



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Analýza rizik a modelace úniku
nebezpečné chemické látky při její
přepravě po železnici**

**Risk Analysis and Modeling of a
Dangerous Chemical Substance Leakage
during Railway Transport**

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Alena Krupičková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Mirovský, LL.M.

Kladno 2023



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krupičková** Jméno: **Alena** Osobní číslo: **473771**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici

Název diplomové práce anglicky:

Risk Analysis and Modeling of a Dangerous Chemical Substance Leakage during Railway Transport

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude provedení analýzy rizik a následná modelace úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici. V teoretické části budou vymezeny základní pojmy týkající se tématu, dále budou specifikovány metody analýzy rizik, legislativa související s danou problematikou a charakteristika přepravované nebezpečné látky. Praktická část bude obsahovat vybrané hrozby a provedení analýzy rizik za pomoci metody multikriteriální analýzy a softwaru Riskan. Následně bude provedena modelace úniku nebezpečné chemické látky z železniční cisterny, která bude přenesena do mapového podkladu. Výstupy analýzy rizik a modelace povedou k navržení opatření, které sníží riziko vzniku mimořádných událostí.

Seznam doporučené literatury:

- [1] SCHRÖTTER, Josef, *Železniční nehody, řízení a zabezpečení dopravy*, Brno: CPress, 2021, ISBN 978-80-264-3958-5
- [2] ŘEHÁK, David, MARTINEK, Bohumír, LEGIERSKÁ, Petra, *Ochrana obyvatelstva v kontextu aktuálních bezpečnostních hrozeb 2*, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2019, ISBN 978-80-7385-220-7
- [3] ŠENOVSÝ, Pavel a kol., *Bezpečnost občanů a rizika v území*, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2015, 146 s., ISBN 978-80-7385-172-9

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Mirovský, LL.M.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **19.09.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 18.05.2023

.....
Bc. Alena Krupičková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Petru Mirovskému, LL.M za cenné rady, připomínky a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Poděkování patří také Ing. Pavlu Orálkovi za poskytnutí potřebných podkladů k modelaci mimořádné události. V neposlední řadě bych také ráda poděkovala své rodině, bez které bych tuto práci nemohla dokončit.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu rizik spojených s přepravou nebezpečné látky po železnici a na modelaci úniku z vlakové soupravy. Předmětem modelace úniku bude chemická sloučenina amoniak. V současnosti se nebezpečné chemické látky přepravují po železnicích v nezanedbatelném množství a mohou představovat značné riziko pro lidské zdraví, životní prostředí a také majetek.

V teoretické části budou charakterizovány základní pojmy vztahující se k řešené problematice, následně bude popsána související legislativa týkající se chemických látek a jejich přepravy po železnici. Dále bude definována samotná nebezpečná látka a její nebezpečné vlastnosti. Následně bude vysvětlen způsob označování cisternových vozů přepravujících látky tohoto charakteru a současně popsána dopravní společnost zajišťující přepravu amoniaku a její specifika. Součástí teoretické části bude taktéž charakteristika území obce, kde bude modelace provedena.

Prvním krokem praktické části bude předběžná analýza rizik provedena pomocí rizikového kalkulátoru Riskan. K detailní analýze rizik nehody vlakové soupravy poslouží multikriteriální analýza, jejíž výsledky se promítnou do samotné modelace úniku nebezpečné látky. Modelace bude provedena v softwaru ALOHA, který slouží k namodelování úniku a šíření nebezpečné chemické látky v ovzduší a vyznačí, na základě vlastností látky a dalších okolností, ohrožené zóny. Následně budou výsledky modelace přeneseny do mapového podkladu prostřednictvím mapové aplikace Marplot. Výstupem práce bude návrh způsobu evakuace obyvatel v ohrožené zóně a další možná opatření vedoucí k minimalizaci vzniku nebo škod způsobených únikem amoniaku při přepravě po železnici.

Klíčová slova

Analýza rizik; nebezpečná látka; únik; železniční cisterna; amoniak; přeprava

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis of risks associated with the transport of hazardous substances by rail and the modelling of leakage from a train set. The subject of the leakage modelling will be the chemical compound ammonia. Currently, hazardous chemicals are transported on railways in non-negligible quantities and can pose a significant risk to human health, the environment and property.

In the theoretical part, the basic concepts related to the problem will be characterized, followed by a description of the related legislation concerning chemicals and their transport by rail. Furthermore, the hazardous substance itself and its hazardous properties will be defined. Subsequently, the method of marking tank wagons carrying substances of this nature will be explained, while the transport company ensuring the transport of ammonia and its specifics will be described. The theoretical part will also include the characteristics of the municipality where the modelling will be carried out.

The first step of the practical part will be a preliminary risk analysis using the Riskan risk calculator. A multicriteria analysis will be used to analyze in detail the risks of the train accident, the results of which will be reflected in the modelling of the hazardous substance spill itself. The modelling will be carried out in the ALOHA software, which is used to model the release and dispersion of a hazardous chemical in the air and to mark out the zones at risk based on the properties of the substance and other circumstances. The results of the modelling will then be transferred to a map base using the Marplot mapping application. The output of the work will be a suggestion of how to evacuate the inhabitants in the danger zone and other measures to minimize the occurrence or damage caused by the release of ammonia during transport by rail.

Keywords

Risk Analysis; Dangerous Substance; Leakage; Rail Tank; Ammonia; Transport

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce a hypotézy	13
3	Přehled současného stavu.....	14
3.1	Základní pojmy	14
3.2	Související legislativa	19
3.3	Amoniak.....	23
3.3.1	Zásady poskytnutí první pomoci.....	25
3.3.2	Zásady chování obyvatelstva při úniku toxické látky	28
3.4	Značení látek a směsí	28
3.4.1	UN-systém.....	30
3.5	Označení železničních cisteren.....	31
3.6	IDS LocoCare s.r.o.	31
3.6.1	Popis cisterny	32
3.7	Železniční nehody v ČR	32
3.7.1	Příklady dopravních nehod s únikem chemických látek.....	35
3.7.2	Statistické údaje ze zahraničí.....	36
3.8	Popis obce Dobrovíz	37
4	Metodika.....	39
5	Výsledky.....	41
5.1	Identifikace rizik	41
5.2	Předběžná analýza.....	45
5.3	Multikriteriální analýza	47
5.3.1	Stanovení koeficientů.....	48

5.3.2	Výpočet multikriteriální analýzy	51
5.3.3	Výsledky analýzy	53
5.4	Scénář mimořádné události	54
5.5	Modelace události v reálných podmínkách.....	56
5.5.1	Software Marplot.....	58
5.6	Evakuace obce Dobrovíz	60
5.7	Návrhy na opatření	62
5.8	Modelace v ideálních podmínkách.....	65
6	Diskuze	68
6.1	Vyhodnocení hypotéz	73
7	Závěr	74
8	Seznam použitých zkratk.....	75
9	Seznam použité literatury	76
10	Seznam použitých obrázků	81
11	Seznam použitých tabulek.....	82
12	Seznam Příloh.....	83
13	Přílohy.....	84

1 ÚVOD

V dnešní době je přeprava nebezpečných chemických látek po železnici jedním z neefektivnějších způsobů, jak zajistit převoz těchto látek v průmyslových oblastech a zároveň je dopravit do vzdálených míst. Železnice je považována za jeden z nejbezpečnějších způsobů přepravy nebezpečných látek. Nicméně, i když jsou bezpečnostní opatření při přepravě zlepšována, stále existuje riziko úniku nebezpečných látek při jejich přepravě po železnici, což může mít za následek ekonomické ztráty, ale také vážné poškození zdraví osob, jejich bezpečnost a poškození životního prostředí. Tato práce se zaměřuje na analýzu rizik a modelaci úniku nebezpečné chemické látky z železniční cisterny při přepravě.

Hlavní náplní této diplomové práce bude analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky amoniaku při jeho přepravě. Práce bude zaměřena na identifikaci nejzávažnějších hrozeb, které jsou nejvíce pravděpodobné a vedou k následnému úniku látky, a také na navržení účinných opatření k minimalizaci rizik a zlepšení bezpečnosti při přepravě nebezpečných látek.

V teoretické části budou nejdříve vyloženy a charakterizovány základní pojmy, které jsou důležité pro lepší pochopení řešené problematiky, dále budou definovány právní normy a legislativa, která se týká nebezpečných látek a jejich přepravy. Následně je charakterizován amoniak, jeho vlastnosti a působení na lidské zdraví. Na konec je popsána železniční společnost, zajišťující přepravu vlaku, ve kterém bude vybrána cisterna využita v simulované události, obec Dobrovíz, kde dojde k úniku nebezpečné chemické látky.

V praktické části budou provedeny dvě analýzy rizik, první bude předběžná analýza za pomoci softwaru Riskan, která vyselektuje nejpravděpodobnější a nejzávažnější hrozby, které následně budou podrobeny přesnější

multikriteriální analýze. Hrozba, která vyjde z analýzy jako nejzávažnější bude popsána ve smyšleném scénáři možné události a následně podrobena modelaci v programu ALOHA, kde bude vyhodnocena zasažená oblast a přenesena do mapového podkladu Marplot. Na základě výsledků analýz jsou v práci navržena opatření pro zlepšení bezpečnosti při přepravě nebezpečných látek po železnici.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem této diplomové práce na téma Analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici je identifikovat rizika spojená s přepravou nebezpečných látek. K tomuto účelu jsou v práci využity dvě metody analýzy rizik, první z nich je předběžná analýza za pomoci kalkulátoru Riskan a následná multikriteriální analýza. Obě analýzy ve výsledku určí jednu hrozbu, která je za daných podmínek nejpravděpodobnější a nejvíce závažná.

Na základě výsledků analýz jsou v práci navržena opatření pro zlepšení bezpečnosti při přepravě nebezpečných látek po železnici. Dále je v této práci po komplexní selekci nejzávažnější hrozby provedena modelace úniku nebezpečné látky – amoniaku, na základě vytvořeného scénáře.

Výsledky této práce mohou být využity jako podklad pro zlepšení bezpečnosti při přepravě nebezpečných látek po železnici a jako podpora pro rozhodovací procesy při plánování a následné realizaci přepravy těchto látek. Tyto výsledky by také mohly sloužit vybrané obci pro zpracování plánu odezvy orgánů obce na vznik mimořádné události.

Hypotéza 1

Přeprava nebezpečných chemických látek po železnici a následný únik látky představuje nejvyšší riziko pro lidské zdraví.

Hypotéza 2

Výsledky předběžné analýzy se shodují s výsledky podrobnější multikriteriální analýzy.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Základní pojmy

Pro žádoucí porozumění problematice řešené touto diplomovou prací, tedy analýze rizik a modelaci úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici, je v následující kapitole uveden přehled klíčových pojmů, včetně jejich stručné charakteristiky.

Nebezpečí

Nebezpečí je označení pro jakýkoliv jev, který může případně způsobit ohrožení lidského života, zdraví, majetku nebo životního prostředí. Termín nebezpečí vyjadřuje určitý potenciál pro zavinění vzniku škod. Nebezpečí může být způsobeno různými faktory, jako jsou přírodní katastrofy, nehody nebo lidské chyby [1].

Pojem nebezpečí můžeme také charakterizovat jako vlastnost nebezpečné látky schopnou vyvolat možnost vzniku závažné havárie či jiný negativní neočekávaný jev [1, 2].

Hrozba

Pojmem hrozba se rozumí jakýkoli fenomén objevující se na počátku nežádoucí situace působící na chráněné zájmy a aktiva, jimiž mohou být objekty či subjekty. Hrozba je událostí neboli aktivem, která má negativní vliv na bezpečnost nebo je schopná způsobit ztráty [3].

Posuzování hrozby je realizováno prostřednictvím celé řady faktorů, přičemž primárním z nich je velikost hrozby, což znamená schopnost hrozby způsobit škodu. Hrozby klasifikujeme na:

- úmyslné (přepadení, krádež);
- neúmyslné (způsobena přírodními vlivy) [3].

Riziko

Riziko vyjadřuje určitou pravděpodobnost vzniku nežádoucí situace a velikost negativních či až nepřijatelných následků mimořádné události, která působí na chráněné zájmy a aktiva za vymezené časové období v daném místě. Je vždy místně vymezené, jelikož závisí na zranitelnosti území a jeho míře ohrožení. V komplexním pojetí je riziko chápáno jako relace mezi očekávanou ztrátou a neurčitostí uvažované ztráty [2, 4, 5].

Podle přijatelnosti riziko rozdělujeme do tří kategorií, která jsou:

- přijatelné riziko;
- podmíněně přijatelné riziko (lze dočasně akceptovat při dodržení opatření);
- nepřijatelné riziko [6].

Evakuace

Výraz evakuace znamená přemístění lidí, zvířat, cenných předmětů a jiných věcí z oblasti, která je ohrožena mimořádnou událostí, do bezpečného místa, kde je poskytnuto náhradní ubytování, stravování a případně ustájení zvířat a uskladnění věcí.

Obyvatelé jsou obvykle informováni o vyhlášení evakuace prostřednictvím místního rozhlasu nebo vysílání České televize. Je důležité zdůraznit, že evakuace se nevztahuje na osoby zapojené do záchranných a likvidačních prací. Evakuace je prioritně plánována pro děti mladší 15 let, pacienty

ve zdravotnických zařízeních, osoby pobývající v sociálních zařízeních, osoby se zdravotním postižením a pro doprovod těchto osob [7].

Analýza rizik

Analýza rizik je proces, kterým se určují všechny možné dopady neobvyklých událostí na chráněné zájmy, a je hodnocena jejich velikost vzhledem k škodám a ztrátám.

Řadí se mezi prvotní a zcela zásadní krok v komplexním procesu zabezpečení přípravy a prevence pro zvládnutí nebo alespoň zmírnění dopadů negativních událostí. Při analýze rizik je důležité věnovat pozornost výběru vhodné metody nebo také využití kombinace více metod [4].

Po analýze rizik následuje řízení rizika, jehož cílem je zabránit závažným rizikům, zvládat průměrná rizika a přijímat malá rizika. Na základě pochopení a hodnocení rizika se provádí řešení rizik ve prospěch bezpečnosti a udržitelného rozvoje systému, který je chráněným zájmem [4, 8, 9].

Výsledky analýzy rizik slouží jako základ pro rozhodnutí o tom, zda je riziko pro společnost přijatelné a zda je třeba přijmout opatření k jeho snížení.

V případě potřeby se výsledky analýzy rizik mohou použít pro výběr vhodných opatření, která zajistí snížení nebo úplné odstranění rizik.

Analýza rizik by měla především obsahovat:

- systematickou identifikaci zdrojů nebezpečí;
- systematickou identifikaci potenciálních selhání;
- kvantitativní nebo alespoň semi-kvantitativní hodnocení selhání lidského faktoru;

- zhodnocení možných řešení pro snížení míry rizika;
- identifikaci faktorů, které se podílejí na iniciaci rizik;
- komparaci s alternativními technologiemi a systémy [9, 10].

Kvalitativní analýza využívá verbálního vyjádření nebo deskriptivní stupnice k charakterizaci potencionálních následků a pravděpodobnosti vzniku negativní události. Uplatňuje se především jako vstupní analýza pro identifikaci rizik, která následně požadují podrobnější analýzu nebo pokud úroveň rizika nevyžaduje čas a úsilí potřebné pro důkladnější analýzu.

Semi-kvantitativní analýza používá kvalitativní škály pro vyjádření pravděpodobnosti a míry následků. Pro stanovení zmíněné škály jsou využity úrovně následků a pravděpodobností. Cílem je dosažení důkladnější prioritizace rizik a možnosti jejich komparace. Za využití tohoto způsobu nedochází k vyjádření míry rizika skutečnou hodnotou oproti kvantitativní analýze.

Kvantitativní analýza využívá plně numerického vyjádření jak pro pravděpodobnosti, tak i pro následky. Kvalita analýzy je podmíněna přesností a kompletností využitých údajů a dat. Dopady mohou být odhadnuty na podkladu modelů jednotlivých událostí nebo pomocí extrapolace z experimentálních studií či historických dat. Data je možné vyjádřit v peněžních hodnotách nebo za pomoci technických údajů, také mohou být formulovány popsáním ztrát a četností událostí [10].

Při analýze a hodnocení rizik závažné havárie je provozovatel povinen vypracovat analýzu rizik využitelnou pro následné zpracování bezpečnostního programu nebo bezpečnostní zprávy, ve které musí být uvedeno:

- identifikace zdrojů rizika;
- vymezení možných scénářů událostí a jejich příčin;

- posouzení dopadů možných scénářů na životy a zdraví osob, majetek, hospodářských zvířat a životního prostředí;
- odhad pravděpodobnosti scénářů;
- stanovení míry rizika;
- hodnocení přijatelnosti rizika vzniku havárie [11].

Analýza a hodnocení rizik se zpracovává pro všechny fáze životního cyklu zařízení či objektu. Počínaje vypracováním projektové dokumentace až po likvidaci, též pro normální i mimořádné podmínky včetně všech možných ohrožení, jimiž jsou selhání lidského faktoru či vnější ohrožení [11].

Nebezpečná chemická látka

Podle českých právních předpisů je definována nebezpečná chemická látka jako taková, která je vysoce toxická, toxická nebo zdraví škodlivá a může po proniknutí do těla (například vdechnutím, požitím nebo přes kůži) způsobit akutní nebo chronické poškození zdraví nebo dokonce smrt i v malých množstvích.

Chemické látky s oxidujícími, hořlavými nebo výbušnými vlastnostmi nejsou považovány za nebezpečné, pokud zároveň nevykazují toxické vlastnosti. Látky, které jsou plyny nebo nízkovroucí kapaliny (schopné být rozptýleny ve formě aerosolu) za normálních atmosférických podmínek, jsou považovány za nebezpečné, stejně jako látky, které jsou vyráběny, skladovány, přepravovány nebo provozovány v takovém množství, že při úniku hrozí závažné ohrožení života a zdraví osob. [12, 13].

Železniční nehoda

Železniční nehoda neboli mimořádná událost v drážní dopravě je termín označující jak nehody v železniční dopravě, tak i méně závažné události, které je zapotřebí prošetřit.

Železniční nehody se dělí do několika kategorií, jejichž klasifikace je cennou pomůckou při studiu těchto nehod:

- srážky vlaků (čelní srážka, boční srážka, najetí zezadu);
- vykolejení podle místa (trať, výhybky, oblouky);
- jiné příčiny (požár, výbuch, srážka s lidmi);
- chyby strojvůdců (nadměrná rychlost, chybná manipulace);
- chyby dopravních zaměstnanců (nesprávná obsluha);
- porucha kolejových vozidel (špatný design, špatná údržba);
- projektové chyby (opakované závady);
- ostatní faktory (mlha, sníh, překážky) [14].

3.2 Související legislativa

S řešenou problematikou souvisí hned několik legislativních předpisů, které jsou v této kapitole vypsány a charakterizovány.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006

Nařízení REACH jedná o registraci, evaluaci, autorizaci a omezování chemických látek. Vstoupilo v platnost dne 1. června 2007 za záměrem zlepšit ochranu zdraví obyvatel a životního prostředí před riziky, která mohou představovat chemické látky. Nařízení se týká všech chemických látek využívaných v každodenním životě, nejenom těch, které se využívají v průmyslových procesech.

Cílem nařízení REACH je:

- vylepšení ochrany zdraví obyvatel a životního prostředí;
- posílit konkurenceschopnost chemického průmyslu EU;
- podpořit alternativní metody hodnocení nebezpečnosti chemických látek;
- zabezpečit volný oběh chemických látek na vnitřním trhu EU [15].

Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP) a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006

Nařízení CLP pojednává o klasifikaci, značení a balení chemických látek a vymezuje nový systém kritérií klasifikace, vychází z globálně harmonizovaného systému Organizace spojených národů. Charakterizuje celkem 16 stupňů nebezpečnosti fyzikálního charakteru, 10 stupňů nebezpečnosti pro zdraví a 2 stupně nebezpečnosti pro životní prostředí. Následně se vlastnosti látek rozdělují na kategorie, kdy kategorie označena číslovkou 1 značí látku nejnebezpečnější.

Nařízení CLP doplňuje směrnici o nebezpečných látkách, směrnicí o nebezpečných přípravcích a nařízením REACH. Účelem tohoto nařízení je zabezpečit vysokou úroveň ochrany zdraví osob a životního prostředí. Jedním z hlavních cílů je vymezit, zda látka nebo její směs prokazuje vlastnosti, které se klasifikují jako nebezpečné [16].

Zákon č. 426/2021 Sb., kterým se mění zákon č. 266/1994 Sb., o drahách

Zákon o drahách je právní předpis upravující provozování a správu železničních a tramvajových drah v České republice. Zákon stanoví povinnosti a práva provozovatelů drah, ale také cestujících a dalších účastníků provozu. Hlavními tématy, která zákon pokrývá, jsou:

- zakládání, stavby, úpravy, rekonstrukce, modernizace a likvidace drah;
- zabezpečení provozu drah a ochrana životního prostředí;
- podmínky provozování dráhy;
- povinnosti provozovatele dráhy, včetně přepravy cestujících a zboží;
- práva a povinnosti cestujících a dalších účastníků provozu drah;
- řízení a dohled nad provozováním drah;
- financování a hospodaření s dráhami.

Zákon o drahách je důležitým právním předpisem pro železniční a tramvajovou dopravu v České republice a zajišťuje bezpečnou, účinnou a ekologicky šetrnou dopravu [17].

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsí

Zákon o chemických látkách transponuje nařízení CLP a uplatňuje novou formu klasifikace balení a označování látek a směsí. Zajišťuje dozorovou a kontrolní činnost nad dodržováním požadavků nařízení CLP.

Chemický zákon se vztahuje na:

- látky, látky obsažené ve směsi nebo předmětu a směsi;

- na přípravky na ochranu rostlin, pomocné prostředky a biocidní přípravky [18].

Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi

Tento zákon vymezuje systém prevence závažných havárií pro objekty a zařízení, ve kterých je situována nebezpečná chemická látka. Jeho cílem je snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky způsobené závažnou havárií na životech a zdraví obyvatel, majetek v objektech a zařízeních v okolí [19].

Sdělení MZV č. 19/2011 Sb. m. s., RID, Úmluva o mezinárodní železniční přepravě (COTIF)

Úmluva o mezinárodní železniční přepravě byla podepsána v Bernu roku 1980 a stala se platným právním předpisem. V roce 1999 Česká republika podepsala pozměňovací protokol, jelikož úmluva nebyla zcela v souladu s vnitrostátními právními předpisy ČR a se závazky vyplývajícími z jiných mezinárodních smluv.

Úmluva COTIF má za cíl podporovat, zlepšovat a usnadňovat mezinárodní železniční přepravu. K tomuto účelu:

- vymezuje a rozvíjí jednotné právní předpisy;
- přispívá k odstranění překážek při přechodu hranic v mezinárodní železniční přepravě;
- pomáhá s interoperabilitou a technickou harmonizací v oboru železniční dopravy;
- stanovuje jednotný postup pro technickou admisi železničního materiálu, který je určen k používání v mezinárodní dopravě;

- dohlíží na správné používání a provádění všech právních předpisů a doporučení organizace COTIF [20].

Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí (RID)

Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí je soubor pravidel a postupů, které regulují bezpečnou mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí. RID je vydáván Mezinárodní organizací pro železnice a platí ve všech státech, které se jej rozhodnou přijmout [21].

RID určuje přesná pravidla pro balení, označování, identifikaci a manipulaci s nebezpečnými věcmi během přepravy. Tyto předpisy zahrnují požadavky na označení a popis nákladu, použití speciálních obalů a kontejnerů a požadavky na kvalifikaci a školení personálu. Důležitou částí RID jsou také bezpečnostní opatření, která mají být dodržována během přepravy nebezpečných věcí. To zahrnuje například požadavky na kontrolu nákladu, sledování a hlášení incidentů, požadavky na zabezpečení vozidel a na komunikaci mezi různými zúčastněnými stranami [21].

RID je důležitým nástrojem pro zajištění bezpečnosti při přepravě nebezpečných věcí po železnici. Je nezbytné, aby se všichni zúčastnění na železniční přepravě nebezpečných látek řídili těmito pravidly, aby se minimalizovala rizika ohrožení bezpečnosti, zdraví a životů osob, životního prostředí a ochrany majetku [21].

3.3 Amoniak

Jelikož ve využitém scénáři při přepravě nebezpečné látky po železnici byla vybrána nebezpečná chemická látka amoniak, je potřebné si látku definovat,

charakterizovat její vlastnosti a zásady poskytnutí první pomoci při zasažení touto chemickou látkou.

Amoniak je chemická sloučenina se vzorcem NH_3 , což znamená, že se skládá z jednoho atomu dusíku a tří atomů vodíku. Je to bezbarvý, silně zapáchající plyn, který je ve vodě dobře rozpustný a je široce využíván v průmyslu například jako surovina pro výrobu hnojiv a dusičnanů, výrobu kyseliny dusičné, při čištění odpadních vod, v chladicích systémech nebo jako reaktant v chemických syntézách [13, 22].

Při práci s amoniakem je důležité dodržovat bezpečnostní opatření a pracovat v dobře větraných prostorách, jelikož jeho páry dráždí oči, dýchací cesty a kůži a mohou způsobit popáleniny. Nádoby s amoniakem by měly být opatřeny správnými označeními a být umístěny na bezpečných místech. Při manipulaci s touto chemickou látkou je nezbytné využívat ochranné prostředky, jako jsou respirátory, brýle a rukavice, pro minimalizaci rizika úrazu.

V dopravě se amoniak přepravuje v dutých kontejnerech nebo nádržích s dvojitou stěnou, které jsou navrženy tak, aby minimalizovaly poškození okolního prostředí. Přeprava amoniaku je také regulována zákonem a musí se řídit příslušnými právními předpisy a bezpečnostními opatřeními, jako je například již zmíněný řád pro přepravu nebezpečných věcí po železnici (RID) nebo také řád pro přepravu nebezpečných věcí po silnici (ADR) [13, 22].

Tabulka 1 – Fyzikálně chemické vlastnosti amoniaku [13]

Hutnota	0,6
Relativní molekulová hmotnost	17,03
Bod varu	-33,4 °C
Těkavost při 20 °C	92 obj. %
Reaktivita	Vysoká rozpustnost ve vodě
Meze výbušnosti	15 až 28 %
Typ filtru dle ČSN EN 141	KP3
Možnosti výskytu nebezpečné chemické látky	Mrazírny, potravinářský průmysl, zimní stadiony, zemědělská velkovýroba

3.3.1 Zásady poskytnutí první pomoci

Pokud se jedná o únik nebezpečného plynu, představují největší riziko toxické účinky. Jedovaté plyny jsou především vdechovány, ale mohou se však do organismu vstřebat i dalšími branami vstupu (pokožkou, očními spojivkami). K nejvýraznějším jedovatým látkám používaným u nás patří amoniak a chlor. Míra účinku jedovaté látky na lidský organismus je dána délkou jejího působení na organismus a koncentrací dané látky. Pro poskytnutí první pomoci je důležité identifikovat, jakým způsobem byl lidský organismus zasažen [7].

Tabulka 2 – Příznaky zasažení organismu amoniakem [12]

Subjektivní příznaky	Objektivní příznaky	Doba působení (minuty)	Koncentrace (ppm)
Vnímaní čichem	-	0,1-1	0,02-30
Nepříjemný zápach, mírné dráždění nosu a nosohltanu	Mírné zarudnutí nosohltanu	2	100-200
Velmi silné dráždění	Zarudnutí spojivek, nosohltanu, slzení, kýchání	120	200-300
Neúnosné dráždění očí, nosu, bolesti za hrudní kostí	Silné zarudnutí nosu, slzení, kašel, spojivek, kýchání,	60	360
Okamžité dráždění, nevolnost, bolest hlavy	Kýchání, kašel, slzení, zvýšení dýchání	0,1	360-500
Okamžité dráždění, bolesti, zmatenost, nevolnost	Záchvaty kašle, zrudnutí obličeje, pocení, krvácení z nosu, závratě	0,1	500-1000
-	Výše uvedené příznaky + křeče, zástava vylučování moči, ohrožení života	30	1000
-	Poruchy dýchání a krevního oběhu	2-5	1730
-	Poleptání horních cest dýchacích, otok plic, poruchy srdeční činnosti	Do 30	2450

-	Udušení následkem otoku plic, zástava dýchání, smrt	Do 10	5000
---	---	-------	------

Obecný postup při první pomoci je následující:

- naprostý klid;
- zákaz kouření;
- převléknutí a omytí postiženého;
- výplach očí borovou vodou;
- inhalace mlhy 1 % roztoku octa;
- mírnění kašle dostupným lékem [12].

V případě možné identifikace způsobu vniknutí toxické látky do organismu, poskytuje se první pomoc s ohledem na tento faktor:

- při vdechnutí – postiženého dostat na čerstvý vzduch, vodou vypláchnout ústa a nos, následně zajistit odbornou lékařskou pomoc;
- při požití – vypláchnout ústa a vypít velké množství vody, nesnažit se vyvolat zvracení;
- při zasažení očí – vyplachování očí pod tekoucí vlažnou vodou s otevřenými víčky;
- při poleptání – postižená místa oplachovat vlažnou vodou minimálně 20 minut, sejmout kontaminovaný oděv a obuv, při vzniku omrzlin neodstraňovat přimrzlé šatstvo, překrýt postižená místa sterilním krytím [23].

3.3.2 Zásady chování obyvatelstva při úniku toxické látky

Podle daných obecných zásad chování obyvatelstva, by se měl chovat každý, kdo se dostane do situace, kdy došlo k úniku nebezpečných chemických látek. Se zásadami by se měl seznámit každý, kdo může být potenciálně ohrožen touto mimořádnou událostí, největší riziko hrozí v zóně havarijního plánování.

Zásady chování obyvatelstva při úniku většího množství nebezpečné chemické látky jsou následující:

- nepřibližovat se k místě události;
- vyhledat vhodný úkryt;
- utěsnit místnost;
- připravit si prostředky improvizované ochrany nebo prostředky individuální ochrany;
- provádět nebo připravit se na alespoň částečnou dekontaminaci;
- poslech rozhlasu a televize;
- jednat klidně a s rozvahou;
- netelefonovat a neblokovat tak síť;
- respektovat pokyny na nařízení složek IZS;
- vyvarovat se větší fyzické námahy;
- varovat sousedy;
- připravit se na evakuaci včetně přípravy evakuačního zavazadla [12].

3.4 Značení látek a směsí

Podle CLP je označování látek prováděno pomocí piktogramů, signálním slovem a standardní větou o nebezpečnosti a také pokyny pro bezpečné zacházení s látkou, tyto informace slouží k ochraně zdraví a života osob

a životního prostředí. Navzdory tomu některé látky zmíněné označení nevyžadují.

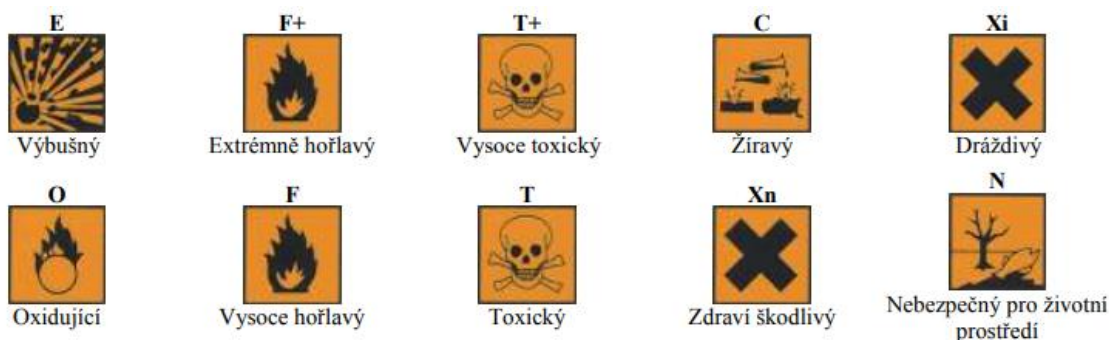
Dodavatelé musí nebezpečnou látku či její směs zabalenou podle nařízení CLP označit před jejím uvedením na trh v případě, pokud je látka klasifikována jako nebezpečná či směs obsahuje jednu nebo více nebezpečných látek na danou prahovou hodnotu. Všechny tyto informace jsou důležité pro bezpečné a správné manipulaci s látkami a směsmi [24].

Výstražné piktogramy nebezpečnosti na obalech podle CLP se označují následovně:



Obrázek 1 - Výstražné symboly dle CLP [24]

Podmínky pro označování chemických látek a směsí nalezneme také v chemické zákoně. Piktogramy pro nebezpečnost látek a směsí jsou dle české legislativy značeny oranžovým čtvercem s černým piktogramem. Doprovodné informace jsou udávány H-větami a R-větami [24].



Obrázek 2 - Značení látek podle chemického zákona [24]

3.4.1 UN-systém

Podle mezinárodních dohod ADR a RID a českých vnitrostátních předpisů o přepravě nebezpečných věcí po silnici a železnici jsou nejvýznamnějšími označeními dopravních prostředků převážejících nebezpečné látky Kemlerův kód a UN kód. Tyto číselné kódy jsou součástí identifikační tabulky, které slouží jako výstražné zařízení, o rozměrech 40 x 30 centimetrů oranžové barvy. Tato identifikační tabulka je rozdělena na dvě poloviny, kdy v horní části je uveden Kemlerův kód a v dolní části UN kód [25].

Kemlerův kód se skládá ze tří čísel, každé z nich označuje jiný aspekt nebezpečí. První číslo udává třídu nebezpečnosti, druhé a třetí číslo označuje vedlejší, respektive dodatečné nebezpečí, které je potřebné znát pro manipulaci v případě nehody. V případě, je-li před číslem uvedeno písmeno „X“, je to upozornění pro zasahující složky, že látka nesmí přijít do styku s vodou. Pokud jsou první dvě číslice stejné, znamená to zvýšení hlavního nebezpečí.

UN kód je identifikační číslo nebezpečné látky nebo skupiny látek s podobnými vlastnostmi. Látkám je vždy přidělen čtyřmístný kód, který látku jednoznačně identifikuje. Jedná se o jeden z nejčastěji používaných systémů pro rychlou identifikaci nebezpečných látek podléhajících dohodám ADR a RID.

V případě uvažovaného amoniaku se jedná o UN číslo 1005 a Kemlerovo číslo 23 [25].

3.5 Označení železničních cisteren

Železniční cisterny jsou speciální druh nákladních vozů určených pro přepravu nebezpečných látek po železnici. Jsou navrženy tak, aby byly bezpečné a spolehlivé pro přepravu. Cisterny nesmí být plněny jinou chemickou látkou, než pro kterou jsou uzpůsobeny, jelikož jsou vyráběny z kovových materiálů MEGC. Železniční cisterny jsou vybaveny různými bezpečnostními prvky, které minimalizují riziko úniku látek nebo jiných nehod, patří mezi ně například dvojitě stěny, bezpečnostní ventily či systémy detekce úniku.

Každá železniční cisterna musí být označena podle mezinárodního systému označování nákladních vozů, který zahrnuje kód pro typ nákladu, kód pro konstrukci a také hmotnost vozidla. Tyto informace jsou nezbytné pro zajištění bezpečnosti při přepravě. Značení cisteren slouží také k evidenci. Na obou stranách nákladního vozidla musí být označení identifikační tabulí o stejných rozměrech. Pokud je v cisternách převáženo stlačený či zkapalněný plyn označují se oranžovým pruhem nebo nápisem [26].

3.6 IDS LocoCare s.r.o.

IDS LocoCare s.r.o. je společnost podnikající v oboru údržby drážních vozidel a provozování železniční dopravy od roku 2007. Společnost je členem holdingu IDS Building Corporation a.s. V rámci provozu železniční dopravy se zabývá primárně přepravami nákladních vlaků jakýchkoliv komodit [27].

Společnost IDS LocoCare s.r.o. poskytuje následující služby:

- servis lokomotiv – pravidelná údržba a opravy lokomotiv;
- železniční přeprava – zajištění železničních přeprav na míru;
- pronájem lokomotiv – pronájem drážních vozidel z vlastního fleetu [27].

3.6.1 Popis cisterny

Pro simulovaný scénář mimořádné události nehody železniční cisterny převážející nebezpečnou chemickou látku amoniak po železnici byla vybrána cisterna, kterou má k dispozici společnost IDS LocoCare s.r.o. Jedná se o cisternu s názvem Zags 103 m³, 4-nápravový cisternový vůz.

Tento cisternový vůz je určen pro přepravu amoniaku UN1005 a zkapalněných uhlovodíků (LPG) dle kódu cisterny P29BH. Cisterna je navržena a sestavena v souladu s předpisy RID a TSI, také odpovídá normám EU. Vůz má označení TEN GE pro dopravní provoz. Spodní rám cisterny odpovídá ustanovením EN 12663-2 a UIC 530-1 pro montáž automatického spřáhla [28].

Cisterna je vybavena spodními ventily pro nakládání i vykládání, které jsou hydraulicky ovládané na obou stranách vozu. Pro kapalné i plynné skupenství jsou osazeny T-trubky a boční šikmé ventily, navíc v případě plynné fáze jsou zakomponovány také redukce. Kontrola nádrže je možná díky přístupu průlezem s krytem, který je umístěn na jedné straně nádrže. Cisternu lze plnit látkou o nejnižší teplotě -40 °C. Cisterna měří necelých 15 metrů na délku [28].

3.7 Železniční nehody v ČR

Od roku 2003 množství železničních nehod a počet usmrčených osob způsobených těmito mimořádnými událostmi v drážní dopravě setrvale klesá.

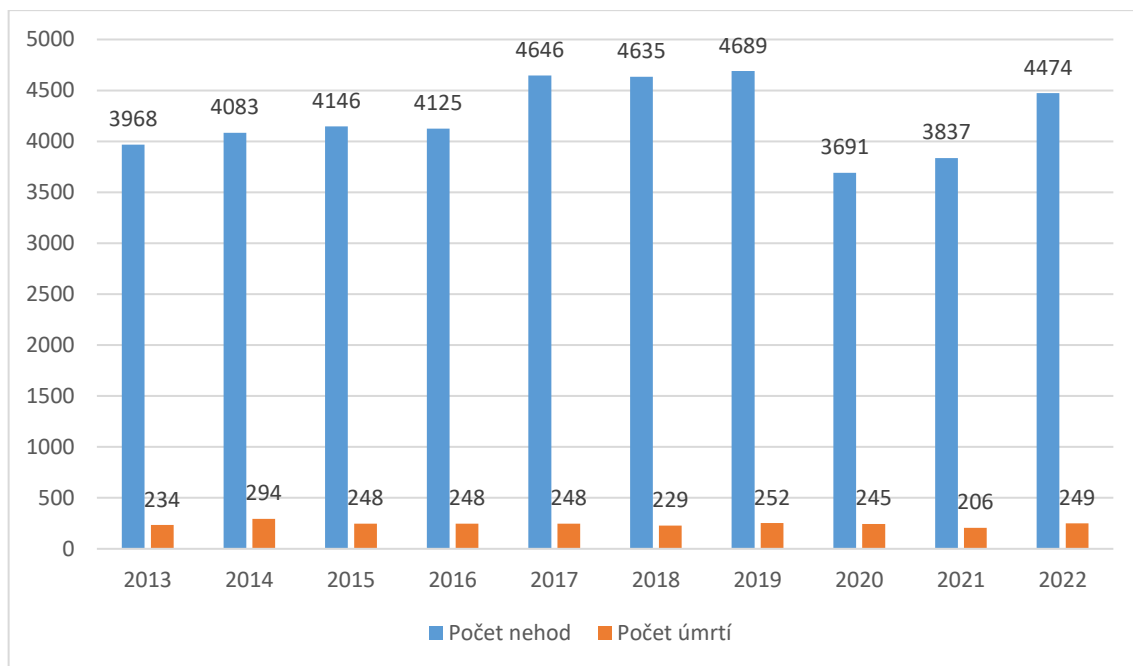
Za posledních deset let došlo k nejnižšímu počtu mimořádných událostí v železniční dopravě v roce 2020. Naopak početně nejvíce nehod se stalo v roce 2019 přičemž, k nejvyššímu počtu úmrtí došlo v roce 2014.

Největší vliv na množství usmrcených osob zaujímá střet vlaku s člověkem. Veškeré statistické údaje vychází z výstupů Drážní inspekce, jejichž statistiky jsou zpracovávány s roční periodicitou.

Druhou nejčastější nehodou za poslední desetiletí je střet vlaku na železničním přejezdu s jiným motorovým vozidlem, kdy za rok 2022 Drážní inspekce evidovala celkem 166 případů, což činí nárůst o necelá 4 % než v roce předchozím [29].

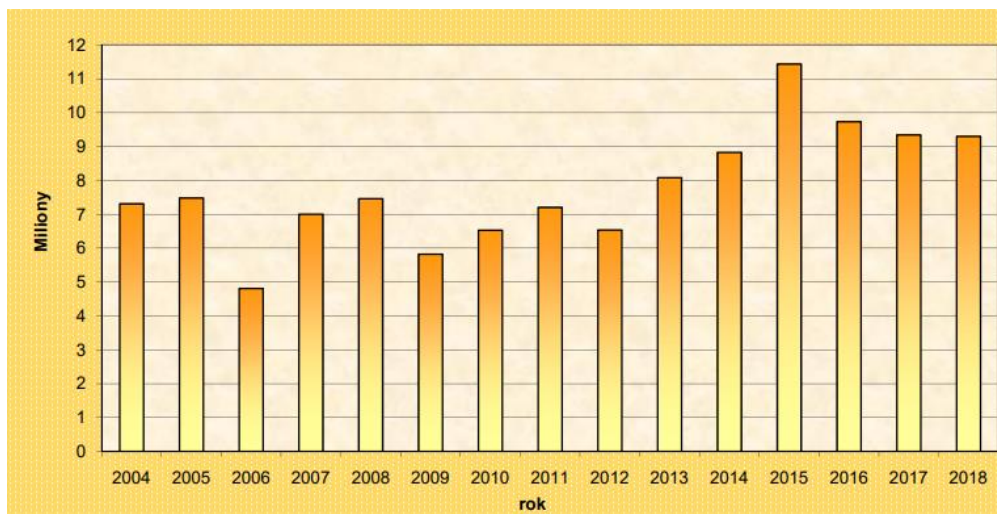
Tabulka 3 – Vývoj počtu mimořádných událostí [29]

Rok	Počet nehod v drážní dopravě	Počet usmrcených osob
2013	3 968	234
2014	4 083	294
2015	4 146	248
2016	4 125	248
2017	4 646	248
2018	4 635	229
2019	4 689	252
2020	3 691	245
2021	3 837	206
2022	4 474	249



Obrázek 3 - Grafické znázornění železničních nehod [29]

V případě přepravy nebezpečných věcí v drážní dopravě jsou dostupná data pouze do roku 2018. Nejvíce se přeprava nebezpečných věcí po železnici využila v roce 2015, kdy bylo převezeno necelých 12 milion tun. Naopak nejméně bylo převáženo necelých 5 tun v roce 2006 [30].



Obrázek 4- Přeprava nebezpečných věcí [30]

3.7.1 Příklady dopravních nehod s únikem chemických látek

Pro uvedení dopravních nehod s únikem chemických látek do praxe byly vybrány následující havárie, které se staly na území ČR. Každoročně se ve všech možnostech přepravy stávají různé mimořádné události, a proto je důležité s nehodami počítat a být na ně připraven.

Jednou z nejvýznamnějších nehod s únikem chemických látek v České republice byla nehoda v roce 2008, kdy se v obci Studénka střetly dva vlaky, z nichž jeden převážel nebezpečné chemické látky. Při nehodě došlo k úniku 11 tun kyseliny chlorovodíkové a 3 tuny oleje, což zapříčinilo evakuaci místních obyvatel a značné škody na životním prostředí.

Další nehodou v již zmiňované obci Studénka v Moravskoslezském kraji došlo v roce 2015, při které došlo ke kolizi dvou vlaků a následnému výbuchu a úniku chemikálií. Nehoda si vyžádala 3 lidské životy a další 31 osob bylo zraněno.

V roce 2012 došlo k nehodě cisternového vozu, který převážel kyselinu dusičnou, která je nebezpečná pro lidské zdraví i životní prostředí, na dálnici D1 poblíž obce Lipník nad Bečvou. Řidič ztratil kontrolu nad vozem, který se převrátil a rozlil kyselinu dusičnou na vozovku. V důsledku nebezpečí zplodin byla dálnice D1 uzavřena a několik lidí muselo být evakuováno z okolních domů [31].

Novější, ale také velice závažná, je nehoda z roku 2021, kdy byla ohlášena nehoda cisterny převážející dráždivě zapáchající látku – kyselinu chlorovodíkovou. Ke zjištění úniku nebezpečné látky došlo po sjezdu z dálnice D1 u obce Nový Jičín, kde došlo k zastavení soupravy přivolanou hlídkou Policie ČR. Cisternový vůz převážel téměř 24 tun chemické látky, jejíž identifikace

proběhla na místě podle značení ADR. Zásah jednotek požární ochrany trval přibližně 10 hodin a zasažený úsek měřil přibližně 15 kilometrů [32].

3.7.2 Statistické údaje ze zahraničí

Transport nebezpečných látek je kritickým prvkem pro zajištění bezpečnosti a ochrany životního prostředí při přepravě různých nebezpečných materiálů. V této kapitole budou uvedeny statistické údaje využitých metod přepravy nebezpečných látek ve Spojených státech amerických. Data byla získána z oficiálního webu ministerstva dopravy USA.

V USA za rok 2017 bylo převezeno přes 2,9 milionu tun nebezpečných látek. Nejvyužívanějším způsobem byla silniční přeprava, kdy bylo převezeno přibližně 1,9 milionů tun látek a směsí. Tento i ostatní způsoby jsou uvedeny v následující tabulce [33]:

Tabulka 4 - Způsoby přepravy látek v USA [33]

-	Hodnota		Tuny	
	Miliarda dolarů	Procenta	Miliony	Procenta
Celkově	1 680,2	100,0	2 968,0	100,0
Silniční	1 091,3	64,9	1 814,8	61,1
Železniční	39,0	2,3	90,4	3,0
Po vodě	137,1	8,2	304,2	10,2
Letecky	4,8	0,3	0,3	0,0
Potrubím	339,9	20,2	679,8	22,9

V následující tabulce jsou vypsané nehody, jejichž data byla sbírána za posledních 10 let, od roku 2013 do roku 2022. Nejvíce nehod se událo v minulém roce, jejichž součet činí 24 858 a z toho nejvyšší procento tvoří nehody v silniční dopravě. Naopak nejméně nehod se odehrálo v roce 2013, zde také nejvyšší procentu incidentů tvoří dopravní nehody v silniční dopravě. Obecně k nejvíce nehodám dochází při přepravě na pozemních komunikacích a nejméně nehod se stává při lodní dopravě [34].

Metoda přepravy	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Celkem
Silniční	13 888	15 317	15 130	16 527	15 744	17 882	20 649	19 745	22 834	23 256	180 972
Železniční	667	718	581	545	573	507	422	383	386	359	5 141
Po vodě	63	47	24	11	9	9	6	2	5	6	182
Letecky	1 438	1 324	1 127	1 203	1 159	1 327	1 489	1 473	1 378	1 237	13 155
Celkem	16 056	17 406	16 862	18 286	17 485	19 725	22 566	21 603	24 603	24 858	199 449

Obrázek 5 - Nehodovost v USA [34]

3.8 Popis obce Dobrovíz

Pro nasimulování nehody v drážní dopravě při přepravě nebezpečné chemické látky byla vybrána obec Dobrovíz díky její poloze a komerční zóně, která byla v obci vystavěna od roku 2009.

Obec Dobrovíz je vesnická památková rezervace ležící v okrese Praha-západ, a nacházející se v ochranné zóně mezinárodního letiště Václava Havla v Praze. Je situována přibližně 20 kilometrů západně od centra Prahy a je součástí Pražské integrované dopravy.

Obec má rozlohu přibližně 8 km² a žije v ní cca 600 obyvatel (na základě posledního sčítání lidu). Rozkládá se na rovinném území a její okolí je charakteristické rozlehlými poli a menšími lesy. Nachází se zde mateřská škola, obchody, restaurace, sportovní hřiště a další vybavení pro obyvatele.

V obci se nachází distribuční a logistické centrum českých i zahraničních firem, jako jsou například Amazon, Ceva Logistics či Panattoni. Také díky tomuto faktoru má obec vlastní železniční stanice – Dobrovíz a Dobrovíz-Amazon, jedná se o jednokolejnou celostátní trať, jejíž doprava v tomto úseku byla zahájena roku 1996. Na trati jezdily do roku 2014 pouze nákladní vlaky [35].



Obrázek 5 - Obec Dobrovíz (Zdroj: OpenStreetMap)

4 METODIKA

Tato kapitola popisuje metodiku, která bude využita pro analýzu rizik a modelaci úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici v rámci této diplomové práce. Cílem kapitoly je popsat použité metody a nástroje, které byly použity k dosažení výsledků a zhodnocení možných scénářů úniku.

V rámci této diplomové práce budou nejdříve vybrána aktiva, které jsou ohrožena potencionálním únikem nebezpečné chemické látky, konkrétně amoniaku. Aktiva budou vybrána na základě metody kvalifikovaného odhadu, který je podložený nastudovanou literaturou a konzultací s krizovým managementem vlakové společnosti.

Následně bude vytvořena předběžná analýza v prostředí softwarového nástroje Riskan, který je určen pro analýzu a řízení rizik v oblasti informačních technologií. Pomocí nástroje Riskan lze identifikovat, analyzovat a hodnotit rizika, která mohou ohrozit bezpečnost. Je navržen tak, aby usnadnil vytváření plánu řízení rizik a zajišťoval kontrolu procesu v průběhu času. Mezi klíčové funkce Riskanu patří identifikace rizik, kvantifikace rizik, stanovení pravděpodobnosti výskytu rizik a jejich dopadu, analýza a hodnocení rizik a plánování jejich řízení [36].

Po zhotovení předběžné analýzy bude vypočtena multikriteriální analýza, což je metodika využívaná k rozhodování mezi alternativními možnostmi, kdy není možné jednoznačně určit nejlepší řešení pouze na základě jedné dimenze nebo kritéria. Tato analýza bere v úvahu více kritérií současně a zohledňuje jejich vzájemné vztahy a váhy. Hlavním cílem multikriteriální analýzy je poskytnout uživatelům ucelené a systematické hodnocení ohrožení jednotlivých aktiv na základě více kritérií. Skládá se z několika kroků, včetně

identifikace kritérií, stanovení vah kritérií, sběru dat, zpracování, analýzy dat a prezentace výsledků v rámci tabulek [37].

Po vyhodnocení nejvíce ohrožených aktiv bude vytvořena samotná modelace úniku nebezpečné chemické látky za pomoci modelačního nástroje ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres). Je to software vyvinutý americkou Agenturou pro ochranu životního prostředí (EPA), který slouží k modelování šíření nebezpečných látek v prostředí a určení jejich potenciálního dopadu na životní prostředí a lidské zdraví. Nástroj ALOHA je používán zejména v oblasti havarijního plánování, rizikového hodnocení v oblasti průmyslu, přepravy nebezpečných látek a v oblasti bezpečnosti životního prostředí. Umožňuje modelovat šíření nebezpečných látek v závislosti na různých faktorech, jako jsou meteorologické podmínky, vlastnosti látky, typ terénu a další [38].

Modelační nástroj ALOHA poskytuje uživatelům přesné informace o šíření nebezpečných látek v prostředí, umožňuje plánovat a připravovat se na havarijní situace a minimalizovat rizika pro životní prostředí a lidské zdraví. Tento nástroj je využíván mnoha profesionály v oblasti bezpečnosti [38].

Na konec bude výsledná modelace přenesena do mapového podkladu za pomoci softwaru Marplot (Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks), který slouží k vizualizaci výsledků modelování šíření nebezpečných látek v prostředí. Umožňuje uživatelům vnášet data do mapy, která zobrazuje různé aspekty vztahující se k šíření nebezpečných látek, jakou jsou například různé zóny v závislosti na množství a typu látek, směry šíření, možné cesty úniku a další [39].

5 VÝSLEDKY

V následujících podkapitolách se tato diplomová práce bude zabývat analýzou rizik a následnou modelací úniku amoniaku při přepravě po železnici. Přeprava nebezpečných látek se stále častěji stává součástí moderního dopravního systému a s tím spojená rizika pro bezpečnost osob a životního prostředí jsou stále větší. Cílem této kapitoly je identifikovat hrozby spojené s přepravou látek po železnici a vytvořit model úniku amoniaku z železniční cisterny v důsledku nehody na trati. Vyhodnocení rizik a návrh opatření pro minimalizaci rizik, které jsou klíčové pro zajištění bezpečnosti a ochrany životního prostředí.

5.1 Identifikace rizik

Jako první krok v procesu tvorby analýzy rizik je potřeba identifikovat možné zdroje rizik, které mohou způsobit konkrétní hrozby. Tyto hrozby budou posouzeny z hlediska jejich závažnosti a dopadu na osoby v okolí místa události a na životní prostředí. K určení těchto rizik bude využita metoda kvalifikovaného odhadu, který vychází zejména z pozorování – tzn. hustota dopravy na místě plánované události či pohyb osob a typy dopravních prostředků. Dalším výchozím bodem je nastudování platné legislativy v odvětví převážení nebezpečných látek.

První skupinou jsou rizika, která jsou schopna způsobit přímý únik nebezpečné látky, naopak druhou skupinou jsou události vedoucí k vykolejení vlaku a následnými dalšími možnými riziky. Jsou jimi následující hrozby.

Nehoda s osobním automobilem

Při takové nehodě dochází ke srážce dvou velmi různých typů vozidel, což může mít vážné důsledky. Nehodu může způsobit několik faktorů, kterými

jsou například porušení pravidel silničního provozu ze strany řidiče automobilu, technická závada na obou stranách nebo nesprávné rozhodnutí vlakového personálu. Následkem takové nehody může dojít k poškození jak automobilu, tak i vlaku a tím k porušení železniční cisterny a následným únikem amoniaku.

Nehoda s nákladním automobilem

K takovému střetu dochází, když se obě těžká vozidla setkají na úrovňovém přejezdu, příčiny této nehody jsou v podstatě totožné jako u předchozí nehody. Následky srážky vlakové soupravy s nákladním automobilem jsou ale podstatně větší a dochází tak ke značnému poškození železničních vozidel a infrastruktury. Nákladní vozidla se v této lokalitě vyskytují neustále, jelikož tvoří zásobovací síť pro komerční zónu.

Nehoda s jinou vlakovou soupravou

Srážka vlaku s další vlakovou soupravou je obecně považována za velmi závažnou nehodu a může mít až fatální následky. Dochází k ní při setkání minimálně dvou železničních vozidel pohybujících se po jedné koleji proti sobě. Příčiny vzniku takové nehody jsou především technická závada (například selhání brzdového systému) či selhání lidského faktoru (jako například nesprávné rozhodnutí vlakového personálu). Následkem v případě srážky s železniční cisternou je nevyhnutelný únik nebezpečné látky díky značnému poškození soupravy. V řešeném případě je tato nehoda méně pravděpodobná z důvodu menšího provozu po železnici v obci Dobrovíz.

Poškození pláště cisterny

Poškození vlakové cisterny může nastat v důsledku nehody vlaku, které jsou uvedeny v předchozích bodech nebo při jiném mechanickém poškození (jako například z důvodu nekvalitní údržby anebo teroristickém útoku). Důsledky

takového poškození se liší na základě toho, co je v cisterně převáženo. V řešeném případě se jedná o amoniak, který může mít fatální následky pro okolní obyvatelstvo a životní prostředí. V případě této závady cisterny je nutné zajistit, aby nebezpečná chemická látka neunikla do okolí a pokud k úniku dojde, je nutné informovat příslušné orgány a zajistit bezpečnostní opatření, aby se minimalizovalo riziko pro zdraví lidí a životní prostředí.

Selhání výstražného systému

Výstražný systém na kolejích je zodpovědný za varování vlakového personálu před překážkami nebo nebezpečím na trati. Selhání tohoto systému může vést k vážným nehodám a způsobit tím zranění nebo dokonce smrt osob. Může být způsobeno technickou závadou, špatnou údržbou nebo lidskou chybou. Kromě toho může být také ovlivněno nepříznivým počasím nebo jinými vnějšími faktory. V případě nefunkčnosti je nutné zastavit vlakový provoz na dané trati a zajistit bezpečnost cestujících i personálu. Je nutné provést kontrolu systému a odstranit příčinu poruchy.

Teroristický útok

Teroristický útok na vlakovou cisternu je úmyslný akt, který může způsobit velké škody a ztráty na životech a vzhledem k převážející látce také následky pro životní prostředí. V takovém případě je nutné urychleně zajistit, aby se nebezpečná látka nedostala do okolí a informovat příslušné orgány pro zajištění bezpečnostních opatření, aby se minimalizovala veškerá rizika pro obyvatele v okolí události. V simulované nehodě je však teroristický útok méně pravděpodobný.

Požár

Pojmem požár se rozumí jakékoliv nežádoucí hoření, které způsobilo smrt nebo ohrožení zdraví osob či zvířat, poškození majetku nebo životního prostředí. Také se jedná o takové hoření, které představuje přímé ohrožení osob, zvířat, majetku nebo životního prostředí [40].

V případě požáru železniční cisterny je nutné okamžitě zajistit, aby se požár nešířil dále a aby se minimalizovaly následky pro okolí. Je nezbytné dodržovat příslušné postupy pro zvládnání nebezpečných látek. V případě, že je potřeba evakuovat obyvatele z okolí, je nutné zajistit informování o postupu evakuace a jejich bezpečnost.

Překážka na kolejích

V případě, že je zjištěna překážka na kolejích, je nutné okamžitě informovat vlakovou dopravu a zajistit bezpečnostní opatření, aby se vlak zastavil dostatečně včas před překážkou a minimalizovala se tak možnost srážky. Je nezbytné zjistit příčiny vzniku překážky, aby se v budoucnosti zapříčinilo riziko podobného incidentu. V případě, že byla překážka na kolejích umístěna úmyslně, jedná se o již zmíněný teroristický útok na železniční dopravu a je nutné spolupracovat s bezpečnostními složkami.

Poškození trati

Poškození vlakové trati může být způsobeno mnoha různými faktory, jako jsou přírodní katastrofy, vandalství, nehody nebo teroristické útoky. V případě poškození je nutné ihned zajistit opatření pro snížení rizika nehody vlakové soupravy a dalšího poškození tratě.

Selhání lidského faktoru

Selhání lidského faktoru při převozu nebezpečné látky po železnici může být způsobeno mnoha různými faktory, jako jsou chyby v plánování přepravy, neznalost nebo nedostatek školení, nedostatečné údržby železničních vozidel, nesprávné manipulace s látkami nebo porušení bezpečnostních předpisů, nerespektování bezpečnostních pravidel a nařízení pro bezpečnost dopravy. Opatření pro minimalizaci těchto hrozeb mohou být následující – zlepšení školení a vzdělávání zaměstnanců, pravidelné údržby nebo nutnost vedení přísné kontroly kvality přepravy a vytvářet plány a scénáře pro případ mimořádných událostí.


5.2 Předběžná analýza

Předběžná analýza pro základní stanovení nejzávažnějších hrozeb bude provedena za pomoci softwarového nástroje Riskan. Konečným výstupem tohoto matematického nástroje je přehledná tabulka, která znázorňuje závažnost dopadů hrozeb na jednotlivá aktiva důležitá pro analyzovanou lokalitu. Riskan je jednoduchá metoda pro prvotní analýzu rizik, která umožňuje rozlišit méně závažné a akceptovatelné hrozby od těch, které jsou závažné. Hrozby, které z předběžné analýzy vyjdou považované za vážné, budou dále podrobeny podrobnější multikriteriální analýze rizik.

Chráněnými aktivy vzhledem k pohybu osob, umístění železničního přejezdu a okolí oblasti jsou zejména osoby, které budou do analýzy rozděleny do několika podskupin na obyvatele obce, pracovníky komerční zóny a osoby pohybující se na letišti, které je nedaleko od místa události. Dalším důležitým aktivem je životní prostředí, kde se jedná zejména o znečištění ovzduší, podzemních vod, půdy a také zemědělských zájmů.

Hrozby byly vybrány podle kapitoly 5.1 a hodnoty byly přiděleny na základě závažnosti dopadů a pravděpodobnosti. Hodnoty aktiv byly na počátku analýzy v softwaru Riskan stanoveny v rozsahu 0-5, rozsah pravděpodobností hrozeb byl určen na hodnoty 0-6 a nakonec rozsah zranitelností 0-3. Podle specifikovaných parametrů se maximální hodnota rovná 90, přičemž dolní hranice vysokého rizika je stanovena na 59 a dolní hranice pro střední riziko 29. Provedená předběžná analýza je doplněna podrobnými tabulkami číselníků, které jsou uvedené v příloze.

Tabulka 5 - Předběžná analýza (Zdroj: vlastní)

		Aktiva		AKTIVA - CELKEM																		
				Lidé	Zdraví obyvatel	Životy obyvatel	Zdraví pracovníků skladů	Životy pracovníků skladů	Osoby na letišti	Životní prostředí	Ovzduší	Voda	Půda	Zemědělské zájmy	Doprava	omezení silničního provozu	Uzavření pozemní komunikace	Přerušení drážní dopravy	Uzavření letištní dráhy			
Hodnoty aktiv		5	5	5	4	4	3	2	5	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Generátor grafů		Export do XML																				
Hrozby		Pravděpodobnost																				
HROZBY - CELKEM		5	velmi vysoká	75	75	75	60	60	45	20	75	75	30	60	45	45	45	45	45	45	45	20
1.	Nehoda s únikem NCHL	5	velmi vysoká	75	75	75	60	60	45	20	75	75	30	60	45	45	45	45	45	45	45	20
1.1	Srážka s osobním automobilem	5	velmi vysoká	75	75	75	60	60	30	20	75	75	30	60	45	45	45	45	45	45	45	20
1.2	Srážka s nákladním automobilem	5	velmi vysoká	75	75	75	60	60	45	20	75	75	30	60	45	45	45	45	45	45	45	20
1.3	Srážka s vlakovou soupravou	3	střední	45	45	45	36	36	27	12	45	45	18	36	27	27	27	27	27	27	27	12
1.4	Poškození pláště cisterny	4	vysoká	60	40	40	16	32	12	0	60	60	12	32	12	24	12	12	12	24	0	0
1.5	Selhání výstražného systému	3	střední	30	15	15	12	12	9	0	30	30	0	0	0	27	27	18	18	18	18	0
1.6	Teroristický útok	2	nizká	30	30	30	24	24	12	8	30	30	12	24	18	18	18	18	18	18	18	8
1.7	Požár	3	střední	45	30	30	12	12	9	0	45	45	9	24	27	27	27	18	27	27	6	6
2.	Vykolejení vlaku	3	střední	30	30	30	12	24	9	0	24	0	9	24	18	27	0	0	27	0	0	0
2.1	Překážka na kolejích	3	střední	30	30	30	12	24	9	0	24	0	9	24	18	27	0	0	27	0	0	0
2.2	Poškození trati	2	nizká	18	10	10	0	8	0	0	16	0	6	16	12	18	0	0	18	0	0	0
2.3	Selhání lidského faktoru	1	zanedbatelná	10	10	10	4	8	3	0	8	0	3	8	6	6	0	0	6	0	0	0

Z výsledné tabulky je zřejmé, že dvě nejzávažnější rizika jsou nehoda vlaku s osobním automobilem a s nákladním automobilem. Je to zapříčiněno intenzivně využívanou dopravní sítí v dané lokalitě, která se nachází nedaleko komerční zóny a pražského letiště. Lehce zvýšené hodnoty jsou však u srážky

vlaku s dopravním automobilem. Další závažnou nehodou bylo vyhodnoceno poškození pláště cisterny.

Sekundárními riziky, které způsobují méně pravděpodobné hrozby, jsou srážka s další vlakovou soupravou, požár vlaku a také selhání výstražného systému či teroristický útok. Naopak zanedbatelnými riziky byly vyhodnoceny hrozby poškození trati a selhání lidského faktoru.

5.3 Multikriteriální analýza

Pro vytvoření multikriteriální analýzy je důležité identifikovat rizika, které je potřeba vyselektovat prostřednictvím předběžné analýzy. Oba tyto kroky, již byly učiněny v kapitolách 5.1 a 5.2. Dalším krokem je stanovení jednotlivých koeficientů pro výpočet této analýzy. Koeficienty se dělí do dvou základních skupin – frekvence a následky, které se mezi sebou následně násobí v obecném vzorci $R = F * N$. Následky se dále dělí do několika podkategorií, pro které jsou určeny váhové koeficienty, v simulované události budou následky rozděleny na tři chráněné zájmy, jimiž jsou životy a zdraví osob, životní prostředí a dopravní síť. Následně jednotlivým váhovým koeficientům bude určena hodnota podle důležitosti. Suma všech hodnot je rovna 1.

Tabulka 6 - Váhové koeficienty (Zdroj: vlastní)

Chráněný zájem	Váhový koeficient	
	Označení	Hodnota
Životy a zdraví osob	VK _O	0,5
Životní prostředí	VK _{ŽP}	0,3
Dopravní síť	VK _D	0,2

V tomto řešeném případě je za nejdůležitější faktor považován dopad na životy a zdraví osob, o něco méně důležitý je dopad na životní prostředí a nejméně důležitý je dopad na dopravní síť v oblasti události.

5.3.1 Stanovení koeficientů

V následující kapitole budou stanoveny hodnoty pro jednotlivé koeficienty ze všech již zmíněných třech kategorií. Budou rozděleny do několika bodů podle závažnosti a následně jim bude přidělena hodnota pro výpočet analýzy na základě odhadu odborných znalostí řešené problematiky.

Koeficient frekvence

Hodnota koeficientu frekvence se udává pro určitý typ nebezpečí a stanoví se odhadem, jak často může dojít k výskytu nebezpečného incidentu velkého rozsahu. Vztahuje se k počtu výskytu určitého jevu v minulosti, který může být důležitý pro rozhodování stanovení váhy.

Tabulka 7 – Frekvence (Zdroj: vlastní)

Časové období možného vzniku události	F
1x během několika dní (do 1 měsíce)	8
1x během pár měsíců (do 6 měsíců)	7
1x během více měsíců až rok (od 7 měsíců do 1 roku)	6
1x během pár let (od 1 roku do 3 let)	5
1x během několika let (od 3 let do 5 let)	4
1x během deseti let	3
1x během století	2
1x během více století	1

Koeficient dopadu na životy a zdraví osob

Pro výpočet tohoto koeficientu se využívá kombinace dvou pod-koeficientů, z nichž jeden vyjadřuje úmrtnost (K_{O1}) a druhý ohrožení osob (K_{O2}). Za osoby ohrožené touto situací se považují lidé, které vyžadují okamžitou intervenci, jako jsou například záchranné práce, lékařské ošetření nebo evakuace.

Tabulka 8 - Smrtelné dopady (Zdroj: vlastní)

Smrtelné dopady	K_{O1}
Bez úmrtí	0
Jednotlivci (do 5 osob)	1
5-10 mrtvých	2
10-20 mrtvých	3
Nad 20 mrtvých	4

Tabulka 9 - Ohrožení zdraví (Zdroj: vlastní)

Dopady na zdraví osob	K_{O2}
Bez ohrožení osob	0
Nízké ohrožení (jednotlivci)	1
Střední ohrožení (10-30 osob)	2
Vysoké ohrožení (30-50 osob)	3
Velmi vysoké ohrožení (nad 50 osob)	4

Koeficient dopadu na životní prostředí

Koeficient dopadu na životní prostředí reflektuje vliv daného úniku látky na různé složky životního prostředí, jako jsou ovzduší, voda, půda, ekosystémy,

biodiverzita a další. Hodnota tohoto koeficientu se stanovuje na základě analýzy dopadů na životní prostředí a je vyjádřena číselně (viz Tabulka 10).

Tabulka 10 - Dopady na životní prostředí (Zdroj: vlastní)

Dopady na životní prostředí	K _{ZP}
Bez ohrožení	0
Nízké ohrožení	1
Střední ohrožení	2
Vysoké ohrožení	3
Velmi vysoké ohrožení	4

Koeficient dopadu na dopravu

Koeficient dopadu na dopravu odráží vliv dané události na různé aspekty dopravy, zhoršení bezpečnosti, zvyšování nákladů na dopravu a další. Hodnota koeficientu je jako v předchozích případech určena číselně a v analýze je použita v rámci zhodnocení dopadu úniku na dopravu a její uživatele.

Tabulka 11 - Dopady na dopravu (Zdroj: vlastní)

Dopady na dopravní síť	K _D
Bez ovlivnění	0
Řízení dopravy	1
Omezení dopravy	2
Celkové uzavření komunikací	3

Díky stanoveným koeficientům může být dalším krokem samotný výpočet multikriteriální analýzy a následná prezentace výsledků.

5.3.2 Výpočet multikriteriální analýzy

Multikriteriální analýza bude provedena pro hrozby, které z předběžné analýzy vyšly jako závažné, jedná se tedy o nehodu s osobním automobilem, nehodu s nákladním automobilem, srážku s jinou vlakovou soupravou, poškození pláště cisterny, teroristický útok a konečně porucha na trati, ať už se jedná a selhání výstražného systému či samotné poškození kolejí.

Samotný výpočet se provádí, podle již zmíněného vzorce $R = F * N$, kdy F značí frekvenci, tedy četnost možného vzniku mimořádné události a N udává následky, jinak vysvětleno jako nepříznivé dopady na chráněné zájmy.

Výpočet následků je složen z dalších svou vzorců, jimiž jsou $N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{ŽP}} * VK_{\text{ŽP}}) + (K_D * VK_D)$, a druhým $K_O = (K_{O1} + K_{O2})/2$, jelikož jsou určeny dva koeficienty dopadů na životy a zdraví lidí a je zapotřebí vypočítat jejich výslednou hodnotu.

Dalším krokem je určení výsledných hodnot pro kategorie nepřijatelné riziko, podmíněčně přijatelné, přijatelné a zanedbatelné riziko.

Tabulka 12 - Rozdělení výsledných rizik [41]

Zanedbatelné riziko	R = méně než 9,9
Přijatelné riziko	R = 10-19,9
Podmínečně přijatelné riziko	R = 20-24,9
Nepřijatelné riziko	R = 25 a více

Díky stanoveným koeficientům a rozdělení hodnot pro stanovení výsledných rizik je možné provést samotné výpočty jednotlivých rizik. Jak již bylo zmíněno nejdříve se musí vypočítat následky označené N. Ke každé možné události je vybrána jedna hodnota každého koeficientu, která odpovídá následkům dané události. Po vypočtení tohoto vzorce přichází na řadu základní vzorec, kde jsou dosazeny hodnoty frekvence a výsledná hodnota následků. Veškeré koeficienty jsou upraveny tak, aby vhodně odpovídaly daným hrozbám.

Tabulka 13 - Výpočty koeficientů (Zdroj: vlastní)

-	K _{O1}	K _{O2}	K _{ŽP}	K _D	N	F
Srážka s OA	1	2	4	3	2,55	8
Srážka s NA	2	3	4	3	3,65	7
Srážka s vlakem	3	4	4	3	3,55	3
Poškození cisterny	2	2	3	2	2,3	5
Teroristický útok	4	4	4	3	3,8	3
Požár	2	3	4	3	3,65	6
Porucha na trati	1	2	2	1	1,55	6

5.3.3 Výsledky analýzy

V následné tabulce jsou uvedeny konečné výsledky multikriteriální analýzy. Podrobné výpočty jsou uvedeny v příloze.

Tabulka 14 - Výsledné hodnoty (Zdroj: vlastní)

Hrozba	Výsledná hodnota
Srážka s osobním automobilem	20,4
Srážka s nákladním automobilem	25,55
Srážka s jinou vlakovou soupravou	10,65
Poškození pláště cisterny	11,5
Teroristický útok	11,4
Požár	21,9
Porucha na trati	9,3

Z výsledné tabulky je zřejmé, že nejzávažnější hrozbou je nehoda vlaku s nákladním automobilem, a to z důvodu intenzivní dopravy nákladních automobilů v okolí obce Dobrovíz a také s větším nárazem a následným únikem nebezpečné látky z poškozené vlakové cisterny. Na tuto událost bude v další kapitole vytvořena modelace v softwaru ALOHA pro vyhodnocení zasažené oblasti v obci a pro lepší připravenost obyvatel na tuto možnou mimořádnou událost.

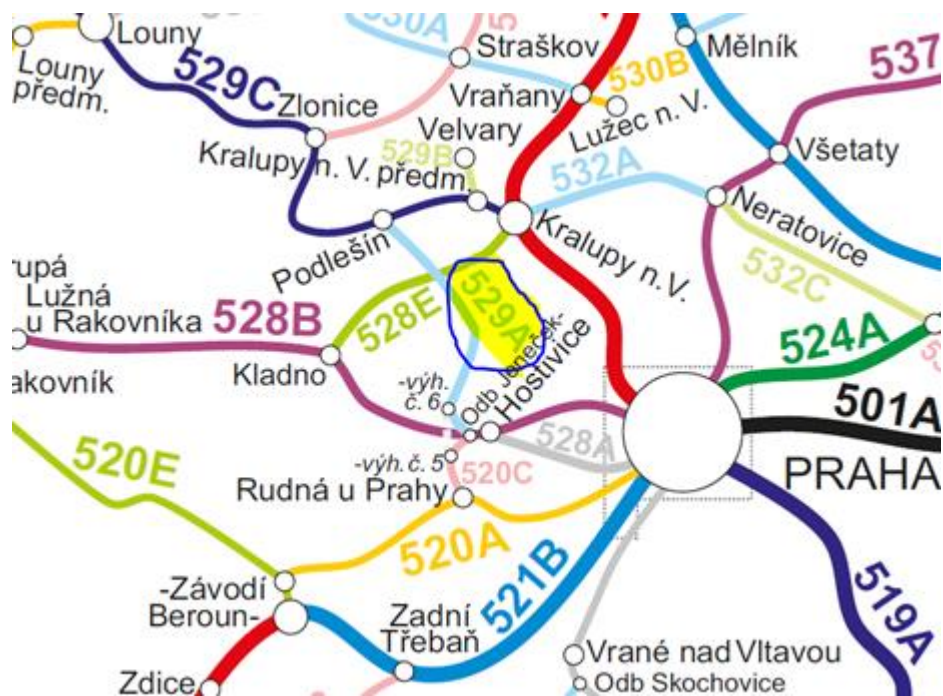
Podmínečně přijatelnými riziky byly vyhodnoceny dvě hrozby – požár vlakové cisterny a srážka vlaku s osobním automobilem. Přijatelnými riziky byly vyhodnoceny hrozby poškození pláště cisterny, teroristický útok a srážka s jinou vlakovou soupravou. Naopak zanedbatelným rizikem je porucha na trati, která se v oblasti řešené simulace nikdy nestala, tudíž je nejméně pravděpodobná.

5.4 Scénář mimořádné události

V této kapitole bude popsán scénář vymyšlené mimořádné události, která byla multikriteriální analýzou vyhodnocena jako nepřijatelná. Jedná se o srážku nákladního vlaku převážejícího nebezpečnou chemickou látku s nákladním automobilem. Scénář poté bude v další kapitole namodelován a vyhodnocen.

Dne 25. dubna 2020 ve 19:00 došlo ke srážce vlakové soupravy a nákladního automobilu na přejezdu silnice III/0073 v obci Dobrovíz. Povětrnostní podmínky byly: mírně oblačno, bez srážek; rychlost vozidel nebyla přesně určena.

Vlaková souprava, která měla plánovanou trasu s odjezdem z železniční vlečky společnosti SYNTHOS Kralupy nad Vltavou (dříve známá pod obchodním názvem „Kaučuk Kralupy“) přes železniční stanici Podlešín (po trati č. 529C – viz obrázek č. 5) a přes odbočku Jeneček (po trati č. 529A) a dále přes železniční stanici Hostivice (po trati č. 528B) až do cílové destinace železniční vlečky SYNTHESIA Pardubice. Vlaková souprava byla tvořena dvěma lokomotivami řady 742 spojených do vícenásobného řízení a soupravou 16 cisteren převážející chemickou látku amoniak. Vlaková souprava jel ustálenou povolenou rychlostí v daném úseku tratě 80 km/h a nákladní automobil, který přejížděl přes trať, byl starý nákladní vůz s rokem výroby 2001.



Obrázek 6 - Číslování železničních tratí pro nákladní vlaky (Zdroj: IDS LocoCare)

Při srážce na železničním přejezdu došlo k porušení pláště jedné z cisteren, což mělo za následek únik nebezpečné látky do okolí. Řidič nákladního vozidla i strojvedoucí vlakové soupravy utrpěli lehká zranění a byli převezeni do nemocnice. Kromě toho byly zaznamenány další rozsáhlé škody na obou dopravních prostředcích.

Po provedení vyšetřování Policií ČR, bylo zjištěno, že ke srážce došlo kvůli chybě řidiče nákladního vozu, který nevěnoval dostatečnou pozornost při přejíždění železniční trati a zůstal stát na přejezdu, jelikož závory na přejezdu již nedovolily řidiči opustit trať.

Složky integrovaného záchranného systému okamžitě reagovali na událost a zajistili bezpečnost na místě události. Hasičský záchranný sbor zajistil místo úniku nebezpečné látky, aby se dále nešířila a velitel zásahu vyhlásil evakuaci části obce, která by mohla být zasažena uniklým amoniakem.

5.5 Modelace události v reálných podmínkách

Hlavním předmětem této kapitoly je samotná modelace mimořádné události, kterou je srážka vlakové soupravy převážející nebezpečnou látku amoniak s nákladním vozidlem. Náráz vlaku způsobí poškození pláště jedné z cisteren a dojde tím k odpařování amoniaku do ovzduší a ohrožení osob jeho toxicitou.

V modelačním softwaru ALOHA se využívá hodnota AEGL (Acute Exposure Guideline Level) k určení úrovně akutní expozice nebezpečným látkám. AEGL jsou stanoveny na základě toxikologických dat a poskytují úroveň expozice, při které se očekává, že většina osob vystavených této úrovni expozice by nepocítila žádné akutní účinky na zdraví.

Tyto hodnoty se v modelovacím softwaru používají jako vstupní parametry pro vytvoření modelace šíření nebezpečných látek v ovzduší a výpočet maximálních vzdáleností, do kterých by mohlo dojít k poškození zdraví či majetku.

V programu ALOHA jsou k dispozici tři úrovně AEGL reprezentující úroveň expozice, jimiž jsou:

- AEGL-1 = 1100 ppm;
- AEGL-2 = 160 ppm;
- AEGL-3 = 30 ppm.

AEGL-1 reprezentuje úroveň expozice, při které se očekává, že většina osob vystavených této úrovni toxicity nebude pociťovat žádné zdravotní účinky. Úroveň expozice představována hodnotou AEGL-2 způsobuje mírné zdravotní účinky u části osob vystavených této úrovni. AEGL-3 představuje takový stupeň

ohrožení, při kterém se očekávají závažné zdravotní účinky u většiny osob, které byli vystaveni toxicitě nebezpečné látky [38].

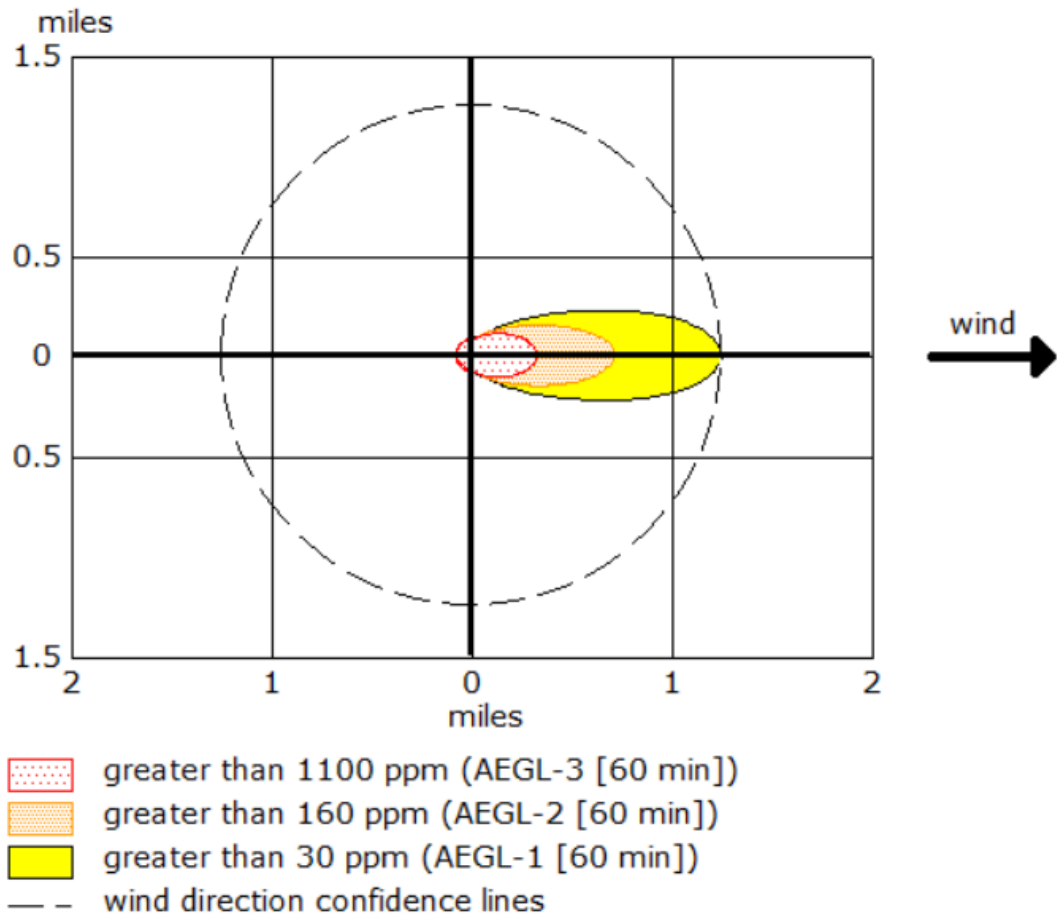
Hodnoty ppm (part per million) se využívá k vyjádření koncentrace nebezpečných látek v ovzduší. Jednotka ppm znamená počet částic látky na jeden milion částic vzduchu. Konkrétní hodnoty ppm závisí na konkrétní látce, která se v ovzduší šíří, a na její toxicitě [38].

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.4, pro modelaci byl zvolen reálný den, kdy byl uskutečněn převoz amoniaku dopravní společností IDS LocoCare s.r.o. a tudíž byly využity i meteorologické podmínky z uvedeného data. Veškerá vstupní data jsou uvedena v následující tabulce.

Tabulka 15 - Vstupní data [28,42]

Chemická látka	Amoniak – NH ₃
Datum a čas události	25.4.2020
Atmosférické podmínky	Rychlost větru: 0,63 m/s
	Směr větru: jižní
	Teplota: 11 °C
	Vlhkost: 57 %
Způsob úniku	Ze zásobníku – Tank
Rozměry cisterny	14,6 m x 3 m
Objem cisterny	103 m ³

Po zadání veškerých vstupních údajů pro vytvoření modelace byla softwarovým programem vyhodnocena ohrožená zóna, která je vyobrazena na následujícím obrázku. Veškeré podrobné údaje jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 7 - Zóna ohrožení (Zdroj: vlastní)

Programem ALOHA byla nejvíce ohrožená oblast vyhodnocena přibližně do vzdálenosti 500 metrů ve směru větru, kdy účinky na osoby mohou mít nejzávažnější dopady a následně způsobit trvalé následky. Druhá nejohroženější zóna byla vyhodnocena do vzdálenosti 1,2 kilometrů, a naopak nejméně ohrožená zóna do necelých 1,9 kilometrů, kde osobách hrozí zanedbatelné až žádné větší riziko poškození zdraví. Přerušovaná čára vyznačuje linii možné změny směru větru, která dosahuje do vzdálenosti 2 kilometrů.

5.5.1 Software Marplot

Po vyhodnocení ohrožených zón za pomoci softwarového nástroje ALOHA byly výstupy modelace přeneseny do mapového podkladu v softwaru Marplot.



Obrázek 8 - Marplot (Zdroj: vlastní)

Z obrázku je zcela zřejmé, že únik látky do ovzduší ohrožuje velkou část až většinu obce, zejména její centrum. V případě změny směru větru na severovýchodní by byla ohrožena celá komerční zóna, a naopak při změně směru na severozápadní by ohroženou oblastí bylo i letiště Václava Havla v Praze.

V tomto případě je nevyhnutelná evakuace obce a informování zaměstnavatelů a zaměstnanců komerční zóny na přípravu evakuace v případě změny povětrnostních podmínek. Zatímco v této situaci by bylo doporučeno pražskému letišti uzavřít hlavní přistávací dráhu a do doby, než se zamezí dalšímu úniku, využívat dráhu vedlejší.

Důležité také je informovat okolní obce o mimořádné události a upozornit je, především obec Hostouň, na případné ohrožení i jejich obyvatel.

5.6 Evakuace obce Dobrovíz

Evakuace zpravidla probíhá samovolně nebo naopak řízeně. O nutnosti přemístění se jsou obyvatelé informováni pomocí koncových prvků jednotného systému varování a vyzoomění. V případě samovolné evakuace se rozumí přemístění občanů vlastními prostředky a na vlastní náklady. Řízená evakuace probíhá pod dohledem příslušných orgánů, jimiž se rozumí orgány obce a příslušníci složek integrovaného záchranného systému. Evakuované osoby se přemísťují po předem určených trasách pěšky nebo s využitím hromadné přepravy. Dochází ke zřizování evakuačních středisek a zajišťují se nouzová ukrytí a vše potřebné pro jejich provoz [7].

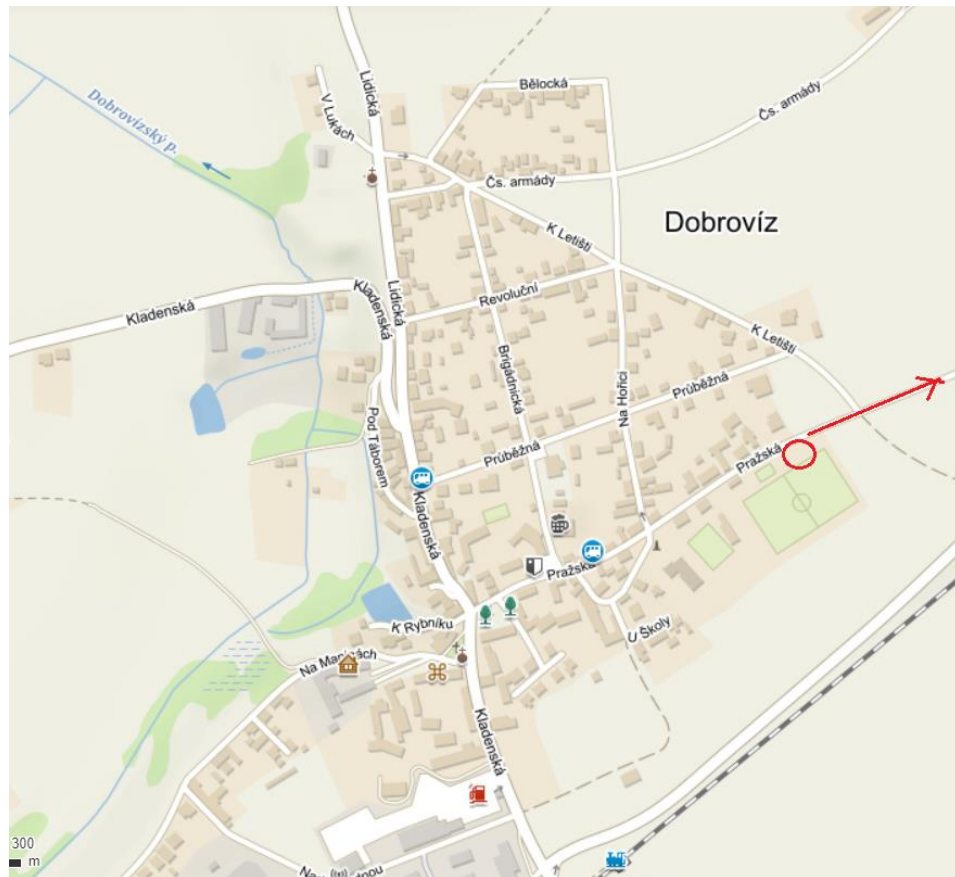
V řešeném případě jsou obyvatelé obce informováni o evakuaci prostřednictvím obecního rozhlasu a o evakuaci rozhodl velitel zásahu. Obyvatelé jsou informováni o místech, kde se mají shromáždit (tzv. shromaždiště) a o způsobu přepravy na místo nouzového ukrytí. Pokud obyvatelé využijí možnost samovolné evakuace jsou informováni o zanechání vzkazu na hlavních dveřích domu o již proběhlém odsunu.

Prvním zvoleným místem pro shromaždiště je fotbalové hřiště, ke kterému je snadný přístup ze všech stran jak pěšky, tak i motorovými vozidly z ulice Pražská. Z tohoto místa by odjížděli evakuované osoby prostřednictvím autobusů do zřízeného evakuačního centra v prostorách kulturního domu v obci Kněževěs. Druhé shromaždiště může být zřízeno na území Hubertovy louky v ulici Lidická pro obyvatele v druhé ohrožené zóně. Odtud by probíhalo přemístění ohrožených osob pomocí hromadných prostředků do evakuačního střediska vytvořeného v mateřské škole v obci Běloky.

Obyvatelé obce, kteří se nachází v nejméně ohrožené zóně mohou využít samovolné evakuace, či se dostavit na nejbližší místo shromáždění. Mohou se

však také rozhodnout, zda jsou vůbec ochotni evakuovat se, jelikož dopady na zdraví jsou mírné až zanedbatelné a závažně nepoškozují organismus. Případně mohou také využít prvky individuální ochrany.

Na následujících obrázcích jsou vyznačena shromaždiště a následný směr odsunu evakuovaných osob do zřízených center v okolních obcích.



Obrázek 9 - Evakuační trasa č.1 (Zdroj: mapy.cz)



Obrázek 10 - Evakuační trasa č.2 (Zdroj: mapy.cz)

5.7 Návrhy na opatření

Při přepravě nebezpečných látek ve vlakové dopravě je důležité zajistit bezpečnost cestujících, vlakového personálu a obyvatel obce a dalších přilehlých oblastí.

Nejzásadnější opatření bylo přijato v roce 2022, kdy na železniční přejezd byl nainstalován aktivní systém ochrany železničního přejezdu v podobě závor, který tak doplnil již instalované světelné výstražné zařízení. V několika uplynulých letech se na tomto konkrétním přejezdu odehrálo několik nehod, zejména srážka osobního vlaku s osobním automobilem, a to z důvodu absence závor na železničním přejezdu.

Dalším zásadním opatřením je implementace detektorů a alarmů, které by mohly okamžitě detekovat a signalizovat únik nebezpečné látky. Pro tuto detekci se může využít hned několik typů. Může se jednat o detektory plynu, které signalizují únik plynů nebo par, mohou být instalovány v blízkosti cisterny a umožňují rychlé odhalení úniku. Dále je to detektor hmoty, které jsou navrženy pro úniky pevných látek nebo kapalin, jsou instalovány na dně nebo na stěnách cisterny. Jako další jsou možné detektory pro detekci zvýšené teploty v důsledku úniku látky, detektory radiačního zařízení nebo detektory pH. Tyto alarmy mohou být napájeny bateriemi dobíjenými kombinací fotovoltaických panelů a napájení ze standardní sítě. Pokud je signalizován únik nebezpečné látky mohou být spuštěny různé systémy pro zastavení vlaku nebo aktivování nouzových opatření. Také může být využita ochrana pro detekci vykolejení. Takovými technologiemi jsou například automatické řízení rychlosti vlaku – udržující dovolenou rychlost na dané trati, detekce polohy a stavu kolejí, monitorace vibrací a vizualizace trati.

Dalším opatřením jsou přísnější kontroly a regulace nebezpečných látek, které jsou přepravovány. Taková kontrola by mohla zahrnovat pravidelné inspekce vlakových vozů, kontroly při nakládání a vykládání nebezpečných věcí a omezení množství látek, které mohou být přepravovány jednou vlakovou soupravou. K tomuto tématu se vztahují také školení a výcvik vlakového personálu a dalších zaměstnanců podílejících se na přepravě nebezpečných látek. Tyto školení by měly zahrnovat informace o nebezpečí, prevenci nehod a postupů v případě nehody. Do této kategorie opatření může být zahrnuto i zlepšení komunikace mezi vlakovým personálem a složkami integrovaného záchranného systému. Může to také zahrnovat cvičení na případné havárie a spolupráci při plánování evakuačních plánů.

Posledními opatřeními v rámci společnosti realizující přepravu je vytvoření nouzových plánů, které by byly použity v případě nehody a vypracování kritérií pro určování, které trasy jsou nevhodné pro přepravu nebezpečných látek. Nouzové plány by měly zahrnovat přesné pokyny pro evakuaci cestujících a personálu, kontrolu šíření nebezpečné látky a postup pro vypnutí vlaku a snížení rizika dalších nehod.

Naopak opatřením pro obec je vypracování plánu odezvy orgánů obce na vznik mimořádné události, který slouží jako základní dokument pro přípravu na řešení mimořádných událostí, které se mohou odehrát na území obce. Cílem takového plánu je minimalizovat dopady událostí na obyvatele obce a ochránit majetek a životní prostředí. Obec Dobrovíz takový plán vypracovaný nemá, což je velké negativum v závislosti na lokalitu místa a počet událostí, které se již v minulosti odehrály.

Za zpracování plánu odezvy orgánů obce na mimořádné události odpovídají orgány obce, které při jeho vypracování spolupracují s hasičským záchranným sborem kraje. Plán odezvy by měl obsahovat následující prvky:

- definice různých typů mimořádných událostí;
- popis postupů, jak zjistit vznik události, a jak rychle informovat příslušné orgány a obyvatele obce;
- rozsah a způsob spolupráce s ostatními orgány státní správy a složkami integrovaného záchranného systému;
- popis opatření, která mají být přijata v závislosti na druhu události;
- popis zdrojů, které jsou k dispozici k provedení opatření;
- plánování výcviku zaměstnanců obce a dalších dobrovolníků, kteří by mohli pomoci při mimořádné události [43].

Plán odezvy orgánů obce na mimořádné události by měl být pravidelně aktualizován a přizpůsoben novým výzvám a rizikům, která mohou vzniknout. Cílem je zajistit, aby byli obyvatelé obce chráněni před mimořádnými událostmi a aby byla rychlá a účinná reakce na tyto situace.

5.8 Modelace v ideálních podmínkách

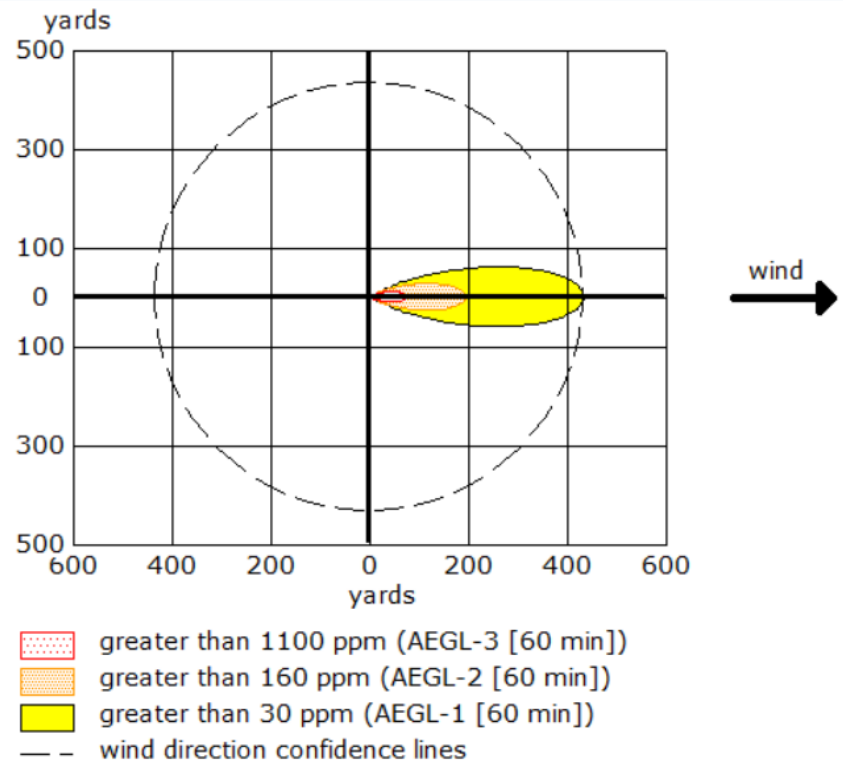
Pro porovnání modelace v reálných podmínkách bude vytvořena také událost v ideálních podmínkách. Oproti první modelaci byly upraveny atmosférické podmínky a velikost porušení pláště cisterny.

Tabulka 16 - Ideální podmínky (Zdroj: vlastní)

Rychlost větru	0,63 m/s
Směr větru	Severozápadní
Teplota vzduchu	20 °C
Vlhkost	5 %

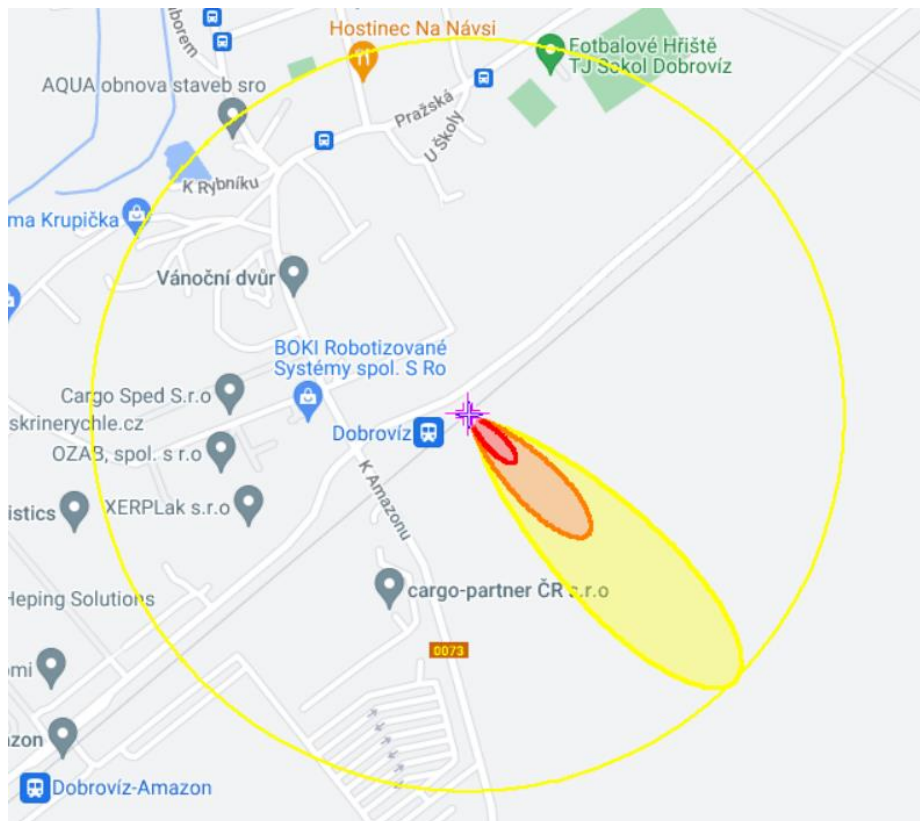
Po zadání ideálních podmínek se stejnými hodnotami AEGL byly vyhodnoceny následující zóny ohrožení – viz obrázek 9. Zóna ohrožení AEGL-3 byla stanovena do vzdálenosti 80 metrů, AEGL-2 do vzdálenosti přibližně 183 metrů a nakonec AEGL-1 do vzdálenosti 370 metrů. Linie možné změny směru větru dosahuje přibližně 410 metrů po celém obvodu.

Oproti modelaci v reálných podmínkách, kdy se látka šířila přímo do centra obce, v tomto případě se látka šíří do neobydlené oblasti, kde se nachází rozlehlá pole a zemědělská krajina. V případě vyšší rychlosti větru by došlo k ohrožení letiště Václava Havla Praha. Tudíž v ideálním případě by bylo ohroženo pouze životní prostředí a vegetace.



Obrázek 11 - Ohrožené zóny (Zdroj: vlastní)

Stejně jako v případě modelace v reálných podmínkách, byla i zde modelace přenesena ze softwaru ALOHA do mapy za pomoci programu Marplot.



Obrázek 12 - Marplot (Zdroj: vlastní)

6 DISKUZE

V této diplomové práci byla provedena analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky při přepravě po železnici. Cílem bylo identifikovat potenciální rizika a navrhnout možná opatření pro minimalizaci úniku nebezpečných látek.

Analýza ukázala, že největší riziko při přepravě nebezpečných látek po železnici je spojeno se srážkou vlaku s jiným vozidlem, v tomto případě nejzávažnějším rizikem byla vyhodnocena nehoda vlakové cisterny s nákladním automobilem na železničním přejezdu. Dalšími nezanedbatelnými riziky byly: srážka s osobním automobilem a požár železniční cisterny. V rámci předběžné analýzy v programu Riskan byla nejdříve vybrána nejpravděpodobnější rizika, kterým byla následně přidělena hodnota na základě vlivu nehody na vybraná aktiva. Aktiva byla rozdělena do tří základních skupin – životy a zdraví osob, životní prostředí a vliv na dopravní síť. Předběžná analýza vyseletovala nejzávažnější hrozby, jednalo se zejména o nehodu vlaku s osobním automobilem, nákladním automobilem a poškození pláště cisterny. Vybrané hrozby byly dále podrobeny multikriteriální analýze, při které byly nejdříve specifikovány koeficienty na základě chráněných aktiv. Následně každé nehodě byla přiřazena hodnota z každého koeficientu a také hodnota frekvence, které byly potřebné pro konečný výpočet. Bylo vyhodnoceno jedno nepřijatelné riziko, které následně bylo podrobena modelaci – nehoda vlakové soupravy s nákladním automobilem. Jako podmíněně přijatelná byla vyhodnocena dvě rizika, a to srážka s osobním automobilem a požár železniční cisterny. Tudíž bylo dokázáno, že předběžná analýza se neshodovala s hlavní multikriteriální analýzou.

Pro vytvoření modelace byly využity reálné meteorologické podmínky, jelikož trasa vlakové soupravy převážející amoniak se uskutečnila v reálný den.

Do modelačního softwaru ALOHA byly také zadány odpovídající rozměry železniční cisterny společnosti IDS LocoCare s.r.o., které jsou uvedeny v katalogu cisteren. Po zadání veškerých skutečností byly vyhodnoceny ohrožené zóny. Nejvíce ohrožená zóna byla softwarovým programem vyhodnocena do vzdálenosti necelých 500 metrů ve směru šíření. V nejohroženější zóně dochází k nejvyšší intoxikaci osob, účinky látky mají v této vzdálenosti život ohrožující až smrtící dopad. Druhou ohroženou zónou je oblast do 1,2 kilometrů, kdy účinky látky způsobují dlouhodobé nepříznivé účinky či až trvalé následky. Nejméně ohrožená zóna dosahuje vzdálenosti až necelých 2 kilometrů, kdy má šířící se látka mírné až zanedbatelné dopady na zdraví. Ukázalo se, že při případném úniku nebezpečné látky by byla ohrožena značná část obce Dobrovíz a její obyvatelé. Z tohoto důvodu byl v kapitole 5.6 navržen způsob evakuace obyvatel obce. Na mapě byla stanovena dvě místa vhodná jako shromaždiště, která jsou dostupná pro všechny osoby nacházející se na území obce. Jedním z těchto míst je fotbalové hřiště, které je vhodné svou polohou a přístupností pro veškerá motorová vozidla. Druhým místem byla vybrána louka na opačném konci evakuovaného území, která je taktéž velmi dobře přístupná jak vozidly, tak pro pěší. Z obou míst shromaždišť byl navržen směr následného odsunu do připravených evakuačních center, které jsou zřízeny v prostorách kulturního domu či mateřské školy v okolních obcích.

Pro komparaci byla vytvořena druhá modelace úniku nebezpečné chemické látky z železniční cisterny, ale tentokrát za ideálních podmínek. Jednalo se o slabý vítr a jeho opačný směr. Tudíž uniklá látka a její následné šíření atmosférou zasahovala pouze do neobydlené oblasti obce a tím bylo ohroženo pouze životní prostředí. Vliv na dopravu, životy a zdraví osob je zanedbatelný. Je zde ale také riziko, pokud při takovém směru větru, byla vyšší jeho rychlost. Došlo by k ohrožení zejména pracovníků pražského letiště. Ohrožená zóna by dosahovala jen na území jedné z přistávacích drah. Pokud by však vítr posléze

změnil svůj směr na severozápadní, bylo by zapotřebí evakuovat veškeré osoby nacházející se v prostorách letiště. Konkrétně byla nejvíce ohrožená zóna vyhodnocena do vzdálenosti 80 metrů, oranžová – méně ohrožená zóna do přibližně 183 metrů a poslední žlutá zóna, kde hrozí nejmenší ohrožení do necelých 370 metrů.

Při hodnocení modelací je důležité brát v úvahu jejich omezenost, jelikož softwarový program ALOHA poskytuje relativně hrubé prostorové rozlišení a neposkytuje přesné informace o konkrétních místech, jako jsou například budovy, silnice nebo terénní nerovnosti. Také využívá meteorologická data, která jsou omezena pouze na aktuální podmínky. Pokud dojde ke změně těchto podmínek, je nutné vytvořit novou simulaci s novými vstupními daty.

V dalším možném případě, který není namodelován, může vítr ovlivnit situaci tak, že by se nebezpečná látka šířila ve směru komerční zóny, což by znamenalo ohrožení všech pracovníků nacházejících se v prostorách skladů. Jednalo by se primárně o společnosti Amazon a Ceva Logistics, které se nacházejí nejbližší železničnímu přejezdu a v čase nehody stále probíhá jejich pracovní doba. Obě tyto společnosti mají zpracované evakuační plány a pravidelně pořádají školení zaměstnanců v oblasti bezpečnosti. Evakuace zaměstnanců by probíhala podle interních předpisů a jejich odsun by pokračoval ve směru obce Jeneč.

V rámci zásahu složek Integrovaného záchranného systému by došlo k povolání všech základních složek na místo události. Hasičský záchranný sbor provede veškerá opatření pro zamezení dalšího úniku chemické látky ze zdroje, zamezí úniku pohonných hmot z nákladního automobilu do životního prostředí. Velitel zásahu řídí místo zásahu, komunikuje s operačním střediskem a na základě vážnosti situace vyhlásí již zmiňovanou evakuaci. HZS také zajišťuje minimalizaci rizika vzniku požáru, jelikož amoniak je při vysokých teplotách

hořlavý. Poskytovatelé zdravotnické záchranné služby poskytnou lékařskou péči účastníkům dopravní nehody, případně osobám, které byli intoxikováni. Zajišťují také následný transport do nemocničních zařízení. Policie ČR zajistí bezpečnost na místě nehody a řídí provoz. Ve směru šíření látky uzavře ohroženou oblast a dohlíží na průběh evakuace obyvatel.

Na základě výsledků bylo navrženo několik opatření, která by mohla minimalizovat rizika při přepravě nebezpečných látek. Tyto návrhy zahrnují lepší školení personálu, pravidelnou údržbu vozidel a implementace moderních zařízení jako jsou senzory a alarmy pro detekci úniku látek nebo také vykolejení vlakové soupravy. V tomto případě lze využít hned několik typů detektorů. Jedná se o detektory pro rozpoznání úniku plynů nebo par, úniku pevných látek nebo naopak kapalin, detekce zvýšení teploty nebo také detektory měřící pH. Pokud by došlo k aktivaci senzoru automaticky dojde ke spuštění různých systémů jako například zastavení vlaku a aktivace nouzových opatření. V minulém roce bylo na konkrétní železniční přejezd v obci Dobrovíz nainstalováno jedno z bezpečnostních opatření a tím jsou závory. Důvodem byly časté dopravní nehody, nejčastěji osobní vlak s osobním automobilem. Od roku 2020 se na silnici číslo III/0073 a železničním přejezdu odehrály 3 dopravní nehody. U jedné z nich musela zasahovat i letecká služba Policie ČR.

Důležitou součástí práce byl také mezinárodní předpis RID – Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí. Jedná se o dohodu a stejně jako ADR (Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečného zboží) stanovuje mezinárodní standardy pro balení, označování a dokumentaci nebezpečného zboží, a také požadavky na školení a certifikaci zaměstnanců. Ale zatímco ADR se vztahuje pouze na silniční dopravu v Evropě, RID se vztahuje na přepravu nebezpečného zboží po železnici po celém světě, konkrétně pro všechny země, které podepsaly tuto dohodu.

V letošním roce došlo k aktualizaci dokumentu RID a ta přinesla několik změn v tomto mezinárodním dokumentu. Jedná se například o schválení Ministerstvem dopravy USA používání opakovaně plnitelných tlakových nádob pro dovoz a vývoz plynů. Došlo ke změně některých definic a doplnění chybějících, doplnily se například definice pro recyklovaný plast, provozní tlak, vyztužený plast a podobně. Aktualizována byla také některá ustanovení či byla upřesněna, například o používání cisternových vozů a kontejnerů, schvalování znalců provádějící činnosti prohlídek vozů a jejich postupy schvalování. Změnil se vzor zprávy o nehodě, který byl doplněn o nové položky. Došlo k zařazení několika typů nových látek a koncentrací, také bylo změněno pojmenování některých již zařazených látek [44].

Česká republika patří mezi evropské země, ve kterých se nebezpečné látky převáží ve velkém množství, oproti například Slovensku, které má až o pětinu nižší celkový přepravní výkon. Naopak Německo má oproti České republice až sedmkrát vyšší výkon a tím pádem jeden z nejvyšších výkonů v Evropě [45]. Statistické údaje jsou však omezené, jelikož jsou započítána pouze vozidla registrovaná v dané zemi. Dalším ovlivňujícím faktorem je nepřesnost statistických údajů z důvodu zkoumání relativně malého počtu jízd, neboť jsou údaje zjišťovány na základě výběrového šetření.

Stejně jako v České republice, tak i ve Spojených státech amerických je nejvyužívanějším způsobem přepravy nebezpečných věcí silniční doprava. Také ale je to rizikovější způsob dopravy, tudíž železniční přeprava je značně bezpečnější možnost, jak nebezpečné věci přepravovat a měla by být do budoucna více využívána.

6.1 Vyhodnocení hypotéz

Hypotéza 1

Přeprava nebezpečných chemických látek po železnici a následný únik látky představuje nejvyšší riziko pro lidské zdraví.

Hypotéza je potvrzena, viz modelace a následné přenesení do mapového podkladu Marplot jasně ukazuje, že šíření látky zasáhlo značnou většinu obyvatel obce Dobrovíz (Obrázek 6).

Hypotéza 2

Výsledky předběžné analýzy se shodují s výsledky podrobnější multikriteriální analýzy.

Hypotéza je vyvrácena, jelikož z předběžné analýzy vyšly nejzávažnější hrozby tři, jimiž jsou srážka s osobním automobilem, nákladním automobilem a poškození pláště cisterny (viz Tabulka 5). Naopak multikriteriální analýza vyhodnotila nejzávažnější hrozbou srážku s nákladním automobilem a následně dvě podmíněně přijatelná rizika – srážka s osobním automobilem a požár (viz Tabulka 14).

7 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že analýza rizik a modelace úniku nebezpečné chemické látky při její přepravě po železnici je důležitým tématem, které má významný dopad na bezpečnost osob a ochranu životního prostředí. Tato diplomová práce ukázala, že největší rizika při přepravě nebezpečných věcí po železnici jsou spojena s nehodou vlakové soupravy s jiným vozidlem, požár železniční cisterny nebo také poškození vlaku.

Hlavní cíl práce byl naplněn za pomoci identifikování a následné analýze rizik, které byly vybrány na základě mimořádné události úniku chemické látky z železniční cisterny. Multikriteriální analýza vyhodnotila jedno nepřijatelné riziko, jehož dopady značně ovlivňují životy a zdraví osob nacházejících se v obci, tím je tedy potvrzena hypotéza číslo 1. Naopak podmíněně přijatelná rizika vyhodnotila multikriteriální analýza dvě, jimiž jsou nehoda s osobním automobilem a požár cisterny. Předběžná analýza však vyhodnotila tři hrozby s nezanedbatelným potenciálem, konkrétně srážku s osobním a nákladním vozidlem a také poškození pláště cisterny, čímž je vyvrácena hypotéza číslo 2.

Tato diplomová práce slouží zejména ke zlepšení připravenosti obce Dobrovíz na takovou mimořádnou událost, či události podobného charakteru. Slouží také jako podklad pro vypracování plánu odezvy obce na mimořádné události. Další využití této práce může sloužit jako podklad pro zlepšení bezpečnosti při přepravě nebezpečných věcí po železnici či pro budoucí výzkum a rozvoj v této oblasti. Dopravní společnost IDS LocoCare s.r.o. může využít práci pro implementaci navržených opatření pro minimalizaci hrozeb při realizacích přeprav nákladních vlaků.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

REACH – Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

EU – Evropská Unie

MZV – Ministerstvo zahraničních věcí

ČR – Česká republika

COTIF – Convention concerning International Carriage by Rail

IZS – Integrovaný záchranný systém

OA – osobní automobil

NA – nákladní automobil

AEGL – Acute Exposure Guideline Level

Ppm – Parts per Million

HZS – Hasičský záchranný sbor

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *Mapování rizik*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010, s. 10. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-086-9.

[2] Analýza nebezpečí a rizik. *Technická univerzita Ostrava* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/cs/.content/galerie-souboru/U3V/studijni-materialy/U3V_Analyza_nebezpeci_a_rizik.pdf

[3] FIALA, Miloš a Josef VILÁŠEK. *Vybrané kapitoly z ochrany obyvatelstva*. Praha: Karolinum, 2010, s. 10-11. ISBN 978-80-246-1856-2.

[4] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Analýza a řízení rizik*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, s. 90, 213. ISBN 978-80-01-04841-2.

[5] GILLMAN, Max, Michal KEJAK a Michal PAKOŠ. *Learning about disaster risk: joint implications for consumption and asset prices*. Prague: CERGE-EI, 2014. Working paper series (CERGE-EI). ISBN 978-80-7343-311-6.

[6] SKŘEHOT, Petr A. Řízení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v zodpovědné firmě, 4. část – Identifikace zdrojů nebezpečí a vyhodnocení rizik. *Práce a mzda* [online]. 2016 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.praceamzda.cz/clanky/rizeni-bezpecnosti-ochrany-zdravi-pri-praci-v-zodpovedne-firme-4-cast-identifikace-zdroju>

[7] MARÁDOVÁ, Eva. *Ochrana člověka za mimořádných událostí*. Praha: Vzdělávací institut ochrany dětí, 2007, s. 9. ISBN 978-80-86991-24-5.

[8] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, s. 289. ISBN 978-80-01-04842-9.

[9] *Analýza dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na životní prostředí*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018, s. 29-31. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-211-5.

[10] *Analýza a hodnocení rizik při dopravě nebezpečných látek*. Ostrava, 2014, s. 46. ISBN 978-80-248-3492-4.

[11] BÁRTLOVÁ, Ivana. *Prevence a připravenost na závažné havárie*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008, s. 17. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-049-4.

[12] KROUPA, Miroslav. *Chování obyvatelstva v případě havárie s únikem nebezpečných chemických látek: příručka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby a obyvatelstvo*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2004, s. 6-30. ISBN 80-86640-23-X.

[13] *Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody*. Praha: Vydavatelství PA ČR, 2008, s. 34. ISBN 978-80-7251-275-1.

[14] *Železniční nehody, řízení a zabezpečení dopravy*. V Brně: CPress, 2021, s. 11. ISBN 978-80-264-3958-5.

[15] Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH) a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky.

[16] Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP) a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006.

[17] Zákon č. 426/2021 Sb., kterým se upravuje zákon č. 266/1994 Sb., o drahách.

[18] Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsí.

[19] Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi.

[20] Sdělení MZV č. 19/2011 Sb. m. s., RID, Úmluva o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).

[21] Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí.

[22] LACINA, Petr, Otakar J. MIKA a Kateřina ŠEBKOVÁ. *Nebezpečné chemické látky a směsi*. Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013. Recetox. ISBN 978-80-210-6475-1.

[23] Amoniak. *Krizport* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.krizport.cz/ohrozeni/nebezpecne-latky-v-jmk/amoniak#pomoc>

[24] Pracovní pomůcka k výkonu státního požárního dozoru. *Studocu.com* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.studocu.com/cs/document/masarykova-univerzita/ekonomicka-geografie/pomucka-chlas-na-internet/3366564>

[25] *Nebezpečné chemické látky a směsi*. Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013. Recetox. ISBN 978-80-210-6475-1.

[26] ŠENOVSKÝ, Michail. *Nebezpečné látky II. 2.*, aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 229 s. SPBI Spektrum. Červená řada. ISBN 978-80-7385-000-5.

[27] O nás. *LocoCare* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.ids-lococare.cz/cs/o-nas/>

[28] Zags 103 m³ | 4-axle tank wagon for Ammonia. *Greenbrier Europe* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.greenbrier-europe.com/2022/10/08/zags-103-m%b3-4-axle-tank-wagon-for-ammonia/>

[29] Vloni se nehodovost na dráhách vrátila na úroveň před covidem. *Drážní inspekce* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.dicr.cz/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/vloni-se-nehodovost-na-drahach-vratila-na-uroven-pred-covidem>

[30] Přeprava nebezpečných věcí na železnici. *Asociace bezpečnostních poradců a znalců* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <http://www.dgsa-rid.cz/redaktor/Klein/2019/Praha/zmenyrid2019.pdf>

[31] *Dopravní nehody při silniční přepravě nebezpečných látek a ochrana obyvatelstva v případě úniku nebezpečné chemické látky* [online]. Kladno, 2017 [cit. 2023-03-29].

Dostupné z: file:///C:/Users/ajakr/Downloads/FBMI-DP-2017-Podesvova-Lucie-2016_2017_LS_f_dp_392318_7737_podesluc_1495191433.pdf. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické v Praze.

[32] Časopis 112 ROČNÍK XXI ČÍSLO 5/2022. *Hasičský záchranný sbor ČR* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/hasicien/docDetail.aspx?docid=22308687&docType=ART&chnum=2>

[33] U.S. Hazardous Materials Shipments by Transportation Mode, 2017. *Bureau of Transportation Statistics* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.bts.gov/content/us-hazardous-materials-shipments-transportation-mode-2007>

[34] Incident Statistics. *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.phmsa.dot.gov/hazmat-program-management-data-and-statistics/data-operations/incident-statistics>

[35] Obec Dobrovíz. *Obec Dobrovíz* [online]. [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.dobroviz.cz/>

[36] *Softwarová podpora krizového řízení* [online]. Kladno, 2015 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70982/FBMI-DP-2016-Veltrusky-Daniel-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické v Praze.

[37] Využití multikriteriální analýzy (MCA) pro hodnocení inteligentních elektroinstalací. *Tzbinfo.cz* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7651-vyuziti-multikriterialni-analyzy-mca-pro-hodnoceni-inteligentnich-elektroinstalaci>

[38] ALOHA Software. *United States Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>

[39] MARPLOT Software. *United States Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>

[40] Definice typů události. *Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <http://www.hzsmsk.cz/prevence/StatDef.htm>

[41] *Analýza rizik Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze a návrh opatření proti vybraným hrozbám* [online]. Kladno, 2020 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/91956/FBMI-DP-2020-Krupicka-Jakub-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické v Praze.

[42] Archiv počasí. *In-pocasi* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/kladno/>

[43] Plán odezvy orgánů obce na mimořádné události. *Krizport* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.krizport.cz/dokumenty/plan-odezvy-organu-obce-na-vznik-mimoradne-udalosti>

[44] RID 2023. *Ministerstvo dopravy ČR* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: [https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-drazni-dopravou/Obecne-informace-\(2\)?returl=/Dokumenty/Drazni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-drazni-dopravou](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-drazni-dopravou/Obecne-informace-(2)?returl=/Dokumenty/Drazni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-drazni-dopravou)

[45] Rizikovost přepravy nebezpečných věcí silniční dopravou ČR. *Perners Contact* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/1254>

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Výstražné symboly dle CLP [24]	29
Obrázek 2 - Značení látek podle chemického zákona [24]	30
Obrázek 3 - Grafické znázornění železničních nehod [29]	34
Obrázek 4- Přeprava nebezpečných věcí [30]	34
Obrázek 5 - Obec Dobrovíz (Zdroj: OpenStreetMap)	38
Obrázek 6 - Číslování železničních tratí (Zdroj: IDS LocoCare)	55
Obrázek 7 - Zóna ohrožení (Zdroj: vlastní)	58
Obrázek 8 - Marplot (Zdroj: vlastní).....	59
Obrázek 9 - Evakuační trasa č.1 (Zdroj: mapy.cz).....	61
Obrázek 10 - Evakuační trasa č.2 (Zdroj: mapy.cz).....	62
Obrázek 11 - Ohrožené zóny (Zdroj: vlastní)	66
Obrázek 12 - Marplot (Zdroj: vlastní)	67

11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 – Fyzikálně chemické vlastnosti amoniaku [13]	25
Tabulka 2 – Příznaky zasažení organismu amoniakem [12]	26
Tabulka 3 – Vývoj počtu mimořádných událostí [29]	33
Tabulka 4 - Způsoby přepravy látek v USA [33]	36
Tabulka 5 - Předběžná analýza (Zdroj: vlastní)	46
Tabulka 6 - Váhové koeficienty (Zdroj: vlastní)	47
Tabulka 7 – Frekvence (Zdroj: vlastní)	48
Tabulka 8 - Smrtné dopady (Zdroj: vlastní)	49
Tabulka 9 - Ohrožení zdraví (Zdroj: vlastní)	49
Tabulka 10 - Dopady na životní prostředí (Zdroj: vlastní)	50
Tabulka 11 - Dopady na dopravu (Zdroj: vlastní)	50
Tabulka 12 - Rozdělení výsledných rizik [41]	51
Tabulka 13 - Výpočty koeficientů (Zdroj: vlastní)	52
Tabulka 14 - Výsledné hodnoty (Zdroj: vlastní)	53
Tabulka 15 - Vstupní data [28,42]	57
Tabulka 16 - Ideální podmínky (Zdroj: vlastní)	65

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Cisterna pro převážení amoniaku [28]	84
Příloha 2: Rozměry cisterny [28]	84
Příloha 3: Železniční přejezd (Zdroj: google.com)	85
Příloha 4: Zranitelnost (Zdroj: vlastní)	85
Příloha 5: Číselníky (Zdroj: Riskan).....	86
Příloha 6: Výpočty k multikriteriální analýze (Zdroj: vlastní).....	86
Příloha 7: Textový výstup za reálných podmínek (Zdroj: vlastní).....	88
Příloha 8: Textový výstup za ideálních podmínek (Zdroj: vlastní).....	89

13 PŘÍLOHY

Příloha 1: Cisterna pro převoz amoniaku [28]



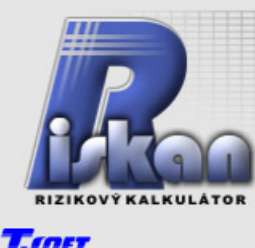
Příloha 2: Rozměry cisterny [28]



Příloha 3: Železniční přejezd (Zdroj: google.com)



Příloha 4: Zranitelnost (Zdroj: vlastní)

		Aktiva		AKTIVA - CELKEM																			
		Hodnoty aktiv		5	5	5	4	4	3	2	5	5	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Hrozby		Pravděpodobnost		velmi vysoká	velmi vysoká	velmi vysoká	vysoká	vysoká	střední	nízká	velmi vysoká	velmi vysoká	střední	vysoká	střední	střední	střední	střední	střední	střední	střední	střední	nízká
HROZBY - CELKEM		5	velmi vysoká	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.	Nehoda s únikem NCHL	5	velmi vysoká	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.1	Srážka s osobním automobilem	5	velmi vysoká	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.2	Srážka s nákladním automobilem	5	velmi vysoká	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.3	Srážka s vlakovou soupravou	3	střední	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.4	Poškození pláště cisterny	4	vysoká	3	2	2	1	2	1	0	3	3	1	2	1	2	1	1	1	2	0	0	0
1.5	Selhání výstražného systému	3	střední	3	1	1	1	1	1	0	2	2	0	0	0	3	3	2	2	0	0	0	0
1.6	Teroristický útok	2	nízká	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1.7	Požár	3	střední	3	2	2	1	1	1	0	3	3	1	2	3	3	3	3	2	3	1	0	0
2.	Vykolejení vlaku	3	střední	3	2	2	1	2	1	0	2	0	1	2	2	3	0	0	3	0	0	0	0
2.1	Překážka na kolejích	3	střední	3	2	2	1	2	1	0	2	0	1	2	2	3	0	0	3	0	0	0	0
2.2	Poškození trati	2	nízká	3	1	1	0	1	0	0	2	0	1	2	2	3	0	0	3	0	0	0	0
2.3	Selhání lidského faktoru	1	zanedbatelná	2	2	2	1	2	1	0	2	0	1	2	2	2	0	0	2	0	0	0	0

Příloha 5: Číselníky (Zdroj: Riskan)

HODNOTA AKTIVA	
0	žádná
1	velmi nízká
2	nízká
3	střední
4	vysoká
5	velmi vysoká

PRAVDĚPODOBNOST HROZBY	
0	žádná
1	zanedbatelná
2	nízká
3	střední
4	vysoká
5	velmi vysoká
6	jistá

ZRANITELNOST AKTIVA	
0	žádná
1	nízká
2	střední
3	vysoká

VÝSLEDNÉ RIZIKO	
Nízké	0 - 29
Střední	30 - 59
Vysoké	60 - 90

MAXIMÁLNÍ MOŽNÉ RIZIKO	90
-------------------------------	----

Příloha 6: Výpočty k multikriteriální analýze (Zdroj: vlastní)

Srážka vlaku s OA

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 8$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (1,5 * 0,5) + (4 * 0,3) + (3 * 0,2) = 2,55$$

$$R = 8 * 2,55 = 20,4$$

Srážka vlaku s NA

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 7$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (2,5 * 0,5) + (4 * 0,3) + (3 * 0,2) = 3,65$$

$$R = 7 * 3,65 = 25,55$$

Srážka vlaku s jinou vlakovou soupravou

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 3$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (3,5 * 0,5) + (4 * 0,3) + (3 * 0,2) = 3,55$$

$$R = 3 * 3,55 = 10,65$$

Poškození pláště cisterny

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 5$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (2 * 0,5) + (3 * 0,3) + (2 * 0,2) = 2,3$$

$$R = 5 * 2,3 = 11,5$$

Teroristický útok

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 3$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (4 * 0,5) + (4 * 0,3) + (3 * 0,2) = 3,8$$

$$R = 3 * 3,8 = 11,4$$

Požár cisterny

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 6$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{žP}} * VK_{\text{žP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (2,5 * 0,5) + (4 * 0,3) + (3 * 0,2) = 3,65$$

$$R = 6 * 3,65 = 21,9$$

Porucha na železniční trati

$$R = F * N$$

$$\text{Frekvence} = 6$$

$$N = (K_O * VK_O) + (K_{\text{ŽP}} * VK_{\text{ŽP}}) + (K_D * VK_D)$$

$$N = (1,5 * 0,5) + (2 * 0,3) + (1 * 0,2) = 1,55$$

$$R = 6 * 1,55 = 9,3$$

Příloha 7: Textový výstup za reálných podmínek (Zdroj: vlastní)

SITE DATA:

Location: DOBROVIZ, CZECHIA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.22 (sheltered double storied)
Time: April 17, 2023 1430 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA
CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -29.6° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 0.63 meters/second from S at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 11° C Stability Class: B
No Inversion Height Relative Humidity: 57%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 3 meters Tank Length: 14.6 meters
Tank Volume: 103 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 11° C
Chemical Mass in Tank: 22.5 tons Tank is 31% full
Circular Opening Diameter: 5 centimeters
Opening is 0.72 meters from tank bottom
Note: RAILCAR predicts a stationary cloud or 'mist pool' will form.
Model Run: RAILCAR
Release Duration: 48 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 5,480 pounds/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 28,401 pounds

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red : 570 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 1262 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 1.3 miles --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])

Příloha 8: Textový výstup za ideálních podmínek (Zdroj: vlastní)

SITE DATA:

Location: DOBROVIZ, CZECHIA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.07 (sheltered double storied)
Time: May 14, 2019 1500 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA
CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -29.6° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 0.63 meters/second from NW at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 20° C Stability Class: B
No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 3 meters Tank Length: 14.6 meters
Tank Volume: 103 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C
Chemical Mass in Tank: 22.5 tons Tank is 32% full
Circular Opening Diameter: 2 centimeters
Opening is 2.16 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 38.8 pounds/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,000 pounds
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red : 76 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 195 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 434 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])