1 - 1 mg/l	4
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 0,1 - 1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 0,1 - 1 mg/l	
H412	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 1 - 10 mg/l	3
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 1 - 10 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 1 - 10 mg/l	
H413	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 10 - 100 mg/l	2
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 10 - 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 10 - 100 mg/l	
H413	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) > 100 mg/l	1
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) > 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) > 100 mg/l	

Tab. 6.2 Alternativní posouzení toxicity pro vodní prostředí

Klasifikace CLP	Toxicita látky		Míra toxicity	Dílčí index Aw
H300, H310, H 330 + kategorie 1	LD ₅₀ orální, potkan	<= 5 mg/kg	Vysoce toxická látka	4
	LD ₅₀ dermální, potkan	<= 50 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	<= 100 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	<= 0,05 mg/l		
H300, H310, H 330 + kategorie 2	LD ₅₀ orální, potkan	5 - 50 mg/kg	Toxická látka	3
	LD ₅₀ dermální, potkan	50 - 200 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	100 - 500 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	0,05 – 0,5 mg/l		
H301, H311, H 331	LD ₅₀ orální, potkan	50 - 300 mg/kg	Středně toxická látka	2
	LD ₅₀ dermální, potkan	200 - 1 000 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	500 - 2 500 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	0,5 - 1 mg/l		
H302, H312, H 332	LD ₅₀ orální, potkan	300 – 2 000 mg/kg	Nízká toxicita	1
	LD ₅₀ dermální, potkan	1 000 - 2 000 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	2 500 – 20 000 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	1 - 5 mg/l		

Tab. 6.3 Posouzení fyzikálních vlastností látky pro vodní prostředí [12]

Fyzikální vlastnosti	Přirážka k indexu B _w
Kapalina, rozpustnost > 100 mg/l	3
Tenze par > 0,03 MPa, při 20°C	1
Ostatní	2

Tab. 6.4 Stanovení indexů toxické nebezpečnosti pro vodní prostředí alternativním způsobem

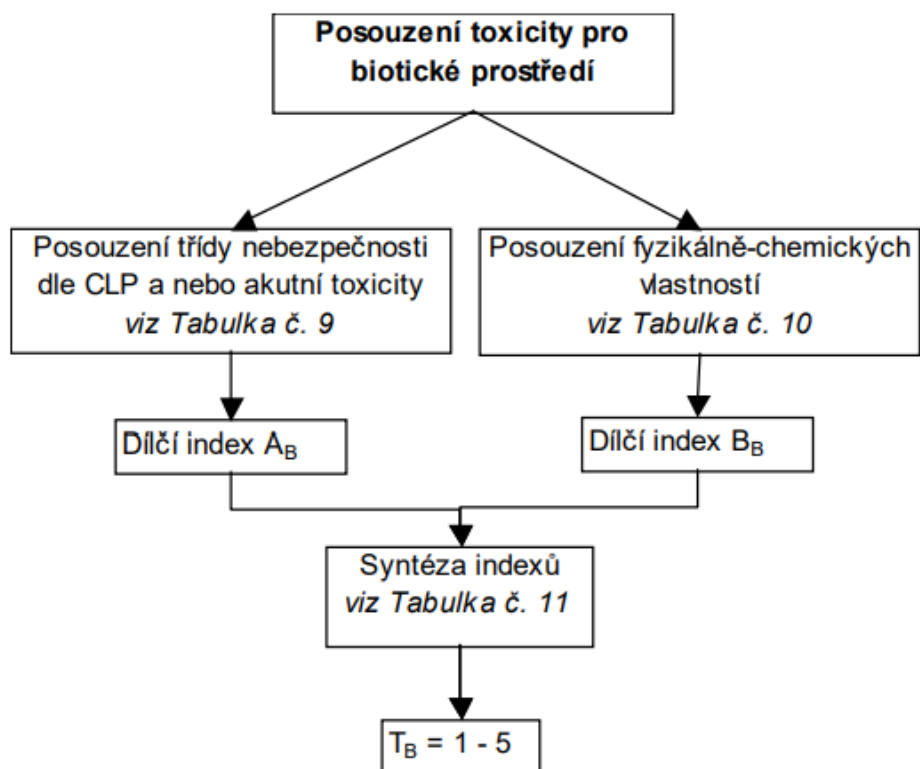
Součin kódů A _w x B _w	Třída toxicity	T _w
≥ 11	Extrémně vysoká	5
8 - 10	Velmi vysoká	4
5 - 7	Vysoká	3
3 - 4	Střední	2
≤ 2	Nízká	1

6.4.2 Hodnocení indexu nebezpečnosti pro půdní prostředí

Tab. 6.5 Stanovení indexů toxické nebezpečnosti pro půdní prostředí

Klasifikace CLP	Toxicita pro vodní organismy	Kód toxicity T _s
H400, H410	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) < 0,1 mg/l	5
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) < 0,1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) < 0,1 mg/l	
H411	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 0,1 - 1 mg/l	4
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 0,1 - 1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 0,1 - 1 mg/l	
H412	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 1 - 10 mg/l	3
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 1 - 10 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 1 - 10 mg/l	
H413	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 10 - 100 mg/l	2
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 10 - 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 10 - 100 mg/l	
H413	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) > 100 mg/l	1
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) > 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) > 100 mg/l	

6.4.3 Hodnocení indexu nebezpečnosti pro biotické prostředí



Obr. 6.1 posouzení toxicity pro biotické prostředí

Tab. 6.6 Tabulka stanovení dílčího indexu A_B

Klasifikace CLP	Toxicita látky		Míra toxicity	Dílčí index A_B
H300, H310, H 330 + kategorie 1	LD ₅₀ orální, potkan	<=5 mg/kg	Vysoce toxická látka	4
	LD ₅₀ dermální, potkan	<= 50 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	<= 100 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	<= 0,05 mg/l		
H300, H310, H 330 + kategorie 2	LD ₅₀ orální, potkan	5 - 50 mg/kg	Toxická látka	3
	LD ₅₀ dermální, potkan	50 - 200 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	100 - 500 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	0,05 – 0,5 mg/l		
H301, H311, H 331	LD ₅₀ orální, potkan	50 - 300 mg/kg	Středně toxická látka	2
	LD ₅₀ dermální, potkan	200 - 1 000 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	500 - 2 500 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	0,5 - 1 mg/l		
H302, H312, H 332	LD ₅₀ orální, potkan	300 – 2 000 mg/kg	Nízká toxicita	1
	LD ₅₀ dermální, potkan	1 000 - 2 000 mg/kg		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	2 500 – 20 000 ppm		
	LC ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	1 - 5 mg/l		

Tab. 6.7 Tabulka posouzení fyzikálních vlastností látky pro vyhodnocení dílčího indexu B_B

Fyzikální vlastnosti	Dílčí index B_B
Plyn zkapalněný chladem s bodem varu < -30°C	4
Plyn zkapalněný tlakem s bodem varu < -10°C	4
Plyn zkapalněný chladem s bodem varu > -30°C	3
Plyn zkapalněný tlakem s bodem varu > -10°C	3
Kapalina, tlak par při 20°C 0,03 – 0,1MPa	3
Kapalina, tlak par při 20°C 0,005 - 0,03 MPa	2
Kapalina, tlak par při 20°C < 0,005 MPa	1

Tab. 6.8 Tabulka stanovení výsledného indexu toxicity pro biotickou složku prostředí

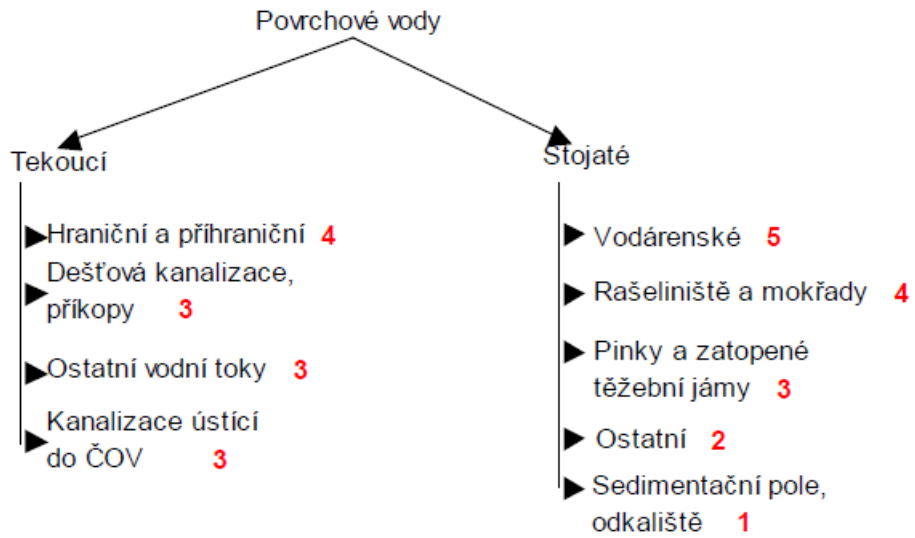
Součin kódů	Třída toxicity	T_B
> 12	Extremně vysoká	5
10 - 12	Velmi vysoká	4
7 - 9	Vysoká	3
4 - 6	Střední	2
< 4	Nízká	1

6.4.4 Hodnocení indexu nebezpečnosti hořlavosti látky

Tab. 6.9 Posouzení fyzikálně-chemických vlastností látky

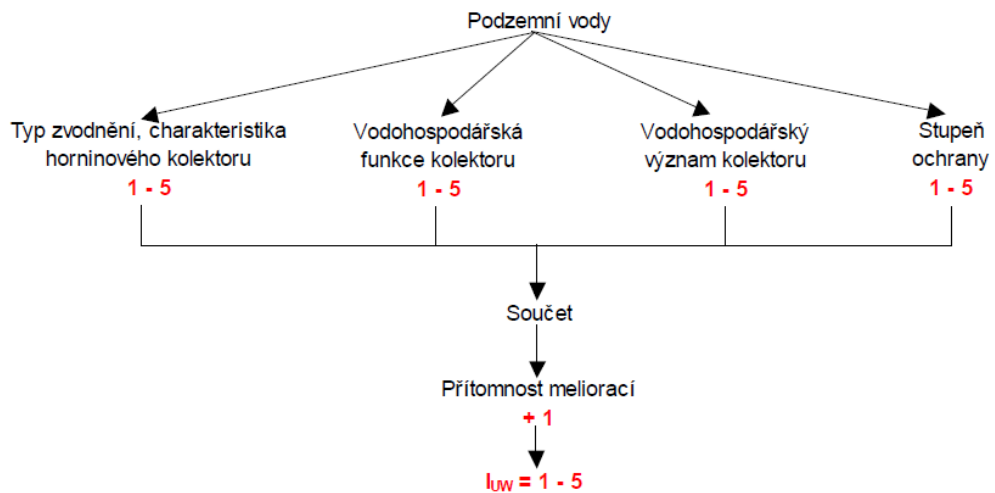
Fyzikální vlastnosti látky	F _R
Hořlavý plyn zkapalněný tlakem	3
Hořlavý plyn pod tlakem	3
Hořlavý plyn zkapalněný chladem	3
Hořlavá kapalina, tlak par $\geq 0,03$ MPa při 20°C	2
Hořlavá kapalina, tlak par $< 0,03$ MPa při 20°C	1

6.4.5 Hodnocení Index zranitelnosti povrchových vod



Obr. 6.2 Diagram znázornění průběhu hodnocení zranitelnosti povrchových vod

6.4.6 Hodnocení indexu zranitelnosti podzemních vod



Obr. 6.3 Grafické znázornění průběhu hodnocení zranitelnosti podzemních vod

Tab. 6.10 Charakteristika horninového prostředí

Typ zvodnění a charakteristika horninového prostředí kolektoru	Riziko znečištění	Bodové ohodnocení
Průlinové v nezpevněných převážně štěrkopísčitých a písčitých sedimentech, s hydraulickou spojitostí s povrchovým tokem	Velmi vysoké	5
Průlinové v nezpevněných převážně štěrkopísčitých sedimentech, bez hydraulické spojitosti s povrchovým tokem	Vysoké	4
Krasově puklinové až krasové	Vysoké	4
Výrazně puklinové, popř. průlinově puklinové, s průlinovým oběhem v zóně zvětrávání a v písčitém až hlinitopísčitém kvartérním pokryvu	Střední	3
Nepravidelné střídání průlinových převážně jemně písčitých až jílovito písčitých kolektorů a izolátorů	Nízké až střední, proměnlivé	2
Nepravidelné střídání nevýrazně puklinových, příp. průlinově – puklinových kolektorů ve zpevněných sedimentech, s průlinovým oběhem proměnlivého charakteru v zóně zvětrání a kvartérním pokryvu	Nízké	1

Tab. 6.11 Charakteristika pokryvu

Charakteristika pokryvu	Bodové ohodnocení
Území bez pokryvu nebo s propustnou pokrývnou vrstvou	5
Prostředí s nevyhraněnou hydrogeologickou funkcí: haldy, navážky, plošné deponie apod.	4
Rozsah málo propustných pokrývných vrstev s ochranným účinkem proti postupu znečištění z povrchu	3
Rozsah málo propustných až nepropustných antropogenních navážek, složených většinou z jílu	2
Rozsah plošně souvislého stropního izolátoru s výrazným ochranným účinkem proti postupu znečištění z povrchu	1

Tab. 6.12 Stupeň ochrany

Stupeň ochrany	Bodové ohodnocení
PHO 1. stupeň	5
PHO 2. stupeň – vnitřní	4
PHO 2. stupeň – vnější	3
PHO 2. stupeň - bez rozlišení	3
CHOPAV	2
PHO nevyhlášeno	1

Tab. 6.13 Vodohospodářský význam podzemní vody

Vodohospodářský význam – předpoklady využití podzemní vody	Bodové ohodnocení
Velké soustředěné odběry regionálního významu (velké skupinové vodovody)	5
Soustředěné odběry menšího regionálního významu (menší skupinové vodovody)	4
Větší odběry pro místní zásobování (menší obce)	3
Menší odběry pro místní zásobování (jednotlivé domy)	2
Jednotlivé malé odběry pro místní (individuální) zásobování při omezené spotřebě	1

Tab. 6.14 Výsledné hodnocení zranitelnosti podzemních vod

Součet kódů	Hodnocení zranitelnosti	Index I _{UW}
<6	Zanedbatelná zranitelnost	1
6 – 10	Malá zranitelnost	2
11 – 14	Průměrná zranitelnost	3
15 – 18	Vysoká zranitelnost	4
>18	Velmi vysoká zranitelnost	5

6.4.7 Hodnocení indexu zranitelnosti půdního prostředí

Tab. 6.15 Tabulka stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí

Kategorie půd	Půdní druh	Půdní typ (HPJ)	I _s
Neodolné	Lehké	21, 22, 23, 27, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39	5
Silně náchylné	Lehké	04, 05, 17, 24, 25, 26, 28	4
	Střední	29, 33, 35, 38, 40, 41, 48, 50, 51, 52, 55, 58, 62, 64, 65, 67, 68, 75, 76	
Náchylné	Střední	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49	3
	Těžké	53, 56, 59, 60, 63, 66, 69, 70, 71, 72, 73, 74	
Slabě náchylné	Střední	01, 02, 03, 08, 09, 18, 19	2
	Těžké	54, 57, 61	
Odolné	Těžké	06, 07, 20	1

6.4.8 Hodnocení indexu složek biotických složek prostředí

Tab. 6.16 Tabulka stanovení biotických složek prostředí

Parametr biotických složek krajiny	I _B
ZCHÚ, ÚSES národního významu	5
ÚSES regionálního a lokálního významu, přírodní a prioritní stanoviště	4
Lesy, sady, vinice, chmelnice	3
Louky a pastviny	2
Zahrady a parky	2
Obhospodařovaná zemědělská půda	1

6.4.9 Celkové hodnocení závažnosti havárie

Tab. 6.17 Stanovení kategorie závažnosti havárie únikem toxické látky pro povrchové vody

		Množství látky uniklé do povrchových vod[t]				
		<1	1–10	10–50	50–200	>200
I _{Tsw}	1	A	A	B	B	C
	2	A	B	C	C	D
	3	B	C	C	D	E
	4	B	C	D	E	E
	5	C	D	E	E	E

Tab. 6.18 Stanovení kategorie závažnosti havárie únikem toxické látky pro půdní prostředí

		Množství látky uniklé do půdy [t]				
		<1	1–10	10–50	50–200	>200
I _{TS}	1	A	A	B	B	C
	2	A	B	C	C	D
	3	B	C	C	D	E
	4	B	C	D	E	E
	5	C	D	E	E	E

Tab. 6.19 Stanovení kategorie závažnosti havárie únikem toxické látky pro podzemní vody

		Množství látky uniklé do hydrogeologického prostředí [t]				
		<1	1–10	10–50	50–200	>200
I _{TUW}	1	A	A	B	B	C
	2	A	B	C	C	D
	3	B	C	C	D	E
	4	B	C	D	E	E
	5	C	D	E	E	E

Tab. 6.20 Stanovení kategorie závažnosti havárie účinkem hořlavé látky pro biotickou složku prostředí

		Množství uniklé látky [t]				
		<1	1–10	10–50	50–200	>200
I _{TB}	1	A	A	B	B	C
	2	A	B	C	C	D
	3	B	C	C	D	E
	4	B	C	D	E	E
	5	C	D	E	E	E

Tab. 6.21 Stanovení kategorie závažnosti havárie účinkem hořlavé látky pro biotickou složku prostředí

		Množství uniklé látky [t]				
		<1	1–10	10–50	50–200	>200
I _{FR}	1	A	A	B	B	C
	2	A	B	C	C	D

	3	B	C	C	D	E
	4	B	C	D	E	E
	5	C	D	E	E	E

6.5 Příloha 5: Meteorologické podmínky

Třídy rychlosti	Rychlost v m/s	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Bezvětrí	Součet
1	(0,0 - 0,5)	9,74	0,03	0,05	0,02	1,78	11,21	5,26	5,51	0,39	34
2	<0,5 - 2,5)	35,46	0	0	0	7,81	16,5	3,31	0,57		63,64
3	<2,5 - 7,5)	2,36	0	0	0	0	0	0	0		2,36
4	<7,5 - 10,0)	0	0	0	0	0	0	0	0		0
5	<10,0 - ∞)	0	0	0	0	0	0	0	0		0
		47,56	0,03	0,05	0,02	9,59	27,71	8,57	6,08	0,39	100