

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza rizik silniční přepravy nebezpečných věcí

Ing. Bc. Libor Krejčí

Disertační práce  
2018

**Studijní program:**

P3710 Technika a technologie v dopravě a spojích

**Studijní obor:**

3708V024 Technologie a management v dopravě a telekomunikacích

**Školitel:** doc. Ing. Jaroslav Kleprlík, Ph.D.

**Disertační práce vznikla na školícím pracovišti:**

Katedra technologie a řízení dopravy

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 3. 4. 2018

Libor Krejčí

## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval za odborné vedení a konzultace zejména svému školiteli **doc. Ing. Jaroslavu Kleprlíkovi, Ph.D.** i dalším odborníkům z Katedry technologie a řízení dopravy, Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice.

Dále bych rád poděkoval za vytvoření podmínek pro studium ze strany mého zaměstnavatele Centra dopravního výzkumu, v. i. i. a konzultace mým kolegům.

V neposlední řadě děkuji za všestrannou podporu mé rodině, manželce Sylvě a dceři Barunce, která by již v době závěrečné obhajoby měla být na světě.

## **ANOTACE**

Disertační práce se zabývá silniční přepravou nebezpečných věcí. Součástí práce je návrh algoritmu hodnocení a řízení rizika v oblasti lidských zdrojů a v oblasti výběru přepravní trasy. V disertační práci jsou vytvořeny technologické postupy pro snížení rizika dopravních nehod a navrženy úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí. V disertační práci je dále navržena optimalizace dopravních značek regulující tuto přepravu a systém monitoringu vozidel přepravujících nebezpečné věci.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

analýzy rizik, nebezpečné věci, lidské zdroje, snížení rizik

## **TITLE**

Risk analysis of dangerous goods transportation by road

## **ANNOTATION**

The dissertation deals with road transport of dangerous goods. Part of the dissertation is the proposal of the algorithm for evaluation and management of risks in the area of human resources and in the area of the transport route selection. The dissertation deals with technological processes to reduce the risk of traffic accidents and proposes modifications in the field of training and verification of knowledge. The dissertation also proposes optimization of traffic signs regulating this transport and the monitoring system of vehicles transporting dangerous goods.

## **KEYWORDS**

risk analysis, dangerous goods, human resources, risk mitigation

# OBSAH

ÚVOD.....	14
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI PŘEPRAV NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ.....	16
1.1 Analýza současného stavu v ČR.....	16
1.2 Analýza současného stavu v zahraničí.....	36
1.3 Kritické zhodnocení analýzy současného stavu.....	49
2 DEFINICE CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE.....	51
2.1 Hlavní cíl práce.....	51
2.2 Dílčí cíle.....	51
3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ.....	53
4 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ SNÍŽENÍ RIZIKA PŘEPRAVY NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ.....	56
4.1 Hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů.....	58
4.1.1 Kontrolní seznam.....	60
4.1.2 Co se stane, když.....	62
4.1.3 Analýza možného výskytu a vlivu vad (FMECA).....	63
4.1.4 Analýza lidské spolehlivosti (HRA).....	65
4.1.5 Strom poruchových událostí (FTA).....	67
4.1.6 Hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů.....	69
4.2 Hodnocení a řízení rizik v oblasti přepravní trasy.....	69
4.2.1 Individuální a společenské riziko.....	71
4.2.2 Zóny ohrožení.....	73
4.2.3 Indexy zranitelnosti.....	75
4.2.4 Hodnocení rizika na trase.....	76
4.3 Návrh postupů pro snížení rizik.....	78
4.3.1 Algoritmus hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů.....	79
4.3.2 Technologické postupy pro snížení rizika dopravních nehod.....	81
4.3.3 Úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí.....	83
4.3.4 Algoritmus pro výběr optimálních objízdných tras.....	87
4.3.5 Optimalizace umístění svislých dopravních značek.....	89
4.3.6 Rozšíření systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí.....	90

4.4	Ověření postupů pro snížení rizik .....	94
4.4.1	Dopravní společnost.....	94
4.4.2	Síť pozemních komunikací .....	98
5	VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ.....	111
5.1	Oblast lidských zdrojů .....	111
5.2	Oblast přepravní trasy .....	112
6	VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA .....	116
7	ZÁVĚR .....	118
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	119
9	PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE.....	125
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	126

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1</b> Srovnání přepravních výkonů v ČR podle druhu dopravy.....	28
<b>Tabulka 2</b> Nehody při přepravě nebezpečných věcí v ČR .....	30
<b>Tabulka 3</b> Doporučené metody hodnocení rizika.....	41
<b>Tabulka 4</b> Intenzity přepravy nebezpečných věcí nepřekračující společenské riziko.....	42
<b>Tabulka 5</b> Riziko nehody s únikem nebezpečné věci.....	42
<b>Tabulka 6</b> Rozdělení problémových okruhů do kategorií .....	61
<b>Tabulka 7</b> Kategorizace událostí pro hodnocení metodou FMECA .....	64
<b>Tabulka 8</b> Pravděpodobnosti pro identifikované skupiny chyb metodou THERP.....	67
<b>Tabulka 9</b> Limity pro stanovení zóny ohrožení při modelování úniku látek .....	74
<b>Tabulka 10</b> Indexy zranitelnosti obyvatelstva v ČR.....	75
<b>Tabulka 11</b> Indexy zranitelnosti pro ostatní biotické složky.....	76
<b>Tabulka 12</b> Roční charakteristiky nehodovosti a dopadů nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR.....	77
<b>Tabulka 13</b> Identifikace problémových okruhů metodou Kontrolní seznam .....	95
<b>Tabulka 14</b> Nejzávažnější rizika identifikovaná metodou FMECA.....	96
<b>Tabulka 15</b> Očekávaná hodnota individuálního rizika v Lochkovském tunelu .....	101
<b>Tabulka 16</b> Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě hořlavé kapaliny .....	103
<b>Tabulka 17</b> Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě hořlavého zkapalněného plynu .....	103
<b>Tabulka 18</b> Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě toxického plynu .....	104
<b>Tabulka 19</b> Společenské riziko na alternativní objízdné trase Lochkovského tunelu.....	109
<b>Tabulka 20</b> Identifikace příčin nehod metodou Kontrolního seznamu .....	131
<b>Tabulka 21</b> Metoda Co se stane, když: manipulace při nakládce či vykládce cisteren a kusů (A1).....	134
<b>Tabulka 22</b> Metoda Co se stane, když: řízení vozidla (A2) .....	137
<b>Tabulka 23</b> Metoda Co se stane, když: management (A3).....	138
<b>Tabulka 24</b> Metoda Co se stane, když: kontrola (A4).....	139
<b>Tabulka 25</b> Metoda Co se stane, když: technická závada příslušenství vozidla (C3).....	140
<b>Tabulka 26</b> Metoda Co se stane, když: vhodnost balení (D1).....	141
<b>Tabulka 27</b> Metoda Co se stane, když: kvalita balení (D2) .....	142
<b>Tabulka 28</b> Metoda Co se stane, když: značení balení (D3) .....	143



<b>Tabulka 29</b> Metoda Co se stane, když: pochybení jiného účastníka silničního provozu (E3) .....	144
<b>Tabulka 30</b> Metoda Co se stane, když: jiná nepředvídatelná událost (E4) .....	144
<b>Tabulka 31</b> Hodnocení událostí metodou FMECA .....	145
<b>Tabulka 32</b> Popis scénářů nehod definovaných v SW QRAM .....	148
<b>Tabulka 33</b> Konstrukční parametry Lochkovského tunelu .....	149
<b>Tabulka 34</b> Parametry dopravního proudu v Lochkovském tunelu .....	151
<b>Tabulka 35</b> Počet zasažených osob na alternativní objízdě trase tunelu Lochkov – únik při přepravě hořlavé kapaliny .....	157
<b>Tabulka 36</b> Počet zasažených osob na alternativní objízdě trase tunelu Lochkov – únik při přepravě hořlavého zkapalněného plynu .....	158
<b>Tabulka 37</b> Počet zasažených osob na alternativní objízdě trase tunelu Lochkov – únik při přepravě toxického plynu.....	159

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b> Příklad označení vozidla .....	18
<b>Obrázek 2</b> Hranice společenského rizika v tunelech v ČR, Rakousku a Švýcarsku .....	27
<b>Obrázek 3</b> Počet nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR .....	29
<b>Obrázek 4</b> Obecný postup hodnocení rizik .....	31
<b>Obrázek 5</b> Systém hlášení událostí s nebezpečnou věcí v letecké dopravě .....	39
<b>Obrázek 6</b> Vývojový diagram hodnocení rizik lidských zdrojů v přepravě nebezpečných věcí .....	59
<b>Obrázek 7</b> Faktory lidské výkonnosti v systému přepravy nebezpečných věcí .....	67
<b>Obrázek 8</b> Vývojový diagram hodnocení rizik trasy v přepravě nebezpečných věcí .....	70
<b>Obrázek 9</b> Limity společenského rizika přepravy nebezpečných věcí v ČR .....	72
<b>Obrázek 10</b> Technologický postup hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů.....	80
<b>Obrázek 11</b> Vliv faktorů na dopravní nehodovost .....	81
<b>Obrázek 12</b> Návrh úpravy školení řidičů ADR .....	85
<b>Obrázek 13</b> Schéma ověření znalostí řidičů .....	87
<b>Obrázek 14</b> Technologický postup hodnocení rizika v oblasti výběru trasy.....	88
<b>Obrázek 15</b> Architektura monitoringu vozidel.....	91
<b>Obrázek 16</b> Blokové schéma monitoringu přepravy nebezpečných věcí v ČR .....	92
<b>Obrázek 17</b> Vyhodnocení četnosti problémových okruhů identifikovaných metodou Co se stane, když .....	95
<b>Obrázek 18</b> Strom událostí při balení a nakládce nebezpečných látek metodou THERP .....	97
<b>Obrázek 19</b> Posouzení procesu přepravy nebezpečných věcí metodou FTA.....	98
<b>Obrázek 20</b> Trasa tunelem Lochkov (dálnice) a alternativní objízdna trasa (trasa B) tunelu Lochkov .....	99
<b>Obrázek 21</b> Společenské riziko scénářů nehod v Lochkovském tunelu.....	101
<b>Obrázek 22</b> Společenské riziko v Lochkovském tunelu – agregované scénáře nehod .....	102
<b>Obrázek 23</b> Alternativní objízdna trasa tunelu Lochkov – obalové zóny hořlavé kapaliny..	106
<b>Obrázek 24</b> Alternativní objízdna trasa tunelu Lochkov – obalové zóny zkapalněného hořlavého plynu .....	106
<b>Obrázek 25</b> Alternativní objízdna trasa tunelu Lochkov – obalová zóna toxického plynu ...	107
<b>Obrázek 26</b> Hustota obyvatelstva v okolí alternativní trasy lochkovského tunelu .....	108
<b>Obrázek 27</b> Hořlavá kapalina – termální riziko při požáru .....	152
<b>Obrázek 28</b> Hořlavá kapalina – toxické riziko při nevnícení látky .....	152

<b>Obrázek 29</b> Hořlavá kapalina – riziko hořlavých výparů při nevznícení látky .....	153
<b>Obrázek 30</b> Hořlavá kapalina – riziko tlakové vlny .....	153
<b>Obrázek 31</b> Hořlavý zkapalněný plyn – termální riziko při požáru .....	154
<b>Obrázek 32</b> Hořlavý zkapalněný plyn – toxické riziko při nevznícení látky .....	154
<b>Obrázek 33</b> Hořlavý zkapalněný plyn – riziko hořlavých výparů při nevznícení látky .....	155
<b>Obrázek 34</b> Hořlavý zkapalněný plyn – riziko tlakové vlny .....	155
<b>Obrázek 35</b> Toxický plyn (chlorovodík) – toxické riziko .....	156

## SEZNAM ZKRATEK

AEGL	<i>Acute Exposure Guideline Levels</i>
ADR	<i>European Agreement concerning the international carriage of Dangerous Goods by Road</i>
ALARP	<i>As low as reasonably practicable</i>
ALOHA	<i>Areal Locations of Hazardous Atmospheres</i>
ArcGIS	<i>Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System</i>
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion</i>
CAMEO	<i>Computer Aided Management of Emergency Operations</i>
CBA	<i>Cost Benefit Analysis</i>
CETU	<i>Centre d'études des tunnels</i>
CLP	<i>Classification, Labelling and Packaging</i>
CMR	<i>Convention Marchandise Routière (Úmluva o přepravní smlouvě v mezinárodní silniční dopravě)</i>
ČR	Česká republika
eMARS	<i>Major Accident Reporting System</i>
EU	Evropská unie
EV	<i>Expected Value</i>
FACTS	<i>Failure and Accidents Technical Information System</i>
FMECA	<i>Failure Modes and Effects and Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
F-N	<i>kumulovaná frekvence-počet úmrtí</i>
GHS	<i>Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals</i>
GIS	<i>Geographic Information System (Geografický Informační Systém)</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i>
HRA	<i>Human Reliability Assessment</i>
HTTPS	<i>Hypertext Transfer Protocol Secure</i>
HZS	Hasičský záchranný sbor
IBC	<i>Intermediate bulk container</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IS	Informační systém

IS DOK	Informační systém DOK
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
IZS	Integrovaný záchranný systém
NDIC	Národní dopravní informační centrum
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>
km	kilometr
MARPLOT	<i>Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks</i>
m	metr
mil.	milion
MySQL	<i>My Structured Query Language</i> (systém pro řízení databází)
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i>
OBU	<i>On Board Unit</i>
OSN	Organizace spojených národů
PČR	Policie České republiky
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congresses</i>
PHMSA	<i>Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration</i>
psi	<i>Pound-force per square inch</i>
QRA	<i>Quantitative Risk Assessment</i>
QRAM	<i>Quantitative Risk Assessment Model</i>
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals</i>
Sb.	Sbírka zákonů
Sb. m. s.	Sbírka mezinárodních smluv
SEPNO	Systém evidence přepravy nebezpečných odpadů
SW	<i>Software</i>
TCDD	2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin
THERP	<i>Technique for Human Error-Rate Prediction</i>
tkm	tunokilometr
TP	Technické podmínky
TRINS	Transportní informační a nehodový systém
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USA	<i>United States of America</i>
ZSJ	základní sídelní jednotka

# ÚVOD

Přeprava nebezpečných věcí silniční dopravou se na území České republiky (ČR) uskutečňuje jako důležitá součást zajištění funkce národního i evropského hospodářství. Průmyslové podniky vyrábějí a expedují i nebezpečné věci, které představují pro obyvatelstvo, infrastrukturu a životní prostředí určité riziko spojené s nebezpečnými vlastnostmi těchto látek (především s toxicitou, hořlavostí, výbušností, apod.).

Určitá míra rizika je v každé fázi distribuce nebezpečné věci na trh. Během její výroby, skladování, manipulace, přepravy a spotřeby. Při přepravě se zvyšuje riziko kvůli obtížnosti přesné anticipace místa a času vzniku nehody vozidel přepravujících nebezpečné věci, i případného uniklého množství do okolí.

Přepravní trasy jsou plánovány dispečery jednotlivých dopravců s ohledem na výchozí a cílové místo přepravy, časové požadavky odesílatele, legislativní omezení související s výběrem trasy, optimalizaci provozu vozidel a práce řidičů. V neposlední řadě je rozhodující cena přepravy, která výrazně ovlivňuje rozhodování subjektů zapojených do procesu přepravy a může mít výrazný vliv na zajištění bezpečnosti. V praxi je obtížné stanovit bezpečnou objízdnu trasu, zvláště s ohledem na riziko úniku nebezpečné věci do okolí. Nárůst intenzity osobní i nákladní dopravy, včetně přepravy nebezpečných věcí vyvolává nutnost posuzování a řízení rizik (1).

Statistika dopravní nehodovosti v ČR jednoznačně indikuje, že nejčastějším viníkem dopravních nehod v silniční přepravě nebezpečných věcí i dopravní nehodovosti obecně je lidský faktor (2). Stejné závěry poskytují i statistiky ve většině zahraničních zemí (3). Pojem lidský faktor je velice komplexní. Zahrnuje chování, potřeby a požadavky řidičů, ale i jejich profil, vzdělání, odborná a specializovaná školení a praxe v řízení vozidel. Významný vliv má v této oblasti firemní kultura, management rizik, auditů a bezpečnostní poradenství.

Z pohledu bezpečnosti je prvotním úkolem ochránit osoby, které jsou účastníky dopravní nehody a obyvatele, jimž hrozí nebezpečí zasažení zdraví škodlivými výpary z uniklé nebezpečné věci, či přímo jejím požárem. Dále je potřebné zabránit sekundárním i následným nehodám a nežádoucím událostem v podobě poškození životního prostředí anebo infrastruktury. Se zásahem jsou spojené i mitigační postupy, zmírňující dopad nehody na životní prostředí, např. v podobě zabránění kontaminace vodních zdrojů. Míra rizika spojeného s přepravou nebezpečných věcí souvisí s připraveností bezpečnostních složek a provedením preventivních opatření.

**Disertační práce se bude zabývat silniční přepravou nebezpečných věcí. Hlavním cílem práce bude návrh algoritmu hodnocení rizika a vlivu řízení rizika v oblasti lidských zdrojů v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí. Dále budou vytvořeny technologické postupy pro snížení rizika vzniku dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí a následných opatření za účelem minimalizace negativních dopadů na okolí. Bude proveden návrh úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí řidičů a bezpečnostních poradců při přepravě nebezpečných věcí.**

Algoritmus popisující riziko přepravní trasy bude determinován následujícími vstupními parametry:

- riziko vzniku dopravní nehody,
- riziko iniciace úniku přepravované nebezpečné věci,
- rozsah dopadu na obyvatelstvo a ostatní účastníky dopravního provozu,
- rozsah dopadu na ostatní biotické složky v okolí nehody,
- rozsah dopadu na infrastrukturu,
- ekonomické dopady (interní a externí náklady).

Výstupem algoritmu bude numerický koeficient (kvantitativní ukazatel) udávající míru rizika mezi definovanými nejbližšími uzly silniční sítě. Pro vyjádření celkového rizika zvolené přepravní trasy a možnosti jeho porovnání s alternativními úseky, bude sestavena probitová funkce (polynom) popisující celkové riziko přepravy při zadaných vstupních parametrech.

Navržený algoritmus povede k opatřením ve formě dopravního značení vylučující úseky pozemních komunikací z přepravních tras nebezpečných věcí na základě míry rizika přepravy. Algoritmus bude využit taktéž k optimalizaci stanovení objízdových tras úseků pozemních komunikací, vhodných i pro přepravu nebezpečných věcí.

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI PŘEPRAV NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ

V rámci analýzy stavu v ČR bude provedena rešerše relevantní legislativy, zahrnující i předpisy s mezinárodní platností – mezinárodní dohody a legislativa Evropské unie (EU). Poté budou představeny základní statistické údaje vztahující se k řešené problematice v ČR. Následovat bude analýza odborných publikací a projektů z této řešené oblasti. Budou analyzovány metody a postupy při hodnocení rizika v tuzemsku. Na závěr bude provedeno posouzení vybraných softwarových (SW) nástrojů používaných v této oblasti.

V rámci analýzy současného stavu v zahraničí bude použit obdobný postup jako v případě ČR. Větší důraz bude v této části kladen na mezinárodní databáze havárií nebezpečných věcí a sofistikované SW nástroje používané pro modelování šíření nebezpečných věcí.

## 1.1 Analýza současného stavu v ČR

Základním právním předpisem v oblasti silniční přepravy nebezpečných věcí v ČR je **zákon č. 111/1994 Sb., o silniční dopravě** ve znění pozdějších předpisů (4). Zákon stanovuje povinnost přepravovat nebezpečné věci po silnici v souladu s Evropskou dohodou o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí ADR (§ 22). Ustanovení týkající se přepravy nebezpečných věcí se vztahují na veškerou silniční dopravu nebezpečných věcí po dálnicích, silnicích, místních komunikacích, veřejných přístupných účelových komunikacích a volném terénu. Výjimku mají pouze ozbrojené síly nebo ozbrojené bezpečnostní sbory při plnění vlastních úkolů (§ 1). Zákon rozšířil platnost mezinárodní Dohody ADR i na vnitrostátní přepravu a to i na přepravu pro vlastní potřebu. Zákon stanovuje povinnosti odesilatele, dopravce a příjemce nebezpečných věcí (§ 23). Mezi povinnosti se vztahem k lidskému faktoru v procesu přepravy nebezpečných věcí v případě odesilatele patří např. zabezpečit školení ostatních osob podílejících se na přepravě a ustanovit bezpečnostního poradce pro přepravu nebezpečných věcí. V případě dopravce zákon stanovuje ještě navíc např. povinnost zajistit, aby přepravu prováděla pouze osádka dopravní jednotky složená z držitelů odpovídajících osvědčení. Povinnost ustanovit bezpečnostního poradce mají všechny subjekty zapojené do přepravního procesu.

**Vyhláška č. 478/2000 Sb., kterou se provádí zákon o silniční dopravě** ve znění pozdějších předpisů (5) stanovuje podrobnosti týkající se školení a zkoušek pro získání osvědčení bezpečnostních poradců. Uvádí také, že při přepravě nebezpečných věcí



nepřesahující specifické limity uvedené v Dohodě ADR, nevzniká povinnost ustavení bezpečnostního poradce (§ 17 odst. 1). Povinnosti a úloha bezpečnostních poradců je detailně popsána v Dohodě ADR.

Stěžejním mezinárodním předpisem stanovujícím pravidla pro přepravu nebezpečných věcí po silnici je **Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí ADR** (*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous Goods by Road*), (6).

Nedílnou součástí Dohody ADR jsou přílohy A a B:

- A – Všeobecná ustanovení týkající se nebezpečných látek a předmětů;
- B – Ustanovení o dopravních prostředcích a o přepravě.

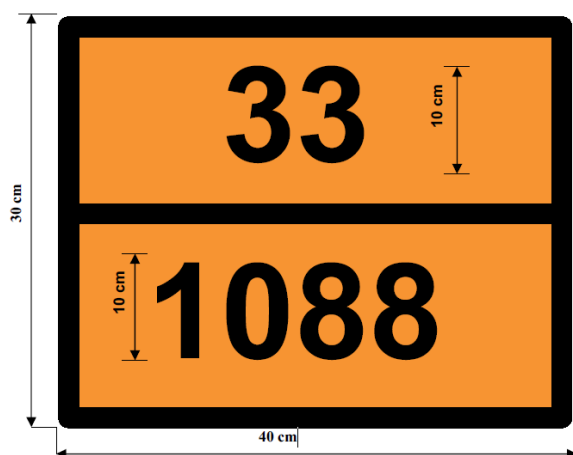
Přílohy Dohody ADR jsou pravidelně každé dva roky novelizovány. V současnosti jsou platné přílohy Dohody ADR 2017, které jsou zveřejněny ve Sbírce mezinárodních smluv, částce 12, jako sdělení Ministerstva zahraničních věcí 21/2017 Sb. m. s.

Nebezpečné věci jsou v mezinárodní Dohodě ADR rozděleny do následujících tříd:

- Třída 1 Výbušné látky a předměty;
- Třída 2 Plyny;
- Třída 3 Hořlavé kapaliny;
- Třída 4.1 Hořlavé tuhé látky, samovolně se rozkládající látky, polymerizující látky a znečítlivělé tuhé výbušné látky;
- Třída 4.2 Samozápalné látky;
- Třída 4.3 Látky, které ve styku s vodou vyvíjejí zápalné plyny;
- Třída 5.1 Látky podporující hoření;
- Třída 5.2 Organické peroxidy;
- Třída 6.1 Toxické látky;
- Třída 7 Radioaktivní látky;
- Třída 8 Žíravé látky;
- Třída 9 Jiné nebezpečné látky a předměty.

Nebezpečné věci jsou látky a předměty, které mají vlastnosti překračující stanovená klasifikační kritéria pro jednotlivé třídy nebezpečných věcí. V Dohodě ADR je nastaven systém tzv. UN čísel reprezentující nebezpečnou věc a bezpečnostních značek upozorňující okolí na rizika dané nebezpečné věci barvou a symbolem. Na základě klasifikace nebezpečných věcí do jednotlivých tříd, jsou stanovené požadavky na značení kusů a vozidel přepravujících nebezpečné věci. Vozidla přepravující nebezpečné věci musí být označena

oranžovými reflexními tabulkami předepsaných rozměrů. V případě přepravy nebezpečných věcí ve volně loženém stavu a cisternách je okolí upozorněno na riziko i pomocí tzv. identifikačních čísel nebezpečnosti na oranžových tabulkách. Příklad značení velmi hořlavé kapalné látky – acetal je na obrázku 1. Tento systém značení je vhodný z hlediska rychlého upozornění na riziko přepravované látky pomocí identifikačního čísla nebezpečnosti a možnosti následné identifikace látky pomocí UN čísla. Nevýhodou pro zasahující složky je značení vozidel přepravujících nebezpečné věci v kusech. V tomto případě jsou předepsané oranžové reflexní tabulky bez dalšího označení a není možno z označení vozidla identifikovat druh nebezpečí.



**Obrázek 1** Příklad označení vozidla (Dohoda ADR, 2017)

Členové osádky vozidla v případě dopravní nehody nebo nouzové situace používají tzv. „písemné pokyny“ podle ADR. Dopravce musí předat osádce vozidla tyto univerzální čtyřstránkové písemné pokyny v jazyce či jazycích, kterým jsou všichni členové osádky schopni porozumět. Členové osádky vozidla mají k dispozici taktéž povinnou výbavu ADR a práškové hasicí přístroje.

Speciální pozornost je věnována problematice přepravy nebezpečných věcí silničními tunely. Jednotlivé nebezpečné věci mají podle své rizikovosti přiřazen tzv. „kód pro přepravu tunely“. Dohoda ADR zároveň stanovila povinnost klasifikovat silniční tunely podle míry rizika souvisejícího s přepravou nebezpečných věcí. Přípustnost k přepravě je vyjádřena kategorií tunelu a označena písmenem A až E od nejméně rizikových po nejrizikovější tunely.

V oblasti vzdělávání osob zapojených do procesu přepravy nebezpečných věcí, předepisuje mezinárodní Dohoda ADR povinnosti, školení a přezkoušení znalostí pro bezpečnostní poradce, řidiče a ostatní osoby podílející se na přepravě.

Hlavním úkolem bezpečnostního poradce je snažit se všemi vhodnými prostředky a opatřeními usnadnit provádění přepravy nebezpečných věcí v souladu s platnými předpisy

a nejbezpečnějším způsobem. S přihlédnutím k činnostem podniku má bezpečnostní poradce kromě konzultační a supervizorské činnosti povinnost připravit výroční zprávu pro vedení podniku o činnostech týkajících se přepravy nebezpečných věcí.

Budoucí bezpečnostní poradci se musí zúčastnit školení, jehož obsah je v Dohodě ADR stanoven pouze rámcově. Hlavním účelem školení je poskytnout uchazečům dostatečné znalosti o nebezpečích při plnění, balení, nakládce, přepravě, nebo vykládce nebezpečných věcí, postupech pro dodržování předpisů, zavádění opatření ke zvýšení informovanosti o nebezpečí spojených s přepravou apod. (6). Specificky zaměřené je školení a následná zkouška pro uchazeče o bezpečnostního poradce na třídu 1 a třídu 7.

Ministerstvo dopravy schválilo tři organizace (Sdružení ČESMAD BOHEMIA, DEKRA Automobil a.s. a Ing. Jiří Miletín M Konzult) pro provádění školení bezpečnostních poradců pro přepravu nebezpečných věcí silniční dopravou (7). Mezinárodní Dohoda ADR nepředepisuje časový rozsah školení bezpečnostních poradců a jednotlivé školící organizace proto zvolily odlišný přístup k provádění školení. Sdružení ČESMAD BOHEMIA nabízí prezenční školení bezpečnostních poradců ADR ve dvou navazujících třídenních kurzech (celkem šest školících dnů). Naopak společnost DEKRA Automobil a.s. provádí ucelené prezenční školení v rámci jednoho týdne (pět školících dnů), ale školení je doplněno o jednodenní opakování prováděné den před termínem zkoušky pro ověření znalostí bezpečnostních poradců. Nejvíce se liší přístup společnosti M Konzult. Školení bezpečnostních poradců ADR je nabízeno pouze distanční formou pomocí e-learningu. Kurz je koncipován v rozsahu 32 hodin, přičemž jednotliví uchazeči postupují podle svých časových možností v doporučeném období tří měsíců.

Současná variabilita ve formě nabízených školení bezpečnostních poradců ADR v ČR je vstřícná pro uchazeče, kteří mohou vybírat školení nejen podle svých časových preferencí, ale i místa provádění školení a v neposlední řadě ceny. Kvalita školení je ovšem hodnocena nepřímou, až v rámci ověření znalostí účastníku při zkouškách bezpečnostních poradců pořádaných Ministerstvem dopravy. Vzhledem k existenci několika nezávislých poskytovatelů školení a odlišnými ekonomickými zájmy jednotlivých organizací, by bylo vhodné, aby v této oblasti vydalo Ministerstvo dopravy metodický pokyn. Touto formou by byla jednotně zajištěna dostatečná odborná příprava bezpečnostních poradců ve vazbě na eliminaci rizika při přepravě nebezpečných věcí. Návrh, který poslouží školícím organizacím jako konkrétní postup pro splnění obecných požadavků mezinárodního předpisu, bude součástí kapitoly č. **4.3.3** disertační práce.

Ministerstvo dopravy vydalo zkušební řád pro ověřování způsobilosti bezpečnostních poradců v silniční dopravě nebezpečných věcí v ČR (7). Zkušební řád stanovuje kvalifikační požadavek na uchazeče o výkon funkce bezpečnostního poradce. Uchazeči musí doložit doklad o maturitní zkoušce (úplné středoškolské vzdělání) a doklad o bezúhonnosti ve smyslu zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání, v platném znění (výpis z rejstříku trestů).

Zkoušky bezpečnostních poradců ADR zahrnují:

- všeobecný test (20 testových otázek, časový rozsah 30 minut),
- specializační část (15 otázek, časový rozsah 60 minut),
- případovou studii (2 případy přepravy nebezpečných věcí, časový rozsah 90 minut).

Uchazeči musí při zkoušce prokázat odborné znalosti v této problematice, schopnost práce s právními předpisy (ve druhé a třetí části) a řešit komplexní úkoly v souvislosti s přepravou nebezpečných věcí (ve třetí části). Uchazeči musí ve všeobecném testu i specializační části dosáhnout alespoň 90 % bodů. V případové studii musí být nebezpečná věc správně přepravena. Pokud uchazeč dosáhne ve všeobecném testu nebo specializační části alespoň části 80 % bodů a ostatní části jsou vyhovující, absolvuje následně doplňkovou ústní zkoušku. V případě úspěšnosti u zkoušky obdrží bezpečnostní poradci mezinárodní osvědčení v příslušném rozsahu na dobu určitou s platností pěti let. Osvědčení musí být před skončením platnosti obnoveno vykonáním písemné zkoušky.

Zkoušky bezpečnostních poradců ADR jsou v ČR prováděny v souladu s požadavky Dohody ADR z hlediska formy a obsahu. Nově však mezinárodní Dohoda ADR povoluje použití elektronické formy zkoušek, které by mohly zefektivnit vyhodnocení. Zkoušky bezpečnostních poradců ADR jsou v ČR zaměřené výhradně na ověření znalostí uchazečů z hlediska legislativní správnosti provádění přepravy nebezpečných věcí. I když je tento přístup z velké části validní, v rámci zkoušek by měla být ověřována taktéž schopnost eliminovat rizika při přepravě nebezpečných věcí. Příslušné úpravy budou proto navrženy v kapitole č. **4.3.3** disertační práce.

V oblasti školení řidičů stanovuje mezinárodní Dohoda ADR několik úrovní školení:

- základní kurz pro přepravu nebezpečných věcí balených v kusech a ve volně loženém stavu (18 vyučovacích hodin),
- specializační kurz pro přepravu v cisternách (12 vyučovacích hodin),
- specializační kurz pro třídu 1 (8 vyučovacích hodin),
- specializační kurz pro třídu 7 (8 vyučovacích hodin).

Mezinárodní Dohoda ADR předepisuje podrobně obsahovou náplň jednotlivých typů školení a, na rozdíl od školení bezpečnostních poradců ADR, je stanoven minimální časový rozsah teoretické části. V návaznosti na to Dohoda ADR požaduje provádění individuálních praktických cvičení, které musí zahrnovat nejméně první pomoc, hašení ohně a postup v případě poruchy nebo nehody. V ČR je školení řidičů ADR zpravidla prováděno v rámci třídenních kurzů.

Znalosti řidičů v problematice silniční přepravy nebezpečných věcí musí být do pěti let aktualizovány a rozšířeny v rámci tzv. „obnovovacího školení“. Musí zahrnovat novinky v oblasti techniky, právních předpisů a nebezpečných věcí.

Školení řidičů ADR je v ČR prováděné prezenčně různými organizacemi. Společným jmenovatelem všech školení je vysoká intenzita vzhledem k nutnosti předat řidičům relativně rozsáhlé penzum znalostí v omezeném časovém rozsahu. Dalším faktorem, negativně ovlivňující efektivitu školení, je únava účastníků spojená s výkonem práce řidiče. Při školení se projevují různé zájmy všech zainteresovaných subjektů (řidičů, zaměstnavatelů – dopravců, školících organizací). Návrh implementace opatření vedoucích k eliminaci rizika do školení řidičů ADR, bude uveden v kapitole č. **4.3.3** disertační práce.

Na závěr jednotlivých typů školení řidičů jsou znalosti účastníků ověřeny pomocí písemného testu, který je připraven Ministerstvem dopravy. Obdobně jsou ověřovány znalosti i v případě „obnovovacího školení“. Test pro základní kurz pro přepravu nebezpečných věcí v kusech a ve volně loženém stavu obsahuje 30 otázek, v případě obnovy základního kurzu jen 20 otázek. Specializační test pro přepravu v cisternách a specializační test pro třídu 1 a pro třídu 7 obsahují vždy 20 otázek. V případě přepravy nebezpečných věcí v cisternách ovšem ještě následuje 10 otázek pro každou třídu nebezpečných věcí. Požadovaná úspěšnost u všech testů je minimálně 80 % správných odpovědí. V případě úspěšnosti u zkoušky, obdrží řidiči mezinárodní osvědčení o školení řidiče ADR v příslušném rozsahu na dobu určitou s platností pěti let.

Systém ověření znalostí řidičů ADR pomocí písemného testu je v ČR relativně vhodně nastaven. Diskutabilní je zejména ověřování znalostí bezprostředně po absolvování školení a nikoliv až s časovým odstupem, jako v případě zkoušky bezpečnostního poradce ADR. Vzhledem k náročnosti a rozsahu školení by bylo vhodné umožnit uchazečům zvolit termín zkoušky. Část otázek by v písemném testu měla být zaměřena na ověření znalostí uchazečů v oblasti eliminace rizika při přepravě nebezpečných věcí. Návrh úpravy ověření znalostí řidičů ADR bude součástí kapitoly č. **4.3.3** disertační práce.

Kromě školení bezpečnostních poradců a řidičů předepisuje mezinárodní Dohoda ADR školení ostatních osob podílejících se na přepravě. Tento požadavek se vztahuje na osoby, zaměstnance silničních dopravců nebo odesílatelů, personál provádějící nakládku nebo vykládku nebezpečných věcí. Řidiči provádějící přepravu nebezpečných věcí v některých režimech přepravy, na které není požadováno školení řidiče ADR v plném rozsahu (přeprava v množstvích nepřekračující limity na jednu dopravní jednotku, nebezpečné věci balené v omezených množstvích, balení ve vyňatých množstvích), musí absolvovat alespoň školení osob podílejících se na přepravě nebezpečných věcí. Osoby musí být vyškoleny podle své odpovědnosti a pracovní náplně. Školení musí být opakováno při každé změně předpisů a je prováděno bezpečnostními poradci ADR. Není požadováno žádné ověření znalostí účastníků školení.

V oblasti chemické legislativy je stěžejním předpisem **Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (8)** známé jako nařízení CLP (*Classification, Labelling and Packaging*). Nařízení přizpůsobilo legislativu EU Globálně harmonizovanému systému klasifikace a označování chemikálií (GHS) vyvinutého OSN. Účelem tohoto nařízení je harmonizace kritérií pro klasifikaci látek a směsí a pravidel označování a balení nebezpečných látek a směsí. Za tímto účelem jsou stanoveny povinnosti výrobcům, dovozcům, dodavatelům a případně uživatelům. Nařízení stanovuje požadavky na systém označování látek a směsí výstražnými symboly nebezpečnosti, signální slova, standardní věty o nebezpečnosti, tzv. H-věty a pokyny pro bezpečné zacházení tzv. P-věty. Toto nařízení se vztahuje na přepravu nebezpečných věcí pouze v případech uvedených v článku 33 - Zvláštní pravidla označování vnějšího obalu, vnitřního obalu a jednotlivého obalu (článek 1).

**Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), (9)** stanovuje mimo jiné povinnost registrace látek pro výrobce nebo dovozce látek, které jsou vyráběné v EU nebo do EU dovážené v množství větším než 1 tona ročně. Odesílatel musí posoudit svoji roli, a pokud se jedná přímo o výrobce látek, které podléhají registraci podle nařízení REACH, regulaci provést a dodržet všechna ustanovení požadovaná nařízením. Další významnou povinností stanovenou nařízením je tvorba tzv. „bezpečnostního listu“ (článek 31) včetně pokynů pro sestavení bezpečnostních listů (příloha II nařízení). Bod č. 14 bezpečnostního listu obsahuje informace pro přepravu. V případě, že je látka klasifikovaná jako nebezpečná podle Dohody ADR pro přepravu nebezpečných věcí po silnici, jsou v tomto bodě uvedeny informace o třídě

nebezpečných věcí, UN čísla, oficiálním pojmenování, obalové skupině a bezpečnostních značkách (příloha II, bod 14).

Mezi nebezpečné věci přepravované v souladu s Dohodou ADR spadají i některé odpady. Podle **zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech**, ve znění pozdějších předpisů (10) jsou původce a oprávněná osoba povinni, pro účely nakládání s odpadem, zařadit odpad do kategorie nebezpečný, pokud (§ 6)

- vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v přímo použitelném předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů (Nařízení komise EU č. 1357/2014),
- je uveden v katalogu odpadů jako nebezpečný odpad, nebo,
- je smíšen nebo znečištěn některým z odpadů uvedených v katalogu odpadů jako nebezpečný.

Zákon ukládá právnickým a fyzickým osobám oprávněným k podnikání, povinnost zabezpečit přepravu odpadů v souladu s požadavky stanovenými zákonem č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě, v platném znění a mezinárodní Dohodou ADR (§ 24 odst. 1 písm. a), uchovávat doklady, označit přepravní prostředek, vést evidenci a ohlašovat přepravované nebezpečné odpady v rozsahu stanoveném tímto zákonem (§ 24 odst. 1 písm. b až d).

**Nařízení komise EU č. 1357/2014** (11) kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech, uvádí vlastnosti odpadů, které jsou považované za nebezpečné. Nařízení stanovuje celkem 15 nebezpečných vlastností odpadů (výbušné, oxidující, hořlavé, dráždivé, toxické, karcinogenní, žíravé, infekční, mutagenní, ekotoxické apod.) a používá se přímo při určení nebezpečnosti odpadu. Nebezpečné vlastnosti odpadů jsou přesně definovány i podle standardních vět o nebezpečnosti.

**Vyhláška č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů** (12) stanovuje postup pro zařazení odpadu do katalogu odpadů. Jednotlivým odpadům jsou přiřazeny šestimístné kódy podle jejich vlastností. Nebezpečné odpady jsou označeny v katalogu odpadů symbolem „\*“. Nebezpečná vlastnost odpadu se posuzuje podle koncentrace látek v odpadech, nebo provedením zkoušky v laboratořích nebo odborných pracovištích. Kritéria ovšem nejsou identická s Dohodou ADR. Povinnost přepravovat odpad v souladu s požadavky mezinárodní Dohody ADR, je v případě překročení kritérií stanovených Dohodou ADR.

**Vyhláška č. 94/2016 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů** (13) stanovuje podmínky pověření k hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. Vyhláška určuje postupy hodnocení nebezpečných vlastností odpadů a jejich klasifikace. Nad rámec ostatních předpisů vyhláška upřesňuje klasifikační kritéria pro infekční odpady, ekotoxické odpady

a odpady schopné vykazovat při nakládání s nimi některou z nebezpečných vlastností, kterou v době vzniku odpad neměl.

**Vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady** ve znění pozdějších předpisů (14). Vyhláška stanovuje způsob ohlašování přepravy nebezpečných odpadů (§ 25). Ohlašovací list pro ohlášení přepravy nebezpečných odpadů od jednoho odesilatele k jednomu příjemci z jednoho nebo více míst nakládky do jednoho místa vykládky je uveden v příloze č. 26 této vyhlášky. Ve vyhlášce je taktéž uveden způsob označení míst pro soustředování nebezpečných odpadů.

Na rozdíl od hlášení přeprav nebezpečných odpadů, je hlášení přeprav nebezpečných věcí a následný monitoring vozidel v ČR předepsán pouze pro třídu 1 - Výbušné látky a předměty, na základě **zákona č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě** ve znění pozdějších předpisů (15). Podle § 25f zákona je stanovena oznamovací povinnost hlášení přeprav na Policejní prezidium České republiky. Od 1. ledna 2014 došlo ke změně ve způsobu hlášení přeprav na Policejní prezidium ČR. Policií ČR byl vytvořen nový elektronický formulář pro hlášení přeprav. Lokalizace vozidel probíhá pomocí systému GPS (*Global Positioning System*) a poloha vozidel je aktualizovaná v rozmezí 1 až 5 minut (16). **V rámci disertační práce bude v kapitole č. 4.3.6 navržena možnost rozšíření monitoringu vozidel přepravující výbušné látky a předměty i na přepravu ostatních nebezpečných věcí.**

V oblasti vzdělávání řidičů je v ČR stěžejní **zákon č. 247/2000 Sb. o získávání a zdokonalování odborné způsobilosti k řízení motorových vozidel**, ve znění pozdějších předpisů (17). Zákon upravuje odbornou způsobilost řidičů motorových vozidel, není tedy specificky zaměřen na problematiku přepravy nebezpečných věcí. Kromě výuky a výcviku k získání řidičského oprávnění včetně závěrečných zkoušek, zákon upravuje oblast odborné způsobilosti pro účely profesní způsobilosti řidičů. Obecně se s určitými výjimkami požadavek na odbornou způsobilost týká řidičů skupiny C1 (motorová vozidla s výjimkou traktorů, jejichž nejvyšší povolená hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 7 500 kg), C1+E (jízdni soupravy jejichž nejvyšší povolená hmotnost nepřevyšuje 12 000 kg), C, C+E, D1 (motorová vozidla s více než 8, ale nejvíce 16 místy k sezení včetně řidiče), D1+E, D nebo D+E. Školení odborné způsobilosti zahrnuje vstupní a následná pravidelná školení. Vstupní školení má časový rozsah 140 hodin a předmětem výuky a výcviku je získání a prohloubení následujících znalostí (§ 47):

- teorie pokročilého racionálního řízení a zásad bezpečné a defenzivní jízdy,



- uplatnění vnitrostátních a mezinárodních právních předpisů vztahujících se k silniční dopravě,
- bezpečnosti provozu a ekologického provozu vozidla,
- poskytování služeb a logistiky,
- hospodářského prostředí a organizace dopravního trhu,
- sociálně-právního prostředí v silniční dopravě,
- zdravotních rizik a jejich předcházení v provozu na pozemních komunikacích,
- prevence a řešení mimořádných událostí v provozu na pozemních komunikacích.

Zákon dále stanovuje požadavek na pravidelné školení, jehož účelem je prohloubení znalostí získaných při vstupním školení. Řidiči se zúčastní pravidelného školení v celkovém rozsahu 35 hodin do konce pátého roku od data vydání profesního průkazu. Pravidelné školení je rozděleno do ročních kurzů v rozsahu 7 hodin.

**Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích** ve znění pozdějších předpisů (18) stanovuje požadavek pro skupinu řidičů absolvovat dopravně psychologické vyšetření. Z řidičů, kteří by mohli potencionálně přepravovat nebezpečné věci, jsou povinni se podrobovat dopravně psychologickému vyšetření držitelé řidičského oprávnění pro skupinu C1+E, C nebo C+E, pokud řídí nákladní automobil o největší povolené hmotnosti převyšující 7 500 kg nebo speciální automobil o největší povolené hmotnosti převyšující 7 500 kg nebo jízdní soupravu, která je složena z nákladního automobilu a přípojného vozidla nebo ze speciálního automobilu a přípojného vozidla a jejíž největší povolená hmotnost převyšuje 7 500 kg (§ 87a). Pokud se na daného řidiče vztahuje povinnost absolvovat dopravně psychologické vyšetření, je povinen se vyšetření podrobit před zahájením výkonu činnosti, a dalšímu dopravně psychologickému vyšetření nejdříve šest měsíců před dovršením 50 let a nejpozději v den dovršení 50 let a dále pak každých pět let (15). Dopravně psychologického vyšetření musí v ČR absolvovat většina řidičů přepravujících nebezpečné věci. Povinnost se však nevztahuje na řidiče osobních vozidel s nejvyšší povolenou hmotností do 3 500 kg (řidičský průkaz skupiny B), ani řidiče nákladních vozidel s nejvyšší do 7 500 kg (řidičský průkaz skupiny C1). Uvedenými skupinami vozidel lze přepravit pouze menší množství nebezpečných věcí, než v případě standardně prováděné přepravy nebezpečných věcí nákladním vozidlem s návěsem či přívěsem.

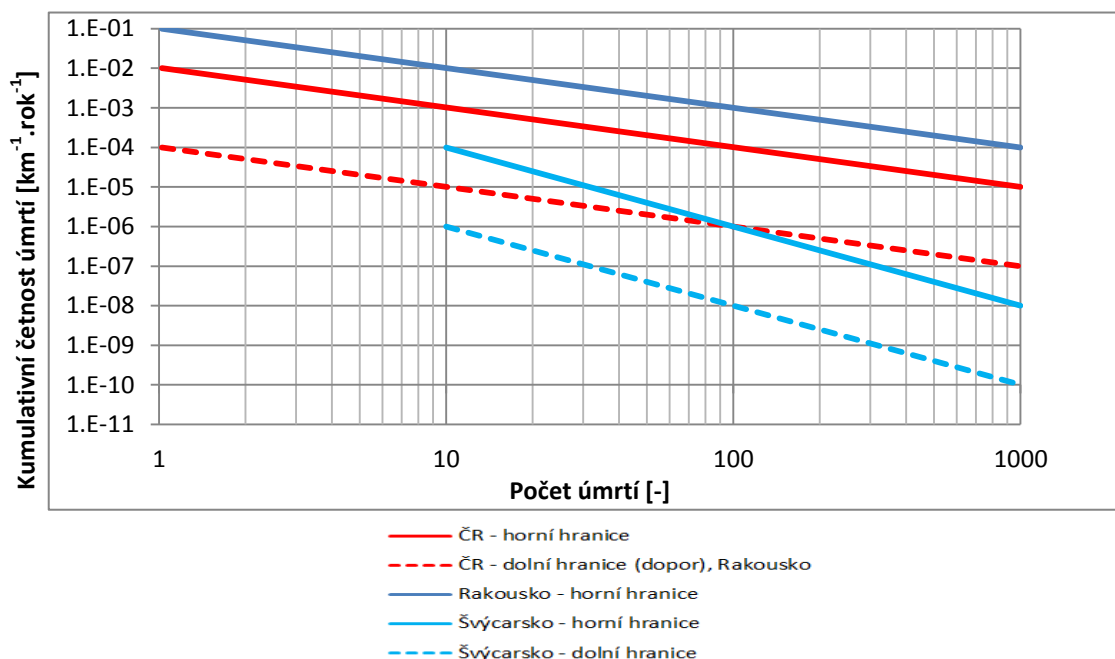
Další část předpisů ovlivňující riziko při přepravě nebezpečných věcí se týká pozemních komunikací. **Vyhláška č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích** (19) uvádí mimo jiné význam dopravních značek. Přeprava

nebezpečných věcí nesmí být prováděna na úsecích pozemních komunikací označených zákazovými dopravními značkami B18 a B19. Svislá dopravní značka B18 představuje „Zákaz vjezdu vozidel přepravujících nebezpečný náklad“. Tato značka zakazuje vjezd vozidlům, která přepravují výbušniny, snadno hořlavý nebo jinak nebezpečný náklad a jsou označena podle Dohody ADR. Svislá dopravní značka B19 „zakazuje vjezd vozidel přepravujících náklad, který může způsobit ohrožení životního prostředí“. Značka B19 dále zakazuje vjezd vozidlům přepravujícím ropu nebo ropné materiály nebo jiné látky, které by mohly způsobit ohrožení životního prostředí, zejména znečištění vody. Množství a popřípadě i povaha nákladu mohou být uvedeny na dodatkové tabulce (19).

Jedním z nejrizikovějších segmentů silniční sítě při přepravě nebezpečných věcí jsou silniční tunely. **Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích** ve znění pozdějších předpisů (20) udává povinnost vypracovat bezpečnostní dokumentaci silničních tunelů dle § 12a. Zákon pověřuje příslušný silniční správní úřad (Ministerstvo dopravy, krajský úřad, obecní úřad obce s rozšířenou působností) odpovědností za provoz tunelů, sestavením bezpečnostní dokumentace a koordinací zajištění bezpečného provozu. **Nařízení vlády č. 264/2009 Sb., o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delších než 500 metrů** (21), je prováděcím předpisem pro tvorbu bezpečnostní dokumentace silničních tunelů.

V návaznosti na uvedené předpisy vydalo Ministerstvo dopravy **Technické podmínky (TP) 229 Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací** (22). K těmto TP byl v roce 2016 vydán **dodatek č. 1** (23). Technické podmínky umožňují v několika krocích posuzovat stavební i technologické vybavení tunelu z hlediska bezpečnosti. V TP 229 jsou detailně popsány kvalitativní i kvantitativní metody hodnocení rizik silničních tunelů a jsou zde uvedeny hodnoty přijatelného individuálního a společenského (sociálního, skupinového) rizika, které budou využity jako referenční hodnoty v disertační práci v kapitole č. **4.2.1**. Společenské riziko je v TP 229 vyjádřeno pomocí F-N grafu s logaritmickými stupnicemi, kde na vodorovné ose  $x$  je počet úmrtí ( $N$ ) a na svislé ose  $y$  je kumulativní četnost těchto událostí (úmrtí) za jeden rok a kilometr délky tunelu ( $F$ ). Vztah je popsán křivkou  $F = A \cdot N^{-k}$ , kde horní přijatelná kumulativní pravděpodobnost  $A$  je rovna 0,01 a dolní je 0,0001. Exponent  $k = 1$ . Riziko je vyjádřeno pro jeden rok a jeden kilometr tunelu (20). Hranice přijatelnosti společenského rizika v silničních tunelech, stanovené pomocí F-N křivek, jsou pro vybrané země uvedené na obrázku 2. Pro Švýcarsko a Rakousko jsou závazné limity společenského rizika stanovené právními předpisy (22). V ČR je hranice přijatelnosti společenského rizika stanovena přísněji, než v Rakousku. Naopak ve Švýcarsku je maximální

hranice přijatelnosti společenského rizika stanovena ještě přísněji, než v ČR. Tamní tunely tedy musí splňovat pro přepravu nebezpečných věcí vyšší bezpečnostní standard, nebo musí být přeprava těchto věcí prováděna po alternativních objízdných trasách.



**Obrázek 2** Hranice společenského rizika v tunelech v ČR, Rakousku a Švýcarsku (TP229, 2015)

V EU byla schválena série legislativních opatření podporující prevenci a kontroly nebezpečných věcí po industriální havárii s únikem 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxinu (TCDD) v italském Sevesu v roce 1976 (24). Nejdříve byla schválena **směrnice Seveso 82/501/EEC** (25), následovaná směrnicí Seveso-II 96/82/ES zohledňující zkušenosti z dalších velkých havárií. Následně byla zrušena a nahrazena **směrnicí Seveso-III 2012/18/EU** (26) reflektující poslední změny v ostatní legislativě týkající se nebezpečných věcí. Směrnice se vztahují na průmyslové podniky, ve kterých se využívají nebo skladují nebezpečné věci ve velkých množstvích. **I když se směrnice (26) vztahuje na stacionární objekty, bude v rámci disertační práce řešena možnost transformace vybraných opatření na mobilní přepravu nebezpečných věcí.**

V souladu s uvedenou evropskou legislativou byl v ČR přijat **zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi** (27). Zákon předepisuje povinnosti a výkon státní správy v souvislosti s minimalizací rizika havárií v průmyslových podnicích. Zákon zařazuje podniky podle rizikovosti do skupin A a B. Detailní hodnocení rizik je vyžadováno pro průmyslové podniky zařazené do skupiny B a to v rámci zpracování bezpečnostní zprávy. Cílem je snížit pravděpodobnost vzniku závažných havárií a omezit případné následky závažných havárií

na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek v objektech a zařízeních a v jejich okolí.

V oblasti norem je v tématu disertační práce relevantní ČSN EN 31010 **Management rizik – Techniky posuzování rizik** (28). Norma je českou verzí evropské normy EN 31010:2010. Představuje základní rámcový návod k volbě a aplikaci systematických technik pro posuzování rizik. Posuzování rizik v souladu s touto normou přispívá ke zkvalitnění celkového managementu rizik. **Vybrané techniky identifikace a posuzování rizik budou použity v kapitole č. 4.1 disertační práce.**

Pro posouzení důležitosti řešit problematiku rizika v souvislosti se silniční přepravou nebezpečných věcí v rámci disertační práce, je důležité znát rozsah tohoto způsobu přepravy v ČR. Mezioborové srovnání přepravních výkonů je uvedené v tabulce 1.

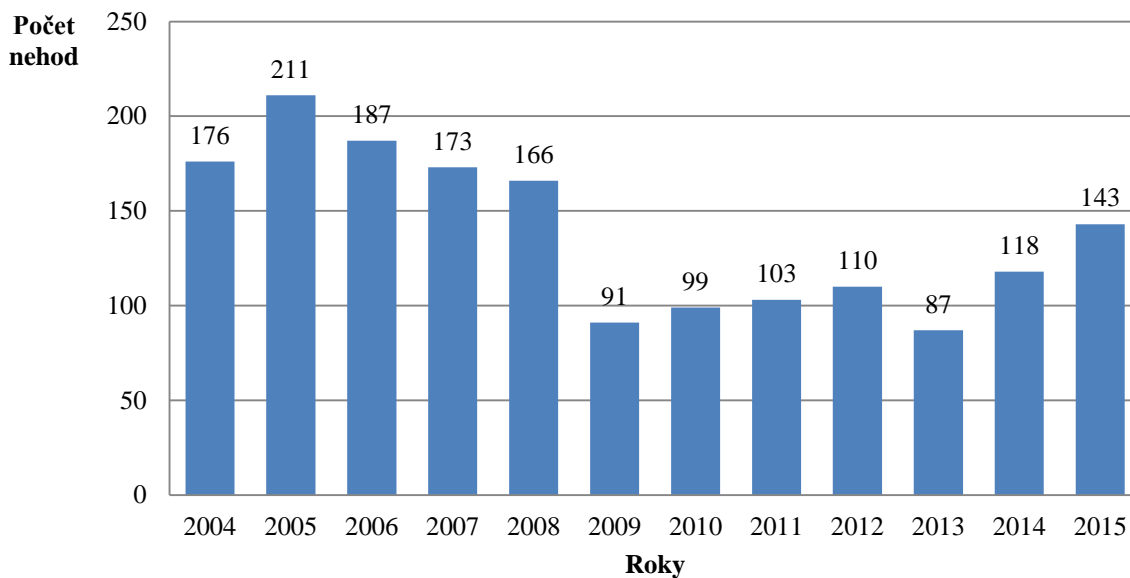
**Tabulka 1** Srovnání přepravních výkonů v ČR podle druhu dopravy

<b>Rok</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Druh dopravy</b>					
<b>Železniční doprava [mil. tkm]</b>	13 770	14 316	14 266	13 965	14 574
<b>Silniční doprava [mil. tkm]</b>	51 832	54 830	51 228	54 893	54 092
<b>Vodní doprava [mil. tkm]</b>	679	695	669	693	656
<b>Letecká doprava [mil. tkm]</b>	22	22	17	24	35
<b>Ropovody [mil. tkm]</b>	2 191	1 954	1 907	1 933	2 063
<b>Celkem [mil. tkm]</b>	68 494	71 817	68 087	71 508	71 420

Zdroj: (29)

Z tabulky 1 vyplývá, že dominantní podíl na celkové přepravě má silniční nákladní doprava, přičemž převaha tohoto druhu dopravy je dlouhodobý trend. Letecká a vodní nákladní doprava má v ČR pouze marginální podíl a přeprava ropovody má zcela odlišná specifika. Podle statistiky uvedené v (29) je podíl silniční přepravy nebezpečných věcí v EU o něco nižší než v ČR. Naopak je v EU výrazně vyšší podíl říční přepravy než v ČR. V tuzemských podmínkách je ovšem potenciál říční dopravy vzhledem ke geografickým a klimatickým podmínkám značně omezen. **Z toho důvodu bude disertační práce zaměřena právě na silniční dopravu nebezpečných věcí.**

Údaje o počtu dopravních nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR znázorňuje graf na obrázku 3.



**Obrázek 3** Počet nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR (prezentace Policie ČR, 2015)

Počínaje rokem 2009 došlo k výraznému snížení počtu nehod při přepravě nebezpečných věcí šetřených Policií ČR. Jedním z důvodů pravděpodobně bylo zvýšení částky hmotné škody na 100.000,- Kč, kdy mají řidiči povinnost hlásit dopravní nehodu Policii ČR. **Rok 2015 vykazoval opětovný nárůst nehod s účastí vozidla v přepravujícího nebezpečné věci ADR.**

V tabulce 2 jsou uvedeny konkrétní příklady závažných nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR.

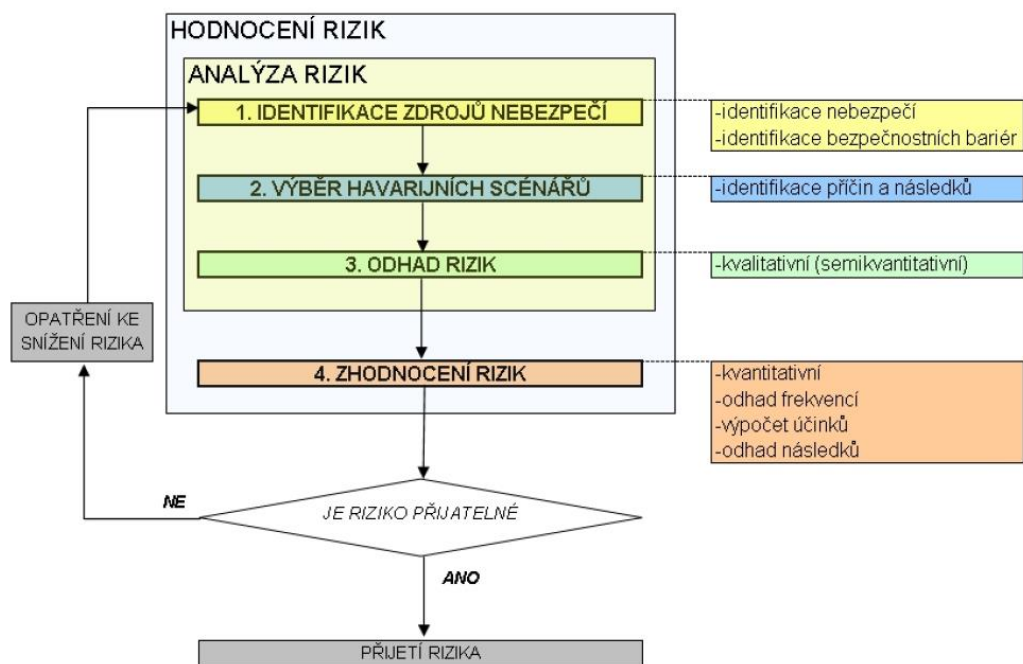
**Tabulka 2** Nehody při přepravě nebezpečných věcí v ČR

<b>Datum a místo události</b>	<b>Popis události</b>	<b>Následky</b>
15. 6. 2005 Hradec nad Moravicí	Nehoda cisternového vozidla přepravujícího zahřátou látku o teplotě 230°C (černá smola).	V důsledku nehody byla jedna osoba usmrcena a jedna těžce zraněna. Přepravovaná nebezpečná věc unikla do okolí.
1. 11. 2011 Slaný	Nehoda cisternového vozidla přepravujícího zahřátou látku (UN 3257).	Při nehodě došlo k úmrtí řidiče. Nebezpečná věc neunikla do okolí a byla přečerpána.
2. 5. 2011 Plzeň	Nehoda nákladního vozidla přepravujícího tlakové lahve: (2086 kg acetylénového plynu).	Po nehodě došlo k požáru. Během požáru docházelo k častým explozím hořících lahví, které byly roztroušeny kolem místa nehody. Řidič nebyl zraněn.
13. 7. 2011 Vilanec	Nehoda cisternového vozidla převážející propan – butan.	Při nehodě došlo k úmrtí řidiče. Nebezpečná věc neunikla do okolí.
22. 12. 2011 Sokolov	Únik nebezpečné věci (butylakrylát) z uvolněného horního poklopu cisterny.	Nehoda se obešla bez zranění. Došlo ke škodám na majetku – poškození povrchu pozemní komunikace.
21. 1. 2014 Říčany u Brna	Nehoda vozidla přepravujícího 19 000 litrů kyseliny chlorovodíkové v IBC kontejnerech.	Došlo k úniku 3 500 litrů kyseliny. Dálnice D1 byla uzavřena v jednom směru. Nehoda se obešla bez zranění.
11. 5. 2017 Jihlava	Nehoda vozidla přepravujícího kyselinu fosforečnou.	Došlo k úniku 3 500 litrů kyseliny. Dálnice D1 byla uzavřena v jednom směru. Byl poškozen povrch dálnice v délce 100 m.
3. 6. 2017 Prostějov	Nehoda cisternového vozidla přepravujícího žiravinu.	Došlo k úniku žíravé látky. Dálnice D46 byla obousměrně uzavřena na 21 hodin. Lehce zraněn řidič a jeden hasič. U řidiče zjištěny návykové látky.

Zdroj: autor na základě (31)

**Z uvedených příkladů závažných nehod vyplývá, že silniční přeprava nebezpečných věcí představuje pro okolí vysoké riziko v podobě potenciálního závažného dopadu na okolí. Proto by měla být vyvinuta iniciativa na snížení tohoto rizika na přijatelnou míru.**

Obecný postup hodnocení rizik závažných havárií je znázorněn na obrázku 4, který se zaměřuje na vysvětlení rozdílů mezi pojmy analýza rizik a hodnocení rizik. Uvedená metodika je využívána pro analýzu rizik v řadě oblastí (např. rizika přírodních katastrof, kritická infrastruktura, skladování látek, stacionární zdroje rizika apod.). **Navržený obecný postup bude využit v rámci disertační práce v kapitole č. 4.3.1 v návrhu algoritmu hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů při kvantifikaci rizika jednotlivých scénářů s akcentem na riziko lidského činitele (humánní rizika).**



**Obrázek 4** Obecný postup hodnocení rizik (Bernatík, 2006)

V literatuře (32) jsou taktéž popsány základní vzorce pro určení rizika, které budou autorem této práce aplikovány i na riziko v souvislosti s přepravou nebezpečných věcí. Výpočet obecného rizika je uveden ve vzorci 1. Výstupní frekvence nehodovosti a pravděpodobnosti úniku nebezpečné látky na určitém úseku je stanovena podle vzorce 2.

$$R = \sum_{r=1}^n P_r \cdot C_r \quad [-] \quad (1)$$

kde:

$R$  ... risk [-]

$P_r$  ... pravděpodobnost rizika [-]

$C_r$  ... dopady rizika [-]

$$P_r = \sum_{a,j=1}^n P_{ar} \cdot P_{jr} \quad [\text{vozidlo.km/rok}] \quad (2)$$

kde:

$P_r$  ..... pravděpodobnost rizika [vozidlo.km/rok]

$P_{ar}$  ..... pravděpodobnost nehody  $a$  na úseku komunikace  $r$  [vozidlo.km/rok]

$P_{jr}$  ... pravděpodobnost nehodového scénáře  $j$  v důsledku nehody [-]

Problematicke stanovení míry rizika se podrobně věnuje (33). Přijatelná úroveň rizika se odvozuje od rizik, kterým jsou vystaveni lidé v běžném životě. Veřejnost ovšem ochotněji akceptuje relativně vysoké riziko z aktivit, kterých se zúčastňuje dobrovolně, než riziko

spojené např. s chemickým provozem. Riziko z dobrovolných aktivit přitom bývá až o tři řády vyšší. V literatuře (33) je popsán taktéž koncept ALARP (*as low as reasonably practicable*). Výsledky rizikové analýzy mohou spadat do kategorie přijatelného rizika (výsledné riziko je nižší než dolní hranice kritéria), do kategorie nepřijatelného rizika (výsledné riziko je vyšší, než je horní hranice kritéria). Přijatelné hodnoty rizika jsou obvykle vyznačeny oběma hranicemi. Interval mezi nimi je označován jako ALARP. Pokud riziko leží blíže k horní hranici, je vhodné řešit jeho případné snížení, které ale musí být efektivní, z hlediska nákladů ve vztahu ke snížení rizika. **V disertační práci budou v kapitole č. 4.2.1 použity navržené úrovně přijatelnosti rizika a zohledněné popsané faktory pro stanovení přijatelné míry rizika přepravy ADR. Bude využit taktéž koncept ALARP pro vyhodnocení navržených opatření snižující riziko při této přepravě v ČR.**

Řada dalších tuzemských autorů se ve svých vědeckých studiích systematicky věnuje riziku spojenému s přepravou nebezpečných věcí. Základní kvalitativní nástroj k hodnocení rizika předem stanovené oblasti je Kontrolní seznam (*Check list*). Strukturovaná forma umožňuje upozornit na možná rizika při první, nebo i pravidelně opakované inspekci systému. Seznamy kontrolních otázek musí být předem připraveny (34). Aplikace této metody v oblasti přepravy nebezpečných věcí je uvedena v (35), kde je popsán procesní model tvorby kontrolního seznamu:

- krok 1 – Zaměření kontrolního seznamu, specifikace chráněného zájmu či souboru chráněných zájmů, specifikace využití, specifikace a zdůvodnění kritérií nutných při vytváření kontrolního seznamu,
- krok 2 – Stanovení problémových okruhů kontrolního seznamu, studium literatury, diskuse s odborníky, sestavení modelů posuzovaného objektu (mapa, procesní model), seznam kritérií pro otázky,
- krok 3 – Klasifikace a uspořádání problémových okruhů do kategorií, sestavení problémových okruhů podle určených kritérií a kritických míst, rozdělení problémových okruhů do kategorií, uspořádání otázek v rámci kategorií a určení pořadí kategorií, rozdělení váhy důležitosti mezi kategorie a následně mezi problémové okruhy v rámci kategorií, návrh kritérií hodnocení používaných v kontrolním seznamu.
- krok 4 – Testování srozumitelnosti a vhodnosti formulace otázek, revize a úprava kontrolního seznamu.
- krok 5 – Souhrnné hodnocení.



**V disertační práci bude použita metoda „Kontrolní seznam“ v kapitole č. 4.1.1 pro identifikaci skutečných příčin předchozích dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí.**

Další metoda rizikové analýzy – Co se stane, když (*What, If*), je popsána a aplikována v šetření dopravních nehod s přítomností nebezpečných věcí v ČR (36) a (37). Metoda umožňuje hledání možných dopadů situací na základě kladení otázek, Co se stane, když. Výsledkem je seznam událostí, které mohou nastat. Autoři použili metodu na identifikaci důsledků nehody při přepravě vysoce hořlavé kapaliny – technického benzínu ve vybrané lokalitě. Jednotlivé scénáře událostí získané touto metodou autoři rozdělili do následujících oblastí chráněného zájmu (37):

- dopady na životy a zdraví lidí,
- dopady na bezpečí lidí,
- dopady na majetek,
- dopady na životní prostředí,
- dopady na infrastruktury a technologie.

**V disertační práci bude použita metoda „Co se stane, když“ v kapitole č. 4.1.2 pro identifikaci rizika při přepravě nebezpečných věcí.**

Pro hodnocení dopadu činnosti člověka na funkčnost systému se využívá metoda Analýzy lidské spolehlivosti (HRA – *Human reliability assessment*). Pravděpodobnost lidské chyby je funkcí faktorů lidské výkonnosti (*performance shaping factors*). Faktorů je v různých metodách, aplikovaných na řadu specifických provozů, popsáno více než 60. V odborné literatuře však není konsenzus, které faktory by měly být použity v „Analýze lidské spolehlivosti (HRA)“, ani kolik by jich mělo být použito (38). Počet použitých faktorů u jednotlivých přístupů osciluje mezi extrémy 1 až 50. Příliš vysoký počet faktorů se však ukazuje spíše kontraproduktivní. Většina přístupů proto využívá 5 až maximálně 15 faktorů (38).

**V disertační práci bude použita metoda „Analýzy lidské spolehlivosti“ v kapitole č. 4.1.4 pro hodnocení dopadů činnosti člověka na bezpečnost přepravy nebezpečných věcí.**

Hodnocením rizika při přepravě nebezpečných věcí s využitím geografického informačního systému (GIS) se zabývá (39). Uvádí postup výpočtu probitové funkce, jejíž hodnota je závislá na koncentraci nebezpečné věci v bodě a době trvání expozice. Individuální riziko v bodě o určité vzdálenosti od trasy přepravy nebezpečných věcí, je součtem

individuálních rizik jednotlivých úseků trasy determinovaných funkcí zohledňující délku úseku a vzdálenost od osoby vystavené individuálnímu riziku. Výpočet je uvedený ve vzorci 3.

$$IR(A) = \sum_{i=1}^n F_i L_i P_{ef} \left( \sqrt{(x_A - x_i)^2 + (y_A - y_i)^2} \right)_i [-] \quad (3)$$

kde:

IR(A) ... individuální riziko v bodě A [-]

$F_i$  ..... očekávaná frekvence události [událost/rok]

$L_i$  ..... délka úseku  $i$  [km]

$P_{ef}$  ..... jednotné individuální riziko [-]

$x_i, y_i$  ..... souřadnice centra úseku  $i$  [-]

Společenské riziko pro obyvatelstvo v celém okolí trasy lze zjednodušeně určit podle vzorce 4.

$$SR = \sum \left( IR_j \sum (H_{i,j} \cdot h_i) \right) [-] \quad (4)$$

kde:

SR ... celkově společenské riziko přepravy nebezpečných věcí na trase [-]

$IR_j$  ... celkové individuální riziko na homogenním úseku  $j$  [-]

$H_{i,j}$  ... hustota obyvatelstva v kategorii  $i$  na homogenním úseku  $j$  [-]

$h_i$  ..... koeficient vyjadřující stupeň ochrany osob v kategorii  $i$  [-]

**V disertační práci bude v kapitole č. 4.2.1 v souladu s navrženým postupem hodnoceno nejen individuální a společenské riziko pro obyvatelstvo, ale taktéž budou v kapitole č. 4.2.3 stanoveny indexy zranitelnosti pro ostatní biotické složky prostředí. V rámci disertační práce bude v kapitole č. 4.3.4 vypracována metodologie rozdělení přepravní trasy na úseky s rozličnou mírou rizika, vyjádřenou jako pravděpodobnost havárie na jednotku délkového úseku.**

Postup kalkulace rizika dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí je představen taktéž v (40). Autoři vycházeli z údajů o nákladní dopravě v ČR z celostátního sčítání dopravy prováděného v roce 2010 a z Ročenky dopravy 2010. I když jsou uvedené zdroje dat zatíženy určitou statistickou chybou, jedná se o statisticky vhodná data o intenzitě nákladní dopravy v ČR využitelná k řešení této problematiky. **Proto v rámci disertační práce budou využity stejné zdroje dat, přičemž budou použita nejaktuálnější dostupná data o nákladní dopravě v ČR** (Celostátní sčítání dopravy bylo provedeno v roce 2016, Ročenka dopravy je publikována s roční periodicitou).

Postup při modelování tras při přepravě nebezpečných věcí je podrobně popsán v (41). Jsou zde představena kritéria pro vyloučení přeprav nebezpečných věcí na daném úseku, zohledňující legislativní specifika ČR. **V disertační práci budou tato specifika aktualizována a použita jako omezující podmínka pro výběr vhodné přepravní trasy v kapitole č. 4.3.5.**

Jednomu z nejrizikovějších segmentů silniční dopravní infrastruktury při přepravě nebezpečných věcí – silničním tunelům se věnuje (42). V práci je přehledně popsána legislativa včetně příslušných norem a technických podmínek v oblasti silničních tunelů v ČR. Autor popisuje taktéž postupy pro aplikaci pravděpodobnostních a deterministických metod analýzy rizika. **Specifika jednotlivých metod analýzy rizika budou zohledněna při návrhu umístění dopravních značek regulující přepravu nebezpečných věcí v kapitole č. 4.1.**

Samostatnou kapitolou v analýze a hodnocení rizika je využití softwarových nástrojů. V ČR byl vyvinut společností TLP, spol. s r.o. SW ROZEX Alarm (43). Tento SW umožňuje modelovat úniky nebezpečných chemických látek, vytvářet prognózy havarijních projevů a rychle generovat potřebné informace pro zasahující složky Integrovaného záchranného systému (IZS). Program vedle charakteristik toxických látek pracuje i s GIS systémy a umožňuje zobrazení zón ohrožení v mapovém podkladu.

Dalším SW v této oblasti je TEREEX (44). Program umožňuje okamžité vyhodnocení dopadů úniku nebezpečných chemických látek, nebo výskytu nástražného výbušného systému. Modeluje a simuluje krizové situace. Umožňuje rychlé rozhodnutí v případě krize. Pomáhá při plánování, výuce a cvičení zejména pro složky IZS, podniky, státní správu a samosprávu.

Pod správou republikového koordinačního střediska UNIPETROL RPA, s.r.o. vznikl Transportní informační nehodový systém (TRINS), (45). Poskytuje prostřednictvím svých středisek nepřetržitou pomoc při řešení mimořádných událostí spojených s přepravou a skladováním nebezpečných látek na území ČR.

Informační systém DOK (IS DOK), (46) je evidencí krizových situací v dopravě. IS DOK je určený pro evidenci a zvyšování bezpečnosti při přepravách nebezpečných věcí v silniční, železniční a vodní dopravě. Jeho hlavní náplní je komplexní informační podpora v případě mimořádných událostí a nehod s možnými ekologickými následky.

## 1.2 Analýza současného stavu v zahraničí

Zahraniční autoři se shodují, že dopravní nehody při přepravě nebezpečných věcí mohou negativně postihnout osoby (uživatelé komunikací a obyvatelstvo podél přepravních tras), infrastrukturu (dopravní, energetickou, telekomunikační apod.) a životní prostředí (environmentální dopady úniku, kontaminace vodních zdrojů), (47).

Celkové riziko při přepravě nebezpečných věcí závisí na frekvenci a dopadech dopravních nehod.

Mezi faktory ovlivňující riziko vzniku dopravní nehody mimo jiné patří (48, 49):

- intenzita dopravy,
- kategorie komunikace (dálnice, městská a meziměstská komunikace, atd.),
- charakteristika úseku komunikace (přímý, zatáčka, tunel, most atd.),
- geometrické parametry vozovky, sklonu, počet a šířka jízdních pruhů,

Mezi faktory ovlivňující dopady dopravní nehody při přepravě nebezpečných věcí mimo jiné patří (50, 51):

- druh přepravované nebezpečné věci,
- průběh nehody a množství uniklé nebezpečné věci,
- charakter okolí nehody (hustota obyvatelstva, přítomnost vodních zdrojů),
- aktuální klimatické podmínky.

Kvantitativní postupy hodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí popisuje v komplexním pohledu např. monografie (52). Autoři věnují velkou pozornost silniční přepravě nebezpečných věcí i přepravě po železnici na příkladu zkušeností z USA či Velké Británie. Poznatky směřují k tvorbě postupů v risk managementu. V monografii je navržena metodologie pro porovnání rizika přepravy nebezpečných věcí na alternativních přepravních trasách. Pro každou přepravovanou nebezpečnou věc (nebo kategorii nebezpečných věcí) je nutné stanovit veškeré scénáře nehody, pravděpodobnost jednotlivých scénářů a rádius dopadu (úmrťi či poškození zdraví) každého nehodového scénáře. V následujícím kroku je nutné stanovit index zranitelnosti přepravované nebezpečné věci (nebo kategorie nebezpečných věcí) podle vzorce 5.

$$IZ_{NV} = \sum_{j=1}^n \pi \cdot r_j^2 \cdot P_{sj} \quad [m^2] \quad (5)$$

kde:

$IZ_{NV}$  ... plošný index zranitelnosti přepravované nebezpečné věci [ $m^2$ ]

$r_j$  ..... poloměr oblasti se zraněním osob v případě nehodového scénáře  $j$  [ $m$ ]

$P_{sj}$  .....pravděpodobnost nehodového scénáře  $j$  [–]

Pro porovnání jednotlivých alternativních tras je dále nutné vynásobit index zranitelnosti s pravděpodobností nehody a hustotou zalidnění v okolí jednotlivých úseků přepravní trasy podle vzorce 6.

$$N_{zran} = IZ_{NV} \sum_{i=1}^n P_{ai} \cdot D_i \text{ [počet zraněných]} \quad (6)$$

kde:

$N_{zran}$ ... počet zraněných v důsledku přepravy na trase [počet zraněných]

$IZ_{NV}$  ... plošný index zranitelnosti přepravované nebezpečné věci [ $m^2$ ]

$P_{ai}$  ..... pravděpodobnost nehody na úseku přepravní trasy  $i$  [–]

$D_i$  ..... hustota zalidnění obyvatelstva v okolí úseku  $i$  [počet obyvatel/ $m^2$ ]

Výběr přepravní trasy je prováděn individuálně na základě různých kritérií optimality. Například autoři (53) zvolili čtyři kritéria (zdravotní riziko v souvislosti s únikem nebezpečné věci při nehodě, náklady způsobené potenciálním zdržením, přepravní náklady na dané trase, vzdálenost zranitelných oblastí od trasy). Subjekty zapojené do rozhodovacího procesu při volbě přepravní trasy silniční přepravy nebezpečných věcí, mohou mít odlišné priority. Jedním ze způsobů ohodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí pro jednotlivé různorodé složky je monetizace škod v souvislosti s únikem nebezpečné věci. **Z hodnocení autorů plyne, že optimální trasa přepravy nebezpečné věci nemusí být nutně nejlepší v každém parametru. Při vlastní realizaci přepravy však dochází k případům, kdy zvolená trasa, která je optimální např. z ekonomického hlediska, nemusí být optimální z hlediska minimalizace rizika.** Tomuto fenoménu bude věnován prostor i v rámci disertační práce. V kapitole č. 4.3.5 budou navrženy možnosti řešení této situace.

Dalším prostředkem hodnocení míry rizika přepravy nebezpečných věcí může být vizualizace takového rizika v mapových podkladech. Na příkladu Flander je to ukázáno v (54). Práce se soustřeďuje na dvě složky: hodnocení pravděpodobnosti nehody a na hodnocení následků nehody. Globální riziková mapa přepravy nebezpečných věcí je agregací:

- mapy pravděpodobností nehody, která zobrazuje pravděpodobnost výskytu nehody podél přepravní trasy,
- mapy dopadů nehody, která zobrazuje počet potenciálních obětí podél přepravní trasy v závislosti na druhu přepravované nebezpečné věci.

Postup tvorby globální rizikové mapy je popsán v následujících krocích:

- segmentace trasy na úseky stejné délky pro všechny trasy a přepravní módy,

- určení pravděpodobnosti vzniku nehody pro jednotlivé dopravní módy a tvorba mapy pravděpodobností výskytu nehod,
- určení zasažené oblasti v okruhu od středu úseku a poloměru odpovídajícímu riziku přepravované nebezpečné věci,
- stanovení dopadů na základě hustoty zalidnění v okolí trasy a tvorba mapy dopadů nehod,
- určení rizika pro každý segment je součinem pravděpodobnosti a dopadů nehod pro jednotlivé nebezpečné věci a dopravní módy a tvorba mapy globálního rizika agregací jednotlivých rizik.

Autoři při určení pravděpodobnosti nehody vycházeli z frekvence nehod při přepravě nebezpečných věcí na jeden tunokilometr (tkm), se zohledněním místních podmínek. Všeobecná pravděpodobnost dopravní nehody je značně ovlivněna místními rizikovými faktory v podobě infrastrukturních a dopravních parametrů. Porovnáním lokálních dopravních podmínek vedoucích k nehodám s průměrnými podmínkami v celé oblasti získali autoři koeficienty, kterými zohledňují rozdíly ve funkci pravděpodobnosti dopravní nehody podle lokálních parametrů. Při kalkulaci lokálních parametrů autoři vycházeli z Poissonova rozdělení pravděpodobnosti. Výpočet lokálního parametru je uveden ve vzorci 7.

$$C_{loc} = \frac{y_{loc}}{y_{avg}} = \frac{e^{(b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_{iloc})}}{e^{(b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_{iavg})}} [-] \quad (7)$$

kde:

$C_{loc}$  ... lokální parametr [-]

$y_{loc}$  ... počet nehod na lokálním úseku dané délky [-]

$y_{avg}$  ... průměrný počet nehod na celé síti [-]

$b_0$  ..... průsečík [-]

$b_i$  ..... regresní koeficient pro infrastrukturní parametr [-]

$x_{iavg}$  ... průměrná hodnota infrastrukturního parametru [-]

$x_{iloc}$  ..... hodnota infrastrukturního parametru zkoumaného úseku [-]

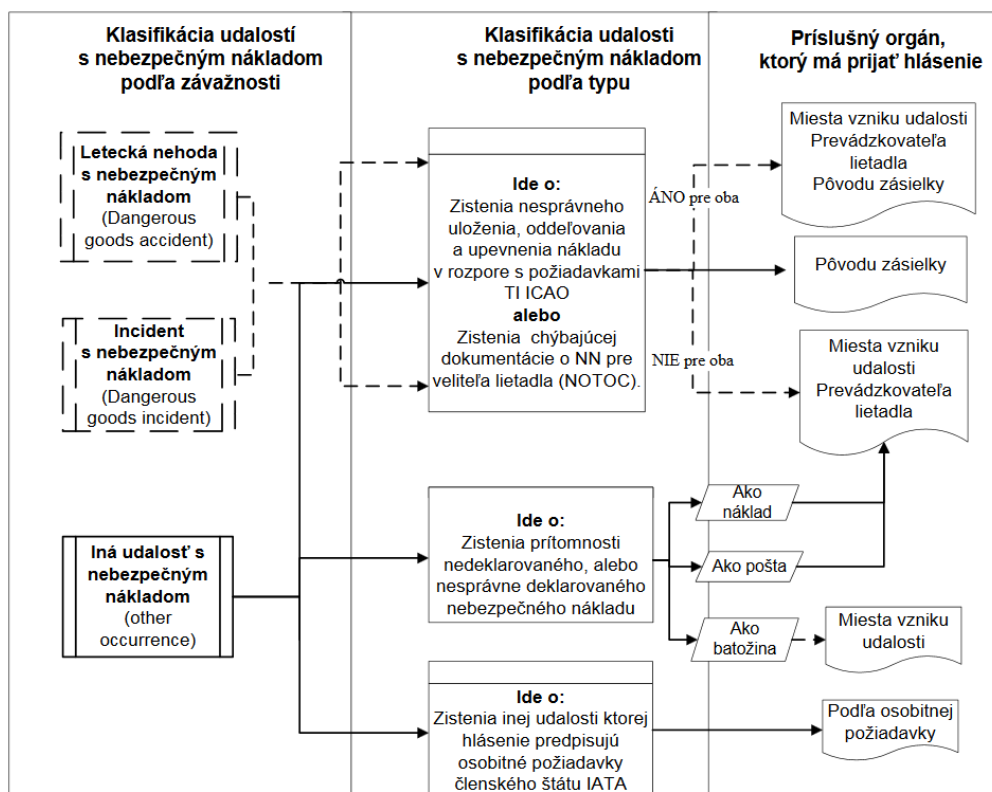
V evropském kontextu je podnětná studie (55), ve které autoři provedli analýzu rizika přepravy (obecně, nikoli jen nebezpečných věcí) po silnici a železnici. Připomínají mimo jiné skutečnost, že hodnocení rizikovosti bylo většinou věnováno speciálním místům, jako jsou tunely či mosty. Smyslem těchto hodnocení bylo vytvoření znalostní základny pro rozhodovací procesy, ale také pro rizikovou komunikaci – její bezproblémové fungování se v případě havárií jeví jako nezbytné pro snížení škod. **Autoři dále poznamenávají, že důležitým aspektem hodnocení rizika je vliv lidského faktoru (spolehlivosti), který do značné míry může dopadat na míru rizika přepravy. Vliv lidského faktoru na riziko při přepravě nebezpečných věcí je proto detailně zkoumán v rámci disertační práce.**

Riziku přepravy nebezpečných věcí po železnici se velmi podrobně věnuje (56). Autoři navrhli následující členění rizik:

- rizika související s přepravním procesem,
- riziko v okolí dopravního systému,
- riziko dopravní infrastruktury,
- riziko v řízení železniční dopravy,
- riziko způsobené železničním dopravním prostředkem,
- riziko způsobené člověkem,
- riziko hospodářského charakteru.

**V disertační práci budou tyto oblasti rizika použity v kapitole č. 4.1 jako výchozí pro příslušnou modifikaci a identifikaci rizik v silniční přepravě nebezpečných věcí.**

Riziko v souvislosti s přepravou nebezpečných věcí leteckou dopravou je analyzováno v (57). Je zde popsán systém hlášení a analyzována možnost využití informací o událostech s nebezpečným nákladem – obrázek 5. Program managementu rizik letecké dopravy využívá tato hlášení pro snížení rizik v budoucnu.



**Obrázek 5** Systém hlášení událostí s nebezpečnou věcí v letecké dopravě (Fojtíková, 2015)

**V rámci disertační práce bude posouzena možnost využít některé principy hlášení incidentů v letecké přepravě i v podmínkách silniční přepravy.**

Rizika přepravy nebezpečných věcí v USA vyhodnotila rozsáhlá studie provedená organizací *Argonne National Laboratory* (58). Cílem tohoto hodnocení rizik přepravy nebezpečných věcí byla kvantitativní charakteristika rizik spojených s přepravou vybraných nebezpečných věcí na národní úrovni. Ve studii byly navrženy postupy uvedené v tabulce 3, doporučující vybrané metody analýzy rizika pro specifické případy nehod. **V tabulce 3 jsou zvýrazněné metody, které budou využity v disertační práci pro identifikaci nebezpečí v kapitole č. 4.1 a analýzu dopadů v kapitole č. 4.2.**



**Tabulka 3** Doporučené metody hodnocení rizika

Metoda	Druh nehody						Modelové aspekty				
	Narušení bez nehody	Nehody	Požár	Výbuchy	Únik toxických látek	Přírodní události	Identifikace nebezpečí	Kalkulace frekvence	Fyzikální efekty	Poškození	Evakuace
<i>Identifikace nebezpečí</i>											
<b>Kontrolní seznam</b>	Obecně aplikovatelné metody.						x				
<b>Analýza stromu poruchových stavů (FTA)</b>							x	x			
Analýza stromu poruchových událostí (ETA)								x	x	x	
Analýza vztahu příčina-následek							x				
<b>Analýza „co se stane, když“</b>							x				
Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)							x				
<b>Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA)</b>							x				
<i>Deterministické hodnocení bezpečnosti</i>											
Maximální důvěryhodný scénář nehody	Obecně aplikovatelné metody.										
Analýza scénářů v silničních tunelech (Nizozemí)	x	x	x	x	x		x		x	x	x
Model důsledků v tunelu			x						x	x	x
SIMULEX		x		x							x
<i>Probabilistické hodnocení rizika</i>											
<b>Analýza stromu poruchových stavů (FTA)</b>	Obecně aplikovatelné metody.						x	x			
Analýza stromu poruchových událostí (ETA)								x	x	x	
<b>QRAM</b>			x	x	x		x	x	x	x	
TUSI (Norsko)	x	x	x					x			
<b>QRA</b>			x	x			x	x	x	x	x
Tun-PRIM	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Probabilistický model tunelu (TNO)			x	x				x	x	x	x

Zdroj: (58) překlad autorem s využitím terminologie v (20)

Velmi komplexní metodiku pro kalkulaci rizika přináší holandská metodika (59). Metodika popisuje rizika manipulace, dopravy a skladování nebezpečných věcí. V rámci

disertační práce bude využita část 2 metodiky zaměřená na přepravu nebezpečných věcí. Metodika určuje riziko obdobně jako řada dalších autorů v podobě individuálního a společenského rizika. V metodice jsou doporučované přijatelné hodnoty společenského rizika přepravy nebezpečných věcí silniční, železniční a vnitrozemskou vodní dopravou, vyjádřené intenzitou přepravy nebezpečných věcí. V případě překročení stanovených limitů je doporučováno provedení detailní analýzy rizik. Hranice pro silniční dopravu jsou uvedeny v tabulce 4.

**Tabulka 4** Intenzity přepravy nebezpečných věcí nepřekračující společenské riziko

Hustota zalidnění [osoby/100 m <sup>2</sup> ]	Intenzita vozidel přepravující nebezpečných věcí [vozidla/rok]					
	Osídlení zejména v okolí jedné strany komunikace.			Rovnoměrné osídlení v okolí obou stran komunikace.		
	Dálnice	Meziměstské komunikace	Městské komunikace	Dálnice	Meziměstské komunikace	Městské komunikace
100	2 500	900	3 500	625	225	875
80	4 000	1 500	5 000	1 000	375	1 250
60	7 500	2 500	9 000	1 875	625	2 250
40	16 500	6 000	20 500	4 125	1 500	5 125
20	66 500	23 500	82 000	16 625	5 875	20 500

Zdroj: autor na základě (59)

Metodika dále při vlastní detailní analýze rizik doporučuje vstupní hodnoty pravděpodobnosti rizika dopravní nehody s únikem nebezpečné věci stanovené podle vzorce 2. Tyto vstupní hodnoty pro únik alespoň 100 kg přepravované nebezpečné věci jsou uvedené v tabulce 5. Hodnoty byly odvozené na základě statistiky počtu dopravních nehod s úniky nebezpečných věcí za sledované období v Holandsku.

**Tabulka 5** Riziko nehody s únikem nebezpečné věci

Typ komunikace	Pravděpodobnost rizika nehody s únikem nebezpečné věci [1/vozokilometr]	
	Přetlak v nádrži	Atmosférický tlak v nádrži
Dálnice	$4,32 \cdot 10^{-9}$	$8,38 \cdot 10^{-9}$
Meziměstské komunikace	$1,22 \cdot 10^{-8}$	$2,77 \cdot 10^{-8}$
Městské komunikace	$3,54 \cdot 10^{-9}$	$1,24 \cdot 10^{-8}$

Zdroj: (59)

Při detailní analýze rizika je doporučeno použít pravděpodobnosti úniku nebezpečné věci pro danou lokalitu. Vzhledem k tomu, že počet nehod při přepravě nebezpečných věcí je relativně nízký, je určení specifického parametru lokality komplikované. Metodika připouští použít data o všech dopravních nehodách s následkem poškození zdraví. Nehodovost s únikem nebezpečných věcí může být odvozena ze základních doporučených hodnot

v tabulce 5, vynásobených faktorem poměru nehod s poškozením zdraví ve sledované lokalitě s průměrnou nehodovostí na daném typu komunikace v celém státě. **Obdobný postup bude použit v kapitole č. 4.3.4 disertační práce pro stanovení indexů zranitelnosti obyvatelstva.**

Metodika se kromě určení pravděpodobnosti vzniku rizika věnuje i dopadům. V oblasti hořlavých kapalin a plynů stanovuje doporučené pravděpodobnosti vznícení přepravované látky. Důležitým faktorem stanovení rozsahu dopadu nehody je její průběh, přičemž metodika rozlišuje následující typy průběhu požárů (překlad autorem s využitím terminologie v (60)):

- toxická expozice,
- událost, která je výsledkem náhlé poruchy tlakové nádoby, obsahující kapalinu při teplotě podstatně vyšší, než je její bod varu při normálním atmosférickém tlaku. Výsledkem je vznik a šíření tlakové vlny a rozlet fragmentů. V případě hořlavých kapalin navíc dojde k vytvoření velkého mraku ve tvaru koule s intenzivní tepelnou radiací. *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE)*,
- požár unikajícího plynu (nebo dvoufázové směsi kapaliny a plynu) z otvoru, za podmínek významné hybnosti (*jet fire*),
- požár par, které se vypařují z hladiny kapaliny (*pool fire*),
- požár mraku tvořeného hořlavými parami, plynem nebo aerosolem ve směsi se vzduchem (v rozsahu mezi hořlavostí), při kterém lineární rychlost šíření plamene není dostatečně velká, aby byl generován významný přetlak (*flash fire*),
- exploze.

**Jednotlivé scénáře průběhů nehody včetně průběhu požáru budou v disertační práci použity pro stanovení zón ohrožení v kapitole č. 4.2.2.**

Výběr optimální trasy se z pohledu hodnocení rizika stává komplexnějším v případě přepravy silničními tunely. Jedním ze základních dokumentů celosvětového významu, popisující postupy analýzy rizika přepravy nebezpečných věcí v silničních tunelech je metodika světové silniční asociace *Permanent International Association of Road Congresses (PIARC)*, (61). V metodice jsou uvedeny zejména kvantitativní postupy pro hodnocení individuálního a společenského rizika spojeného s touto přepravou v silničních tunelech.

Individuální riziko jednotlivce je determinováno pravděpodobností vzniku nehodové události a pravděpodobností expozice jedince nehodové události. Dále je ovlivněno dopady,

jež jsou popsány rozdílnými indikátory poškození (úmrť, zranění, ztráta příležitosti, příjmu apod.) a jejich zranitelností. Matematicky je vztah vyjádřen ve vzorci 8.

$$R_i = p_s \cdot p_e \cdot k \cdot \varphi_k [-] \quad (8)$$

kde:

$R_i$  ... individuální riziko [-]

$p_s$  ... pravděpodobnost nehodového scénáře [-]

$p_e$  ... pravděpodobnost expozice osoby nehodovému scénáři [-]

$k$  ... indikátor poškození [-]

$\varphi_k$  ... zranitelnost [-]

V oblasti společenského rizika metodika uvádí nejčastější formy vyjádření tohoto rizika:

- F-N křivky,
- očekávané riziko,
- vnímané riziko,
- monetární riziko.

**Metoda F-N křivek** byla pro svoji komplexnost transponována do vnitrostátních TP 229 (22) a **bude proto použita i v rámci disertační práce pro vyjádření distribuce obětí v tunelech i na ostatních úsecích pozemních komunikací v kapitole č. 4.2.1.**

Metoda stanovení očekávaného rizika vyjadřuje dlouhodobý statistický průměr očekávaných úmrtí za rok v určitém systému, např. tunelu. Výhodou této metody je vyjádření rizika pomocí jednoho čísla. Tento fakt ovšem působí i jako nevýhoda, jelikož může skrýt důležité aspekty specifického rizikového profilu tunelu. Tato metoda považuje všechny dopady za stejně důležité bez ohledu na počet obětí, které mohou být způsobeny v důsledku velké nehody. Metoda neumožňuje diferenciaci mezi častými nehodami s nízkými dopady v porovnání s méně častými nehodami se závažnými dopady.

Metoda stanovení vnímaného rizika vychází z očekávaného rizika, které je vážené pomocí averze společnosti vůči riziku. Pomocí výsledné hodnoty je vyjádřen očekávaný společenský risk. Metoda popisuje lépe riziko z pohledu společnosti, ale omezení uvedená u očekávaného rizika přetrvávají.

Metoda monetárního rizika je založena na principu optimální alokace dostupných zdrojů. Vyjadřuje optimalizaci mezi náklady na dodatečné snížení rizika v porovnání s mírou dosaženého snížení rizika. Metoda využívá marginální náklady, které je jednotlivec ochoten alokovat na marginální zvýšení bezpečnosti. Matematicky je tento vztah vyjádřen pomocí vzorce 9.

$$R_m = \sum_{i=1}^n p_i \cdot C_i \cdot \phi(C_i) \cdot \omega_i \text{ [Kč/rok]} \quad (9)$$

kde:

$R_m$  ..... marginální riziko [Kč/rok]

$p_i$  ..... pravděpodobnost události [nehoda/rok]

$C_i$  ..... jednotka dopadů [úmrť.nehoda/rok]

$\phi(C_i)$ ...faktor averze rizika jako funkce dopadů [-]

$\omega_i$  ..... marginální náklady na marginální snížení úmrtí [Kč.úmrť/rok]

Pro hodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí tunely vydal metodiku i francouzský ústav pro výzkum tunelů *Centre d'études des tunnels* (CETU), (62). V této metodice je stanovena obdobná hranice přijatelnosti individuálního rizika jako v tuzemských TP 229 (22). Metodika CETU stanovuje, že pokud je hodnota individuálního rizika nižší než  $10^{-3}$ , přeprava nebezpečných věcí tunelem není výrazně rizikovější než přeprava po otevřených úsecích pozemní komunikace a vjezd do tunelu může být povolen pro všechny druhy nebezpečných nákladů. Pokud však je individuální riziko tunelu vyšší než  $10^{-3}$ , mělo by být přistoupeno k porovnání výsledných hodnot očekávaného rizika na trase s tunelem a na alternativní objízdě trase.

Podrobně je řešena problematika hodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí v Kanadě v disertační práci (63). Autor navrhuje model pro optimální rozmístění složek IZS pro minimalizaci následků nehod s únikem nebezpečných věcí. Byl navržen časově orientovaný model hodnocení rizika zohledňující dojezdové vzdálenosti složek IZS k dopravní nehodě. Autor při hodnocení rizika vzniku dopravní nehody a rozsahu následků používá statistická data o nehodovosti při silniční přepravě nebezpečných věcí v Kanadě. **Pravděpodobnost úniku látky v případě nehody i pravděpodobnost následného požáru bude vzhledem k rozsahu statistických data využita v disertační práci v kapitole č. 4.2.4.**

Důležitým krokem pro snížení rizika při přepravě nebezpečných věcí je implementace opatření snižující riziko vzniku nehody nebo její závažnosti. Autoři (64) porovnávali riziko v souvislosti s přepravou dvou látek – chlóru a amoniaku železniční a silniční dopravou na šesti přepravních trasách. Autoři ve studii porovnávali různé varianty délky vlakových souprav přepravující nebezpečné věci a silniční cisternová vozidla. Autoři při hodnocení použili tři způsoby hodnocení rizika: tradiční pojetí vycházející z pravděpodobnosti události a dopadů (vzorec 1), pravděpodobnost nehody a počet obyvatel vystavených riziku. Autoři dospěli k závěru, že použití železniční dopravy v porovnání se silniční, sníží riziko bez ohledu na způsob jeho hodnocení a přepravní trasu. Riziko v souvislosti s přepravou nebezpečné věci jedním cisternovým vozidlem bylo sice nižší, než riziko přepravy uceleného vlaku, ale

vzhledem k nutnosti použít několik desítek silničních vozidel pro přepravu stejného množství nebezpečné věci jako železniční cisternovou soupravou, bylo celkové riziko železniční přepravy nižší více než desetinásobně. Cílem by proto mělo být použít za každých okolností železniční dopravu. Využití železniční dopravy má ovšem v případě finální distribuce zboží koncovým odběratelům, které je v městských oblastech poměrně rozšířené, značné limity v podobě nízké flexibility.

Další možností snížení rizika při přepravě nebezpečných věcí je použití bezpečnějšího způsobu přepravy (přeprava v kusech, cisternách), času, typu komunikace. Autoři (65) provedli rozsáhlý výzkum 708 dopravních nehod vozidel přepravujících nebezpečné věci v cisternách. Autoři dospěli k závěru, že 73,8 % nehod souviselo s lidským pochybením a doporučují zaměřit pozornost na školení řidičů. Další snížení rizika spočívá v technologických opatřeních (stabilizační prostředky), ve zkvalitnění kontroly technického stavu vozidel a v plánování přepravy v časech s menším rizikem nehody.

Cenným informačním zdrojem příčin dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí jsou databáze havárií nebezpečných látek. Ve většině případů se nevěnují pouze incidentům při přepravě, nýbrž je kombinují i se „stacionárními“ haváriemi. Některé databáze jsou věnovány výhradně chemickým látkám. V Evropě patří mezi nejvýznamnější databáze FACTS (*Failure and Accidents Technical information System*), (66). Databáze obsahuje více než 25 tisíc záznamů nehod zahrnujících nebezpečné materiály nebo nebezpečné věci, které se staly po celém světě za posledních 90 let.

Další databáze závažných havárií je eMARS (*Major Accident Reporting System*), (67). Byla zřízena nařízením EU Seveso 82/501/EEC (25). Reporting nehod do databáze eMARS je povinný pro všechny státy EU, pokud nehoda překročí kritéria závažné havárie stanovená v příloze 6 nařízení Seveso III (2012/18/EU), (26). Musí být oznámena jakákoliv havárie s přítomností definovaného množství nebezpečné věci vedoucí k požáru, výbuchu nebo úniku, anebo havárie překračující kritéria v oblasti zranění osob, poškození nemovitostí, bezprostřední škody na životním prostředí, škody na majetku a škody přesahující hranice členského státu EU. Vzhledem k aktualizaci kritérií pro zařazení nehod do databáze a počtu 890 závažných nehod se kritéria pro oznamovací povinnost havárií jeví vhodně nastavená.

Pokročilé sledování nehod je i v USA, kde lze uvést iniciativy NTSB (*National Transportation Safety Board*), (68). Organizace zveřejňuje podrobné vyšetřovací zprávy ze všech nehod při přepravě nebezpečných věcí v USA od roku 1996. Zprávy obsahují i fotodokumentaci z jednotlivých nehod a samozřejmě závěry vyšetřování příčin nehod.

Další informace o dopravních nehodách lze nalézt v databázi PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*), (69). Databáze obsahuje ke dni 11. 6. 2017 celkem 513 315 záznamů o dopravních nehodách při silniční přepravě nebezpečných věcí USA. Databáze není tak deskriptivní jako předchozí NTSB, ale umožňuje vyhledávání dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí v USA podle zadaných kritérií. Dopravní nehody je tedy možné rychleji selektovat a zkoumat podrobněji pouze ty relevantní.

**Uvedené databáze budou využity v disertační práci v kapitole č. 4.1 pro analýzu příčin dopravních nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí. Kritéria pro zkoumání příčin nehod budou frekvence výskytu a závažnost dopadu.**

Problematiku rizik spojených s únikem zejména toxických látek řeší řada programů modelování následků havárií. Jedním z nejrozšířenějších modelů atmosférického rozptylu škodlivých látek je SW ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*), (70). Vstupní parametry jsou poloha místa havárie, uniklé nebezpečné věci, meteorologické údaje a zdroj úniku nebezpečné věci. Tento model je používán pro rozptyl nebezpečných látek ze stacionárních, i mobilních zdrojů. Software ALOHA umožňuje nastavit lokalizaci místa, charakteristiku terénu, rozměry a objem přepravní nádoby, včetně přepravních podmínek, jako je tlak v cisternách (tlakových lahvích), naplnění přepravního obalu, teplota nebezpečné věci v přepravním obalu apod. V neposlední řadě SW umožňuje nastavit atmosférické podmínky v době havárie (směr a rychlost větru, teplota, vlhkost). Pokud může dojít k více nebezpečným projevům nebezpečné věci během přepravy, lze modelovat a stanovit rozsah škod pro každý z nich (požár, výbuch, šíření toxických látek). Software zároveň dokáže zobrazení nebezpečného prostoru přenést do mapového podkladu Google Earth nebo ArcGIS, kde jsou graficky znázorněny zóny s nebezpečnými koncentracemi a jejich účinky na člověka. Omezení SW ALOHA spočívá v možnosti zadání pouze neměnných atmosférických podmínek, rychlosti a směru větru a malém rozlišení terénu. Výhodou SW ALOHA je jeho poskytnutí uživatelům zdarma. **SW ALOHA bude v rámci disertační práce využit pro stanovení dopadů vybraných nebezpečných látek v kapitole č. 4.2.3.**

Příkladem použití SW ALOHA bylo při hodnocení rozsahu dopadu úniku toxických plynů v městských oblastech. Případovou studii úniku chlóru z automobilní cisterny řešili autoři ve městě Rosario (71). Byl použit model šíření těžkého plynu (*Dense Gas Dispersion Model*). Autoři konstatují, že kritickým předpokladem přesnosti modelování je stabilita klimatických podmínek, síla a směr větru.

Problematika hodnocení dopadů v souvislosti s únikem plynů a porovnání rizikovitosti toxického amoniaku s hořlavým butadienem byla řešena v práci (72). Komparativní analýza

prokázala vyšší riziko ekvivalentního množství amoniaku. K hodnocení ohrožení lidského zdraví chemickými látkami rozptýlenými do ovzduší byly stanoveny zóny ohrožení *Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs)*. Jedná se o tři úrovně koncentrace, při které mají nebezpečné věci v určitém časovém rozmezí negativní účinky. Úroveň koncentrace pro stanovení zóny ohrožení byla určena od nejméně rizikové AEGL-1 – žlutá zóna, přes AEGL-2 – oranžová zóna, až po nejrizikovější AEGL-3 – červená zóna. Tato úroveň udává koncentraci nebezpečné látky v ovzduší (vyjádřena v ppm nebo  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), nad kterou je očekáváno, že při expozici v délce 1 hodiny bude populace včetně citlivých jedinců ohrožena na životě, případně usmrcena. Určení zóny ohrožení je kritickým předpokladem objektivní evaluace rizika, zejména v městských oblastech s vysokou hustotou zalidnění. **Zóny AEGL-2 až AEGL-3 budou využity v disertační práci pro stanovení dopadu vybraných nebezpečných látek v kapitole č. 4.2.3.**

Dalším softwarem zabývajícím se modelováním rozptylu nebezpečných látek je SW CAMEO (*Computer Aided Management of Emergency Operations*), (73) a na něj navazující mapový SW MARPLOT (*Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks*), (74) vyvinutý Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států Amerických a Národním úřadem pro oceán a atmosféru. SW pracuje s fyzikálními a chemickými vlastnostmi toxických látek, a umožňuje modelovat scénáře rozptylu nebezpečných látek.

Světová silniční asociace PIARC vyvinula specializovaný SW QRAM 3.61 (*Quantitative Risk Assessment Model*) pro kvantitativní analýzu rizika při přepravě nebezpečných věcí silničními tunely (75). Autoři SW nástroje vytvořili 11 realistických scénářů nehod vozidel přepravujících nebezpečné věci, které jsou pro snadnější porovnání doplněny o 2 scénáře požáru (20 MW a 100 MW) bez nebezpečného nákladu. Scénáře nehod jsou založené na empirických datech zjištěných ze skutečných dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí. Pomocí SW lze vyhodnotit rizika přepravy nebezpečných věcí tunely a porovnat je se stanovenými kritérii přijatelnosti v (22) a (23). Dále je možno vyhodnotit rizika přepravy na alternativní objízdné trase a následně stanovit bezpečnější variantu přepravy. SW je možno využít i k provedení citlivostní analýzy a sledovat vliv na celkové riziko změnami konstrukčních úprav tunelů. Tímto způsobem může být provedena optimalizace konstrukční výbavy tunelů. **V rámci disertační práce bude využit SW QRAM pro kvantitativní ohodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí silničními tunely při návrhu algoritmu pro optimalizaci umístění svislých dopravních značek v kapitole č. 4.3.5.**



### **1.3 Kritické zhodnocení analýzy současného stavu**

Pro provedení kvantitativní analýzy rizik přepravy nebezpečných věcí není předepisována Evropskou unií ani předpisy ČR žádná jednotná metodika. Cílem takovéto analýzy by mělo být rovněž posouzení stávajících nebo navrhovaných bezpečnostních opatření, případně doporučit další opatření pro snížení rizik.

Přeprava většiny nebezpečných věcí (ADR) v ČR není kromě dopravních značek B18 a B19 nikterak regulována. O umístění dopravních značek rozhoduje především správce pozemní komunikace a pravděpodobně roztržičnost kompetencí státní správy a samosprávy vedla k tomu, že není k dispozici seznam ani mapa silničních úseků, které by byly v ČR označeny uvedenými dopravními značkami.

Souhlas k odeslání a příjmu nebezpečných věcí je vyžadován pouze u radioaktivních látek třídy 7 (Státní úřad pro jadernou bezpečnost) a u výbušných látek a předmětů třídy 1 (Český báňský úřad). Přeprava výbušnin je hlášena Policejnímu prezidiu a monitorována pomocí systému GPS v reálném čase. Přeprava ostatních nebezpečných věcí po silnici není nikterak monitorována.

Kritické situace mohou nastat v případě závažné dopravní nehody (i u vozidla nepřevážujícího ADR), kdy je nutná uzavírka páteřních komunikací a odklon dopravy na objízdné trasy. Policie ČR nemá k 1. 6. 2017 jednotný přístup pro stanovení objízdných tras, nebo předem vytvořené vhodné objízdné trasy, které by mohla využít i vozidla v režimu ADR. Ze současného stavu řešení objízdných tras mohou vzniknout další nebezpečné scénáře, jako je zvýšená dopravní nehodovost z důsledku neznalosti objízdné trasy, dopravní kolaps na komunikacích objízdné trasy včetně obcí a celkové vyšší riziko pro obyvatelstvo.

Zvláštní hrozbou z hlediska bezpečnosti jsou silniční tunely, kde je snížena možnost rychlého zásahu, včetně aplikace záchranných a likvidačních prací. V uzavřených prostorech tunelů může docházet k eskalaci počtu ohrožených osob. I přesto je v ČR do většiny tunelů povolen vjezd všem vozidlům přepravující nebezpečné věci bez ohledu na druh a množství přepravovaných nebezpečných věcí. Výjimku tvoří především městské tunely v Praze, kde je naopak téměř všem vozidlům přepravující nebezpečné věci vjezd zakázán.

Jediný tuzemský veřejně přístupný informační systém o přepravě nebezpečných věcí IS DOK obsahuje neaktualizované informace, včetně neplatných mezinárodních předpisů a neaktuálních informací o nehodách ADR. Zásadním nedostatkem stávajícího IS je ovšem nedostatečná opora v oblasti krizových situací v dopravě a do IS není implementována specifická problematika přepravy nebezpečných věcí v tunelech.

Softwarové nástroje v oblasti modelování úniku nebezpečných látek často podávají jen orientační výsledky, jelikož ve svých výpočtech nezohledňují možné členitosti a překážky v terénu, změny směru a rychlosti větru, nepočítají s možnými vedlejšími reakcemi uniklé nebezpečné věci, neposuzují její chování ve směsi se vzduchem apod. Z tohoto důvodu je potřeba zabývat se touto problematikou a vytvořit způsob, jak zajistit bezpečnost přepravy nebezpečných látek, která představuje vysoké nebezpečí především v hustě zalidněných oblastech městských aglomerací, kdy únik toxických látek do ovzduší v důsledku havárií může ohrozit zdraví či životy velkého počtu obyvatel.

V normě ČSN EN 31010 Management rizik nejsou uvedena specifická kritéria pro zajištění potřeby analýzy rizik, ani není specifikován typ metody analýzy rizik, který je požadován pro určitou aplikaci. **V rámci disertační práce proto budou vybrány a modifikovány metody pro potřeby analýzy rizik při silniční přepravě nebezpečných věcí v podmínkách ČR.** V normě nejsou i přes její komplexnost uvedené všechny techniky hodnocení rizik. Proto budou do analýzy zahrnuty i metody popsané v jiných zdrojích.

Mezi nejvýznamnější metody hodnocení rizik přepravy nebezpečných věcí patří:

- Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems, Monnier a Gheorghe, Švýcarsko, 1996 (52).
- A National Risk Assessment for Selected Hazardous Materials in Transportation, Argonne National Laboratory, USA, 2000 (58).
- Guideline for Quantitative Risk Assessment (Purple Book CPR 18E), TNO, Nizozemí, 1999 (59).

**Všechny uvedené metody byly sestaveny před 10 až 20 lety a byť poskytují řadu cenných a inspirativních postupů pro hodnocení rizika, nejsou plně aktuální a neodpovídají některým specifickým podmínkám v ČR. Rizikové vlastnosti základních nebezpečných látek zůstávají stejné, ale jsou vyráběny neustále nové nebezpečné věci, vyvíjí se technologie balení a přepravy, vozidla a výbava bezpečnostními sety. Mění se charakter silniční dopravy, především intenzita dopravy a vývojem prošly taktéž vnější vlivy ovlivňující bezpečnost silniční dopravy.**

## 2 DEFINICE CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

V následující části je stanoven hlavní cíl disertační práce, který je následně rozdělen na kroky vedoucí k jeho dosažení. Jsou zde uvedeny také další dílčí cíle.

### 2.1 Hlavní cíl práce

Hlavním cílem práce bude návrh algoritmu hodnocení rizika a vztahu řízení rizika v oblasti lidských zdrojů v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí (kapitola č. 4.3.1). Dále budou vytvořeny technologické postupy pro snížení rizika vzniku dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí za účelem minimalizace negativních dopadů na okolí (kapitola č. 4.3.2) a bude proveden návrh úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí řidičů i bezpečnostních poradců při přepravě nebezpečných věcí (kapitola č. 4.3.3).

Algoritmus popisující riziko přepravní trasy bude determinován následujícími vstupními parametry:

- riziko vzniku dopravní nehody,
- riziko iniciace úniku přepravované nebezpečné věci,
- rozsah dopadu na obyvatelstvo a ostatní účastníky dopravního provozu,
- rozsah dopadu na ostatní biotické složky v okolí nehody.

Výstupem algoritmu bude numerický koeficient (kvantitativní ukazatel) udávající míru rizika mezi definovanými nejbližšími uzly silniční sítě. Pro vyjádření celkového rizika zvolené přepravní trasy a možnosti jeho porovnání s alternativními úseky, bude individuální a společenské riziko jednotlivých alternativních tras porovnatelné.

Navržený algoritmus povede k opatřením ve formě dopravního značení vylučující úseky pozemních komunikací z přepravních tras nebezpečných věcí na základě míry rizika přepravy. Algoritmus bude využit taktéž k optimalizaci stanovení objízdných tras úseků pozemních komunikací, vhodných i pro přepravu nebezpečných věcí.

### 2.2 Dílčí cíle

Dílčím cílem bude návrh algoritmu pro výběr optimálních objízdných tras. Optimalizačním kritériem bude minimalizace hodnoty společenského rizika na jednotlivých trasách silniční sítě, spojujících uzly před a za místem nehody. V probitové funkci (polynomu) budou zahrnuty indexy zranitelnosti pro obyvatelstvo a ostatní biotické složky prostředí. Policie ČR bude v případě nehody či uzavírky moci rychle stanovit vhodné objízdné trasy i pro vozidla přepravující nebezpečné věci (kapitola č. 4.3.4).

Dalším dílčím cílem bude návrh využití algoritmu na optimalizaci umístění dopravních značek regulujících trasy vozidel přepravující nebezpečné věci. Optimalizačním kritériem bude minimální hodnota probitové funkce mezi jednotlivými uzly silniční sítě, zahrnující společenské riziko přepravy a indexy zranitelnosti pro vodní biotické složky. Úseky s nepříjemnou hodnotou probitové funkce budou doporučeny k omezení přepravy nebezpečných věcí. Státní správa a samospráva bude osazením příslušného dopravního značení (značka B18 a B19) moci podpořit zvýšení bezpečnosti a minimalizovat dopady v případě dopravních nehod. Řidiči, dopravci i dispečeri budou následně optimalizovat výběr přepravní trasy na silniční síti, která bude vhodně redukována o nejrizikovější úseky (kapitola č. 4.3.5).

Posledním dílčím cílem práce bude návrh rozšíření systému monitoringu při přepravě výbušných látek a předmětů na monitorování přepravy nebezpečných věcí v reálném čase (nad rámec současného monitoringu přepravy výbušnin). Rozšířením systému monitoringu budou složkám IZS poskytnuty relevantní informace o přepravovaném nákladu (kapitola č. 4.3.6).

Cíle jsou zaměřeny na snížení rizika vzniku dopravní nehody při přepravě nebezpečných věcí a snížení závažnosti jejich dopadů:

- vytvoření souboru opatření pro řízení lidských zdrojů rizika při přepravě nebezpečných věcí, včetně úprav v oblasti školení a následného ověřování znalostí řidičů a bezpečnostních poradců při přepravě nebezpečných věcí,
- optimalizace umístění dopravních značek regulujících přepravu nebezpečných věcí, včetně objektivního posouzení rizika přepravy tunely.
- příprava nástroje pro rychlé stanovení objízdných tras vozidel přepravujících nebezpečné věci v případě nehody či uzavírky,
- nastavení vhodných požadavků na monitoring vozidel přepravujících nebezpečné věci a poskytnutí relevantních informací o přepravovaném nákladu pro složky IZS.

Výsledkem řešení bude snížení rizika vzniku dopravní nehody při silniční přepravě nebezpečných věcí a minimalizace jejich dopadů. Implementací navržených opatření státní správou a samosprávou, dopravci, bezpečnostními poradci, řidiči, kontrolními pracovníky a Policií ČR, bude podpořeno zvýšení bezpečnosti při silniční přepravě nebezpečných věcí.

### 3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ

Budou použity kvalitativní, kvantitativní a semikvantitativní metody pro analýzu a hodnocení rizika. Kvantitativní metody hodnocení rizika budou analyzovány v následujících oblastech:

- metody založené na analýze dat,
- metody založené na pravděpodobnosti události,
- kombinace metod založených na analýze dat a pravděpodobnosti události.

Veškeré postupy identifikace a analýzy rizika budou využity při analýze a hodnocení rizika silniční přepravy nebezpečných věcí v ČR. Budou vybrány nejvhodnější metody pro analýzu rizika a následně budou zvolené metody modifikovány pro snadnou implementaci a věrohodnější popis skutečnosti.

Pro identifikaci nebezpečí budou použity následující metody:

**Kontrolní seznam** (*check-list*) – metoda bude použita k identifikování všech zásadních příčin předešlých nehod při přepravě nebezpečných věcí souvisejících s lidským faktorem. Budou vytvořeny seznamy kontrolních otázek – možných příčin nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí relevantních ke zkoumanému lidskému zdroji rizika. Všechny identifikované hypotetické příčiny nehod při přepravě nebezpečných věcí budou porovnány s databázemi předešlých nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí. Analýza skutečných nehod tedy bude zaměřena na shodu hypotetických příčin se skutečnými za účelem sestavení seznamu všech předešlých příčin nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí způsobených lidským faktorem. Vytvořený validovaný seznam příčin bude použit pro následující analýzu navazujícími metodami. Metoda je vysoce komplementární s následujícími metodami, jež lépe podněcují indukci nových problémů. Kontrolní seznam bude využit taktéž ke zpětné kontrole, zda následující metody identifikovaly všechny možné scénáře rizika.

**Co se stane, když** (*what, if*) – metoda bude použita jako předstupeň pro následující metody. Umožní identifikovat rizika v celém širším spektru přepravního procesu, na základě monitoringu důsledků v případě iniciace definovaných událostí. Bude využit skupinový prvek metody, který podněcuje kooperaci a invenci nečekaných scénářů. Za tímto účelem bude sestaven multidisciplinární tým provádějící analýzu (autor, řidič přepravující ADR v kusech, řidič přepravující ADR v cisterně, skladník manipulující s nebezpečnými věcmi, bezpečnostní poradce ADR, zástupce Policie ČR, zástupce HZS). Poněkud menší rozsah aplikace metody, než např. v případě metody HAZOP (*Hazard and Operability Study*) či

FMECA (*Failure Modes and Effects and Criticality Analysis*) umožní řešitelskému týmu klást větší důraz na odhalení základních souvislostí a důsledků.

**Analýza možného výskytu a vlivu vad** (FMECA) – skupinová induktivní metoda analýzy rizika rozšiřující metodu FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Tato sofistikovaná metoda identifikace poruch bude použita pro její širokou aplikovatelnost zejména na poruchy systémové a v důsledku činnosti člověka. Pro účely analýzy bude systémem proces silniční přepravy nebezpečných věcí a poruchou dopravní nehoda, která by mohla vést k úniku nebezpečné věci a ohrožení okolí. Analýza FMECA rozšiřuje analýzu FMEA o klasifikaci každého způsobu poruchy podle kritičnosti. Získaná data budou vhodným vstupem do dalšího kroku analýzy rizik.

**Analýza lidské spolehlivosti** (HRA – *Human Reliability Assessment*). Metoda bude využita pro její cílové zaměření na hodnocení dopadu činnosti člověka na funkčnost systému. Hodnocení vlivu lidské chyby na systém, je v případě dopravních nehod vysoce žádoucí. Bude použita kvalitativní i kvantitativní forma metody. Kvalitativní pro identifikaci možnosti lidské chyby a jejich příčin, aby mohla být pravděpodobnost chyby snížena. Kvalitativní forma metody poskytne vstupní data o lidském selhání do navazující analýzy.

Pro odhad frekvence nebezpečí bude použita metoda:

**Strom poruchových událostí** (FTA – *Fault Tree Analysis*). Využita bude především pro vysoce systematický přístup, který ovšem zároveň umožňuje dostatečnou flexibilitu, aby umožnil analýzu rozdílných faktorů. Pro účely disertační práce je nežádoucí vrcholová událost dopravní nehoda, která by mohla vést k úniku nebezpečné věci a ohrožení okolí. Příčinné faktory budou částečně využity z předchozích aplikovaných metod a budou doplněny další faktory indukované deduktivně při použití této metody. Grafická forma této metody vede ke snadnějšímu pochopení chování systému a zahrnutých faktorů.

Pro analýzu dopadů nebezpečí budou použity následující metody:

Budou stanoveny **indexy zranitelnosti** pro obyvatelstvo a ostatní biotické složky prostředí, které budou následně posouzeny pomocí multikriteriální analýzy. Stanovení dopadů nepříznivé události bude provedeno na základě stanovení zón ohrožení pro vybrané nebezpečné věci. Zóny budou stanoveny pro okolí pozemních komunikací pomocí **SW ALOHA**. Dopady přepravy nebezpečných věcí silničními tunely budou posouzeny s využitím specializovaného **SW QRAM**.

Při závěrečné fázi ohodnocení rizika bude provedena kalkulace individuálního a společenského rizika pro obyvatelstvo při přepravě nebezpečných věcí a znázorněna pomocí

**křivka F – N** (grafický vztah frekvence události „F“, při které může nastat určitý počet následků „N“).

Následovat bude určení hodnot přijatelnosti individuálního a společenského rizika při přepravě nebezpečných věcí po silnici v ČR a stanovení **zóny ALARP**.

Bude využita **teorie spolehlivosti** pro stanovení rizikových skupin (tříd) přepravovaných nebezpečných věcí.

Pro ohodnocení rizika konkrétních pilotních tras budou využity **metody nejspolehlivější cesty s využitím teorie pravděpodobnosti** vzniku dopravní nehody vozidla přepravující nebezpečné věci. Přepravní trasy budou rozděleny na jednotlivé úseky s homogenní mírou rizika, přičemž bude vytvořena probitová funkce popisující celkové riziko přepravy. Pro vyhodnocení rizikovosti jednotlivých přepravních tras bude využit **SW QGIS**.

## 4 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ SNÍŽENÍ RIZIKA PŘEPRAVY NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ

Autor navrhuje metodiku hodnocení rizika při přepravě nebezpečných věcí zejména ve vazbě na:

- **majoritní podíl silniční přepravy** na přepravě nebezpečných věcí,
- **zvyšování výkonových parametrů** silniční nákladní dopravy,
- **zvýšení bezpečnosti** silniční dopravy,
- snížení rizika **ohrožení životního prostředí**,
- snížení rizika **poškození dopravní infrastruktury**,
- snížení pravděpodobnosti **vzniku kongescí**,
- možnost **informace IZS a ostatních účastníků silničního provozu** o nehodové události.

**Hlavní postupové kroky navržené metodiky hodnocení rizika v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí** jsou popsány v kapitolách:

- hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů (viz kapitola č. **4.1**),
- hodnocení a řízení rizik v oblasti přepravní trasy (viz kapitola č. **4.2**),
- návrh postupů pro snížení rizik (viz kapitola č. **4.3**).

Na základě principů systémového přístupu k řešení vytyčeného úkolu, vytvořil autor dva **vývojové diagramy hodnocení rizik** v přepravě nebezpečných věcí, zaměřených na:

- lidské zdroje (viz obrázek 6),
- výběr trasy (viz obrázek 8).

**Hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů** se skládá z postupné implementace pěti metod rizikové analýzy. Autor využije pro návrh metody „Kontrolní seznam“ (viz kapitola č. **4.1.1**), „Co se stane, když“ (viz kapitola č. **4.1.2**), „Analýza možného výskytu a vlivu vad (FMECA)“ (viz kapitola č. **4.1.3**), „Analýza lidské spolehlivosti (HRA)“ (viz kapitola č. **4.1.4**) a „Strom poruchových událostí (FTA)“ (viz kapitola č. **4.1.5**). Jednotlivé metody na sebe navazují a umožňují dekomponovat celý proces. Autor bude pomocí uvedených metod postupně kvantifikovat identifikovaná rizika. Autor se v této kapitole zaměří na hlavní riziko v oblasti lidských zdrojů při zohlednění veškerých procesních souvislostí. Hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů autor souhrnně popisuje v kapitole č. **4.1.6**.



**Hodnocení a řízení rizik v oblasti přepravní trasy** – autor stanoví horní a dolní hranice přijatelnosti individuálního a společenského rizika (viz kapitola č. 4.2.1). Dalšími vstupními informacemi pro následné hodnocení rizika (viz kapitola č. 4.2.4) je určení zón ohrožení pro vybrané zástupné látky (viz kapitola č. 4.2.2) a stanovení indexů zranitelnosti pro obyvatelstvo a ostatní biotické složky (viz kapitola č. 4.2.3).

**Návrh postupů pro snížení rizik** bude obsahovat především návrh algoritmu hodnocení rizik v oblasti lidských zdrojů (viz kapitola č. 4.4.1). Tento algoritmus naplní hlavní cíl disertační práce společně s technologickými postupy pro snížení rizika dopravních nehod (viz kapitola č. 4.4.2) a úpravami v oblasti školení a ověřování znalostí (viz kapitola č. 4.4.3). Další postupy naplní vedlejší cíle disertační práce. Jedná se o návrh algoritmu pro výběr optimálních objízdných tras (viz kapitola č. 4.4.4), návrh optimalizace umístění dopravních značek (viz kapitola č. 4.4.5), a návrh rozšíření systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí (viz kapitola č. 4.4.6). **Postupy pro snížení (eliminaci) rizik se realizují pouze v případě, že hodnocením rizika bude zjištěno nepřijatelné riziko.**

Autor následně ověří vybrané navržené postupy pro snížení rizik. Algoritmus hodnocení rizik v oblasti lidských zdrojů bude ověřen v dopravní společnosti zabývající se silniční přepravou nebezpečných věcí (viz kapitola č. 4.5.1). Algoritmus pro výběr optimálních objízdných tras bude ověřen na vybraném úseku pozemní komunikace a v silničním tunelu (viz kapitola č. 4.5.2).

Pro jednodušší orientaci v hierarchii kroků a ve vazbě na sestavené **vývojové diagramy metodiky** na obrázku 6 v kapitole č. 4.1 a obrázku 8 v kapitole č. 4.2, je v úvodu každého postupového kroku vždy uvedeno:

- číslo, nebo čísla bloků z vývojového diagramu metodiky (dále autorem označovaná jako „**pozice**“), která odpovídají danému kroku,
- číslo bloku z vývojového diagramu, který předchází danému kroku (dále „**předchůdce**“),
- číslo kroku z vývojového diagramu, které následuje po daném kroku (dále „**následovník**“),
- konkrétní obsahová náplň a řešení v daném kroku.

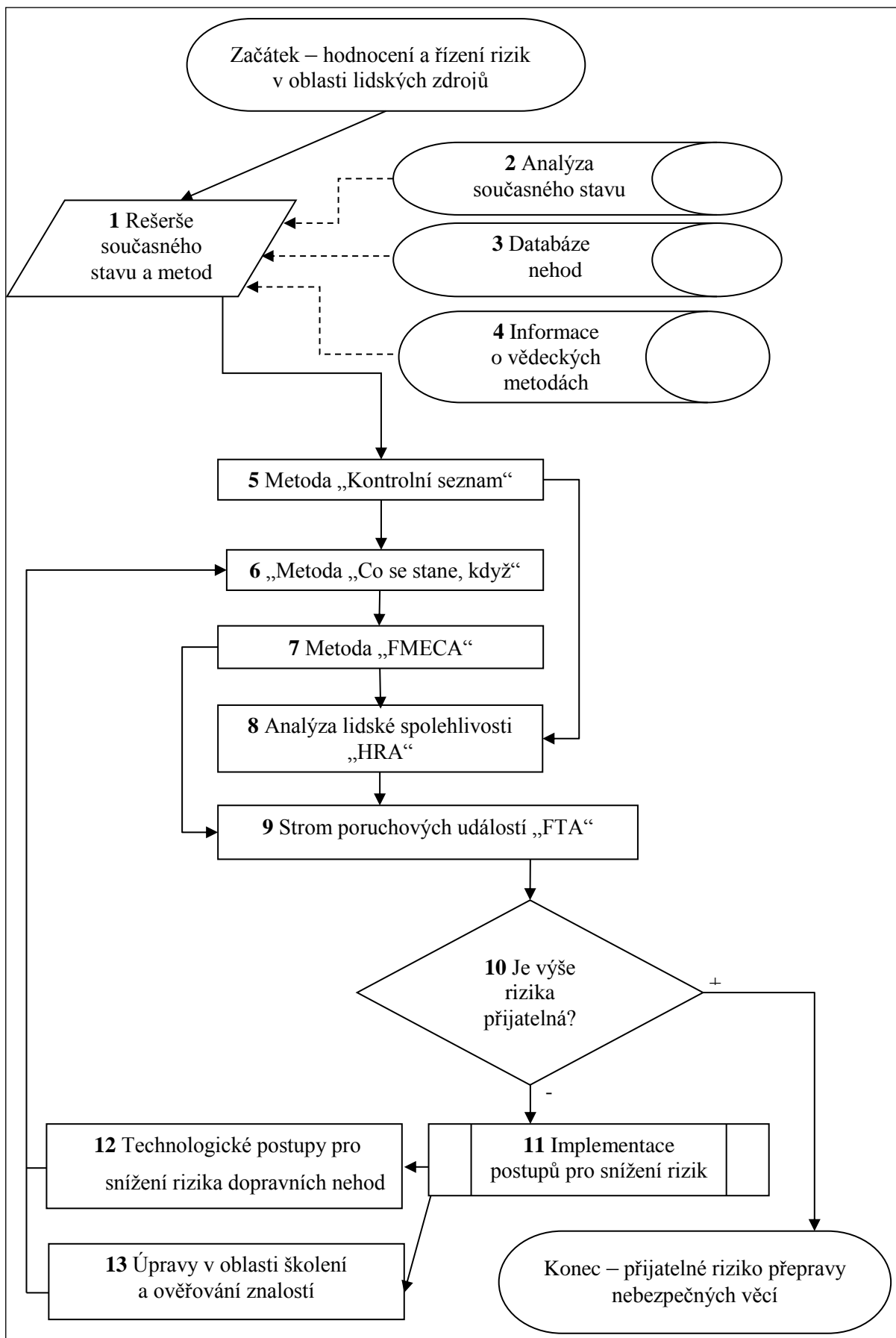
## 4.1 Hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů

Součástí identifikace, hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů je pět metod, které mají ve **vývojovém diagramu** na obrázku 6 následující pozice:

- (5) „Kontrolní seznam“ – identifikace příčin nehod z databází (viz kapitola č. **4.1.1**),
- (6) „Co se stane, když“ – skupinová induktivní metoda založená na generování otázek a hledání odpovědí (viz kapitola č. **4.1.2**),
- (7) „Analýza možného výskytu a vlivu vad (FMECA)“ – skupinová metoda umožňující základní míru kvantifikace rizika (viz kapitola č. **4.1.3**),
- (8) „Analýza lidské spolehlivosti HRA“ – metoda umožňující zacílení na riziko lidského faktoru s provedením kvantifikace (viz kapitola č. **4.1.4**),
- (9) „Strom poruchových událostí“ (FTA) – kvantitativní metoda umožňující posoudit partikulární rizika v celkovém kontextu (viz kapitola č. **4.1.5**).

Pozice (1) řešerše současného stavu a vědeckých metod spočívá v poznání současného stavu a přístupu k problematice hodnocení rizika při přepravě nebezpečných věcí v ČR i v zahraničí. V rámci tohoto kroku autor identifikuje vhodné metody pro zařazení do navrhovaného procesu hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů (viz kapitola č. **1** a č. **3**).

Pozice (12) představuje hodnocení rizik (viz kapitola č. **4.1.6**).



**Obrázek 6** Vývojový diagram hodnocení rizik lidských zdrojů v přepravě nebezpečných věcí (autor, 2018)

#### 4.1.1 Kontrolní seznam

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 5,
- předchůdce – 1 (respektive její vstup č. 2, 3 a 4),
- následovník – 6 a 8.

Autor navrhuje identifikovat hlavních příčiny předešlých nehod při přepravě nebezpečných věcí na základě analýzy databází nehod **NTSB** (67) a **eMARS** (66) pomocí metody „**Kontrolního seznamu**“.

Autor definuje procesní model tvorby kontrolního seznamu v souladu s postupem v (35), který se skládá z pěti kroků.

##### **Krok 1 – specifikace základních parametrů.**

**Zaměření:** silniční přeprava nebezpečných věcí.

**Chráněný zájem:** životy a zdraví osob, životní prostředí, eliminace hmotných škod.

**Specifikace využití:** identifikace příčin nehod při manipulaci a silniční přepravě nebezpečných věcí z databází nehod.

**Specifikace a zdůvodnění kritérií nutných při vytváření kontrolního seznamu:** výskyt nehody definovaného typu při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí, která měla dopad na chráněný zájem.

##### **Krok 2 – určení problémových okruhů.**

**Základní problémový okruh:** humánní příčiny nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí (řidič, další účastníci provozu, obsluha při nakládce/vykládce, management, kontrolní pracovníci, jiné osoby).

**Dodatečný problémový okruh:** ostatní příčiny nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí (technické – vozidlo, infrastruktura, balení, specifické a náhodné)

##### **Krok 3 – uspořádání problémových okruhů.**

Autor navrhuje pět problémových okruhů (A až E) zahrnující všechny hlavní příčiny nehod při přepravě nebezpečných věcí:

- **lidský faktor (A),**
- **dopravní infrastruktura (B),**
- **vozidlo (C),**
- **balení (D),**
- **specifické (E).**

Autor rozdělil problémové okruhy do kategorií v tabulce 6.

**Tabulka 6** Rozdělení problémových okruhů do kategorií

<b>(A) Lidský faktor</b>	<b>(B) Dopravní infrastruktura</b>	<b>(C) Vozidlo</b>	<b>(D) Balení</b>	<b>(E) Specifické</b>
(A1) manipulace při nakládce / vykládce	(B1) přípustnost využití kategorie komunikace	(C1) přípustnost využití typu vozidla	(D1) vhodnost balení	(E1) nepříznivé klimatické podmínky
(A2) řízení vozidla	(B2) dopravně technický stav vozovky	(C2) technická závada vozidla	(D2) kvalita balení	(E2) nevhodné světelné podmínky
(A3) management	(B3) rozhledové poměry	(C3) technická závada příslušenství vozidla	(D3) značení balení	(E3) pochybení jiného účastníka silničního provozu
(A4) kontrola	(B4) uspořádání dopravního prostoru	(C4) správnost značení vozidla	(D4) upevnění balení	(E4) jiná nepředvídatelná událost

Zdroj: autor

#### **Krok 4 – stanovení omezujících podmínek.**

Autor stanovuje následující omezující podmínky pro databázi NTSB (67):

- událost se stala v období od 1. 1. 1980 do 31. 12. 2016,
- událost je popsána pomocí podrobné zprávy (vyřadit zejména starší záznamy, které nemají přístupné zprávy v elektronické podobě).

Autor stanovuje následující omezující podmínky pro databázi eMARS (66):

- událost se stala v období od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2016 (5 letý interval),
- událost splňuje kritéria závažné nehody „major accident“,
- událost má charakter přepravy, nebo přímé návaznosti na přepravu (klasifikace, značení, manipulace, nakládka/vykládka, údržba, ...).

#### **Krok 5 – vyhodnocení databází.**

Autor na základě tohoto postupu navrhuje ověření, které problémové okruhy identifikované v kroku 3 a uvedené v tabulce 6, jsou skutečně příčinami nehod při přepravě nebezpečných věcí. Autor stanovuje porovnání databází závažných nehod (NTSB a eMARS) v rozsahu stanoveném omezujícími podmínkami v kroku 4.

Přiřazení správného problémového okruhu nehody bude v některých případech jednoznačné, ale příčinou může být i kombinace několika faktorů (např. podíl pochybení v oblasti managementu, školení a kontroly). Autor bude stanovovat okruh a kategorii z tabulky 6, na základě převažující příčiny nehody popsané v databázi. Autor mezi problémové okruhy nezařazuje problematiku školení. Jedná se o široký okruh, který může být hlavním či dílčím faktorem ovlivňující riziko vzniku nebo alespoň intenzity řady nežádoucích událostí při přepravě nebezpečných věcí. Pro posouzení míry podílu vzdělávání na zmírnění

rizika a určení cílových adresátů odborného školení u jednotlivých okruhů bude následně využita metoda „Analýza lidské spolehlivosti (HRA) v kapitole“ č. **4.1.4**.

Další potenciálně spornou oblastí je problematika posouzení poškození pláště cisterny u cisternového vozidla či kontejneru. V tomto případě musí být na cisternu pohlíženo jako typ obalového prostředku a nikoliv vozidlo či příslušenství. Případné technické poškození armatur naopak musí být zařazeno do kategorie příslušenství vozidla, i pokud je poškozeno vlivem lidského faktoru při plnění či vyprazdňování.

Tyto drobné nuance však nemají zásadnější vliv na další hodnocení. Všechny sporné oblasti budou zařazeny do dalšího podrobnějšího hodnocení pomocí následující metody identifikace rizika v kapitole č. **4.1.2**.

#### **4.1.2 Co se stane, když**

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 6,
- předchůdce – 5,
- následovník – 7 (respektive 12 nebo 13, při identifikaci nepřijatelného rizika).

Autor navrhuje sestavit minimálně pětičlenný multidisciplinární tým z následujících zainteresovaných osob: rizikový specialista (autor), řidič přepravující ADR v kusech, řidič přepravující ADR v cisterně, skladník manipulující s nebezpečnými věcmi, bezpečnostní poradce ADR, zástupce Policie ČR, zástupce HZS. Pod vedením rizikového specialisty, iniciátora otázek, budou skupinovou metodou „**Co se stane, když**“ generovány možné příčiny nehod na základě otázek „Když“, odpovědi v podobě „Co se stane“ a opatření na snížení jednotlivých rizik.

Autor definuje tři základní podoby systému, v závislosti na druhu balení a způsobu přepravy nebezpečných věcí v silniční dopravě:

- **kusy** – nebezpečné věci zabalené v obalu, např. sudu, IBC, bedně, kryogenní nádobě apod. a přepravované ve vozidle či kontejneru, např. ve vozidle s plachtou, skříňovém vozidle, nebo speciálním chladicím vozidle, nebo,
- **cisterny** – nebezpečné věci plněné v cisternových vozidlech, bateriových vozidlech, cisternových kontejnerech, MEGC kontejnerech,
- **volně ložené** – nebezpečné věci bez obalu ve vozidlech nebo kontejnerech.

**Pro identifikaci rizika metodou „Co se stane, když“ musí být zařazeny všechny relevantní způsoby balení a přepravy v hodnoceném systému (dopravní společnost).**

**Hlavní pozornost musí být zaměřena na nejčastější způsoby přepravy nebezpečných věcí balených v kusech.**

V souladu s identifikovanými okruhy příčin nehodových události pomocí předchozí metody „Kontrolního seznamu“ v kapitole č. 4.1.1, autor definuje **následující klíčové prvky** pro analýzu pomocí metody „Co se stane, když“:

- **manipulace při nakládce či vykládce cisteren a kusů (A1),**
- **řízení vozidla (A2),**
- **management (A3),**
- **kontrola (A4),**
- **technická závada příslušenství vozidla (C3),**
- **vhodnost balení (D1),**
- **kvalita balení (D2),**
- **značení balení (D3),**
- **pochybení jiného účastníka silničního provozu (E3),**
- **jiná nepředvídatelná událost (E4).**

Pro každý klíčový prvek musí autor do připraveného formuláře zaznamenat následující tři generované parametry v podobě **otázek, odpovědí a opatření**:

- otázky „když“,
- odpovědi „co se stane“,
- opatření na zmírnění rizika.

I když touto metodou nelze identifikovat veškerá rizika manipulace a silniční přepravy nebezpečných věcí, ani následně kompletní výčet zmírňujících opatření, autor bude tato rizika dále kvantifikovat v následující kapitole č. 4.4.3.

#### **4.1.3 Analýza možného výskytu a vlivu vad (FMECA)**

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 7,
- předchůdce – 6,
- následovník – 8 a 9.

Autor navrhuje identifikovat a kvantifikovat další rizika s použitím metody analýzy možného výskytu a vlivu vad (FMECA), která umožňuje proces dále více systematizovat. Tato analýza naznačí, která výkonost konkrétního objektu v systému je kritická.

Autor definuje základní předpoklad: nežádoucí událost může nastat při změně „normálních“ provozních podmínek (procesu manipulace a přepravy s nebezpečnými věcmi).

Autor navrhuje použít tři podoby systému (kusy, cisterny, volně ložené), definované v předchozí metodě v kapitole č. 4.1.2. **Pro identifikaci rizika metodou „FMECA“ musí být zařazeny všechny relevantní způsoby balení a přepravy v hodnoceném systému (dopravní společnost). Hlavní pozornost musí být zaměřena na nejčastější způsoby přepravy nebezpečných věcí balených v kusech.**

Autor navrhuje rozdělení systému balení v kusech na následující prvky:

- balení (D1, D2, D3),
- nakládka (A1),
- řízení vozidla (A2),
- management a kontrola (A3, A4),
- technická závada příslušenství vozidla (C3),
- vykládka (A2).

**Pro identifikaci rizik metodou FMECA autor navrhuje desetistupňovou škálu, hodnotící pro každý prvek pravděpodobnost výskytu, odhalení a potenciálními následky poruchy.** Navržená kategorizace událostí je v tabulce 7.

**Tabulka 7** Kategorizace událostí pro hodnocení metodou FMECA

Bodové hodnocení	Výskyt poruchy	Odhalení poruchy	Následky poruchy
10	Velmi vysoká: porucha je téměř nevyhnutelná	Absolutně nemožná	Nebezpečný bez výstrahy
9		Velmi vzdálená	Nebezpečný s výstrahou
8	Vysoká: opakované poruchy	Vzdálená	Velmi vážný
7		Velmi malá	Vážný
6	Střední: občasné poruchy	Malá	Střední
5		Průměrná	Nízký
4		Mírně nadprůměrná	Velmi nízký
3	Nízká: relativně málo poruch	Vysoká	Malý
2		Velmi vysoká	Velmi malý
1	Vzdálená: téměř nepravděpodobná	Téměř jistá	Žádný

Zdroj: autor na základě (75)

Celková míra rizika jednotlivých událostí je určena součtem hodnocení pravděpodobnosti výskytu poruchy, odhalení a závažnosti následků.

Tento systém bude dále autor zkoumat z pohledu vlivu lidského faktoru v „Analýze lidské spolehlivosti (HRA)“ v kapitole č. 4.1.4. Vybrané prvky s nejvyšším souhrnným



bodovým hodnocením bude autor posuzovat v celkovém kontextu pomocí navazující metody „Strom poruchových událostí (FTA)“ v kapitole č. 4.1.5.

#### 4.1.4 Analýza lidské spolehlivosti (HRA)

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 8,
- předchůdce – 5 a 7,
- následovník – 9.

Koncept analýzy lidské spolehlivosti HRA směřuje k systematickému posouzení lidského faktoru (*Human Factors*) a lidské chyby (*Human Error*). Zahrnuje přístupy mikroergonomické (vztah „člověk – stroj“) a makroergonomické (vztah systému „člověk – technologie“), (77).

**Pro identifikaci humánních příčin nehod při manipulaci a přepravě nebezpečných věcí autor navrhuje použít techniku pro stanovení lidské chyby THERP (*Technique for Human Error-Rate Prediction*).** Tato kvantitativní metoda pro posouzení vlivu lidského činitele (HRA) je nejčastěji používaná i v jiných oblastech (78). THERP může být součástí metody „Stromu poruchových událostí (FTA)“, která je popsána v následující kapitole č. 4.1.5. Technika THERP umožňuje zaměření na lidský faktor a lidské chyby.

**Technika pro stanovení lidské chyby THERP** je rozdělena do pěti kroků:

##### **Krok 1 – Definice systému, cílového stavu a poruchy.**

V rámci systému silniční přepravy nebezpečných věcí, musí být pro aplikaci této techniky vybrán relevantní subsystém, určen cílový stav subsystému i kritéria poruchy systému. Pro balení a nakládku kusů s nebezpečnými věcmi je autorem definován cílový stav (úspěch) a porucha (chyba) následovně:

- cílový stav = správně zabalený, označený a upevněný kus s nebezpečnou látkou na vozidle,
- porucha systému = únik nebezpečné látky do okolí, špatná identifikace látky, nesprávný odhad nebezpečí.

##### **Krok 2 – Identifikace veškerých lidských operací ovlivňující funkčnost systému.**

V subsystému balení a nakládky kusů autor identifikuje postupné základní lidské operace, které autor navrhuje zařadit do pěti skupin chyb ( $Q_1 - Q_5$ ):

- identifikace látky (třída, UN číslo, klasifikační kód, obalová skupina) –  $Q_1$ ,
- výběr obalu (druh, materiál, stáří, poškození) –  $Q_2$ ,
- plnicí proces (stupeň plnění, únik při plnění) –  $Q_3$ ,

- značení obalu, (UN číslo, bezpečnostní značky, orientační šipky, ostatní ADR značení) – Q<sub>4</sub>,
- nakládka (upevnění kusů na paletu, nakládka na vozidlo, upevnění palety na vozidle) – Q<sub>5</sub>.

**Krok 3 – Stanovení chybovosti pro každou lidskou operaci nebo skupinu operací v systému.**

Tento krok zahrnuje odhad pravděpodobnosti výskytu chyby  $P_i$  a pravděpodobnosti, že chyba nebude detekována a tudíž povede k poruše systému  $F_i$ . Pravděpodobnost výskytu jednotlivé chyby autor navrhuje určit podle vzorce 10.

$$P_i = \frac{n}{N} [-] \quad (10)$$

kde:

$P_i$  ... pravděpodobnost výskytu chyby [-]

$n$  ... počet sledovaných chybných úkonů [počet]

$N$  ... celkový počet provedených úkonů [počet]

Pravděpodobnost, že chyba nebo skupina chyb povede k poruše subsystému, je určena podle vzorce 11.

$$Q_i = 1 - (1 - P_i \cdot F_i)^{n_i} [-] \quad (11)$$

kde:

$Q_i$  ... pravděpodobnost, že skupina chyb povede k poruše subsystému [-]

$F_i$  ... pravděpodobnost, že chyba povede k poruše systému [-]

$n_i$  ... počet nezávislých operací [počet]

Celková pravděpodobnost, že dojde k poruše systému v důsledku jedné nebo více skupin chyb jednotlivých subsystémů je uvedena ve vzorci 12.

$$Q_T = 1 - \left[ \prod_1^n (1 - Q_i) \right] [-] \quad (12)$$

kde:

$Q_T$  ... pravděpodobnost, že porucha systému vyplýne z jedné nebo více skupin chyb jednotlivých subsystémů [-]

Autor v tabulce 8 uvádí základní pravděpodobnosti pro identifikované skupiny chyb Q<sub>1</sub> – Q<sub>5</sub> v kroku 2 metody THERP. Objektívni posouzení je však nutné vždy provést pro konkrétní podmínky daného systému, respektive subsystému.

**Tabulka 8** Pravděpodobnosti pro identifikované skupiny chyb metodou THERP

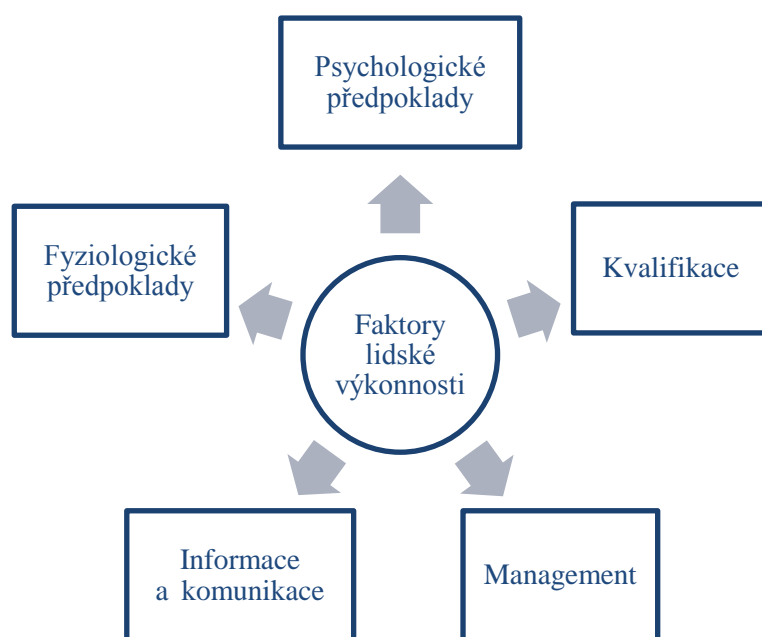
Skupina chyb [Q <sub>n</sub> ]	Pravděpodobnost vzniku chybné události [P <sub>n</sub> ]	Pravděpodobnost nedetekování události [F <sub>n</sub> ]	Pravděpodobnost chybné operace [P <sub>n</sub> ·F <sub>n</sub> ]	Pravděpodobnost správné operace [1-P <sub>n</sub> ·F <sub>n</sub> ]
Q <sub>1</sub>	0,002	0,8	0,0016	0,9984
Q <sub>2</sub>	0,010	0,3	0,0030	0,9970
Q <sub>3</sub>	0,005	0,1	0,0005	0,9995
Q <sub>4</sub>	0,015	0,5	0,0075	0,9925
Q <sub>5</sub>	0,020	0,5	0,0100	0,9900

Zdroj: autor s využitím (30), (66), (68)

#### **Krok 4 – Určení vlivu lidských chyb na systém.**

Autor navrhuje vytvořit strom událostí pro hodnocený systém. Levá větev stromu představuje tzv. úspěšnou cestu, zatímco pravá chybovou.

Autor identifikoval v souladu s doporučením v (38) pět faktorů lidské výkonnosti. Navržený minimalistický soubor faktorů lidské výkonnosti v systému přepravy nebezpečných věcí autor znázorňuje na obrázku 7.



**Obrázek 7** Faktory lidské výkonnosti v systému přepravy nebezpečných věcí (autor, 2018)

#### **Krok 5 – Doporučení změn systému**

Při stanovení míry vlivu lidského faktoru na jednotlivé skupiny chyb, autor navrhuje aplikovat citlivostní analýzu.

#### **4.1.5 Strom poruchových událostí (FTA)**

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 9,
- předchůdce – 7 a 8,
- následovník – 10.

Metoda „Strom poruchových událostí“ (FTA) navazuje na analýzu HRA popsanou v kapitole č. 4.1.4. Metoda FTA je nejvhodnější pro zobrazení celkového kontextu. Vede k systematickému přístupu, který ovšem zároveň umožňuje dostatečnou flexibilitu, aby umožnil analýzu rozdílných faktorů.

Autor definuje **vrcholovou nežádoucí událostí nehodu s únikem nebezpečné látky**. Autor navrhuje provést identifikaci příčin nežádoucí události a přiřazení pravděpodobností ve čtyřech úrovních od obecných (úroveň 1), po konkrétní příčiny (úroveň 4). Logický člen (hradlo) nadřazený příčinám je NEBO (OR) – jedna nebo více příčin vedou k nežádoucí události.

#### **Úroveň 1 – člověk, vozidlo, infrastruktura**

Autor navrhuje příčiny vrcholové události člověk, vozidlo, infrastruktura, jako zástupné problémové okruhy identifikované pomocí metody „Kontrolního seznamu“ v kroku tři, popsaného v kapitole č. 4.1.1.

#### **Úroveň 2 – doprava, nakládka, balení**

Autor navrhuje v úrovni dva rozčlenit nadřazenou událost člověk, která je komplementární k analýze HRA popsanou v kapitole č. 4.1.4. Autor definuje příčiny události: doprava, nakládka a balení v souladu s dělením systému pomocí metody FMECA popsané v kapitole č. 4.1.3.

#### **Úroveň 3 – identifikace, obal, plnění, značení**

Autor navrhuje v úrovni tři rozčlenit nadřazenou událost balení, jelikož je metodou „Co se stane, když“ popsanou v kapitole č. 4.1.2 identifikovaná jako nejvariabilnější příčina nehod. Autor definuje příčiny události: identifikace, obal, plnění, značení.

#### **Úroveň 4 – přeplnění, stupeň plnění, poškození**

Autor navrhuje v úrovni čtyři rozčlenit nadřazenou událost plnění, vzhledem k tomu, že lze identifikovat uzavřený počet tří hlavních příčin této události:

- okamžitý únik látky vlivem přeplnění obalu,
- následný únik látky při zvýšené přepravní teplotě v důsledku překročení stupně plnění,
- únik látky v důsledku poškození obalu při manipulaci.

Pro jednotlivé události autor určí **pravděpodobnost vzniku události na základě frekvenční analýzy příčin dopravních nehod** v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí v databázi nehod PHMSA (68).

#### 4.1.6 Hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 10,
- předchůdce – 9,
- následovník – žádný (konec hodnocení), pokud je riziko přijatelné, nebo 11 pokud je nepřijatelné.

Autor stanovuje pro jednotlivé kvantitativní metody následující **hranice nepřijatelného rizika**:

- **FMECA: celkové bodové hodnocení 19 a výše** (viz kapitola č. 4.1.3),
- **HRA respektive THERP: míra rizika vyšší než  $Q_T = 0,02$**  (viz kapitola č. 4.1.4),
- **FTA: pravděpodobnost nežádoucí události v úrovni 4 vyšší než  $p = 0,04$**  (viz kapitola č. 4.1.5).

**V případě identifikace nepřijatelného rizika** bude implementováno vhodné opatření v podobě technologických postupů pro snížení rizika dopravních nehod (viz kapitola č. 4.3.2) nebo úpravy v oblasti školení (viz kapitola č. 4.3.3).

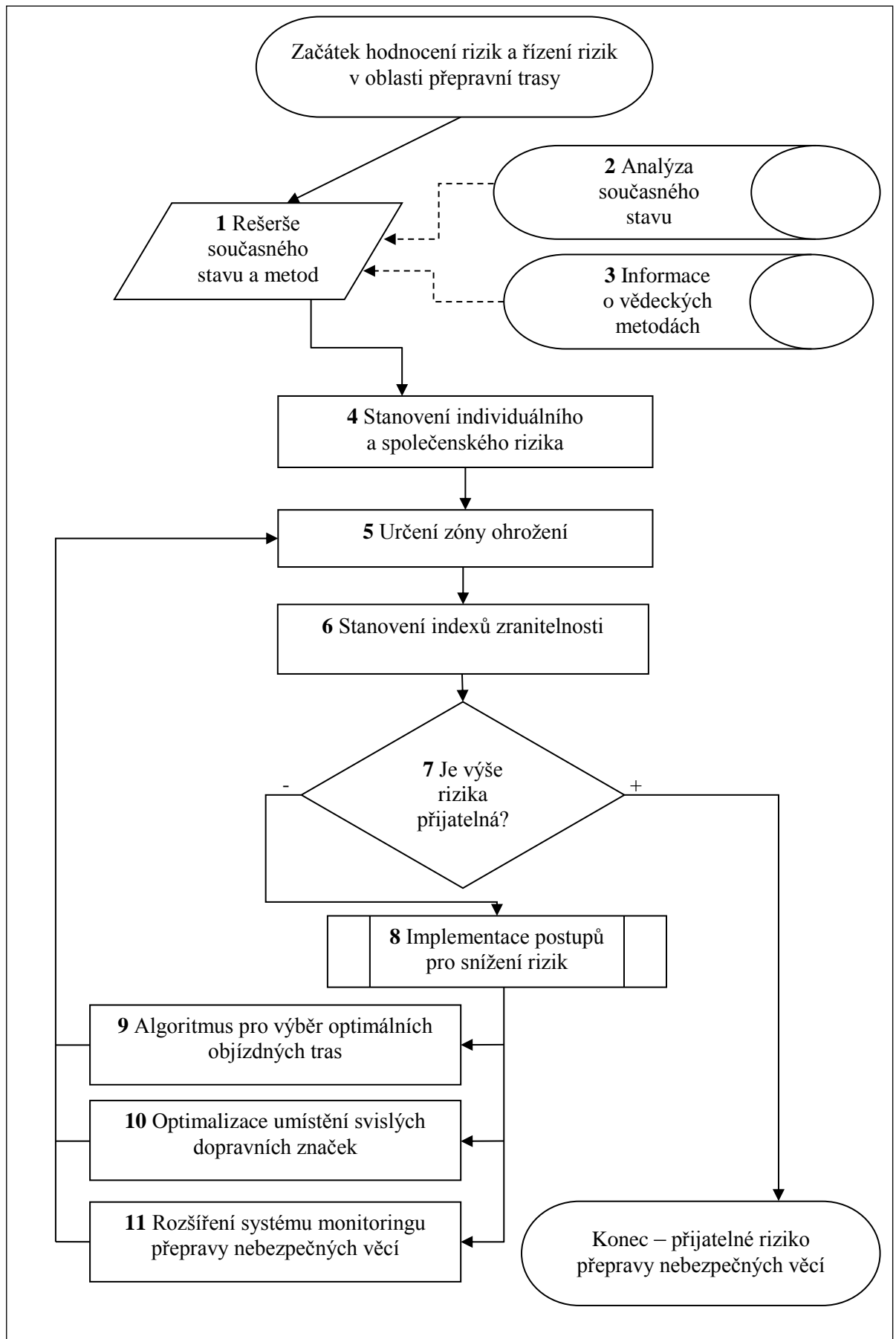
## 4.2 Hodnocení a řízení rizik v oblasti přepravní trasy

Součástí hodnocení rizik v oblasti přepravní trasy jsou tři vstupy pro následné hodnocení, které mají ve vývojovém diagramu na obrázku 8 následující pozice:

- (4) stanovení individuálního a společenského rizika – stanovení dolní a horní hranice přijatelnosti rizika a zóny ALARP (viz kapitola č. 4.2.1),
- (5) určení zóny ohrožení – stanovení referenčních nebezpečných látek a určení zóny ohrožení pomocí SW *ALOHA* (viz kapitola č. 4.2.2),
- (6) stanovení indexů zranitelnosti – určení zranitelnosti obyvatelstva a ostatních biotických složek (viz kapitola č. 4.2.3).

Pozice (1) rešerše současného stavu a vědeckých metod spočívá v poznání současného stavu a přístupu k problematice hodnocení rizika na trase při přepravě nebezpečných věcí v ČR i v zahraničí. V rámci tohoto kroku autor identifikuje vhodné metody pro zařazení do navrhovaného procesu hodnocení rizika v oblasti přepravní trasy (viz kapitola č. 1 a č. 3).

Pozice (8) představuje hodnocení rizik (viz kapitola č. 4.2.4).



**Obrázek 8** Vývojový diagram hodnocení rizik trasy v přepravě nebezpečných věcí (autor, 2018)

#### 4.2.1 Individuální a společenského riziko

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 4,
- předchůdce – 1 (respektive její vstup č. 2 a 3),
- následovník – 5.

V literatuře (22, 23, 62, 79) lze nalézt doporučené akceptovatelné hodnoty individuálního a společenského rizika při přepravě nebezpečných věcí především v souvislosti s přepravou silničními tunely. Pokud není přeprava nebezpečných nákladů tunelem významně rizikovější, než přeprava po alternativních pozemních komunikacích, může být vjezd do tunelu povolen. V opačném případě je nutné provést bezpečnostní úpravy, či vyloučit přepravu nebezpečných nákladů (23). V silničním tunelu působí na řidiče řada faktorů, které zvyšují riziko nehody (odlišné světelné podmínky, uzavřený prostor, psychologické faktory). Proto je mimo silniční tunely přijatelná vyšší míra rizika. **Autor odvodí přijatelnou míru rizika přepravy nebezpečných věcí na pozemních komunikacích mimo tunely od stanoveného přijatelného rizika přepravy v tunelech. Na komunikacích mimo silniční tunely autor stanoví přijatelné riziko o řád nižší, než v tunelech, což je v souladu s postupem uvedeným v (80).**

**Individuální riziko** je definované na základě vzorce 8 jako pravděpodobnost, že průměrná nechráněná osoba, nacházející se v určitém místě je usmrcena v důsledku nehody způsobené existujícím nebezpečím. Zpravidla se udává pro dobu expozice 1 roku.

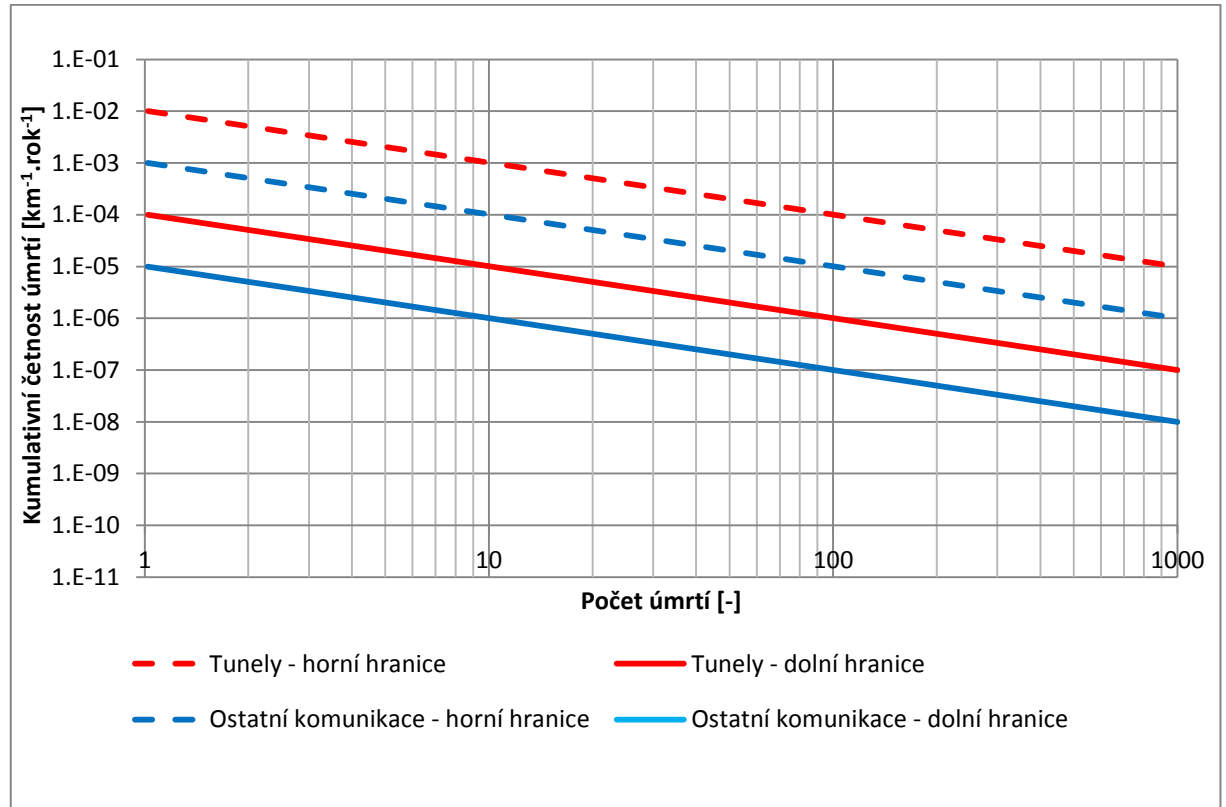
Dolní hranice individuálního rizika  $10^{-6}$  je považována za všeobecně přijatelnou úroveň frekvence ztráty života i v jiných oblastech ohrožení (poruchy stavební konstrukce, smrt elektrickým proudem apod.), (23). Při této hranici se zpravidla neuvažuje o dalších krocích ke snížení skutečné výše rizika. V TP 229 Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací je však **dolní hranice individuálního rizika v silničních tunelech  $10^{-4}$**  (22). Je tedy tolerováno vyšší riziko. V souladu s definovaným požadavkem na řádově nižší riziko mimo silniční tunely, autor stanovuje **dolní hranici individuálního rizika na pozemních komunikacích mimo tunely  $10^{-5}$** .

Horní hranice individuálního rizika je stanovena na základě skutečného odhadu individuálního rizika ztráty života v průběhu jednoho roku. V odborné literatuře neexistuje jednotný konsensus, z jakých hodnot při určení vycházet. Některé zdroje vycházejí při přepravě tunely z rizika úmrtí v průběhu jednoho roku ve stavebnictví, které se udává zpravidla ve výši  $10^{-3}$  (79). V jiných odvětvích jsou hodnoty skutečného individuálního rizika výrazně nižší, ale i vyšší. V TP 229 je **horní hranice individuálního rizika v silničním**

**tunelu  $10^{-2}$**  (22). Někteří autoři, např. francouzská metodika CETU (62) doporučují přijatelnou míru rizika  $10^{-3}$ . Pokud je hodnota individuálního rizika v tunelu nižší než  $10^{-3}$ , přeprava nebezpečných věcí tunelem není výrazně rizikovější než přeprava po otevřených úsecích pozemní komunikace a vjezd do tunelu může být povolen pro všechny druhy nebezpečných nákladů (62). Autor stanovuje **horní hranici individuálního rizika na pozemních komunikacích mimo tunely  $10^{-3}$** .

**Společenské riziko** podél přepravní trasy je definované na základě vzorce (4) jako vztah mezi četností události a počtem osob v dané populaci, které jsou usmrceny v důsledku působení silniční přepravy nebezpečných věcí. Zatímco individuální riziko uvádí pravděpodobnost úmrtí na konkrétním místě, společenské riziko udává počet usmrcených pro celou oblast bez ohledu na to, kde přesně v této oblasti k poškození došlo (22).

Na **obrázku 9** je vyznačena **dolní hranice (plná linka) a horní hranice (přerušovaná linka) společenského rizika přepravy nebezpečných věcí v ČR**. Červenou linkou jsou uvedeny hranice rizika v tunelech, které jsou převzaty z TP 229 (22). Modrá linka stanovuje hranice společenského rizika na pozemních komunikacích mimo silniční tunely, které stanovil autor. Hranice rizika mimo tunely jsou o řád nižší, než v silničních tunelech.



**Obrázek 9** Limity společenského rizika přepravy nebezpečných věcí v ČR (autor, 2018 s využitím TP 229, 2015)



Horní a dolní hranice individuálního a společenského rizika uvedené v této kapitole, autor použije pro hodnocení rizika v kapitole č. 4.3.4 v algoritmu pro výběr optimálních objízdnych tras a v kapitole č. 4.3.5 v návrhu optimalizace umístění dopravních značek.

#### 4.2.2 Zóny ohrožení

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 5,
- předchůdce – 4 (respektive 9, 10 nebo 11, při identifikaci nepřijatelného rizika),
- následovník – 6.

Autor navrhuje, na základě analýzy četnosti druhů nebezpečných věcí na nehodách, stanovit tři **zástupné kategorie nebezpečných věcí: hořlavá kapalina, hořlavý plyn, toxické látky**. Pro tyto kategorie autor stanoví poloměr oblasti se zraněním osob v případě nehodového scénáře *j*. Zóna ohrožení následně bude představovat vstupní údaj pro určení plošného indexu zranitelnosti přepravované nebezpečné věci  $IZ_{NV}$  při hodnocení rizika podle postupu v kapitole č. 4.3.

Autor pro každou kategorii nebezpečných látek (hořlavá kapalina, hořlavý plyn, toxické látky), zvolí **optimální referenční látku a následně určí zónu ohrožení na základě modelování úniku definovaného množství dané látky v SW ALOHA** (69). Omezující podmínka je přítomnost látky v databázi SW ALOHA. Pro hořlavé kapaliny je nejvhodnější látka benzín, který je společně s naftou nejčastěji přepravovanou nebezpečnou látkou. Tato látka se ovšem v databázi freewarového SW nástroje ALOHA nenachází. Autor proto pro **hořlavé kapaliny** navrhuje nejbližší alternativní látku **n-hexan**. Zástupnou látkou pro **hořlavý plyn** autor stanovil zkapalněný **propan**. Toxické látky budou zastoupeny v podobě **toxického plynu (chlorovodík)**.

Autor navrhuje při **stanovení dopadu** scénářů úniku nebezpečné látky využít limity pro **nejrizikovější červenou zónu (AEGL-3)** a pro porovnání výsledků i středně rizikovou oranžovou zónu (AEGL-2). Pro určení individuálního a společenského rizika je rozhodující červená zóna (AEGL-3). Limity AEGL-3 a AEGL-2 autor převzal z databáze látek v SW ALOHA a jsou pro jednotlivé látky stanoveny v tabulce 9.

**Tabulka 9** Limity pro stanovení zóny ohrožení při modelování úniku látek

Scénář ohrožení Látka	Tepelné záření požáru par [ppm]	Oblast toxického mraku [ppm]	Oblast hořlavého mraku [ppm]	Zóna ohrožení
N-hexan	8 600	8 600	7 200	AEGL-3
	3 300	3 300	-	AEGL-2
Propan	33 000	33 000	12 600	AEGL-3
	17 000	17 000	-	AEGL-2
Chlorovodík	-	100	-	AEGL-3
	-	22	-	AEGL-2

Zdroj: SW ALOHA (70)

Vstupním množstvím pro modelování úniku nebezpečné látky je tzv. „velká nehoda“. **Autor takto definuje nehodu s únikem nebezpečné látky, která odpovídá 80 % kvantilu distribuce uniklého množství nebezpečných látek na základě empirických dat o nehodovosti při silniční přepravě nebezpečných věcí v Kanadě  $Q_{0,8}$  (63).** Velký rozsah dostupných záznamů o nehodovosti při tomto typu přepravy v Kanadě poskytuje objektivnější ukazatele popisující dopady jednotlivých nehod, než obdobné statistiky v ČR.

**Pro jednotlivé látky autor definuje následující rozsahy úniku  $Q_{0,8}$ :**

- n-hexan: 5 857 kg,
- propan: 6 042 kg,
- chlorovodík: 2 712 kg.

**Zdroj úniku** je horizontální cisterna. Autor dále definuje následující běžné **atmosférické podmínky** pro modelování úniku látky v SW ALOHA (69), síla větru:  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , směr větru: západní, teplota vzduchu:  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , vlhkost 50 %.

**V případě hořlavých kapalin a plynů je pro modelování dopadu určující, zda v důsledku nehody dojde ke vznícení uniklé látky.** Navíc i u hořlavých látek se většinou vyskytuje určité reziduální riziko toxicity, někdy i žíravosti. Autor proto **pomocí SW ALOHA určí pro hořlavé kapaliny a plyny zóny ohrožení** založené na následujících scénářích ohrožení:

- Tepelné záření požáru par,
- oblast hořlavého mraku,
- oblast toxického mraku,

U **toxických látek** autor určí převažující riziko v podobě toxicity, které je vždy spojené s únikem látek při nehodě (oblast toxického mraku).

**Dopad bude pro jednotlivé scénáře  $j$  určen podle poloměru zóny ohrožení  $r_j$ .** Zóny ohrožení jsou vstupem pro hodnocení rizika v kapitole č. 4.2.4.

### 4.2.3 Indexy zranitelnosti

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 6,
- předchůdce – 5,
- následovník – 7.

Zranitelnost představuje náchylnost ke vzniku škod. Základní přístup k určení zranitelnosti obyvatelstva je podle počtu obyvatel, kteří se vyskytují v okolí nehody (59). Při určitém zjednodušení lze použít hustotu obyvatel na jednotku plochy podle trvalého pobytu občanů. Autor v tabulce 10 navrhuje použít zjednodušenou pětistupňovou hodnotící škálu pro stanovení indexu zranitelnosti přepravy nebezpečných věcí v ČR pro obyvatelstvo. Autor převzal škály rozdělení hustoty obyvatelstva z dělení dle (81).

**Tabulka 10** Indexy zranitelnosti obyvatelstva v ČR

Hustota obyvatel [obyvatel / ha]	Index zranitelnosti obyvatelstva (IZO) [-]	Kvalitativní zranitelnost Obyvatelstva
do 3,752	1	velmi nízká
3,752 – 5,804	2	nízká
5,805 – 8,284	3	střední
8,285 – 12,384	4	vysoká
nad 12,384	5	velmi vysoká

Zdroj: (81)

Z ostatních biotických složek autor doporučuje při hodnocení zaměřením na chráněná území a vodní zdroje:

- chráněná území (Národní park, Chráněná krajinná oblast),
- vodní toky (přirozené, umělé),
- vodní plochy (vodní nádrž, rybník, jezero),
- bažiny a rašeliniště (bažina, rašeliniště).

Celkový index zranitelnosti trasy na úseku  $i$   $IZT_i$  se vypočítá podle vzorce (13) z indexu zranitelnosti obyvatelstva ( $IZO$ ) a indexu zranitelnosti biotických složek, u kterých lze upravit váhy jednotlivých složek dle aktuálních požadavků.

$$IZT_i = \alpha \cdot IZO_i + \omega \cdot IZCH_i + \phi \cdot IZVT_i + \varphi \cdot IZVP_i + \mu \cdot IZBR_i [-] \quad (13)$$

kde:

$IZT_i$  .... celkový index zranitelnosti na úseku  $i$  [-]

$IZO_i$  .... index zranitelnosti obyvatelstva na úseku  $i$  [-]

$IZCH_i$  ... index zranitelnosti chráněných území na úseku  $i$  [-]

$IZVT_i$  ... index zranitelnosti vodních toků na úseku  $i$  [-]

$IZVP_i$  ... index zranitelnosti vodních ploch na úseku  $i$  [-]

$IZBR_i$  ... index zranitelnosti bažin a rašelinišť na úseku  $i$  [–]  
 $\alpha, \omega, \phi, \varphi, \mu$  ... váhové koeficienty [–]

Autor stanovuje indexy zranitelnosti ostatních biotických složek v tabulce 11:

**Tabulka 11** Indexy zranitelnosti pro ostatní biotické složky

Nejbližší vzdálenost od přepravní trasy [m]	Index zranitelnosti chráněných území (IZCH), Index zranitelnosti vodních toků (IZVT), Index zranitelnosti vodních ploch (IZVP), Index zranitelnosti bažin a rašelinišť (IZBR) [-]	Kvalitativní vyjádření zranitelnosti
nad 200,00	1	velmi nízká
200,00 – 100,01	2	nízká
100,00 – 50,01	3	střední
50,00 – 25,01	4	vysoká
do 25,00	5	velmi vysoká

Zdroj: autor

Indexy zranitelnosti jsou vstupem pro hodnocení rizika v následující kapitole č. 4.2.4.

#### 4.2.4 Hodnocení rizika na trase

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 7,
- předchůdce – 6,
- následovník – žádný (konec hodnocení), pokud je riziko přijatelné, nebo 8, pokud je nepřijatelné.

**Pro úseky komunikací, které nejsou součástí silničních tunelů,** autor navrhuje následující postup. Pro tři kategorie nebezpečných věcí (hořlavá kapalina, hořlavý plyn, toxické látky), autor stanoví **plošný index zranitelnosti  $IZ_{NV}$**  ( $IZ_{NV}$  1 až 3) **podle vzorce 5** uvedeného v kapitole č. 1.2.

$$IZ_{NV} = \sum_{j=1}^n \pi \cdot r_j^2 \cdot P_{sj} \quad [m^2] \quad (5)$$

**Vstupní proměnné jsou poloměr oblasti se zraněním osob v případě nehodového scénáře  $j$ ,** (určeny podle postupu v kapitole č. 4.2.2) **a pravděpodobnost jednotlivých nehodových scénářů  $P_{sj}$**  (autor navrhuje určit následovně).

Četnost nehod vedoucích k úniku látky autor navrhuje určit z aktuálních statistických dat o dopravní nehodovosti při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR.

Naproti tomu pravděpodobnost úniku látky v případě nehody i následnou pravděpodobnost požáru uniklé látky autor navrhuje převzít z empirických dat ze statistiky

nehodovosti při silniční přepravě nebezpečných věcí v Kanadě. Jednotlivé údaje autor souhrnně uvádí v následující tabulce 12.

**Tabulka 12** Roční charakteristiky nehodovosti a dopadů nehod při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR

Kategorie nebezpečných věcí	Hořlavé kapaliny	Hořlavé zkapalněné plyny	Toxické látky	Jiné látky
Pravděpodobnost podílu na nehodě v ČR [-]	0,531	0,093	0,118	0,258
Pravděpodobnost úniku v případě nehody [-]	0,025	0,020	0,010	0,015
Pravděpodobnost požáru uniklé látky [-]	0,050	0,170	-	-

Zdroj: autor na základě statistiky nehodovosti při přepravě nebezpečných věcí v ČR (30) a Kanadě (63)

**Pro určení počtu usmrcených na trase je nutné vynásobit index zranitelnosti nebezpečné věci s pravděpodobností nehody a hustotou zalidnění podle vzorce 6 uvedeného v kapitole č. 1.2.**

$$N_a = IZ_{NV} \sum_{i=1}^n P_{ai} \cdot D_i \text{ [počet usmrcených]} \quad (6)$$

**Vstupní proměnné jsou hustota zalidnění** v okolí trasy **D**. Autor navrhuje použít data ze sčítání lidu, domů a bytů. Další vstupní proměnnou je **pravděpodobnost nehody při přepravě nebezpečných věcí  $P_a$**  v úseku délky jeden km určil autor disertační práce v článku (39). Průměrná ujetá vzdálenost na při silniční přepravě nebezpečných věcí v ČR na jednu nehodu činní  $2,932 \cdot 10^6$  vozokilometrů. Z toho vyplývá střední vstupní hodnota  **$P_a = 0,000000341$**  pro úseky v délce jeden km, bez zohlednění typu komunikace. Autor navrhuje určit rizikovost trasy nezávisle pro tři kategorie nebezpečných látek (hořlavá kapalina, hořlavý plyn, toxické látky) definované v kapitole č. 4.2.2 a jednotlivá rizika porovnat.

**Výhodou postupu podle vzorce 6** je určení potenciálního počtu usmrcených osob při využití dané trasy. To umožňuje následné porovnání se stanovenými limity individuálního a společenského rizika.

**Výsledky rizikové analýzy budou spadat do kategorie přijatelného rizika, pokud je individuální i společenské riziko nižší, než dolní hranice stanovená autorem v kapitole 4.2.1. Naopak výsledky budou spadat do kategorie nepřijatelného rizika, pokud je individuální i společenské riziko vyšší, než horní hranice stanovená autorem v kapitole 4.2.1.** Interval mezi oběma hranicemi (ALARP) je hraniční. Pokud riziko leží blíže k horní hranici, je vhodné řešit jeho případné snížení, které ale musí být efektivní, z hlediska nákladů

ve vztahu ke snížení rizika. V případě, že hodnocené riziko přesahuje akceptovatelné riziko (výsledné riziko je vyšší, než je horní hranice kritéria) musí být navržena dodatečná opatření zvyšující bezpečnost, jejichž účinnost je následně znovu posouzena. Tento postup končí, pokud se společenské či individuální riziko dostane do intervalu přijatelnosti (23).

**Nevýhodou postupu podle vzorce 6** je vysoká náročnost výpočtu, zatížená možnou nepřesností vzhledem k tomu, že je hustota zalidnění v okolí trasy proměnná veličina. **Autor navrhuje modifikovat vzorec 6 a místo členu  $D$  použít celkový index zranitelnosti na daném úseku určený dle vzorce 13. Tento přístup vysoce zjednodušuje přístup k určení dopadu na obyvatelstvo, ale zohledňuje i riziko ohrožení vybraných ostatních biotických složek. Vzorec 14 stanovuje rizikovitost přepravní trasy zohledňující tyto parametry.**

$$R_t = IZ_{NV} \sum_{i=1}^n P_{ai} \cdot IZT_i \quad [-] \quad (14)$$

kde:

$R_t$  ... společenské riziko při přepravě dané nebezpečné věci na trase [-]

Vstupní proměnné jsou obdobné jako u vzorce 6, ovšem místo hustoty zalidnění obyvatelstva  $D$  je zde celkový index zranitelnosti na úseku  $IZT$  určený podle vzorce 13 v kapitole č. 4.2.3.

**Pro určení celkového společenského rizika přepravy všech nebezpečných věcí na dané trase, je nutné společenská rizika jednotlivých látek agregovat na základě jejich podílu na přepravě.** Postup je uveden ve vzorci 15.

$$R_{t\_spo} = \alpha \cdot R_{t1} + \beta \cdot R_{t2} + \dots + \varphi \cdot R_{tn} \quad [-] \quad (15)$$

kde:

$R_{t\_spo}$  .... celkové společenské riziko přepravy nebezpečných věcí na trase [-]

$\alpha \dots \varphi$  .... podíl látky 1 až n na silniční přepravě nebezpečných věcí [-]

$R_{t1} \dots R_{tn}$  .... společenské riziko látky 1 až n na trase [-]

**Pokud je hodnocený úsek komunikace součástí silničních tunelů, autor navrhuje využít SW *GRAM* (75).**

### 4.3 Návrh postupů pro snížení rizik

Kapitola obsahuje splnění hlavního a dílčích cílů práce na základě identifikování rizik při přepravě nebezpečných věcí a analýzy dopadů v předchozím řešení.

Hlavní cíl práce naplňuje Algoritmus hodnocení rizik v oblasti lidských zdrojů – viz kapitola č. 4.3.1, který je ve vývojovém diagramu na obrázku 6 uveden na pozici 10. V případě nepřijatelné úrovně rizika navrhuje autor Technologické postupy pro snížení rizika

dopravních nehod – viz kapitola č. **4.3.2** a Úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí – viz kapitola č. **4.3.3**, které jsou ve vývojovém diagramu na obrázku 6 uvedeny na pozici 12, respektive 13.

Vedlejší cíle jsou naplněny třemi návrhy, které jsou uvedeny ve vývojovém diagramu na obrázku 8. Algoritmus pro výběr optimálních objízdných tras – viz kapitola č. **4.3.4** je uveden na pozici 9, Optimalizace umístění svislých dopravních značek – viz kapitola č. **4.3.5** je uvedena na pozici 10 a Rozšíření systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí viz kapitola č. **4.3.6** je uvedené na pozici 11.

### **4.3.1 Algoritmus hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů**

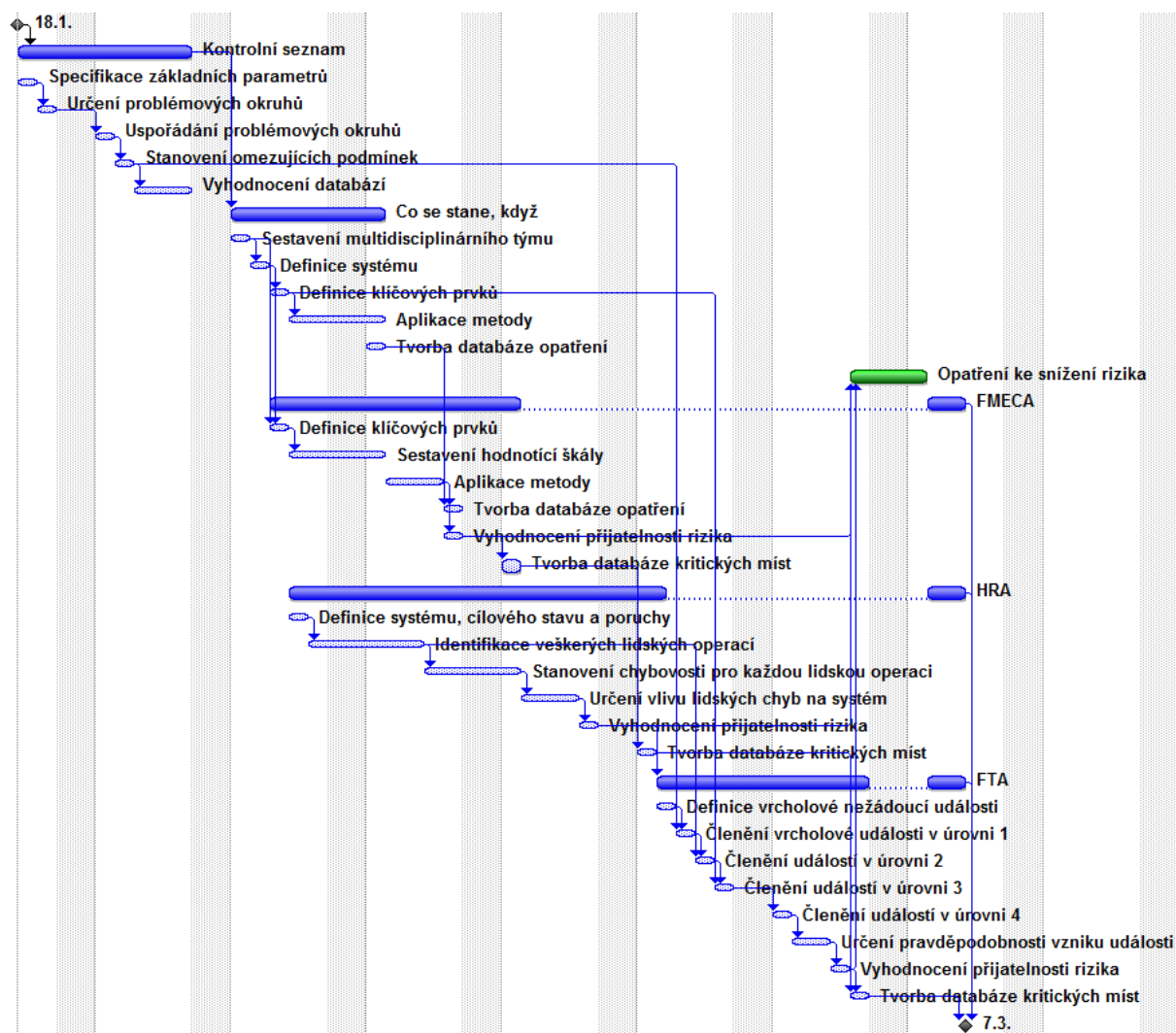
Autor navrhuje algoritmus pro hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů při přepravě nebezpečných věcí zejména ve vazbě na:

- identifikovaný **hlavní podíl lidského faktoru** na příčinách nehod,
- zvýšení **bezpečnosti při manipulaci** s nebezpečnými věcmi,
- určení **povinností osob** podílejících se na přepravě,
- technologické postupy pro **snížení nehodovosti**,
- právní požadavky na **odborné školení** osob,
- **systém ověření znalostí** osob.

Na základě sestaveného Ganttova diagramu na obrázku 10, vytvořeného v SW *Microsoft Project*, lze hlavní **postupové kroky algoritmu hodnocení rizika a vztahu řízení rizika v oblasti lidských zdrojů v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí** souhrnně v pěti krocích definovat takto:

- 1) rešerše současného stavu a vědeckých metod (viz kapitola č. **1** a č. **3**);
- 2) identifikace rizik (viz kapitola č. **4.1.1** až **4.1.5**);
- 3) analýza dopadů (viz kapitola č. **4.1.3** až **4.1.5**);
- 4) hodnocení rizika (**zpětná vazba**), (viz kapitola č. **4.1.6**);
- 5) návrh postupů pro snížení rizik (viz kapitola č. **4.3.2** a **4.3.3**).

Popis Ganttova diagramu hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů je v příloze C.



**Obrázek 10** Technologický postup hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů (autor, 2018)

Autor navrhuje převzít klasifikaci chyb způsobených v oblasti lidského činitele (82). Přiřazení identifikovaných chyb v oblasti přepravy nebezpečných věcí do následujících kategorií umožní lépe zvolit nápravná opatření:

- nedostatečné proškolení nebo špatné pokyny,
- nedostatečná motivace nebo úmyslné porušení předpisů,
- nedostatek fyzických nebo duševních schopností,
- nedostatečná pozornost,
- špatné vedení (management),
- kombinace předchozích možností.

Základní cesty při omezení četnosti a závažnosti chyb obsluhy jsou následující (83):

- eliminace – činnost nebude vykonávána, nebo se použije jiný princip,



- prevence – vytvoření technických a organizačních opatření, které sníží pravděpodobnost vzniku chyby,
- represe – omezení následků selhání lidského činitele.

V praxi se jednotlivé postupy mohou kombinovat.

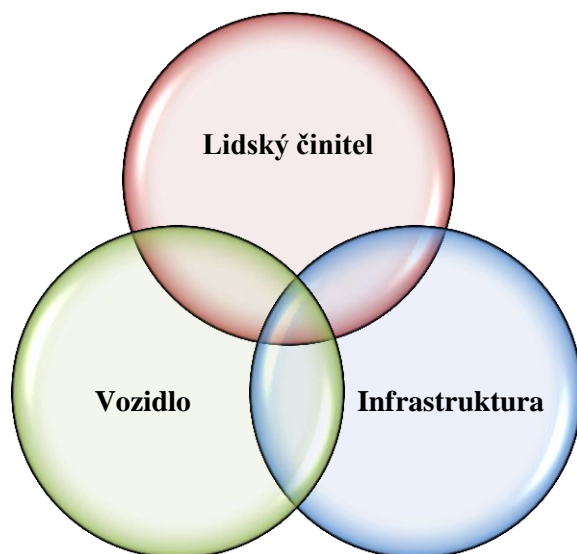
#### 4.3.2 Technologické postupy pro snížení rizika dopravních nehod

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 12,
- předchůdce – 11,
- následovník – 6.

V oblasti lidského činitele je třeba realizovat taková opatření, která vedou k odstranění chybného a nebezpečného chování nebo je alespoň minimalizují. Naopak technické složky systému – pozemní komunikace a dopravní prostředky by měly být upraveny tak, aby vytvářely podmínky pro bezpečné chování a také je vytvářely svými parametry a vybavením. Současně by měly být upraveny tak, aby při selhání lidského činitele a při jeho chybném chování, které povede ke vzniku nehody, nebyl ohrožen lidský život nebo nedošlo k vážným následkům na zdraví (84). Příkladem úprav je rozvoj autonomní mobility a budování inteligentních dálnic. V případě ČR jde konkrétně o „Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)“ (85).

I když je hlavní příčinnou dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí v ČR (2) i v zahraničí – Kanada (63) lidský faktor, část nehod vzniká spolupůsobení dvou a více faktorů. Obrázek 11 znázorňuje spolupůsobení tří základních faktorů (lidský činitel, vozidlo a infrastruktura) na vznik dopravních nehod.



**Obrázek 11** Vliv faktorů na dopravní nehodovost (autor, 2018 s využitím (84))

V návaznosti na analýzu současného stavu v oblasti přepravy nebezpečných věcí v kapitole č. 1 a hodnocení lidských zdrojů v kapitole č. 4.1 autor navrhuje následující technologické postupy pro tři základní faktory. Implementace směřuje k ústřednímu orgánu státní správy, státní správě a samosprávě (dále „S“), zainteresovaným dopravcům (dále „D“), ostatním komerčním subjektům (dále „K“). U každého bodu autor uvádí subjekt pověřený implementací daného opatření.

**Lidský činitel:**

- zkvalitnění výuky a výcviku v autoškole (zejména řidičské oprávnění skupiny C a E) např. nácvikem krizových situací na cvičném polygonu – S,
- zlepšení vzdělávání řidičů v rámci profesního školení ve školicích střediscích, včetně ověření znalostí – S,
- vysoký standard přípravy řidičů v rámci specializovaného ADR školení – K,
- implementace interního systému školení řidičů ADR – D, viz kapitola č. 4.3.3,
- zajištění podmínek pro kvalitní výkon práce řidiče – D,
- využití automatických telematických nástrojů pro kontrolu (povolené rychlosti, minimální rozestupy vozidel) – S,
- správné nastavení motivačního systému řidičů – D,
- implementace dalších kontrolních mechanismů a sankcí (Policie, Celní správa, Centrum služeb pro silniční dopravu) – S,
- • zaměření na rizikovou skupinu mladých řidičů – postupný přechod na přepravu nebezpečných věcí v kusech a následně v cisternách – D,
- preventivní působení na účastníky provozu na pozemních komunikacích vzdělávacími kampaněmi – S,
- eliminace agresivního chování řidičů (automatické upozornění telematickými aplikacemi na rizikové chování) – D.

**Vozidlo:**

- implementace interního systému kontroly vozidel – D,
- specializované kontroly vozidel zaměřené na splnění podmínek přepravy nebezpečných věcí (ADR) – S,
- provádění nařízených technických prohlídek vozidel mobilními stanicemi technické kontroly – S,
- rozvoj vysokorychlostního kontrolního vážení vozidel – S,

- zavádění systémů V2V (*vehicle to vehicle*), komunikace vozidla s ostatními vozidly v okolí a informace např. o překážkách – K,
- integrace dat, která vozidla a zařízení na dopravní síti generují a zasílat konkrétní informace o provozu přímo řidiči – S,
- využití nové generace inteligentních tachografů pro dálkovou kontrolu sociálních předpisů – S,
- rozvoj elektronických asistenčních systémů vozidel – K,
- zavádění podmíněné, vysoké a plné automatizace vozidel – K,
- výbava vozidel systémy vylučující možnost jejich nastartování řidičem ovlivněným alkoholem (*alcohol-lock*) – K,
- monitoring vozidel a vyhodnocení způsobu jízdy řidičů – D.

#### **Infrastruktura:**

- dokončení dálniční sítě v ČR – S,
- výstavba obchvatů vybraných měst a obcí – S,
- zákaz tranzitu nákladních vozidel na paralelních komunikacích nižší třídy – S,
- optimalizace umístění dopravních značek regulujících přepravu nebezpečných věcí – S, viz kapitola č. 4.3.5,
- provádění bezpečnostního auditu na pozemních komunikacích – S,
- prioritní odstranění kritických nehodových míst – S,
- zkvalitnění povrchových vlastností vozovek a dopravního značení – S,
- zabezpečení železničních přejezdů (mimoúrovňové, závory, světelná závora) – S,
- zavádění systémů V2I (*vehicle to infrastructure*), komunikace vozidla s infrastrukturou a informace sjízdnosti (děšť, náledí) – S,
- zajištění dostatečné kapacity parkovacích míst na odpočívkách (zejména na dálnicích a tranzitních komunikacích I. třídy) – S,
- informování řidičů o dostupné kapacitě parkovacích míst na odpočívkách – K.

### **4.3.3 Úpravy v oblasti školení a ověřování znalostí**

Základní informace k diagramu na obrázku 6:

- pozice – 13,
- předchůdce – 11,
- následovník – 6.

Autor definuje **čtyři kategorie odborných školení** v problematice přepravy nebezpečných věcí po silnici **z pohledu cílové skupiny**:

- **bezpečnostní poradci** – v návaznosti na povinné vstupní školení autor pro tuto skupinu navrhuje individuální vzdělávání, odborné knihy a časopisy, účast na tematických konferencích a seminářích,
- **řidiči** – autor v této kapitole navrhuje úpravy školení řidičů přepravujících nebezpečné věci balené v kusech, ve volně loženém stavu a v cisternách. Nad rámec rozsahu disertační práce jsou specifické školení na třídu 1 (Výbušné látky a předměty) a třídu 7 (Radioaktivní látky) nebezpečných věcí.
- **osoby podílející se na přepravě** (skladník, dispečer, apod.) – školení musí být vysoce specifické a úzce zaměřené na potřeby účastníků. Z toho důvodu musí být návrhy úprav školení provedeny variantně a jsou nad rámec rozsahu disertační práce.
- **kontrolní orgány** (Policie ČR, Celní správa, dopravní úřady, Centrum služeb pro silniční dopravu) – školení musí být zaměřeno na problematiku silniční kontroly a v případě dopravních úřadů i na kontroly v provozovnách. Návrhy úprav školení jsou i u této skupiny nad rámec rozsahu disertační práce.

**Autor při návrhu úpravy školení řidičů ADR vychází z následujících vstupních předpokladů o účastnících:**

- absolvovali výuku a výcvik v autoškole a jsou držiteli příslušného řidičského oprávnění,
- zúčastnili se vstupního školení odborné způsobilosti (15),
- účastní se pravidelného školení odborné způsobilosti a jsou držiteli průkazu profesní způsobilosti řidiče (15),
- absolvovali dopravně psychologickému vyšetření (17),
- stanovený rozsah, základní náplň a periodicita školení ADR (6).

Autor navrhuje **dvě základní úrovně specializovaného školení řidičů ADR**:

- **(A) školení pro získání či obnovení osvědčení řidiče ADR**, které bude prováděné v kurzech schválených Ministerstvem dopravy v pětileté periodicitě předepsané Dohodou ADR (aktualizovaný současný stav zajištěný akreditovanými lektory),
- **(B) interní školení řidiče ADR**, které bude prováděné v dopravních společnostech po dvou až třech letech od školení A (systematizovaný současný stav zajištěný bezpečnostními poradci ADR).

**Parametry školení (A)** popsal autor v rámci rešerše současného stavu v kapitole č. 1 disertační práce. Tematické okruhy, které musí být součástí jednotlivých školících kurzů, jsou stanovené přímo Dohodou ADR v pododdíle 8.2.2.3 (6). Nad rámec okruhů stanovených mezinárodní dohodou, autor identifikuje důležité tematické celky, které nejsou v mezinárodním předpise přímo uvedené anebo pouze obecně. Autor navrhuje zaměřit školení (A) navíc na oblasti znázorněné na obrázku 12.

#### Prevence nehodovosti

- Postup při nakládce a zajištění nákladu
- Postup při plnění a vyprazdňování cisteren
- Specifika související s průjezdem tunely
- Ovládání vozidla v obtížných podmínkách

#### Postup v případě nehody

- Automatizované chování při nehodě
- Použití povinné výbavy ADR
- Zásady a postupy při použití hasicích přístrojů
- Určení zóny ohrožení

#### Základy první pomoci

- Postup při bezvědomí
- Porucha dýchání a resuscitace
- Srdeční záchvat, tepenné krvácení, šok
- Popáleniny, poleptání, otravy

**Obrázek 12** Návrh úpravy školení řidičů ADR (autor, 2018)

**Parametry školení (B)** budou částečně vycházet ze specifického prostředí jednotlivých dopravních společností. Autor přesto navrhuje následující základní jednotící sylabus:

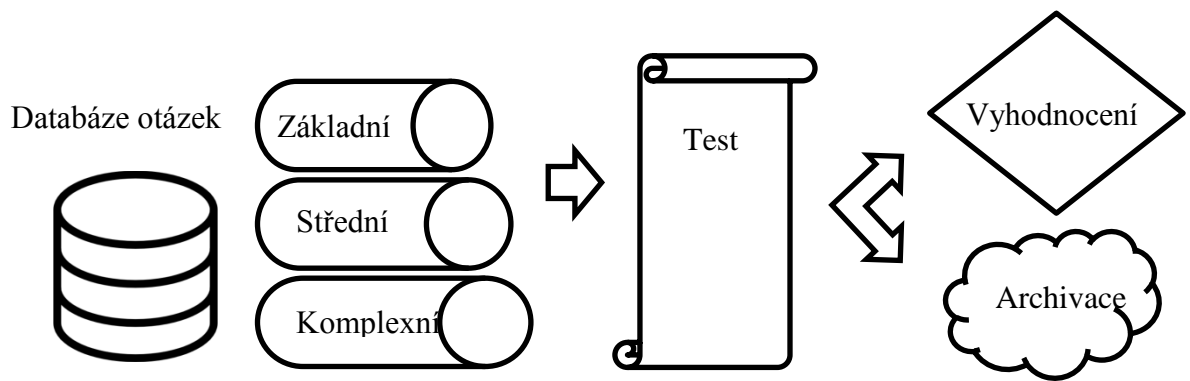
- změny v Dohodě ADR s dopadem na činnost a povinnosti řidiče,
- změny v ostatních relevantních právních předpisech EU a ČR s dopadem na řidiče,
- postupy pro minimalizaci rizika vzniku nehody,
- rekapitulace postupů v případě nehody,
- správné použití povinné výbavy ADR a hasicích přístrojů,
- postupy v případě přepravy vysoce rizikových nebezpečných věcí (interní bezpečnostní plán, zabezpečení vozidla),
- zajištění dozoru nad vozidly při parkování při přepravě vybraných nebezpečných věcí.

**Autor při návrhu ověření znalostí řidičů po školení (A) vychází z následujících předpokladů:**

- ověření znalostí nastavuje standardy kvality školení,
- přezkoušení musí komplexně pokrývat celou problematiku školení,
- formulace otázek musí být jednoznačná, aby umožňovala jedinou správnou odpověď,
- ověření znalostí musí být objektivní, přiměřené rychlé a zpětně doložitelné,
- Dohoda ADR nově povoluje elektronické formy ověření znalostí v oddíle 8.2.2.7.1.8 (6).

**Autor navrhuje následující postup ověření znalostí, který je schematicky znázorněn na obrázku 13.**

Ministerstvo dopravy jako příslušný orgán ADR v ČR, bude správcem systému ověření znalostí řidičů po absolvování školení (A). Za tím účelem vypracuje sadu zkušebních otázek z následujících tematických okruhů (značení obalů, značení vozidel, průvodní doklady, identifikace nebezpečí, postupy v případě nehody, použití povinné výbavy a hasicích přístrojů, podmínky přepravy v cisternách, ostatní nezařazené otázky (např. přeprava nebezpečných věcí silničními tunely)). Každá otázka bude mít tři varianty odpovědí, z nichž jen jedna bude správná. Správce systému rozdělí otázky v jednotlivých tematických okruzích do tří kategorií podle náročnosti (základní, středně obtížné, komplexní). Pro ověření znalostí řidičů správce využije elektronickou platformu, v rámci které jsou zpřístupněny *e-testy* pro uchazeče o získání řidičského oprávnění. Ověření znalostí bude provedeno hromadně pro všechny absolventy školení (A) pod dohledem zkušebního komisaře. Školící organizace připraví elektronické zařízení (počítač, notebook, tablet) s připojením k internetu a každý řidič se do systému přihlásí. Systém automaticky z databáze vygeneruje náhodnou sadu třiceti otázek zařazených rovnoměrně do tří kategorií obtížnosti a pokrývající definované tematické okruhy. Po odeslání odpovědí se test automaticky vyhodnotí a archivuje. V případě úspěšného složení zkoušky (max. 20 % chyb), vystaví správce osvědčení o školení řidiče ADR a zašle jej danému řidiči. V případě neúspěšného složení zkoušky, bude oprava povolena až po týdnu.



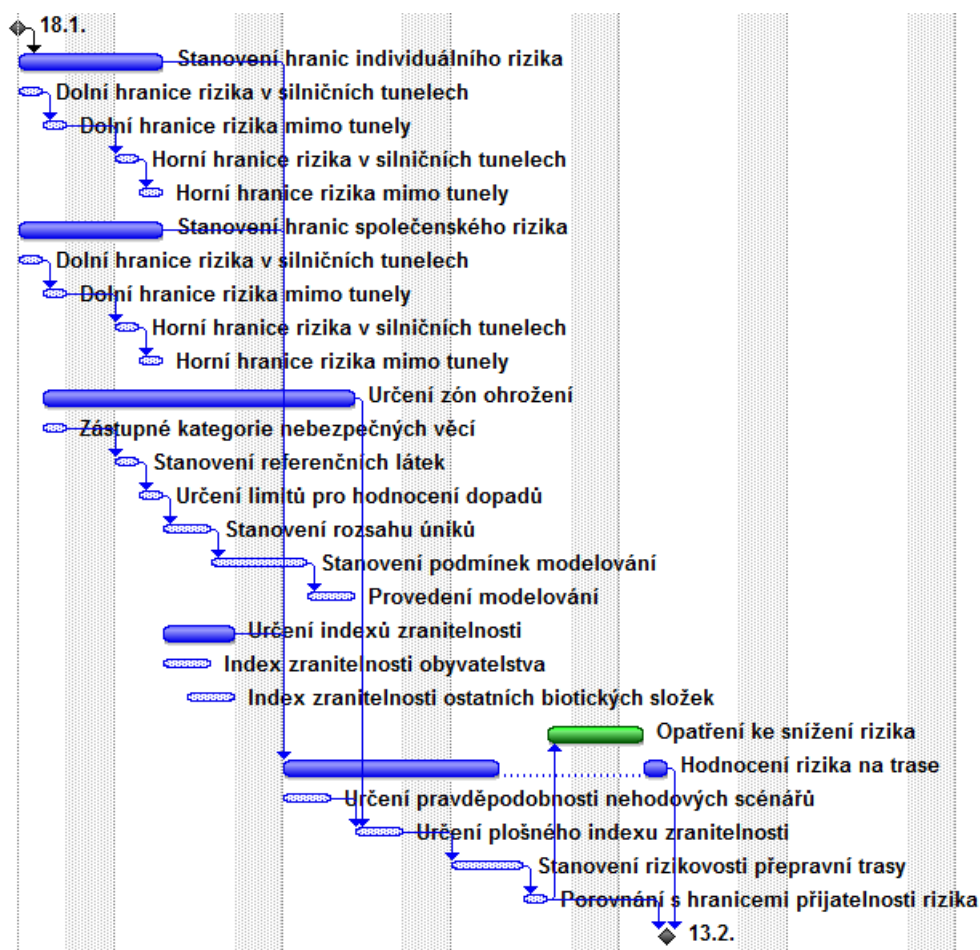
Obrázek 13 Schéma ověření znalostí řidičů (autor, 2018)

#### 4.3.4 Algoritmus pro výběr optimálních objízdných tras

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 9,
- předchůdce – 8,
- následovník – 5.

Cílem autora je navrhnout rychle aplikovatelný algoritmus pro operativní výběr objízdných tras pro vozidla přepravující nebezpečné věci. Iniciátorem nutnosti stanovení objízdné trasy může být obtížně místně i časově předvídatelná událost, např. závažná dopravní nehoda, přírodní katastrofa apod. Z pohledu autora je pro budoucího uživatele – Policii ČR **prioritní zejména rychlost posouzení alternativ i za cenu určitého zjednodušení postupu**. Proto navrhuje postup znázorněný pomocí Ganttova diagramu na obrázku 14 v SW *Microsoft Project*. Popis Ganttova diagramu hodnocení rizika v oblasti výběru trasy je v příloze D.



**Obrázek 14** Technologický postup hodnocení rizika v oblasti výběru trasy (autor, 2018)

Autor popsal postup výběru tras v kapitole č. 4.2. Je však nezbytné doporučit vhodné váhy pro koeficienty  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\varphi$ ,  $\mu$  pro vzorec 13 v kapitole č. 4.2.3, které prioritizují jednotlivé chráněné zájmy. Autor doporučuje následující základní hodnoty váhových koeficientů (čím větší hodnota, tím více je daný chráněný zájem akcentován):

- obyvatelstvo  $\alpha = 20$ ,
- chráněná území  $\omega = 4$ ,
- vodní toky  $\phi = 7$ ,
- vodní plochy  $\varphi = 5$ ,
- bažiny a rašeliniště  $\mu = 1$ .

Při aplikaci postupu v konkrétní lokalitě může uživatel přizpůsobit váhové koeficienty místním specifikům. **Nejvhodnější je stanovit takovou objízdnu trasu, která má v porovnání s ostatními alternativami nejnižší bodové hodnocení.**



### 4.3.5 Optimalizace umístění svislých dopravních značek

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 10,
- předchůdce – 8,
- následovník – 5.

Uživatel – silniční správní úřad může regulovat (zakázat nebo částečně omezit) přepravu nebezpečných věcí na pozemních komunikacích ve své správě rozhodnutím o umístění dopravní značky B18 nebo B19. Na rozdíl od návrhu algoritmu pro výběr optimálních objízdných tras v kapitole č. 4.3.4 **není při návrhu optimalizace umístění svislých dopravních značek prioritou rychlost, ale kvalita posouzení jednotlivých variant.** Z toho důvodu doporučuje autor úpravy postupu popsaného v kapitole č. 4.2.

**Svislá dopravní značka B18:** zákaz vjezdu vozidel přepravujících nebezpečný náklad. Autor při posouzení rizikovosti jednotlivých úseků komunikací jednoznačně doporučuje zaměřit pozornost na riziko pro obyvatelstvo. Při zanedbání rizika pro ostatní biotické složky bude možné určit individuální a společenské riziko a porovnat s hranicemi přijatelnosti v kapitole č. 4.2.1. **V případě, že je výsledné riziko nižší než dolní hranice přijatelnosti, na daný úsek nebude umístěna značka B18 a bude přistoupeno k hodnocení rizika v souvislosti s umístěním značky B19. Pokud je výsledné riziko vyšší, než horní hranice rizika, bude na daný úsek umístěna zákazová značka B18. Pokud je riziko v zóně ALARP, musí být provedena analýza nákladů na opatření snižující riziko pod dolní hranici.**

Na rozdíl od základního postupu popsaného v kapitole č. 4.2 autor pro úseky pozemních komunikací, které **nejsou součástí silničního tunelu**, navrhuje abstrahovat od rizika pro ostatní biotické složky tím, že budou váhové koeficienty  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\varphi$ ,  $\mu$  ve vzorci 13 v kapitole č. 4.2.3 nastaveny na hodnotu 0. Váhový koeficient  $\alpha$  bude nastaven na hodnotu 1 a místo indexu zranitelnosti obyvatelstva  $IZO$  bude dosazena hustota obyvatelstvo v okolí přepravní trasy  $D$ . Tím dojde k redukci vzorce 13 a do vzorce 14 bude dosazen mnohem přesnější index zranitelnosti trasy  $IZT$ .

Pro úseky pozemních komunikací, které **jsou součástí silničních tunelů**, nebude využit postup v kapitole č. 4.2.2 a 4.2.3, ale bude využit v souladu s kapitolou č. 4.2.4 SW *QRAM* (74). Zjištěné individuální a společenské riziko přepravy nebezpečných věcí v tunelu bude porovnáno s hranicemi v kapitole č. 4.2.1.

**Svislá dopravní značka B19:** zákaz vjezdu vozidel přepravujících náklad, který může způsobit ohrožení životního prostředí a zejména vodního prostředí. Na rozdíl od základního postupu popsaného v kapitole č. 4.2 autor navrhuje určit index zranitelnosti podle vzorce 5 pouze pro nejčastěji přepravovanou nebezpečnou látku – hořlavou kapalinu  $IZ_1$ . Autor dále navrhuje abstrahovat od rizika pro obyvatelstvo tím, že váhový koeficient  $\alpha$  ve vzorci 13 v kapitole č. 4.2.3 bude nastaven na hodnotu 0. Ostatní váhové koeficienty popisující pouze chráněné území a vodní biotické složky. Při aplikaci postupu v konkrétní lokalitě může uživatel přizpůsobit váhové koeficienty místním specifikům. Vzhledem k tomu, že při umístění stálých svislých dopravních značek se očekává dlouhodobější osazení, než v případě přechodného dopravního značení z důvodu stanovení objízdných tras, je nutné lépe ochraňovat životní prostředí. Autor v porovnání s kapitolou č. 4.3.4 doporučuje nastavit přísnější hodnoty váhovým koeficientům:

- chráněná území  $\omega = 10$ ,
- vodní toky  $\phi = 8$ ,
- vodní plochy  $\varphi = 6$ ,
- bažiny a rašeliniště  $\mu = 3$ .

Tím dojde k redukci vzorce 13 a do vzorce 14 bude dosazen index zranitelnosti trasy  $IZT$ , který zohledňuje pouze vodní biotické složky.

**V případě, že je výsledné riziko trasy vyšší než  $20 \cdot 10^{-3}$ , na daný úsek bude umístěna zákazová značka B19.**

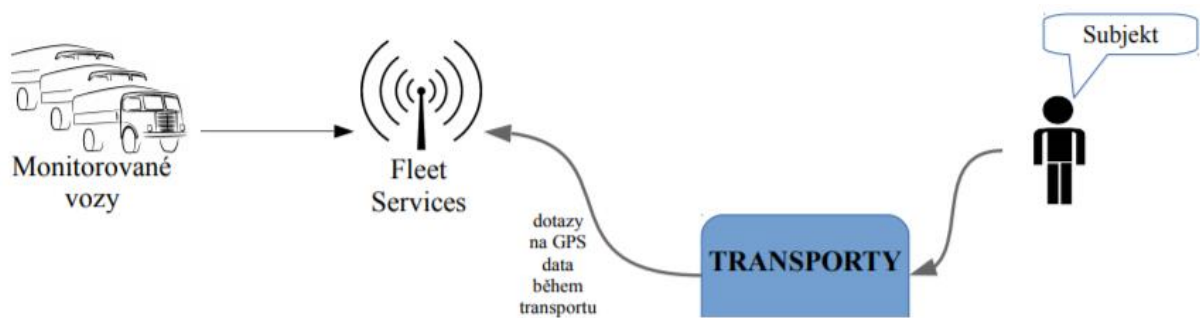
#### 4.3.6 Rozšíření systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí

Základní informace k diagramu na obrázku 8:

- pozice – 11,
- předchůdce – 8,
- následovník – 5.

Autor navrhuje rozšířit současný systém monitoringu, zaměřeného na přepravu výbušných látek a předmětů klasifikovaných v Dohodě ADR ve třídě 1 nebezpečných věcí.

Současný systém monitoringu výbušnin bude začleněn do nově navrhovaného monitorovacího systému všech tříd nebezpečných věcí. Architektura systému je znázorněna na obrázku 15.



**Obrázek 15** Architektura monitoringu vozidel (Španěl, 2013)

**Základním předpokladem** monitoringu je vybavení vozidel přepravující nebezpečné věci **palubní jednotkou** (OBU – *On Board Unit*) pro monitorování pohybu pomocí systému GPS. Součástí může být detekce specifických definovaných parametrů (např. zapnutí a vypnutí motoru, teplota nákladového prostoru apod.). **Palubní jednotka musí být napojena na interní monitorovací server jednotlivých dopravců a data následně zpřístupněna příslušným pověřeným subjektům.** Povinnost poskytnout data musí být stanovena právní normou. V případě silniční přepravy nebezpečných věcí je nejvhodnější **novelizace zákona č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě, § 23 odstavec 2**, který již stanovuje povinnosti dopravce nebezpečných věcí (4).

Na rozdíl od současného monitoringu silniční přepravy výbušnin, do kterého jsou zapojeni jen jednotliví dopravci, **autor navrhuje řešit systém monitoringu ostatních nebezpečných věcí komplexně.** Do systému budou zapojeny subjekty v přepravním řetězci (**odesílatel, dopravce, příjemce**) obdobně jako v připravovaném *Systému evidence přepravy nebezpečných odpadů (SEPNO)* v samostatném modulu *Integrovaného systému plnění ohlašovacích povinností (ISPOP)*, (86). Výhodou navrhovaného systému je nejen on-line informace o poloze vozidla přepravujícího nebezpečné věci, ale elektronický záznam předání nebezpečných věcí mezi jednotlivými subjekty v přepravním řetězci (odesílatel, dopravce, příjemce). Toho může být využito ze strany kontrolních orgánů při výkonu státního odborného dozoru v provozovnách (kontrola relevantní dokumentace, povinností ustanovit bezpečnostního poradce ADR apod.)

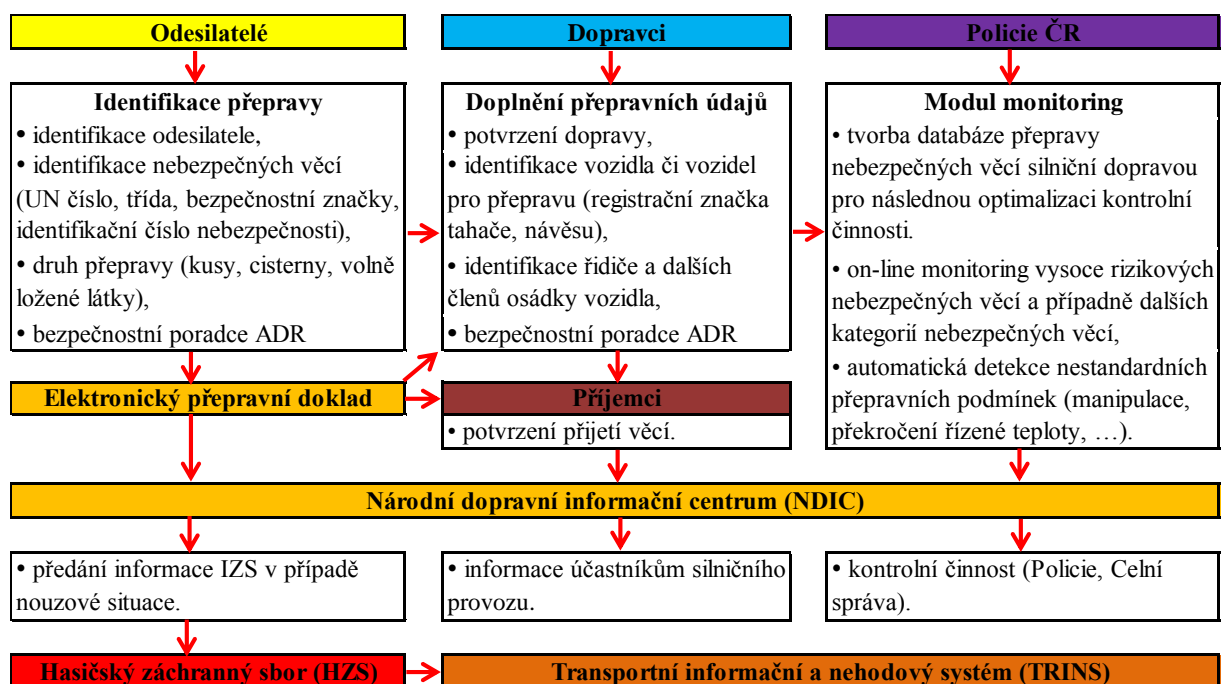
Předpokladem snadné implementace nového systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí je měřitelný přínos pro všechny zapojené subjekty v podobě optimalizace postupů. Proto se jeví jako klíčové spojit tento systém s tvorbou elektronického přepravního dokladu. Použití elektronického přepravního dokladu v mezinárodní silniční dopravě je v ČR možné od 13. července 2011, kdy vstoupil v platnost dodatkový protokol k Úmluvě o přepravní smlouvě v mezinárodní silniční dopravě (CMR) týkající se elektronického

nákladního listu (87). Dohoda ADR povoluje použití technik elektronického zpracování dat nebo elektronické výměny dat již od 1. 1. 2011. Jsou-li informace o nebezpečných věcech poskytovány dopravci elektronicky, musí být odesílatel schopen dodat dopravci v papírové formě (6). **Systém tedy musí umožnit uživateli v kategorii odesílatel vytištění přepravního dokladu**, čímž se naplní povinnost stanovená v § 23, odstavci 1, písmeno a) zákona č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě (4).

V systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí **autor navrhuje pět kategorií uživatelů**:

- odesílatelé – zadavatelé přepravy,
- dopravci – vykonavatelé dopravy,
- příjemci – příjemci nebezpečného zboží,
- Policie ČR – hlavní kontrolní orgán,
- Národní dopravní informační centrum (NDIC) – administrátor systému,
- Hasičský záchranný sbor (HZS) – vedoucí složka IZS.

Návrh blokového schéma monitoringu silniční přepravy nebezpečných věcí v ČR je na obrázku 16.



**Obrázek 16** Blokové schéma monitoringu přepravy nebezpečných věcí v ČR (autor, 2018)

**Správce systému (NDIC) vytvoří zabezpečenou relační databázi např. v MySQL (My Structured Query Language), do které budou jednotliví uživatelé vkládat údaje pomocí protokolu umožňujícího zabezpečenou komunikaci v počítačové síti (HTTPS –**

*Hypertext Transfer Protocol Secure*). **Každý uživatel se v systému registruje a vytvoří si uživatelský účet.** V závislosti na kategorii uživatele bude mít přidělené přístupová práva. Ve svém profilu zadá své identifikační a kontaktní údaje, uživatelé v kategorii odesílatel, dopravce a příjemce navíc uvedou jméno a kontakt na svého bezpečnostního poradce ADR. Dopravci navíc identifikují řidiče a případné další členy osádky vozidla. V případě nehody nebo nouzové situace moci členové IZS přes správce systému kontaktovat příslušný subjekt či osobu pro upřesnění informací o přepravované látce. Správnost dat bude ověřovat správce systému ve spolupráci kontrolními orgány.

**Uživatelé v kategorii odesílatel** vloží do zabezpečené databáze **veškeré nezbytné informace pro vytvoření přepravního dokladu** (UN číslo, oficiální pojmenování pro přepravu, klasifikační kód nebo čísla vzorů bezpečnostních značek, obalová skupina, kód omezení pro tunely, počet a popis kusů, množství nebezpečných věcí). Ustálené povinné údaje stanovené v Dohodě ADR: UN číslo, oficiální pojmenování pro přepravu, klasifikační kód nebo čísla vzorů bezpečnostních značek, obalová skupina, kód omezení pro tunely by do databáze mohly být převzaty z IS *DOK* (46), případně z interních specializovaných SW nástrojů jednotlivých uživatelů např. *ADRem*, *Medis-Alarm*. Tento proces by ještě více zefektivnil práci uživatele v kategorii odesílatel a omezil možnost chyby při manuálním zadávání informací. Odesílatel následně doplní variabilní údaje (počet a popis kusů, množství, dopravce a příjemce). Systém bude obsahovat algoritmy kontroly úplnosti informací pro tvorbu přepravního dokladu.

**Uživatelé v kategorii dopravce** přiřadí identifikátor vozidlům použitým k přepravě a zpřístupní informace o poloze vozidel správci systému (NDIC). Způsob komunikace s monitorovacím serverem bude proveden obdobně jako v případě současného monitoringu přepravy výbušných látek a předmětů pomocí protokolu *HTTPS*, se zabezpečením řešeným buď (16):

- uživatel a heslo, nebo,
- nastavení omezení IP (*Internet Protocol*) adres poskytovatele monitorovacích služeb, který dodá URL (*Uniform Resource Locator*) správci, pro přístup ke službě poskytování polohy vozidla.

**Uživatelé v kategorii příjemce** potvrdí přijetí nebezpečných věcí.

**Uživatel v kategorii Policie ČR** provádí on-line monitoring přepravy nebezpečných věcí a automaticky detekují porušení vybraných přepravních podmínek (např. přepravní teplotu u nebezpečných věcí přepravovaných při řízené teplotě). Policie bude společně s Celní správou systém využívat pro adresné provádění kontrolní činnosti.

**Uživatel v kategorii NDIC** provádí správu celého systému a v případě nehody předává IZS informace o druhu a množství přepravovaných věcí (elektronický přepravní doklad) a identifikaci bezpečnostních poradců ADR. Dále informuje ostatní účastníky silničního provozu o případných dopravních omezeních v souvislosti s nehodami při přepravě nebezpečných věcí.

**Uživatel v kategorii Hasičský záchranný sbor (HZS)** je informován o nouzových situacích a koordinuje zásah jako vedoucí složka IZS. Využívá systém TRINS (45), který prostřednictvím svých středisek poskytuje nepřetržitou pomoc při řešení mimořádných událostí spojených s přepravou a skladováním nebezpečných věcí.

#### **4.4 Ověření postupů pro snížení rizik**

Autor ověří navržené postupy pro snížení rizik při přepravě nebezpečných věcí. Postupy navržené v kapitole č. 4.4.1 až č. 4.4.3 směřující k naplnění hlavního cíle disertační práce, budou ověřené ve společnosti zabývající se silniční dopravou nebezpečných věcí. Postupy navržené v kapitolách č. 4.4.4 až č. 4.4.6 budou ověřeny na vybrané síti pozemních komunikací a v silničním tunelu.

##### **4.4.1 Dopravní společnost**

Autor ověřil postup hodnocení a řízení rizik v oblasti lidských zdrojů při přepravě nebezpečných věcí podle kapitoly č. 4.3.1 v souladu s Ganttovým diagramem na obrázku 10.

Vstupním zdrojem informací byla databáze nehod NTSB (68) a eMARS (67). Postup byl následně aplikován v dopravní společnosti, která se zabývá silniční přepravou nebezpečných věcí. Společnost byla vybrána z následujících důvodů:

- provádí tuzemskou i mezinárodní přepravou nebezpečných věcí,
- nebezpečné věci přepravuje balené v kusech, plněné do cisteren a okrajově i ve volně loženém stavu,
- jmenován interní bezpečnostní poradce ADR,
- implementován systém řízení jakosti daný certifikátem ISO 9000.

Vzhledem ke skupinovému charakteru dvou metod hodnocení rizik („Co se stane, když“ a FMECA) autor sestavil multidisciplinární tým podle postupu v kapitole č. 4.1.2 s následujícím složením: autor, řidič přepravující nebezpečné věci v cisterně, řidič přepravující nebezpečné věci balené v kusech, skladník a bezpečnostní poradce ADR.

Autor provedl s využitím metody „Kontrolního seznamu“ analýzu databází NTSB a eMARS podle kritérií stanovených v kroku 3 v kapitole č. 4.1.1. Databáze NTSB obsahuje

33 záznamů, z nichž 12 vyhovuje omezujícím podmínkám, a proto bylo dále hodnoceno. Databáze eMARS obsahuje 44 záznamů, z nichž 15 vyhovuje omezujícím podmínkám, a proto bylo dále hodnoceno.

**Podrobné hodnocení** příčin nehod při manipulaci a silniční přepravě nebezpečných věcí z databází eMARS a NTSB pomocí **Kontrolního seznamu je v příloze E v tabulce 20, výsledek hodnocení je uveden v tabulce 13.**

**Tabulka 13** Identifikace problémových okruhů metodou Kontrolní seznam

(A) Lidský faktor	(B) Dopravní infrastruktura	(C) Vozidlo	(D) Balení	(E) Specifické
(A1) manipulace při nakládce / vykládce	(B1) –	(C1) –	(D1) vhodnost balení	(E1) –
(A2) řízení vozidla	(B2) –	(C2) –	(D2) kvalita balení	(E2) –
(A3) management	(B3) –	(C3) technická závada příslušenství vozidla	(D3) značení balení	(E3) pochybení jiného účastníka silničního provozu
(A4) kontrola	(B4) –	(C4) –	(D4) –	(E4) jiná nepředvídatelná událost

Zdroj: autor

**Podrobné hodnocení** příčin nehod při manipulaci a silniční přepravě nebezpečných věcí metodou „Co se stane, když“, je v příloze F. Konkrétně manipulace při nakládce a vykládce (A1) je v tabulce 21, řízení vozidla (A2) je v tabulce 22, management (A3) je v tabulce 23, kontrola (A4) je v tabulce 24, technická závada příslušenství vozidla (C3) je v tabulce 25, vhodnost balení (D1) je v tabulce 26, kvalita balení (D2) je v tabulce 27, značení balení (D3) je v tabulce 28, pochybení jiného účastníka silničního provozu (E3) je v tabulce 29 a jiná nepředvídatelná událost (E4) je v tabulce 30. Na obrázku 17 autor vyhodnotil četnost jednotlivých problémových okruhů identifikovaných metodou „Co se stane, když“.

(A) Lidský faktor	(C) Vozidlo	(D) Balení	(E) Specifické
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (A1) = 28</li> <li>• (A2) = 12</li> <li>• (A3) = 9</li> <li>• (A4) = 7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (C3) = 7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (D1) = 7</li> <li>• (D2) = 4</li> <li>• (D3) = 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (E3) = 1</li> <li>• (E4) = 4</li> </ul>

**Obrázek 17** Vyhodnocení četnosti problémových okruhů identifikovaných metodou Co se stane, když (autor, 2018)

**Podrobné hodnocení** příčin nehod při manipulaci a silniční přepravě nebezpečných věcí metodou FMECA je příloze G v tabulce 31. V tabulce 14 jsou uvedené nejzávažnější poruchy, které mají nepřijatelnou úroveň rizika 19 a vyšší.

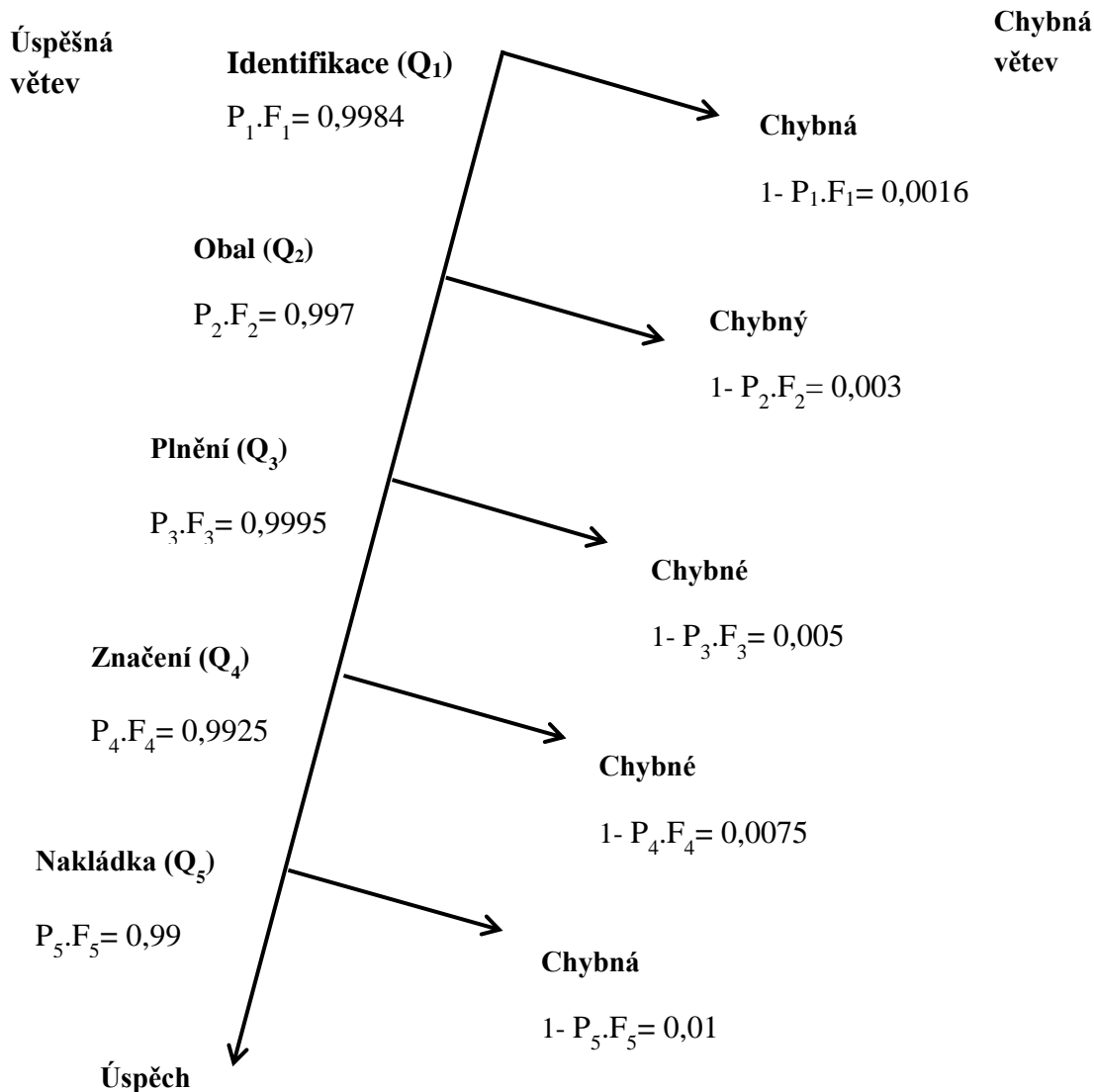
**Tabulka 14** Nejzávažnější rizika identifikovaná metodou FMECA

Druh poruchy	Možné příčiny	Následky	Opatření	Pravděpodobnost	Odhalitelnost	Následky	Součet
Nedostatečné upevnění obalů na vozidlo	Nedostatečná výbava vozidla upevňovacími prostředky	Poškození obalu při nehodě. Únik látky	Školení upevnění kusů	8	7	7	22
Dopravní nehoda	Nesprávný způsob jízdy	Požár či únik látky	Školení defenzivní jízdy	5	6	10	21
Únava řidiče	Překročení doby jízdy	Dopravní nehoda.	Úprava organizace práce řidiče	5	6	9	20
Nepovolený obal pro danou látku	Nezpracované písemné postupy pro výběr obalů	Únik látky	Tvorba písemných postupů	6	6	7	19
Poškození balení degradací plastů	Neprováděná evidence životnosti balení	Únik látky	Nastavení systému evidence obalů	7	5	7	19
Nerespektování zákazu otevření kusu	Porušení předpisů bezpečnosti práce	Ohrožení zdraví osoby	Školení manipulace s nebezpečnými věcmi	2	9	8	19

Zdroj: autor

Strom událostí analýzy lidské spolehlivosti (**HRA**) při balení a nakládce nebezpečných věcí zpracovaný metodou **THERP** autor uvádí na obrázku 18. Při zpracování vycházel ze základních pravděpodobností pro identifikované skupiny chyb v tabulce 8.

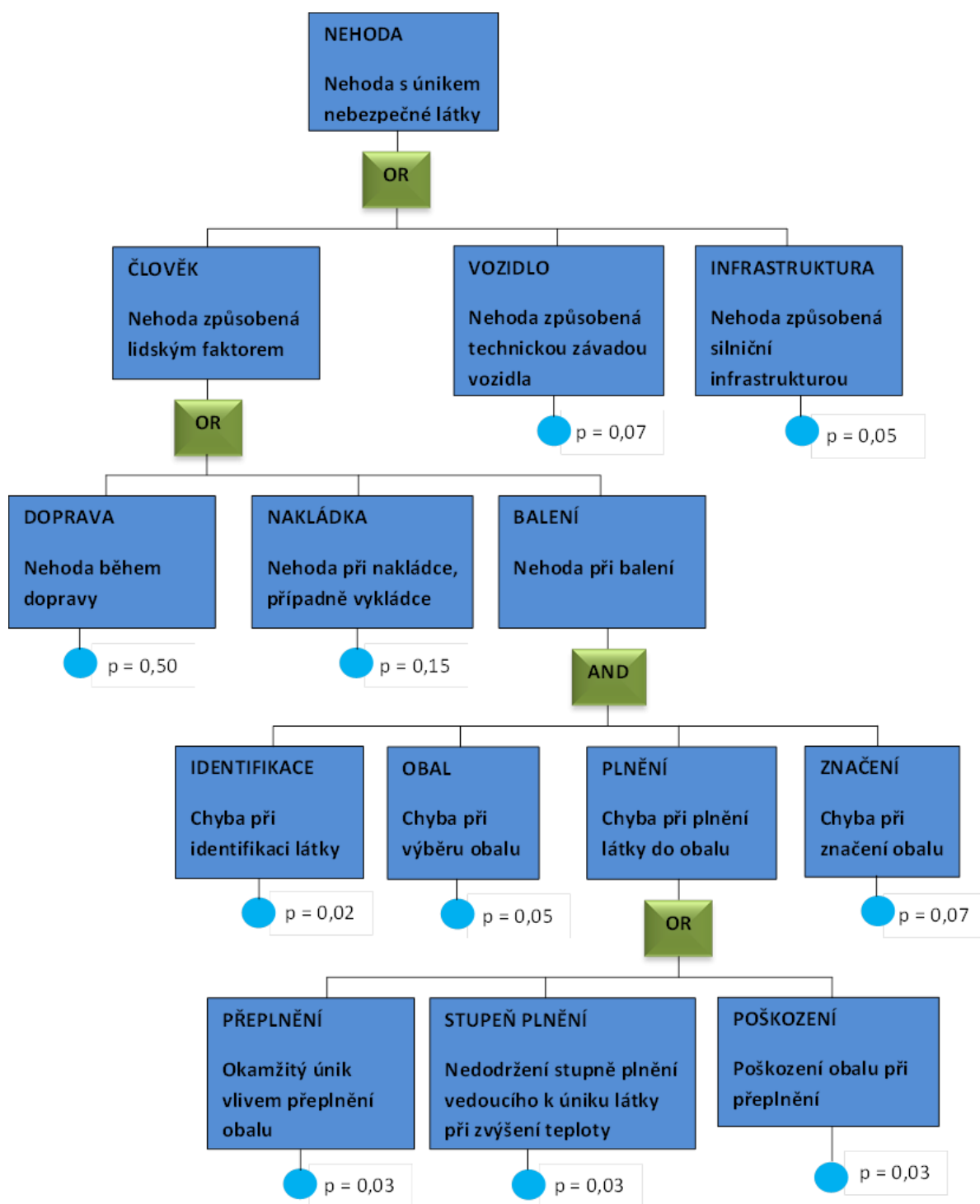




**Obrázek 18** Strom událostí při balení a nakládce nebezpečných látek metodou THERP (autor)

**Celková pravděpodobnost, že dojde k poruše systému v důsledku jedné nebo více skupin chyb jednotlivých subsystémů je  $Q_T = 0,02243$ .**

Strom událostí zpracovaný metodou **FTA**, použitý pro analýzu procesu silniční přepravy nebezpečných věcí autor uvádí na obrázku 19. Autor určil pravděpodobnost vzniku události na základě frekvenční analýzy příčin dopravních nehod v procesu silniční přepravy nebezpečných věcí v databázi nehod PHMSA (69).



**Obrázek 19** Posouzení procesu přepravy nebezpečných věcí metodou FTA (autor, 2018)

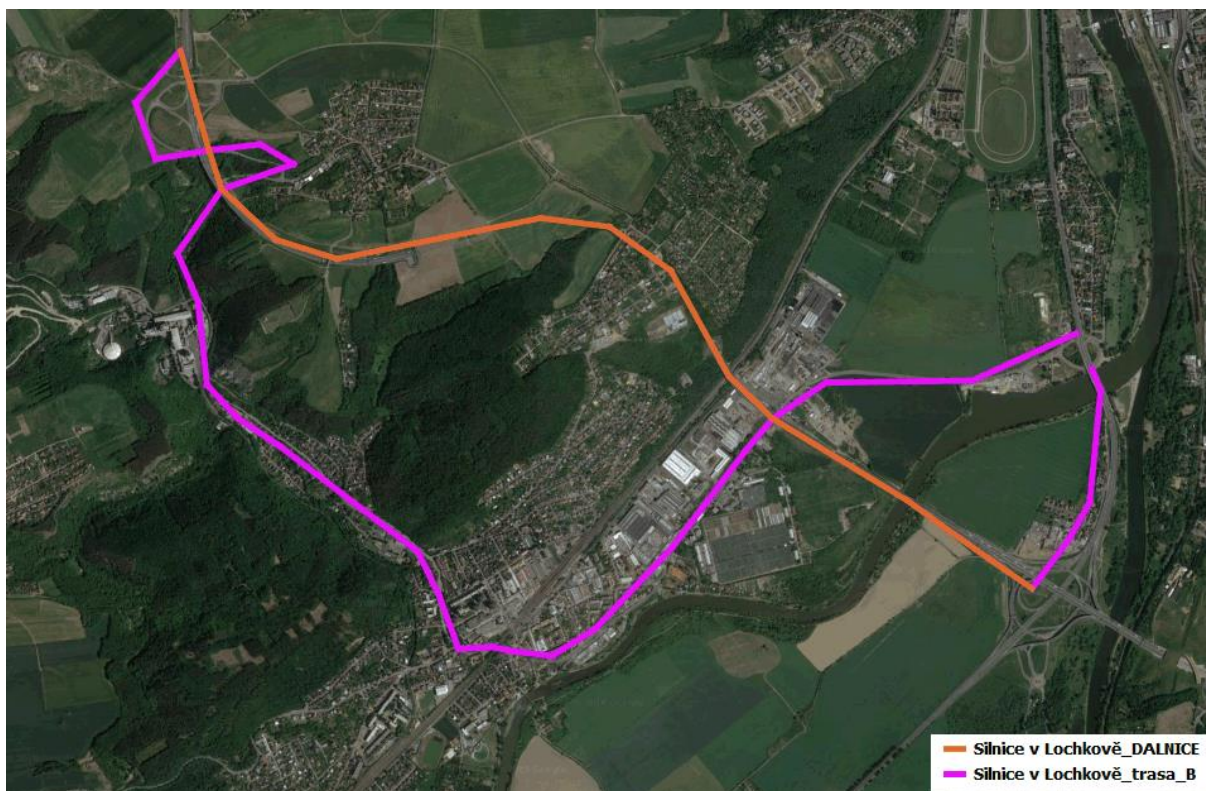
#### 4.4.2 Síť pozemních komunikací

Autor ověří postup výběru tras pro přepravu nebezpečných věcí podle kapitoly č. 4.2 v souladu s Ganttovým diagramem na obrázku 14, ovšem s úpravami navrženými v kapitole č. 4.3.5.

**Autor porovnal rizikovost dvou alternativních tras**, které jsou znázorněny na obrázku 20. První základní trasa (oranžová) je část dálnice D0 (pražský okruh) v úseku jehož součástí je Lochkovský tunel. Délka trasy Lochkovským tunelem mezi nejbližšími dálničními sjezdy, které by případně mohly být využity pro alternativní trasu je 6,73 km.

Druhá alternativní trasa je v okolí obce Lochkov vede po silnici II. třídy II/599, v Radotíně pokračuje po silnici II/101 a II/115 a zpět na dálnici se napojuje v Lahovicích úsekem komunikace I. třídy I/4. Celková délka této trasy je 8,70 km.

Oblast Lochkovského silničního tunelu autor zvolil vzhledem k důležitosti dálnice D0. Tato dálnice spojuje dvě dálnice s nejvyšší intenzitou dopravy v ČR (D1 a D5) a tvoří hlavní tranzitní trasu pro mezinárodní kamionovou dopravu z východu republiky směrem na západ do Německa. V případě omezení přepravy nebezpečných věcí v Lochkovském tunelu by se objížděná trasa musela stanovit v blízkosti aglomerace hlavního města Prahy.

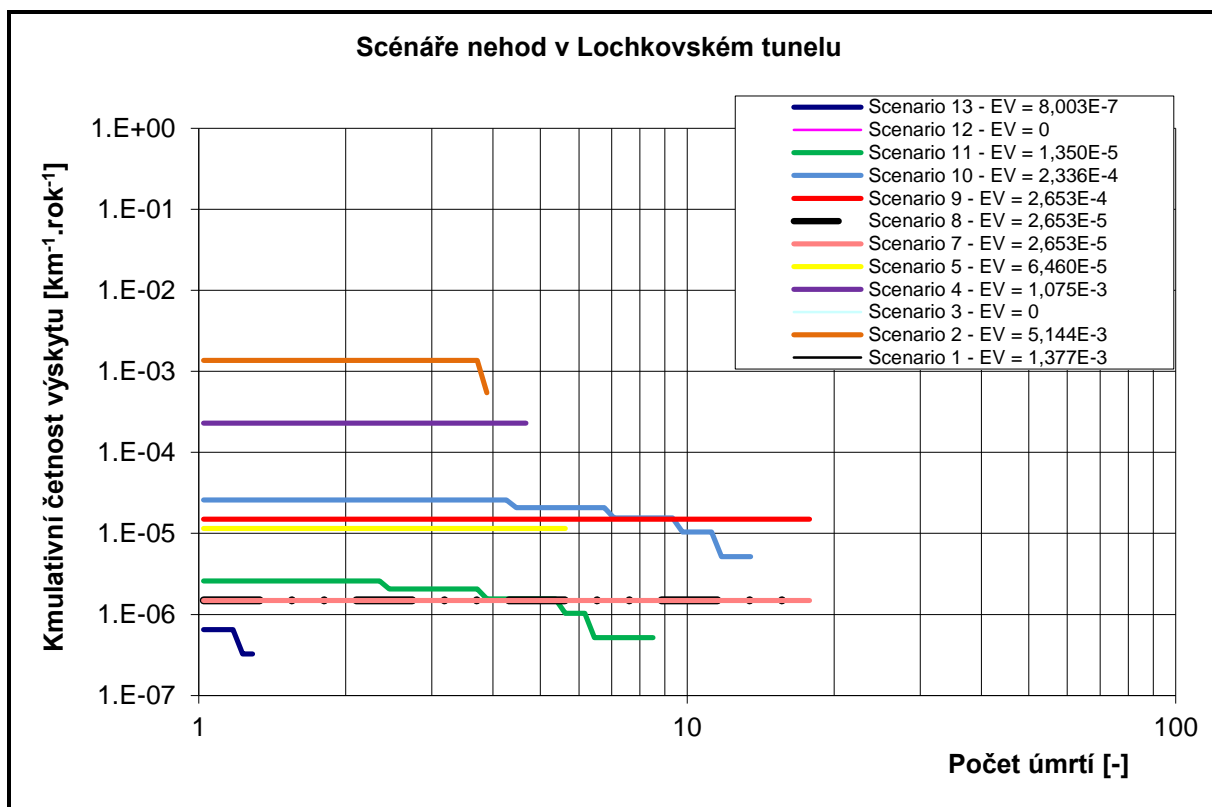


**Obrázek 20** Trasa tunelem Lochkov (dálnice) a alternativní objížděná trasa (trasa B) tunelu Lochkov (autor, 2018), ©ArcČR, ARCDATA PRAHA, 2016, Zeměměřický úřad (ZÚ), Český statistický úřad (ČSÚ)

**Pro hodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí v tunelu Lochkov** (část oranžové trasy na obrázku 20) **autor použil SW QRAM 3.61** (74). Scénáře nehod definované v SW QRAM jsou popsány v příloze H v tabulce 32. Každý scénář referenční nehody při kalkulaci rizika zohledňuje charakteristiku tunelu a složení dopravního proudu. Parametry tunelu ovlivňující výpočet, jsou geometrie tunelu (délka, šířka, příčný průřez, sklon), způsob

větrání, režimy provozní a nouzové ventilace, systém odvodnění a kanalizace, vzdálenost únikových východů, čas potřebný k aktivaci požárního větrání apod. Vstupní hodnoty pro Lochkovský tunel jsou uvedeny v příloze I v tabulce 33. Skupina údajů charakterizující dopravní proud zahrnuje intenzitu provozu (běžný provoz, dopravní špička), složení dopravního proudu (osobní vozidla, nákladní vozidla, autobusy, podíl přepravy nebezpečných věcí na nákladní přepravě), průměrná obsazenost jednotlivých typů vozidel, způsob dopravy v tunelu (jednosměrný či obousměrný provoz), maximální rychlost, nehodovost, hustota zalidnění v okolí tunelu a jiné parametry. Vstupní hodnoty charakteristiky dopravního proudu v Lochkovském tunelu jsou uvedeny v příloze J v tabulce 34.

Obrázek 21 dokládá, že nejvyšší společenské riziko přepravy nebezpečných věcí v Lochkovském tunelu představuje scénář č. 2 – požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW). Druhé nejvyšší riziko představuje scénář č. 4 – požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. Toto riziko je opět způsobené především nejvyšším podílem přepravy pohonných hmot na přepravě ADR. Naopak nejmenší riziko představuje scénář č. 3 – výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg) a scénář č. 12 – únik akroleinu z tlakových lahví. Riziko vyplývající z těchto přeprav v grafu není vůbec zaznamenáno. Velmi malé riziko představuje i scénář č. 13 – Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků. Do kalkulace nebyl zahrnut scénář č. 6 – únik chlóru z cisternového návěsu a to z toho důvodu, že je chlór v ČR přepravován po silnici pouze v tlakových lahvích či tlakových sudech. Přeprava chlóru v cisternách se provádí pouze železniční přepravou.



**Obrázek 21** Společenské riziko scénářů nehod v Lochkovském tunelu (autor s využitím SW QRAM (75), 2018)

V tabulce 15 jsou uvedeny očekávané hodnoty individuálního rizika pro jednotlivé scénáře a celkové riziko pro všechny modelované scénáře.

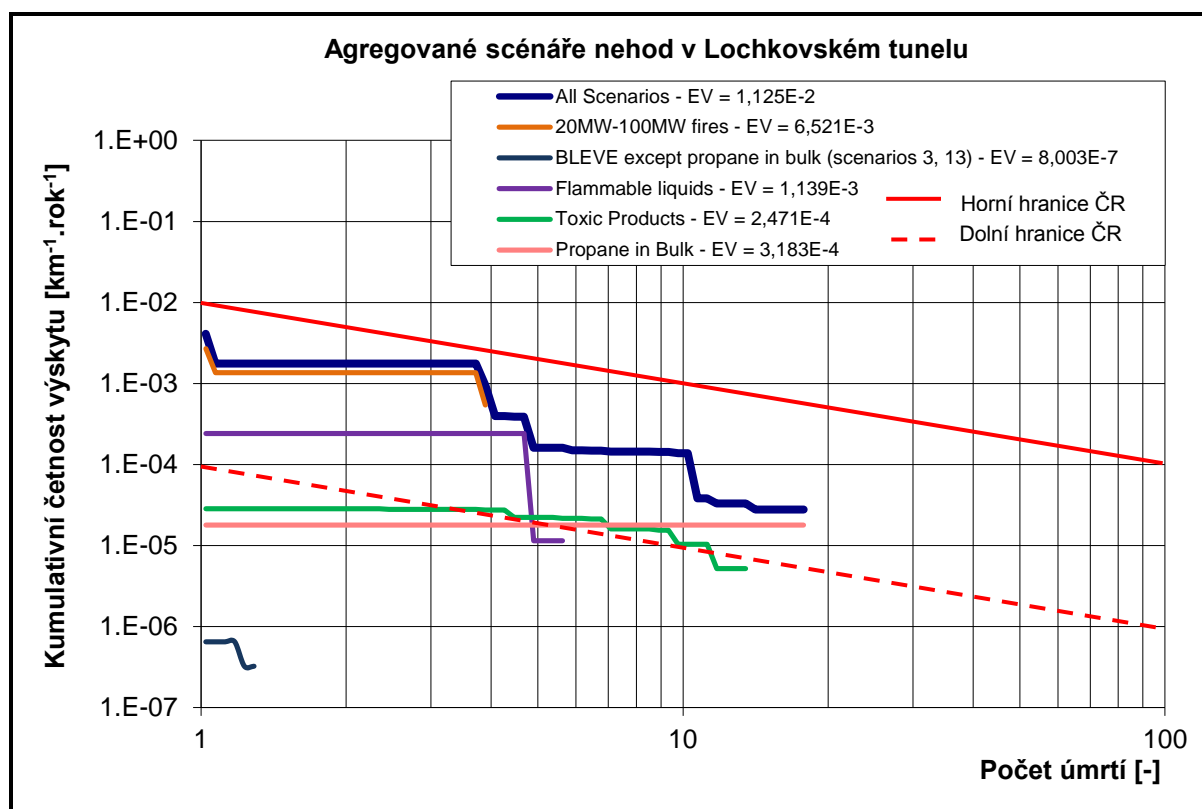
**Tabulka 15** Očekávaná hodnota individuálního rizika v Lochkovském tunelu

Scénář	Popis scénáře	Očekávaná hodnota individuálního rizika (EV)
1.	Požár nákladního vozidla bez nebezp. nákladu (20 MW).	$1,377 \cdot 10^{-3}$
2.	Požár nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW).	$5,144 \cdot 10^{-3}$
3.	Výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg).	0
4.	Požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu.	$1,075 \cdot 10^{-3}$
5.	Výbuch par motorového benzínu vyteklého z cist. návěsu.	$6,460 \cdot 10^{-5}$
6.	Únik chloru z cisternového návěsu.	-
7.	Výbuch expandujících par vroucího LPG v cist. návěsu.	$2,653 \cdot 10^{-5}$
8.	Výbuch par LPG v cisternovém návěsu.	$2,653 \cdot 10^{-5}$
9.	Vznícení LPG v cisternovém návěsu.	$2,653 \cdot 10^{-4}$
10.	Únik amoniaku z cisternového návěsu.	$2,336 \cdot 10^{-4}$
11.	Únik akroleinu z cisternového návěsu.	$1,35 \cdot 10^{-5}$
12.	Únik akroleinu z tlakových lahví.	0
13.	Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků.	$8,003 \cdot 10^{-7}$
	Všechny scénáře	$1,125 \cdot 10^{-2}$

Zdroj: autor na základě modelování v SW QRAM (75)

Na obrázku 22 jsou jednotlivé scénáře nebezpečí agregované do skupin podle společných vlastností látek, zahrnující jednotlivé scénáře definované v příloze H v tabulce 32. Dále jsou na obrázku 22 uvedeny horní a dolní hranice společenského rizika pro silniční tunely v ČR, které autor stanovil v kapitole č. 4.2.1 a znázornil na obrázku 9.

**Výsledné společenské riziko Lochkovského tunelu (modrá linka) je se nachází v zóně ALARP mezi dolní a horní hranicí (červená linka). V zásadě je riziko přepravy nebezpečných věcí silničním tunelem přijatelné, ale měla by být provedena analýza nákladů na další snížení rizika pod dolní hranici. Závěrem hodnocení je neosazovat úsek dálnice D0 Lochkovským tunelem zákazovou značkou B18, ale bude provedeno hodnocení rizika na alternativní trase. Hodnocení osazení značkou B19 bude provedeno pouze u alternativní trasy, která se blíží řekám Vltava a Berounka.**



**Obrázek 22** Společenské riziko v Lochkovském tunelu – agregované scénáře nehod (autor s využitím SW QRAM (75), 2018)

**Při hodnocení rizika přepravy nebezpečných věcí na alternativní trase tunelu Lochkov** (fialová trasa na obrázku 20), autor nejdříve provedl modelování úniku nebezpečných věcí v SW ALOHA (70) podle vstupních parametrů v kapitole č. 4.2.2. Výsledky jsou pro hořlavé kapaliny uvedené v tabulce 16, pro hořlavé zkapalněné látky v tabulce 17 a toxické plyny v tabulce 18. Graficky jsou výsledky znázorněny v příloze K.

Konkrétně pro hořlavou kapalinu na obrázku 27 až 30, pro hořlavý zkapalněný plyn na obrázku 31 až 34 a pro toxický plyn na obrázku 35.

Autor na základě vstupních dat v tabulce 12 určil pro tři kategorie nebezpečných věcí pravděpodobnost jednotlivých scénářů  $P_{sj}$ . Autor u jednotlivých látek vycházel z pravděpodobnosti úniku v případě nehody a následně pravděpodobnosti požáru uniklé látky vedoucího k tepelnému záření, respektive nevznícení látky způsobující scénář šíření toxického a hořlavého mraku) Autor uvádí v tabulkách 16 až 18 nejen poloměr  $r_j$  nejrizikovější zóny AEGL-3, ale pro porovnání i poloměr středně rizikové zóny AEGL-2. Pro další výpočet však použije poloměr nejrizikovější zóny. Tabulka 16 obsahuje tři scénáře nehody při přepravě hořlavých kapalin (referenční látka n-hexan).

**Tabulka 16** Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě hořlavé kapaliny

Vznik následného požáru	Ano	Ne	Ne
Scénář $j$ – model ohrožení	Tepelné záření požáru par, které se vypařují z hladiny kapaliny.	Oblast toxického mraku.	Oblast hořlavého mraku.
Pravděpodobnost scénáře $P_{sj}$ [-]	0,00125	0,02375	0,02375
Poloměr červené zóny AEGL-3 $r_j$ [m]	38	26	32
Poloměr oranžové zóny AEGL-2 [m]	51	60	-

Zdroj: autor na základě modelování v SW ALOHA (70)

Tabulka 17 obsahuje tři scénáře nehody při přepravě hořlavých zkapalněných plynů (referenční látka propan).

**Tabulka 17** Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě hořlavého zkapalněného plynu

Vznik následného požáru	Ano	Ne	Ne
Scénář $j$ – model ohrožení	Tepelné záření požáru par, které se vypařují z hladiny kapaliny.	Oblast toxického mraku.	Oblast hořlavého mraku.
Pravděpodobnost scénáře $P_{sj}$ [-]	0,0034	0,0166	0,0166
Poloměr červené zóny AEGL-3 [m]	20	34	61
Poloměr oranžové zóny AEGL-2 [m]	27	52	-

Zdroj: autor na základě modelování v SW ALOHA (70)

Tabulka 18 obsahuje jeden scénář nehody při přepravě toxického plynu (chlorovodík).

**Tabulka 18** Vstupní hodnoty pro určení dopadů nehody při přepravě toxického plynu

<b>Vznik následného požáru</b>	Ne	Ne
<b>Scénář <math>j</math> – model ohrožení</b>	Oblast toxického mraku.	Oblast hořlavého mraku.
<b>Pravděpodobnost scénáře <math>P_{sj}</math> [-]</b>	0,01	
<b>Poloměr červené zóny AEGL-3 [m]</b>	666	-
<b>Poloměr oranžové zóny AEGL-2 [m]</b>	1 500	-

Zdroj: autor na základě modelování v SW ALOHA (70)

Na základě vstupních dat v tabulkách 16 až 18 určil autor plošný index zranitelnosti  $IZ_{NV}$  pro jednotlivé látky (hořlavé kapaliny  $IZ_1$ , hořlavé zkapalněné plyny  $IZ_2$ , toxické plyny  $IZ_3$ ) podle vzorce 5.

- **Hořlavé kapaliny  $IZ_1 = 132,51 m^2$ ,**
- **hořlavé zkapalněné plyny  $IZ_2 = 258,61 m^2$ ,**
- **toxické plyny  $IZ_3 = 13 934,72 m^2$ .**

Pro další hodnocení autor využil SW nástroj *QGIS*, což je Open Source geografický informační systém (GIS), (88). Autor použil digitální geografickou databázi *ArcČR 500* verzi 3.3 ve které je zdrojem dat databáze *Data200*, (89). Autor využil následující vrstvy:

- silnice (linie, atribut dálnice, silnice I. třídy, 2016),
- základní sídelní jednotky (ZSJ), (polygon, atribut počet obyvatel, 2011),
- chráněná území (polygon typ Národní park, Chráněná krajinná oblast, 2014),
- vodní toky (linie typ přirozený, umělý, 2015),
- vodní plochy větší než 15 ha (polygon typ vodní nádrž, rybník, jezero, 2013),
- bažiny a rašeliniště větší než 30 ha (polygon typ bažina, rašeliniště, 2015).

Pro zobrazení výstupů v mapových podkladech autor použil zásuvný modul *OpenLayers Plugin* obsahující Google mapy verzi 1.4.7.

Autor postupoval při určení rizika následovně:

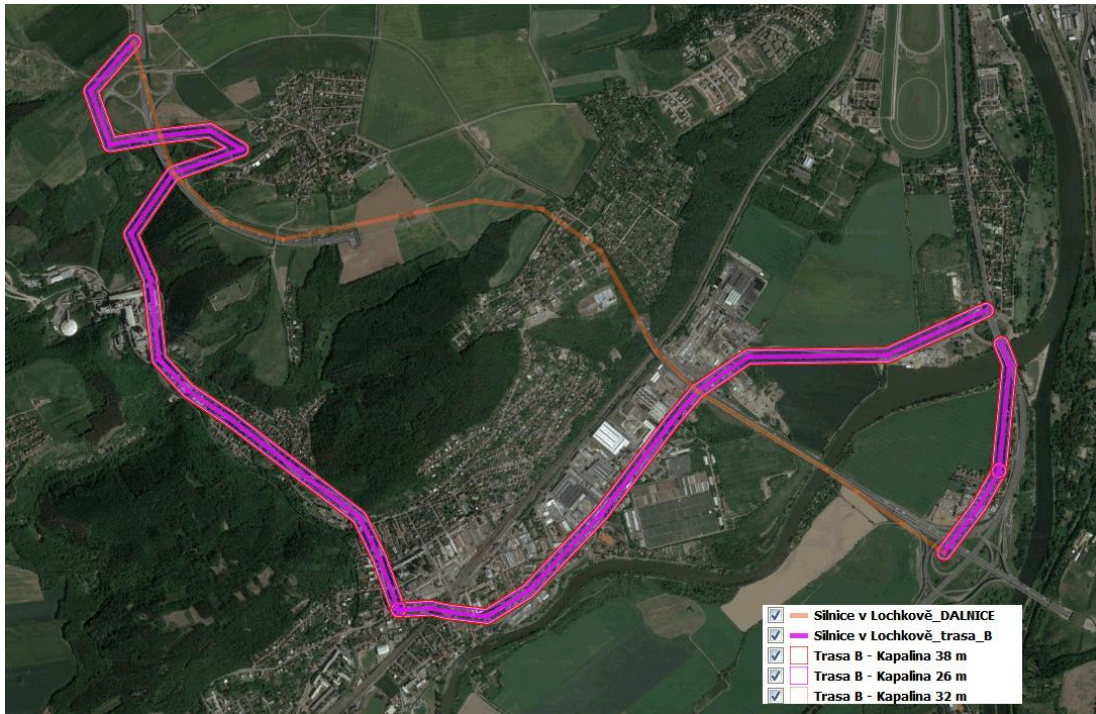
- přidal vektorovou vrstvu silnice do mapového okna a poté vybral prvky vrstvy (silnice), které tvoří hlavní a alternativní objízdnu trasy Lochkovského tunelu,
- pomocí nástroje geoprocessingu ořezal základní vektorovou vrstvu silnice o vybrané prvky a vytvořil dvě samostatné vrstvy – základní trasa po dálnici a alternativní objízdna trasa po silnicích nižší třídy,
- nástrojem geoprocessingu vytvořil obalové zóny okolo vrstvy alternativní trasa. Zvolil 70 segmentů pro aproximaci jako kompromis mezi přesností aproximace a dobou výpočtu. Vzdálenosti obalových zón zadával pro tři zástupné látky (n-hexan, propan a chlorovodík) na základě určených poloměrů červené zóny AEGL 3 pomocí SW



*ALOHA* (70) – viz tabulky 16 až 18. Pro hořlavou kapalinu a hořlavý plyn vytvořil obalové zóny pro všechny tři definované scénáře nehod (oblast tepelného záření požáru par, oblast hořlavého mraku a oblast toxického mraku), v případě toxického plynu pro jeden scénář (oblast toxického mraku) a uložil je jako samostatné vrstvy. Výsledek pro hořlavou kapalinu je na obrázku 23, pro hořlavý zkapalněný plyn na obrázku 24 a pro toxický plyn na obrázku 25,

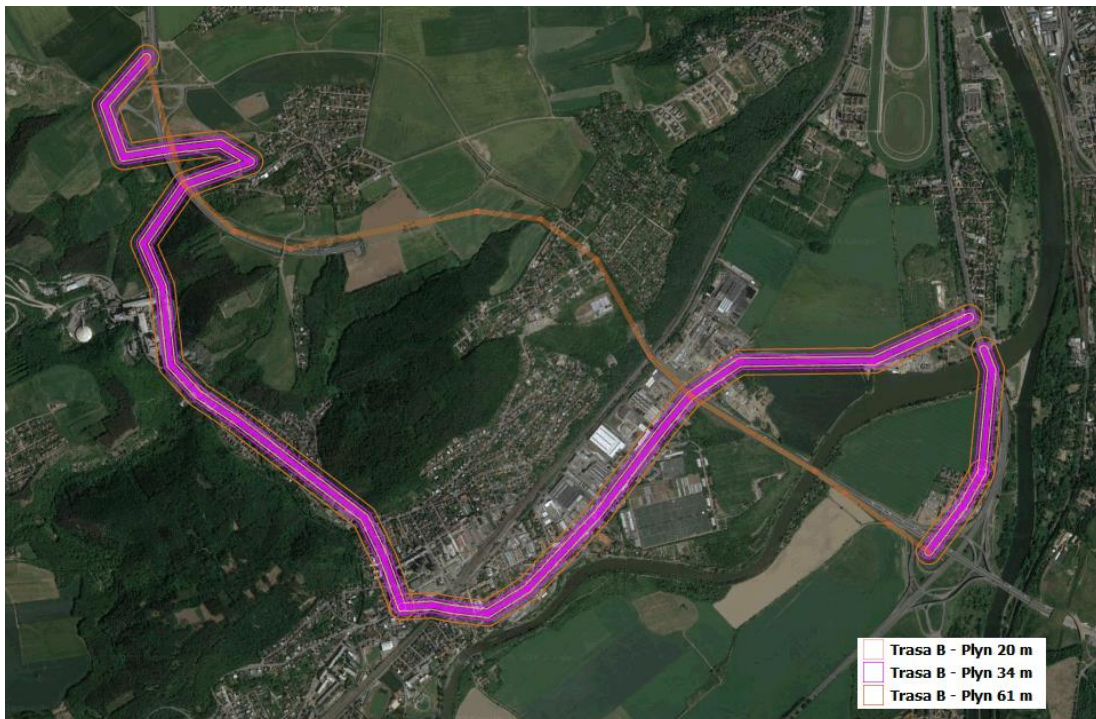
- postupně pro jednotlivé vrstvy obalových zón otevřel atributovou tabulku a pomocí kalkulátoru polí vytvořil nové pole, do kterého vložil hodnotu plochy polygonu ZSJ výrazem „\$area“ s typem výstupu desetinné číslo,
- pro jednotlivé vrstvy obalových zón pomocí nástroje průsečík udělal průnik s vrstvou ZSJ a uložil jako samostatné vrstvy,
- vypočítal plochu průniku obalových zón s jednotlivými ZSJ, pomocí kalkulátoru polí vytvořil nové pole, do kterého vložil hodnotu plochy polygonu výrazem „\$area“ s typem výstupu desetinné číslo,
- uložil výstupy do souboru ve formátu CSV pro následné zpracování v SW *Microsoft Excel*, v souboru bylo pro každou ZSJ hodnota plochy průniku ZSJ s jednotlivými obalovými vrstvami, celková plocha ZSJ a počet obyvatel v jednotlivých ZSJ.
- provedl výpočet – poměr zasažené plochy ZSJ v jednotlivých obalových vrstvách k celkové ploše ZSJ a vynásobený počtem obyvatel. Celkové společenské riziko je součtem počtu zasažených obyvatel ve všech ZSJ podél celé trasy.

Obrázek 23 znázorňuje obalové vrstvy dopadů při úniku hořlavé kapaliny na alternativní objíždě trase tunelu Lochkov podle vstupních hodnot v tabulce 16 (tři scénáře nehody s poloměry červené zóny AEGL-3).



**Obrázek 23** Alternativní objízdná trasa tunelu Lochkov – obalové zóny hořlavé kapaliny (autor, 2018), ©ArcČR, ARCDATA PRAHA, 2016, Zeměměřický úřad (ZÚ), Český statistický úřad (ČSÚ)

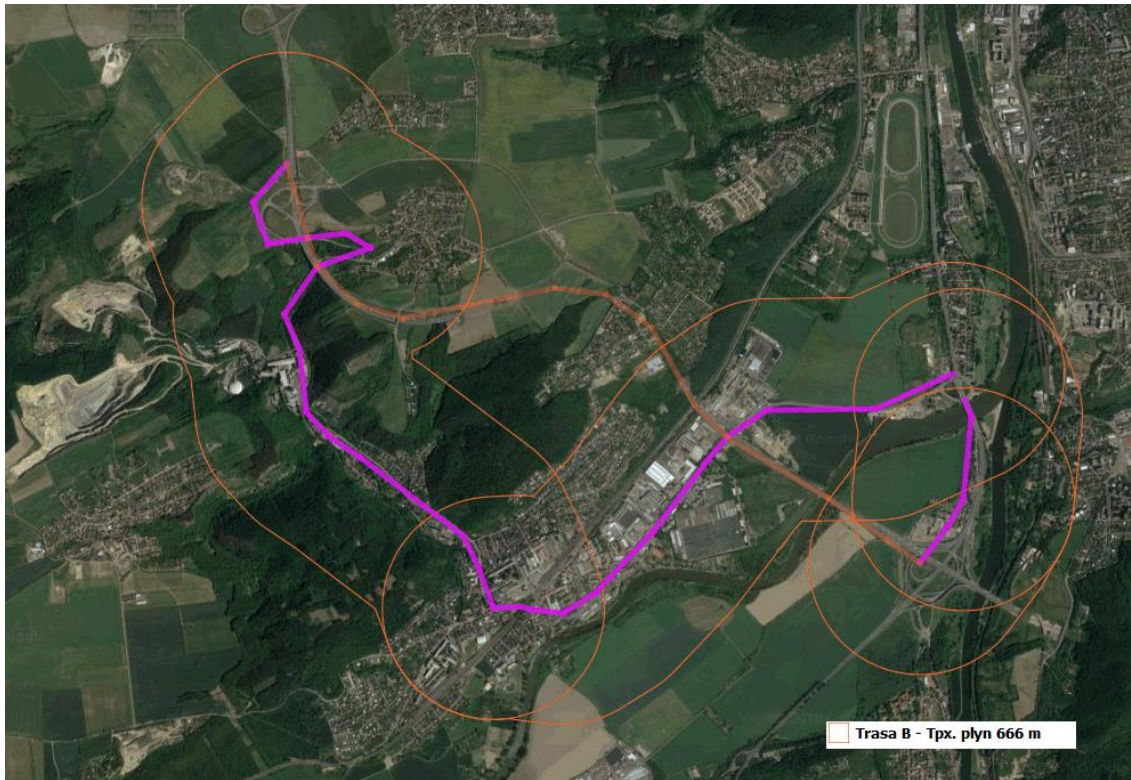
Obrázek 24 znázorňuje obalové vrstvy dopadů při úniku hořlavého zkapalněného plynu na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov podle vstupních hodnot v tabulce 17 (tři scénáře nehody s poloměry červené zóny AEGL-3).



**Obrázek 24** Alternativní objízdná trasa tunelu Lochkov – obalové zóny zkapalněného hořlavého plynu (autor, 2018), ©ArcČR, ARCDATA PRAHA, 2016, Zeměměřický úřad (ZÚ), Český statistický úřad (ČSÚ)

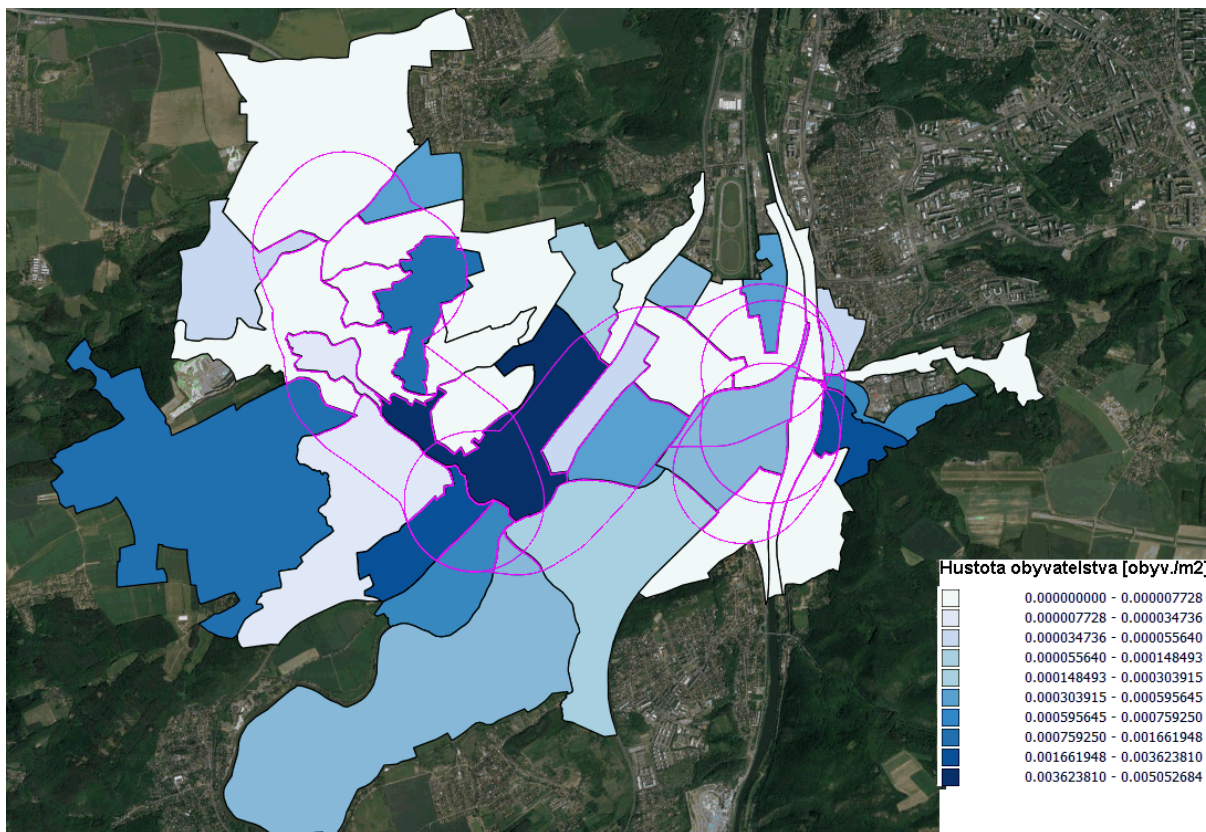


Obrázek 25 znázorňuje obalovou vrstvu dopadů při úniku toxického plynu na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov podle vstupních hodnot v tabulce 18 (AEGL-3).



**Obrázek 25** Alternativní objízdná trasa tunelu Lochkov – obalová zóna toxického plynu (autor, 2018), ©ArcČR, ARCDATA PRAHA, 2016, Zeměměřický úřad (ZÚ), Český statistický úřad (ČSÚ)

Obrázek 26 znázorňuje hustotu obyvatelstva v ZSJ, které leží na alternativní objízdné trase Lochkovského tunelu v obalové zóně nehody s únikem toxického plynu (AEGL-3).



**Obrázek 26** Hustota obyvatelstva v okolí objízdné trasy tunelu Lochkov (autor, 2018), ©ArcČR, ARCDATA PRAHA, 2016, Zeměměřický úřad (ZÚ), Český statistický úřad (ČSÚ)

Autor určil společenské riziko přepravy nebezpečných věcí na alternativní objízdné trase Lochkovského tunelu následovně:

- pravděpodobnost nehody na trase je dána součinem pravděpodobnosti nehody na kilometr  $P_a = 0,000000341$  a délky trasy 8,7 km,
- pravděpodobnost scénáře nehody (1) viz třetí sloupec v tabulce 19, je pro hořlavou kapalinu a hořlavý zkapalněný plyn určená součinem pravděpodobnosti úniku látky v případě nehody a pravděpodobností požáru uniklé látky na základě hodnot uvedených v tabulce 12,
- pravděpodobnost scénáře nehody (2) viz třetí sloupec v tabulce 19, je pro všechny tři látky určená součinem pravděpodobnosti úniku látky v případě nehody a pravděpodobnosti, že nedojde k požáru uniklé látky na základě hodnot uvedených v tabulce 12,
- určení hypotetického počtu zasažených a tudíž usmrcených osob viz čtvrtý sloupec tabulky 19, na základě definovaných zón ohrožení je pro hořlavou kapalinu v tabulce 35, pro hořlavý zkapalněný plyn v tabulce 36 a pro toxický plyn v tabulce 37 (vše v příloze L). Pro scénář nehody (1) je určující počet osob zasažených tepelným

zářením požáru par, pro scénář nehody (2) je určující počet osob zasažený hořlavým mrakem, který je u hořlavé kapaliny i hořlavého zkapalněného plynu větší, než oblast toxického mraku a tudíž zahrnuje veškeré potenciálně zasažené osoby. V případě toxického plynu je pro scénář nehody (2) určující počet osob zasažený toxickým mrakem.

- společenské riziko scénáře je dané součinem pravděpodobnosti nehody na trase, pravděpodobnosti scénáře v případě nehody a počtu usmrcených osob. V případě hořlavé kapaliny je následující:

$$N_{ds1} = (0,341 \cdot 10^{-6} \cdot 8,7) \cdot (0,025 \cdot 0,05) \cdot 610,32$$

$$N_{ds1} = 2,968 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 610,32 = \mathbf{2,26 \cdot 10^{-6} [-]}$$

- společenské riziko nebezpečné látky je dané součtem společenského rizika jednotlivých scénářů. V případě hořlavé kapaliny je následující:

$$N_{ds1} = 2,26 \cdot 10^{-6} + 38,10 \cdot 10^{-6} = \mathbf{40,36 \cdot 10^{-6} [-]}$$

**Tabulka 19 Společenské riziko na alternativní objízdě trase Lochkovského tunelu**

Nebezpečná látka	Scénář nehody	Pravděpodobnost scénáře v případě nehody [-]	Počet usmrcených osob [počet]	Společenské riziko scénáře [-]	Společenské riziko nebezpečné látky[-]
Hořlavá kapalina	(1) Požár uniklé látky	$1,25 \cdot 10^{-3}$	610,32	$2,26 \cdot 10^{-6}$	$40,36 \cdot 10^{-6}$
	(2) Únik bez požáru	$23,75 \cdot 10^{-3}$	540,53	$38,10 \cdot 10^{-6}$	
Hořlavý zkapalněný plyn	(1) Požár uniklé látky	$3,4 \cdot 10^{-3}$	327,42	$3,30 \cdot 10^{-6}$	$49,67 \cdot 10^{-6}$
	(2) Únik bez požáru	$16 \cdot 10^{-3}$	976,47	$46,37 \cdot 10^{-6}$	
Toxický plyn	(2) Únik bez požáru	$10 \cdot 10^{-3}$	10 293,94	$305,52 \cdot 10^{-6}$	$305,52 \cdot 10^{-6}$

Zdroj: autor

Celkové společenské riziko autor určil podle vzorce 15 na základě podílu jednotlivých druhů nebezpečných látek na přepravě nebezpečných věcí, uvedeném v tabulce 12. Zkoumané tři skupiny nebezpečných látek představují přibližně 74,2 % druhů nebezpečných věcí přepravovaných silniční dopravou v ČR. Zbývající podíl je značně fragmentovaný, zahrnující desítky skupin nebezpečných látek. O těchto látkách neexistuje dostatečné množství statistických dat a exaktní určení dopadů by značně zvyšovalo rozsah výpočtu i při znalosti vstupních dat. Aby bylo možné určit společenské riziko, alespoň s určitou mírou přesnosti, použil autor pro ostatní látky defaultní riziko  $100 \cdot 10^{-6}$ . **Výpočet společenského rizika trasy, zahrnující všechny nebezpečné látky je následující:**

$$R_{t\_spo} = 0,531.40,36.10^{-6} + 0,093.49,67.10^{-6} + 0,018.305,52.10^{-6} + 0,258.100.10^{-6}$$

$$R_{t\_spo} = 21,43.10^{-6} + 4,61.10^{-6} + 5,49.10^{-6} + 25,80.10^{-6}$$

$$R_{t\_spol} = 57,35.10^{-6} [-]$$

**Hodnocení ohrožení životního prostředí** na alternativní trase tunelu Lochkov spočívá v určení indexů zranitelnosti vodních biotických složek na základě vstupních hodnot v tabulce 11.

- **Index zranitelnosti chráněných území (IZCH)** – přepravní trasa v Radotíně v ulici K cementárně bezprostředně sousedí s chráněnou krajinnou oblastí Český kras (**hodnota indexu 5**).
- **Index zranitelnosti vodních toků (IZVT)** – přepravní trasa vede přes Lahovický most nad řekou Berounku a i v jiných částech trasy je ve vzdálenost do 50 metrů. Navíc ve vzdálenosti do 40 metrů od trasy protéká řeka Vltava (**hodnota indexu 5**).
- **Index zranitelnosti vodních ploch (IZVP)** – přepravní trasa je poměrně vzdálená od vodních ploch. Vodní nádrž Vrané je v nejbližší vzdálenosti od trasy 7,46 km (**hodnota indexu 1**).
- **Index zranitelnosti bažin a rašeliníšť (IZBR)** – přepravní trasa je vzdálená od bažin a rašeliníšť. Nejbližší je v okolí Máchova jezera ve vzdálenosti 106,5 km (**hodnota indexu 1**).

Jednotlivé indexy zranitelnosti autor, společně s váhovými koeficienty definovanými v kapitole č. 4.3.5, dosadil do vzorce 13.

$$IZT = 10.5 + 8.5 + 6.1 + 3.1 = 99 [-]$$

Celkový index zranitelnosti trasy *IZT* zahrnující všechny vodní biotické složky autor dosadil do vzorce 14. V souladu s postupem popsáním v kapitole č. 4.3.5 použil index zranitelnosti hořlavé kapaliny.

$$R_{t\_žP} = 132,51.2,968.10^{-6}.99 [-]$$

$$R_{t\_žP} = 38,94.10^{-3} [-]$$

## 5 VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

### 5.1 Oblast lidských zdrojů

Autor identifikoval metodou „**Kontrolního seznamu**“ příčiny nehod zejména z okruhu **lidského faktoru (oblast A) a balení nebezpečných věcí (D)**. Naopak zcela chybí **okruh dopravní infrastruktury (B)**, (viz tabulka 13). To je částečně způsobeno charakterem jedné ze zkoumaných databází (eMARS), která je zaměřena na stacionární objekty. Ovšem ani údaje z druhé zkoumané databáze nehod při přepravě nebezpečných věcí (NTSB) neprokázaly tento faktor jako primární příčinu některé z nehod. **V problémovém okruhu vozidla (C) jsou příčiny nehod z důvodu technické závady příslušenství vozidla. V okruhu označeném jako specifické (E) jsou identifikovány jiné externí příčiny nepříznivých událostí.**

Autor identifikoval i **okruhy příčin nehodových událostí, jejichž rizika mohou být primárně, nebo sekundárně zmírněna adekvátním a správně adresovaným odborným školením. Jedná se o okruhy lidského faktoru (A), vozidla (C) a balení (D).**

Metodou „**Co se stane, když**“ autor identifikoval **nejvíce rizikových událostí (28) při nakládce či vykládce cisteren a kusů (A1). Následují události (12) související s řízením vozidla (A2). Vysoký počet událostí (9) je i v oblasti managementu (A3). Shodný počet událostí (7) autor identifikoval v oblasti kontroly (A4) i technických závad příslušenství vozidla (C3). V oblasti balení (D1 + D2 + D3) autor souhrnně identifikuje 16 událostí a specifické okruhy (E3 + E4) generují pět událostí, viz obrázek 17.**

Převaha událostí z oblasti nakládky a vykládky je částečně ovlivněna odlišnými kritickými faktory při nakládce či vykládce nebezpečných věcí balených v kusech a plněním či vyprazdňování cisteren. Kromě několika obecných rizikových událostí při nakládce, byla identifikována řada specifických rizik vyplývajících z manipulace jen s vybranými látkami.

Množství identifikovaných událostí v oblasti řízení vozidla je determinováno podrobností při kategorizaci dopravních nehod. Většina událostí v oblasti managementu a kontroly je v těchto kategoriích vzájemně provázaná. Obdobně je tomu i v oblasti balení.

**Autor metodou FMECA v tabulce 14 uvádí nejzávažnější poruchy, které mají nepřijatelnou úroveň rizika 19 a vyšší. Rekrutují se převážně z prvků nakládka (A1), jízda řidiče (A2) a balení (D1, D2). Všechna tato rizika jsou podle kritérií v kapitole č. 4.1.6 nepřijatelná. Primárně musí být zaměřena pozornost na snížení rizika těchto poruch.**

**Autor metodou HRA, respektive THERP určil celkovou pravděpodobnost, že dojde k poruše systému v důsledku jedné nebo více skupin chyb jednotlivých**

subsystémů  $Q_T = 0,02243$ , viz obrázek 18. Pravděpodobnost je vztažena k jednomu kusu s nebezpečnou látkou. V případě manipulace s více kusy, se pravděpodobnost poruchy zvyšuje. Při posouzení s kritérii přijatelnosti v kapitole č. 4.1.6 je toto riziko **nepřijatelné**.

**Nejvyšší riziko je v oblasti nakládky, proto by zde měly primárně směřovat bezpečnostní opatření (např. v podobě odborného školení adresovaného pracovníkům provádějících nakládku a upevnění kusů s nebezpečnými věcmi na vozidlo). Autor v dopravní společnosti navrhuje aplikovat interní systém školení, který navrhl v kapitole č. 4.3.3.**

Autor určil metodou FTA pravděpodobnost poruchy pro všechny události ve čtvrté kategorii  $p=0,03$ , viz obrázek 19. Při posouzení s kritérii přijatelnosti v kapitole č. 4.1.6 je toto riziko **přijatelné**.

**I když v případě metody FTA nebylo v dané společnosti identifikované žádné nepřijatelné riziko, je nutné vždy implementovat algoritmus hodnocení a řízení rizika v celém rozsahu, tak jak byl autorem navržen v kapitole č. 4.1. Jednotlivé metody není vhodné implementovat individuálně či nezávisle na sobě s cílem získat jen určité dílčí poznatky. Mezi jednotlivými metodami existují vzájemné vazby, které jsou znázorněny na obrázku 6. Metody se vzájemně doplňují a umožňují přistoupit k problematice od celkového agregovaného pohledu k jednotlivým dílčím procesům. Pouze při systematické postupné implementaci jednotlivých metod, je možné plně využít jejich přednosti.**

## **5.2 Oblast přepravní trasy**

Oblast přepravní trasy úzce souvisí s nastavenými hranicemi přijatelnosti individuálního a společenského rizika. Hranice přijatelnosti individuálního rizika v silničním tunelu (horní  $10^{-2}$ ) i v otevřeném terénu (horní  $10^{-3}$ ) se na první pohled jeví jako vysoká. Je však třeba si uvědomit, že je uváděna pro dobu expozice jeden rok. V praxi se nepředpokládá, že by byl průměrný občan vystaven individuálnímu riziku přepravy nebezpečných věcí kritickou dobu (determinováno místem bydliště, pracoviště, používáním pozemních komunikací apod.). **Jednoznačně nejvyššímu individuálnímu riziku přepravy nebezpečných věcí jsou vzhledem k expozici vystaveni řidiči přepravující nebezpečné věci a případně další členové osádky vozidla.**

Výsledné společenské riziko Lochkovského tunelu (modrá linka na obrázku 22) se nachází v zóně ALARP mezi dolní a horní hranicí (červená linka). V zásadě je riziko přepravy nebezpečných věcí silničním tunelem přijatelné, ale měla by být provedena analýza



nákladů na další snížení rizika pod dolní hranici. **Závěrem autorova hodnocení je neumísťovat na úsek dálnice D0 Lochkovským tunelem zákazovou značkou B18. Lochkovský tunel podle výsledků hodnocení spadá do kategorie E podle Dohody ADR, což je v souladu se současným stavem.**

Autor při hodnocení rizika silniční přepravy nebezpečných věcí mimo tunely využil limity AEGL-3. Tato úroveň udává koncentraci nebezpečné látky v ovzduší, nad kterou je očekáváno, že při expozici v délce 1 hodiny bude populace včetně citlivých jedinců ohrožena na životě, případně usmrcena. V případě nehody je samozřejmě zvláště u mobilních zdrojů rizika velice diskutabilní, jaká část populace v zasažené zóně bude vystavena hodinovému působení nebezpečné látky. Je to determinováno místem nehody, charakterem osídlení v okolí, dopravní situací, rychlostí zásahu IZS atd. **Využití limitů AEGL je vhodné zejména pro porovnání rizikovosti alternativních tras, než určení exaktního počtu potenciálních obětí.**

Autor v tabulce 16 pro hořlavé kapaliny uvádí nejvyšší poloměr červené zóny pro tepelné záření požáru par, které se vypařují z hladiny kapaliny (38 m). Pravděpodobnější jsou však scénáře nehody, při kterých nedojde ke vznícení látky. Tabulka 17 pro hořlavé zkapalněné plyny uvádí taktéž vyšší pravděpodobnost scénáře, při kterém nedojde k požáru uniklé látky. Největší dopad má oblast hořlavého mraku (poloměr červené zóny 61 m). Tabulka 18 pro toxický plyn udává pro toxický mrak poloměr červené zóny 666 m).

**Na základě vstupních dat v tabulkách 16 až 18 určil autor plošný index zranitelnosti  $I_{ZNV}$  pro jednotlivé látky.** Zdaleka největší oblast potenciálně zasažená v důsledku nehody je u toxických plynů. Riziko je ovšem nutné posuzovat i z pohledu frekvence přepravy daných látek. Hořlavé kapaliny a hořlavé zkapalněné plyny mají porovnatelné dopady.

**Tabulka 19 udává společenské riziko na alternativní objízdě trase Lochkovského tunelu pro jednotlivé zástupné látky.** Nejvyšší riziko představuje v souladu se stanovenou zónou ohrožení toxický plyn  $305,52 \cdot 10^{-6}$ , následovaný hořlavým zkapalněným plynem  $49,67 \cdot 10^{-6}$  a hořlavou kapalinou  $40,36 \cdot 10^{-6}$ . Obalová zóna toxického plynu alespoň částečně zasahuje do celkem 35 ZSJ (viz příloha L tabulka 37), u hořlavého zkapalněného plynu do 15 ZSJ (viz příloha L tabulka 36) a u hořlavé kapaliny do 14 ZSJ (viz příloha L tabulka 35). Jednotlivé ZSJ se však výrazně liší v počtu obyvatel, viz obrázek 26. Nejvíce jich je v ZSJ Radotín-střed (5 457), který by byl v případě toxického plynu zcela zasažen. Naopak až v 20 % zasažených ZSJ nemají bydliště žádní, nebo téměř žádné obyvatelé.

Při zohlednění relativního zastoupení jednotlivých druhů nebezpečných látek na přepravě, je ovšem nejvyšší riziko pro zástupnou kategorii všech ostatních látek, které nespádají mezi tři hodnocené skupiny látek  $25,80 \cdot 10^{-6}$ . Druhé nejvyšší riziko představují vzhledem k vysoké četnosti přepravy hořlavé kapaliny  $21,43 \cdot 10^{-6}$ . Až s odstupem je riziko zřídka přepravovaných toxických látek  $5,49 \cdot 10^{-6}$  a v obdobné výši i hořlavých zkapalněných plynů  $4,61 \cdot 10^{-6}$ .

**Celkové společenské riziko přepravy nebezpečných věcí na alternativní objízdné trase Lochkovského tunelu je  $R_{t\_spol} = 57,35 \cdot 10^{-6}$ . Po přepočtu na délku 1 km je to  $6,59 \cdot 10^{-6}$  úmrtí na kilometr trasy. Při porovnání s dolní hranicí společenského rizika pro ostatní komunikace na obrázku 9 ( $1 \cdot 10^{-5}$  pro úmrtí jedné osoby) je výsledná hodnota po převedení na stejnou jednotku  $0,659 \cdot 10^{-5}$ . Společenské riziko je na trase nižší, než je přijatelná hranice. Závěrem hodnocení je neumist'ovat na alternativní objízdnu trasu Lochkovského tunelu zákazovou značkou B18.**

Při hodnocení ohrožení životního prostředí na alternativní objízdné trase Lochkovského tunelu určil autor riziko  $R_{t\_žP} = 38,94 \cdot 10^{-3}$ . Při porovnání s hranicí přijatelnosti v kapitole č. 4.3.5, která je  $20 \cdot 10^{-3}$  je závěrem autorova hodnocení umístit na alternativní objízdnu trasu Lochkovského tunelu zákazovou značkou B19.

Vzhledem k hlavnímu zaměření disertační práce na humánní rizika při přepravě nebezpečných věcí, autor přistoupil k několika zjednodušením při určení rizika trasy. Vycházel z předpokladu konstantního rizika nehody na všech typech pozemních komunikací, přítomnosti obyvatelstva v místě bydliště a rovnoměrného rozvržení obyvatel v ploše ZSJ. V neposlední řadě nezohlednil přítomnost ostatních účastníků silničního provozu v dané lokalitě v době potenciální nehody. Další zkreslení spočívá v kvalitě použitých dat, zejména přesnosti vektorových vrstev (silniční síť) a neaktuálnosti některých údajů (počet obyvatel v ZSJ vychází z posledního celostátního sčítání v roce 2011). **Autor předpokládá největší zkreslení v předpokladu přítomnosti osob v místě bydliště v době potenciální nehody. Tato skutečnost je výrazně determinována časem, kdy by k potencionální nehodě došlo.** V případě nočních hodin lze očekávat vyšší přítomnost obyvatel v místě bydliště, zejména o víkendu. V pracovní týden lze naopak předpokládat, že část obyvatel bydlí dočasně v místě svého pracoviště či školy. Silniční přeprava nebezpečných věcí je však z větší části prováděna v denních hodinách, kdy je velká část obyvatel mimo své trvalé bydliště v zaměstnání, škole, na úřadech či v nákupních střediscích. Pro přesnější určení rizika by tedy bylo dobré využít sofistikovanější postupy zohledňující skutečnou distribuci osob v průběhu dne. Standardně se

pro to využívají např. **analýzy dat z aktuální polohy SIM karet mobilních operátorů**. Přesnost určení rizika ovšem souvisí zejména s ochotou státní správy financovat objektivnější posouzení rizika přepravy nebezpečných věcí a na základě optimalizace umístění příslušných dopravních značek v konečném důsledku snižovat společenské riziko. Zatímco autor představil sice do jisté míry nedokonalý přístup, ale proveditelný zdarma s využitím freewarových SW nástrojů a dat, mobilní operátoři si uvědomují hodnotu svých (anonymizovaných) dat. V závislosti na množství poskytnutých dat a penetraci SIM karet mobilního operátora mezi obyvateli, se ceny pohybují v řádech milionů korun.

Autor u indexů zranitelnosti navrhuje zjednodušený přístup, změřený na identifikaci nejbližší vzdálenosti daného chráněného zájmu od přepravní trasy. Přesnější, ale výpočetně náročnější přístup by spočíval v zohlednění délky expozice chráněného zájmu riziku vyplývající z přepravy nebezpečných věcí.

Autor dále navrhuje podrobnější škálování jednotlivých indexů zranitelnosti. Např. u indexu zranitelnosti chráněných území (IZCH) by mohla být vyšším rizikem oceněna blízkost Národního parku, než Chráněné krajinné oblasti. Široký prostor pro jemnější škálování nabízí index zranitelnosti vodních toků (IZVT). Významnost vodního toku by mohla být oceněna např. atributem objemový průtok vody. Další zpřesnění by mohlo spočívat v možnosti zařazení a posouzení i jiných vodních biotických složek – např. ochranné pásma zdrojů pitných vod. Pro tento účel by však musela být použit jiný zdroj dat.

Vzhledem k odlišnému hlavnímu tématu disertační práce zaměřeného na humánní rizika se autor těmito sofistikovanějšími přístupy nezabýval.

## 6 VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA

Autor se v práci zaměřil na dvě základní oblasti související s přepravou nebezpečných věcí. Hlavní cíl práce naplňuje hodnocení a řízení rizika v oblasti lidských zdrojů (viz kapitola č. 4.1) a vedlejší hodnocení a řízení rizika v oblasti přepravní trasy (viz kapitola č. 4.2).

Autor navrhl algoritmus hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů, který etapizoval (viz Ganttův diagram na obrázku 10). Autor návrhu využil pět již známých metod pro identifikaci rizik, analýzu dopadů a hodnocení rizika (Kontrolní seznam; Co se stane, když; FMECA; HRA; FTA). Všechny tyto metody jsou aplikovány v řadě oborů (strojírenství, petrochemický průmysl, průmyslové podniky), kde je důležité riziko kontinuálně řídit. Využití těchto metod jinými autory je v oblasti přepravy nebezpečných spíše ojedinělé a izolované. Autor v této práci systematizoval přístup a jednoznačně strukturuje postupné využití jednotlivých metod. Autor do algoritmu zařadil jednotlivé metody z následujících důvodů:

- „**Kontrolní seznam**“ – identifikace předchozích příčin nehod při manipulaci a silniční přepravě nebezpečných věcí z databázi nehod (viz kapitola č. 4.1.1),
- „**Co se stane, když**“ – generování možných příčin nehod na základě otázek „Když“, odpovědi v podobě „Co se stane“ a opatření na snížení jednotlivých rizik (viz kapitola č. 4.1.2),
- **FMECA** – systematizace závažnosti rizik desetistupňovou škálou, hodnotící pro každý prvek pravděpodobnost výskytu, odhalení a potenciálními následky poruchy (viz kapitola č. 4.1.3),
- **HRA** – identifikace humánních příčin nehod technikou pro stanovení lidské chyby THERP (viz kapitola č. 4.1.4),
- **FTA** – vizualizace a určení rizika v celkovém kontextu (viz kapitola č. 4.1.5).

Autor u jednotlivých metod přesně určil technologický postup aplikace v postupných krocích, strukturoval hodnocené oblasti, stanovil hodnotící kritéria a pro jednotlivé kvantitativní metody stanovil hranice nepřijatelného rizika.

Autor dále navrhl opatření v případě identifikace nepřijatelného rizika v podobě technologických postupů pro snížení rizika dopravních nehod (viz kapitola č. 4.3.2) a úpravy v oblasti školení a ověření znalostí (viz kapitola č. 4.3.3).

Autor navrhl technologický postup hodnocení rizika v oblasti přepravní trasy, který etapizoval (viz Ganttův diagram na obrázku 14).

Autor stanovil dolní a horní hranici přijatelnosti individuálního a společenského rizika (viz kapitola č. **4.2.1**). Autor následně stanovil tři zástupné kategorie nebezpečných věcí a parametry referenčních nehod, určil limity pro stanovení zóny ohrožení a doporučil SW nástroj pro modelování dopadů a stanovení zón ohrožení (viz kapitola č. **4.2.2**). Technologický postup obsahuje i stanovení indexů zranitelnosti pro obyvatelstvo a pro ostatní biotické složky (viz kapitola č. **4.2.3**). Autor stanovuje matematický postup pro hodnocení rizika na úsecích komunikací, které nejsou součástí silničních tunelů a doporučuje SW nástroj pro určení rizika v tunelech (viz kapitola č. **4.2.4**)

Autor dále navrhl algoritmus pro výběr optimálních objízdných tras (viz kapitola č. **4.3.4**), optimalizaci umístění svislých dopravních značek (viz kapitola č. **4.3.5**) a rozšíření systému monitoringu přepravy nebezpečných věcí (viz kapitola č. **4.3.6**).

Algoritmus hodnocení a řízení rizika v oblasti lidských zdrojů autor ověřil v prostředí dopravní firmy přepravující nebezpečné věci po silnici (viz kapitola č. **4.4.1**). Hodnocení rizika v oblasti přepravní trasy autor pilotně ověřil na úseku dálnice D0, jehož součástí je Lochkovský tunel, a na objízdné trase tohoto úseku (viz kapitola č. **4.4.2**).

Z pohledu autora je zpracovaná komplexnost řešení problematiky silniční přepravy nebezpečných věcí a zejména oblasti lidského faktoru v rámci ČR unikátní.

## 7 ZÁVĚR

Nehody při přepravě nebezpečných věcí mohou vyvolat značné škody na zdraví a životech obyvatel, případně mohou nenávratně poškodit životní prostředí. V důsledku nehod mohou vznikat významné ekonomické škody nejen přímo na infrastrukturu a na odstranění následků nehod. Škody vznikají i nepřímo v podobě nákladů časových ztrát dotčených účastníků dopravního provozu.

Dopravní nehody obecně charakterizuje náhlý neočekávaný vznik. V případě přepravy nebezpečných věcí se navíc přidávají i určité potíže s identifikací druhu a množství přepravovaných látek a odhadem dopadu potenciálního úniku látek. Oproti stacionárním zdrojům nebezpečných věcí při skladování a manipulaci, vykazuje jejich přeprava zásadní rozdíly. Při přepravě je sice zpravidla manipulováno s menším množstvím nebezpečné látky, ale nebezpečí nehody s potenciálním únikem hrozí po celé trase přepravy, což značně rozšiřuje prostorové vymezení rizika. Na druhou stranu i při přepravě nebezpečných věcí lze riziko identifikovat, kvantifikovat a může se s ním dále numericky pracovat, což je nezbytným předpokladem úspěšného řízení rizika.

Z analýzy současného stavu přepravy nebezpečných věcí v ČR vyplynula řada nedostatků, které ovlivňují bezpečnost přepravy. Neexistuje algoritmus hodnocení a řízení rizika v oblasti lidských zdrojů při přepravě nebezpečných věcí. V této oblasti pro riziko nemůže být systematicky řízeno. Je nastaven základní rámec pro vzdělávání a přezkoušení znalostí osob zapojených do přepravního procesu, ale nezohledňuje aktuální potřeby. Silniční přeprava většiny nebezpečných věcí v ČR není kromě dopravních značek B18 a B19 nikterak regulována. Silniční přeprava není s výjimkou výbušnin nikterak monitorována. Současné informační systémy nemají dostatečnou oporu v oblasti krizových situací v dopravě. Policie ČR nemá k dispozici vhodný nástroj pro rychlé stanovení objízdnych tras v případě závažné nehody. Uvedené problémy proto autor řešil v disertační práci.

Navržený algoritmus hodnocení a řízení rizika v oblasti lidských zdrojů přispěje ke snížení rizika při manipulaci a při přepravě nebezpečných věcí, vyvolaného velmi rizikovým lidským faktorem. Jeho implementace do přepravního řetězce nebezpečných věcí (od odesílatelů, přes dopravní firmy až k příjemcům), umožní minimalizovat potenciální negativní dopady při manipulaci a při přepravě nebezpečných věcí na okolí a přispěje k celkovému zvýšení bezpečnosti.

Navržený algoritmus hodnocení a řízení rizika v oblasti přepravní trasy představuje postup kvantifikace rizika pro obyvatelstvo a ostatní biotické složky v okolí přepravních tras.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- (1) ŘSD. Celostátní sčítání dopravy na dálniční a silniční síti ČR 2016. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/Scitani-dopravy>>
- (2) Policejní prezidium. Statistické údaje nehodovosti na území ČR. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>>.
- (3) European Road Safety Observatory. Annual Accident Report 2016. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2016.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2016.pdf)>.
- (4) Zákon č.111/1994 Sb., o silniční dopravě, ve znění pozdějších předpisů.
- (5) Vyhláška č.478/2000 Sb., kterou se provádí zákon o silniční dopravě, ve znění pozdějších předpisů.
- (6) Evropská dohoda ADR 2017. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.
- (7) Zkušební řád pro ověřování způsobilosti bezpečnostních poradců v silniční dopravě nebezpečných věcí. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[http://www.mdcz.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-\(ADR\)/Skoleni-bezpecnostnich-poradcu](http://www.mdcz.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava/Preprava-nebezpecnych-veci-(ADR)/Skoleni-bezpecnostnich-poradcu)>.
- (8) Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2008R1272:20110419:CS:PDF>>.
- (9) Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH). [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&from=CS>>.
- (10) Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů.
- (11) Nařízení komise EU č. 1357/2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech a o zrušení některých směrnic. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1357&from=CS>>.
- (12) Vyhláška č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů.
- (13) Vyhláška č. 94/2016 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.
- (14) Vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů.

- (15) Zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů.
- (16) Policejní Prezidium. Hlášení přepravy výbušnin na Policejní prezidium ČR. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.policie.cz/clanek/hlaseni-prepravy-vybusnin-na-policejni-prezidium-cr-od-1-1-2014.aspx>>.
- (17) Zákon č. 247/2000 Sb. o získávání a zdokonalování odborné způsobilosti k řízení motorových vozidel, ve znění pozdějších předpisů.
- (18) Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- (19) Vyhláška č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- (20) Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- (21) Nařízení vlády č. 264/2009 Sb., o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delších než 500 metrů.
- (22) Technické podmínky 229: Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací.
- (23) Technické podmínky 229, dodatek č. 1: Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací
- (24) De Marchi, B.; Funtowicz, S.; Ravetz, J.: 4 Seveso: A paradoxical classic disaster [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu211e/uu211e09htm](http://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu211e/uu211e09htm)>.
- (25) Council Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31982L0501>>.
- (26) Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018>>.
- (27) Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi.
- (28) ČSN EN 31010 Management rizik – Techniky posuzování rizik, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- (29) Ročenka dopravy České republiky 2014, Ministerstvo dopravy, ISSN 1801-3090.
- (30) Statistika dopravních nehod při přepravě nebezpečných věcí v ČR, prezentace Police ČR.
- (31) Časopis 112. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.hzscr.cz/casopis-112.aspx>>.
- (32) Bernatík, A.: *Prevence závažných havárií II.*, Ostrava: SPBI, 2006, ISBN: 80-86634-90-6.
- (33) Soušek, R. a kol.: Doprava a krizový management. Pardubice: *Institut Jana Pernera, o. p. s.*, 2010, ISBN 978-80-86530-64-2.



- (34) Procházka, J.: Kontrolní seznam pro posouzení kritičnosti vybraných míst pozemních komunikací. In: *Požární ochrana 2013*, Sborník příspěvků z mezinárodní konference. VŠB - TU, Ostrava 2013, s. 202 - 204. ISBN 978-80-7385-127-9, ISSN 1803-1803.
- (35) Patáková, H.; Procházka, J.: Rekognoskace kritických míst na dálnici D1. In: *Ochrana obyvatelstva 2014*, Sborník příspěvků z mezinárodní konference, SPBI, Ostrava 2014, s. 146-149. ISBN 978-80-7385-142-2, ISSN 1803-7372.
- (36) Patáková, H.; Procházka, J.: Analýza údajů o dopravních nehodách s přítomností nebezpečných látek. In: *Požární ochrana 2013*, Sborník příspěvků z mezinárodní konference, VŠB - TU, Ostrava 2013, s. 193 - 195. ISBN 978-80-7385-127-9, ISSN 1803-1803.
- (37) Procházková, D.; Patáková, H.; Procházka, J.; Procházka, Z.; Strymplová, V.: Výsledky systematického studia rizik spojených s přepravou nebezpečných látek. In: *Ochrana obyvatelstva 2014*, Sborník příspěvků z mezinárodní konference, SPBI, Ostrava 2014, s. 191-194. ISBN 978-80-7385-142-2, ISSN 1803-7372.
- (38) Boring, R.: How Many Performance Shaping Factors are Necessary for Human Reliability Analysis?. *10th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management 2010*, PSAM 2010. [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <<https://inldigitallibrary.inl.gov/sites/sti/sti/4814133.pdf>>.
- (39) Fuchs, P.; Antusak, M.; Balatka, M; Čermáková, H.; Havlíček, J.; Kamenický, J.; Kratochvíl, F.; Novák, J.; Saska, T.; Soušek, R.; Vališ, D.; Zajíček, J.: Lengthwise Individual and Societal Risk of Toxic Gas Road Transport. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: [http://www.cztpis.cz/files/2011/02/Risk\\_Toxic\\_Gas\\_Road\\_Transport.pdf](http://www.cztpis.cz/files/2011/02/Risk_Toxic_Gas_Road_Transport.pdf).
- (40) Krejčí, L.; Bambušek, M.: Rizikovitost přepravy nebezpečných věcí silniční dopravou v ČR, *Perner's Contacts*, 2012, roč. 7, č. 3. ISSN 1801-674X. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/PC\\_272012.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/PC_272012.pdf)>.
- (41) Bulíček, J.; Mojžíš, V.; Molková, T.; Brožová, P.; Hruban, I.; Vízner, F.; Brejcha, R.; Hofhansl, P.; Súkenník, P.: Modelování technologických procesů v dopravě. Pardubice: *Univerzita Pardubice*, 2011, ISBN 978-80-7395-442-0.
- (42) Příbyl, P.: Vybavení silničních tunelů a přiměřená bezpečnost provozu. *Tunel*, 2012, roč. 21, č. 4. ISSN 1211 – 0728. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[http://www.itaaites.cz/files/tunel/komplet/tunel\\_4\\_12.pdf](http://www.itaaites.cz/files/tunel/komplet/tunel_4_12.pdf)>.
- (43) SW ROZEX Alarm. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.tlp-emergency.com/rozex.html>>.
- (44) SW TEREKX. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.tsoft.cz/terex-terroristicky-expert/>>.
- (45) TRINS Transportní informační nehodový systém. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.unipetrolrpa.cz/cs/sluzby-areal/trins/Stranky/default.aspx>>.
- (46) Informační systém DOK. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.waksystem.cz/produkty/wak-dok>>.

- (47) Conca A.; Ridella C.; Saponi E.: A risk assessment for road transportation of dangerous goods: a routing solution *6th Transport Research Arena, Warsaw, 18-21 April 2016*, Transportation Research Procedia 14, s. 2890 - 2899.
- (48) Fabiano, B.; Currò, F.; Palazzi, E.; Pastorino, R.: A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation, *Journal of Hazardous Materials*, 2002, roč. 93, č. 7, s. 1–15, ISSN 0304-3894.
- (49) Kinateder, M.; Gromer, D.; Gast, P.; Buld, S.; Müller, M.; Jost, M.; Nehfischer, M.; Mühlberger, A.; Pauli, P.: The effect of dangerous goods transporters on hazard perception and evacuation behavior – A virtual reality experiment on tunnel emergencies, *Fire Safety Journal*, 2015, roč. 78, č. 11, s. 24–30, ISSN 0379-7112.
- (50) Adler, M.W.; van Ommeren, J.; Rietveld, P.; Road congestion and incident duration, *Economics of Transportation*, 2013, roč. 2, č. 4, s. 109–118, ISSN 2212-0122.
- (51) Amezaga, J.M.; Ambituuni, A.; Werner, D.: Risk assessment of petroleum product transportation by road: A framework for regulatory improvement, *Safety Science*, 2015, roč. 79, č. 11, s. 324–335, ISSN 0925-7535.
- (52) Nicolet-Monnier, M.; Gheorghe, A. V.: Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems: Rail, Road, Pipelines and Ship. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. ISBN 0-7923-3923-1.
- (53) Inanloo B.; Tansel B.: A transportation network assessment tool for hazardous material cargo routing: Weighing exposure health risks, proximity to vulnerable areas, delay costs and trucking expenses, *Journal of loss prevention in the process industries*, 2016, roč. 40, č. 3, s. 266 – 276, ISSN: 0950-4230.
- (54) Van Raemdonck, K.; Macharis, C.; Mairesse, O.: Risk analysis system for the transport of hazardous materials, *Journal of Safety Research*, roč. 45, s. 55–63.
- (55) Høj, N. P.; Kröger, W.: Risk analyses of transportation on road and railway from a European Perspective, *Safety Science*, roč. 40, č. 1–4, s. 337–357.
- (56) Dvořák, Z.; Soušek, R.; Sventeková, E.; Leitner B.; Čižiak, M.: Riadenie rizik v železničnej doprave, 2010, ISBN 978-80-86530-71-0.
- (57) Fojtíková J.: Systém hlášení leteckých nehôd a incidentov s nebezpečným nákladom, *Krízový manažment*, 2015, roč. 14, č. 2, ISSN 1336-009. [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://fbi.uniza.sk/kkm/files/admincasopis/KM%202%202015/011%20Fojtikova.pdf>>.
- (58) Brown, D., F.; Dunn, W., E.; Policastro, A., J.: A National Risk Assessment for Selected Hazardous Materials in Transportation, Argonne National Laboratory, Illinois, 2000, ANL/DIS-01-1.
- (59) Committee for the prevention of disasters: Guidelines for quantitative risk assessment, Purple Book, CPR 18E. First edition, The Hague, 1999.
- (60) Informační systém pro analýzy domino efektů. Terminologie. Definice pojmů. [online]. 2012, [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <<http://www.domino-efekty.cz/isde/definice-pojmu/>>.

- (61) PIARC: Technical Committee C.4: Road Tunnel Operation, Risk evaluation, current practice for risk evaluation for road tunnels, 2013, ISBN 978-2-84060-290-3.
- (62) CETU: Guide to Road Tunnel Safety Documentation, Booklet 3 – Risks analyses relating to dangerous goods transport, 2005.
- (63) Hamouda, G.: Risk-Based Decision Support Model for Planning Emergency Response for Hazardous Materials Road Accidents. Waterloo, 2004. Disertační práce, University of Waterloo. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z <<http://hdl.handle.net/10012/829>>.
- (64) Bagheri M.; Verma M.; Verter V.: Transport Mode Selection for Toxic Gases: Rail or Road?, *Risk analysis*, 2014, roč. 34, č. 168, s. 168 - 186.
- (65) Shen X. Y.; Yan Y.; Li X. N.; Xie C. J.; Wang L. H.: Analysis on Tank Truck Accidents Involved in Road Hazardous Materials Transportation in China, *Traffic Injury Prevention*, 2014, roč. 15, č. 7, str. 762 - 768.
- (66) Databáze FACTS (*Failure and Accidents Technical Information System*). [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.factsonline.nl/>>.
- (67) Databáze eMARS (*Major Accident Reporting System*). [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<https://emars.jrc.ec.europa.eu/>>.
- (68) Databáze NTSB (*National Transportation Safety Board*). [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/hazardous.aspx>>.
- (69) Databáze PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*). [online]. 2017, [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <<https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/IncidentReportsSearch/IncrSearch.aspx>>.
- (70) SW ALOHA, verze 5.4.4. (*Atmospheric dispersion model for evaluating of hazardous chemical vapours*). United States Environmental Protection Agency, USA. [online]. 2013, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>>.
- (71) Scenna N. J.; Santa Cruz A. S. M.: Road risk analysis due to the transportation of chlorine in Rosario City, *Reliability Engineering & System Safety*, 2005, roč. 90, č. 1, s. 83–90.
- (72) Chakrabarti, U. K.; Parikh, J. K.: Using consequence - based hazard zone assessment for effective evacuation planning of vulnerable settlements along hazmat transport corridors through industrial city of Surat in western India, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, roč. 26, č. 9, s. 941–947.
- (73) SW CAMEO, verze 2.0. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www2.epa.gov/cameo/cameo-software>>.
- (74) SW MARPLOT, verze 5.0.3. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>>.
- (75) SW QRAM, verze 3.61. [online]. 2017, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <[http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/gram\\_software/](http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/gram_software/)>.

- (76) Legát, V.: Strategie a koncepce údržby (FMECA, RCM a optimalizace preventivní údržby). In: *Stratégia a koncepcia údržby (FMECA, RCM a optimalizácia preventívnej údržby)*, Rakyta Consulting, 2009, s. 1-115.
- (77) Kruliš, J: Jak vítězit nad riziky. Praha: Linde, 2011. ISBN 978-80-7201-835-2.
- (78) Swain, A. D.; Guttman, H. E.: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications<sup>1</sup> (NUREG/CR-1278, SAND800 200, RX, AN), Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 1983.
- (79) Holický, M.: Kritéria rizik silničních tunelů. *Silniční obzor*, roč. 67, č. 11, s. 323-326.
- (80) Rákosník, L.: Kvantitativní analýza přepravy nebezpečných nákladů silničním tunelem Sitina v Bratislavě. *Tunel*, roč. 16, č. 3, s. 13-18.
- (81) Adamec, V.; Maléřová L.; Adamec M.: Jak stanovit zranitelnost území jinak. *The Science for Population Protection*, roč. 8, č. 1, s. 35-40.
- (82) Kletz, T.: Hazop and Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards. Rugby, Warwickshire, UK: Institute of Chemical Engineers, 1999. ISBN 10-0-85295-506-5.
- (83) Kotek, L.; Vohralíková, M.: Jak zvyšovat spolehlivost lidské obsluhy. *Automa*, roč. 2008, č. 5, s. 26-28.
- (84) Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011-2020. [online]. 2010, [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <<http://www.ibesip.cz/data/web/soubory/nsbsp-2011-2020-formatovani-ii.pdf>>.
- (85) Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050). [online]. 2014, [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <<https://www.databaze-strategie.cz/cz/md/strategie/akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-systemu-its-v-cr-do-roku-2020-s-vyhledem-do-roku-2050>>.
- (86) Systém evidence přepravy nebezpečných odpadů (SEPNO). [online]. 2017, [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <<https://www.ispop.cz/magnoliaPublic/cenia-project/uvod/SEPNO.html>>.
- (87) Sbíрка mezinárodních smluv č. 66/2011 Sb.m.s. Dodatečný protokol k úmluvě o přepravní smlouvě v mezinárodní silniční nákladní dopravě (CMR) týkající se elektronického nákladního listu.
- (88) SW QGIS. [online]. 2017, [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <<https://www.qgis.org>>.
- (89) Geografická databáze ArcČR 500 verze 3.3 [online]. 2017, [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>>.

## 9 PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE

[A] KREJČÍ, L., SCHÜLLEROVÁ, B., ADAMEC, V. Hodnocení rizika přepravy amoniaku a chlóru v městských oblastech. *Chemické listy*, 2018, roč. 112, č. 4. ISSN 1213-7103.

[B] KREJČÍ, L. Determination of time risk associated with transportation of dangerous goods in the Czech Republic. *Perner's Contacts* [on-line]. 2017, roč. 12, č. 2 [cit. 2017-07-26]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/47\\_2017/Krejci.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/47_2017/Krejci.pdf)>. ISSN 1801-674X.

[C] KREJČÍ, L. Novelizace mezinárodní dohody pro přepravu nebezpečných věcí po silnici ADR 2017. *Bezpečnost a hygiena práce*. 2017, roč. 67, č. 6, s. 2-7. ISSN 0006-0453.

[D] KREJČÍ, L. Risk factors for hazardous materials transportation in the Czech Republic. *Perner's Contacts* [on-line]. 2016, roč. 11, č. 4 [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/45\\_2016/Krejci.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/45_2016/Krejci.pdf)>. ISSN 1801-674X.

[E] KREJČÍ, L., SCHÜLLEROVÁ, B. Riziko Lochkovského tunelu podle softwaru QRAM 3.61. *Perner's Contacts* [on-line]. 2014, roč. 9, č. 3 [cit. 2014-11-07]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/36\\_2014/Krejci.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/36_2014/Krejci.pdf)>. ISSN 1801-674X.

[F] KREJČÍ, L. Změny Dohody ADR 2015. *Bezpečnost a hygiena práce*. 2015, roč. 65, č. 5, s. 19-22. ISSN 0006-0453.

[G] KREJČÍ, L., BAMBUŠEK, M. Probability Assessment of Correct ADR Vehicle Labelling Using Bayesian Statistics. *Perner's Contacts* [on-line]. 2013, roč. 8, č. 2 [cit. 2013-07-12]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/PC\\_302013.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/PC_302013.pdf)>. ISSN 1801-674X.

[H] KREJČÍ, L. Změny Dohody ADR 2013. *Bezpečnost a hygiena práce*, 2013, roč. 63, č. 5, s. 36. ISSN 0006-0453.

[I] KREJČÍ, L., BAMBUŠEK, M. Rizikovost přepravy nebezpečných věcí silniční dopravou v ČR. *Perner's Contacts* [on-line]. 2012, roč. 7, č. 3 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/PC\\_272012.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/PC_272012.pdf)>. ISSN 1801-674X.

[J] KREJČÍ, L. Monitorování přepravy nebezpečných věcí a její budoucnost. *Doprava*, 2009, roč. 51, č. 6, s. 17-18. ISSN 0012-5520.

[K] KREJČÍ, L. Přeprava vysoce rizikových nebezpečných věcí dle mezinárodní Dohody ADR. *Doprava*, 2009, roč. 51, č. 5, s. 34-36. ISSN 0012-5520.

[L] KREJČÍ, L. Přeprava nebezpečných věcí silničními tunely dle mezinárodní Dohody ADR. *Doprava*, 2009, roč. 51, č. 4, s. 29-31. ISSN 0012-5520.

Autor a spoluautor certifikovaných metodik v oblasti přepravy nebezpečných věcí po silnici:

- Metodika kontroly přepravy nebezpečných věcí po silnici (2018)
- Metodika pro odesilatele nebezpečných věcí v cisternách (2015)
- Metodika pro odesilatele nebezpečných věcí v kusech (2013)

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha A</b> Databáze eMARS .....	127
<b>Příloha B</b> Databáze NTBS .....	128
<b>Příloha C</b> Popis Grantova diagramu algoritmu hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů .	129
<b>Příloha D</b> Popis Grantova diagramu hodnocení rizika v oblasti výběru trasy.....	130
<b>Příloha E</b> Použití metody Kontrolní seznam .....	131
<b>Příloha F</b> Použití metody Co se stane, když .....	134
<b>Příloha G</b> Použití metody FMECA.....	145
<b>Příloha H</b> Popis scénářů nehod definovaných v SW QRAM .....	148
<b>Příloha I</b> Konstrukční parametry Lochkovského tunelu.....	149
<b>Příloha J</b> Parametry dopravního proudu v Lochkovském tunelu .....	151
<b>Příloha K</b> Výsledky modelování dopadu látek v SW ALOHA.....	152
<b>Příloha L</b> Počet zasažených osob na alternativní objízdě trase tunelu Lochkov .....	157

# Příloha A Databáze eMARS



European Commission

Login

## JOINT RESEARCH CENTRE

### EMARS - Major Accident Reporting System

Major Accident Hazards Bureau | Legal notice | Contact | Search |

European Commission > JRC > Emars

**Search national authority accidents on:** (Select one or more items.)


**Accident start date** between  and  **Year**

**Legislation**  **Event type**  **Industry type**

**Full text search**

	Start Date	Industry Type	Legislation	Event Type
	08/07/1997	Production and manufacturing of pulp and paper	EU Seveso I Directive	Major Accid
	26/06/1998	Manufacture of food products and beverages	EU Seveso I Directive	Near Miss
	29/06/1998	Manufacture of food products and beverages	EU Seveso I Directive	Near Miss
	26/06/2001	Wholesale and retail storage and distribution (excluding LPG)	EU Seveso II Directive	Major Accid
	13/08/2003	General chemicals manufacture (not included above)	EU Seveso II Directive	Major Accid
	09/08/2004	Not known / not applicable	EU Seveso II Directive	Major Accid
	28/03/2006	Petrochemical / Oil Refineries	EU Seveso II Directive	Major Accid
	13/07/2006	Petrochemical / Oil Refineries	EU Seveso II Directive	Major Accid
	21/12/2006	General chemicals manufacture (not included above)	EU Seveso II Directive	Major Accid
	11/03/2008	Other activity (not included above)	EU Seveso II Directive	Major Accid
	11/01/1986	Wholesale and retail storage and distribution (excluding LPG)	EU Seveso I Directive	Major Accid
	28/03/1986	Wholesale and retail storage and distribution (excluding LPG)	EU Seveso I Directive	Major Accid
	11/03/1986	Processing of metals	EU Seveso I Directive	Major Accid

## Příloha B Databáze NTSB



NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD

 [Search Site](#)  
[Advanced Search](#)

[HOME](#) [NEWS & EVENTS](#) [SAFETY ADVOCACY](#) [INVESTIGATIONS](#) [DISASTER ASSISTANCE](#) [LEGAL](#) [ABOUT](#) [PUBLICATIONS](#)

Home > INVESTIGATIONS > Accident Reports > **Hazardous Materials Accident Reports**



### Hazardous Materials Accident Reports

The NTSB issues an accident report following the investigation. These reports are available online for reports issued since 1996, with older reports coming online soon. The reports listing is sortable by the event date, report date, city, and state. Click on any of those headings to sort the data.

Showing 1 to 10 of 33 entries

[First](#) [Previous](#) [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [Next](#) [Last](#)

Report Number	NTSB Title	Accident Date	Report Date	City	State	Country	NTIS Number	Report
HZ-Prelim	Preliminary Report: Hazardous Materials: DCA16SH002	8/27/2016	10/17/2016	New Martinsville	WV	USA		<a href="#">PDF</a>
HZM-12-01-SUM	Cargo Hose Rupture and Release of Anhydrous Ammonia During Offloading of a Werner Transportation Services Cargo Tank Motor Vehicle at the Tanner Industries Plant	7/15/2009	4/12/2012	Swansea	SC		PB2012-917002	<a href="#">PDF</a>
HZB-09-01	Collision of Cargo Tank Truck and Automobile and Subsequent Fire	7/1/2009	11/12/2009	Upper Pittsgrove Township	NJ			<a href="#">PDF</a>
HZB-05-01	Cargo Fire Involving Lithium-Ion Batteries	8/7/2004	9/26/2005	Memphis	TN			<a href="#">PDF</a>
HZM-04-02	Rupture of a Railroad Tank Car Containing Hazardous Waste	9/13/2002	12/1/2004	Freeport	TX		PB2004-917003	<a href="#">PDF</a>
HZB-04-01	Release of Hazardous Materials From Cargo Tank	8/22/2003	7/22/2004	Middleton	OH			<a href="#">PDF</a>
HZM-04-01	Nurse Tank Failure with Release of Hazardous Materials	4/15/2003	6/22/2004	Calamus	IA		PB2004-917001	<a href="#">PDF</a>
HZB-03-01	Dana Transport, Inc., MC-307 Cargo Tank	1/5/2002	8/21/2003	South Charleston	WV			<a href="#">PDF</a>



## Příloha C Popis Grantova diagramu algoritmu hodnocení rizika v oblasti lidských zdrojů

	Název úkolu	Doba trvání	Zahájení	Dokončení	Předchůdci
1	Začátek	0 dny	18.1. 18	18.1. 18	
2	Kontrolní seznam	7 dny	18.1. 18	26.1. 18	1
3	Určení základních parametrů	1 den	18.1. 18	18.1. 18	
4	Určení základního a problémového okruhu	1 den	19.1. 18	19.1. 18	3
5	Uspořádání problémových okruhů	1 den?	22.1. 18	22.1. 18	4
6	Stanovení omezujících podmínek	1 den?	23.1. 18	23.1. 18	5
7	Aplikace metody	3 dny	24.1. 18	26.1. 18	6
8	Co se stane, když	6 dny	29.1. 18	5.2. 18	2
9	Sestavení multidisciplinárního týmu	1 den?	29.1. 18	29.1. 18	
10	Definice systému	1 den?	30.1. 18	30.1. 18	9
11	Definice klíčových prvků	1 den?	31.1. 18	31.1. 18	10
12	Aplikace metody	3 dny	1.2. 18	5.2. 18	11
13	Tvorba databáze opatření	1 den?	5.2. 18	5.2. 18	
14	Opatření ke snížení rizika	2 dny	2.3. 18	5.3. 18	20;27;36
15	FMECA	11 dny	31.1. 18	7.3. 18	
16	Definice klíčových prvků	1 den	31.1. 18	31.1. 18	9;10
17	Sestavení hodnotící škály	3 dny	1.2. 18	5.2. 18	16
18	Aplikace metody	3 dny	6.2. 18	8.2. 18	
19	Tvorba databáze opatření	1 den?	9.2. 18	9.2. 18	13;18
20	Vyhodnocení přijatelnosti rizika	1 den?	9.2. 18	9.2. 18	18
21	Identifikace kritických míst	1 den?	12.2. 18	12.2. 18	20
22	HRA	15.5 dny	1.2. 18	7.3. 18	
23	Definice systému, cílového stavu a poruchy	1 den?	1.2. 18	1.2. 18	
24	Identifikace veškerých lidských operací ovlivňující funkčnost systému	4 dny	2.2. 18	7.2. 18	23
25	Stanovení chybovosti pro každou lidskou operaci nebo skupinu operací v systému	3 dny	8.2. 18	12.2. 18	24
26	Určení vlivu lidských chyb na systém	3 dny	13.2. 18	15.2. 18	25
27	Vyhodnocení přijatelnosti rizika	1 den?	16.2. 18	16.2. 18	26
28	Tvorba databáze kritických míst	1 den?	19.2. 18	19.2. 18	27;21
29	FTA	11 dny	20.2. 18	7.3. 18	27
30	Definice vrcholové nežádoucí události	1 den?	20.2. 18	20.2. 18	
31	Členění vrcholové události v úrovni 1	1 den?	21.2. 18	21.2. 18	30;6
32	Členění události v úrovni 2	1 den?	22.2. 18	22.2. 18	31;24
33	Členění události v úrovni 3	1 den?	23.2. 18	23.2. 18	32;11
34	Členění události v úrovni 3	1 den?	26.2. 18	26.2. 18	33
35	Určení pravděpodobnosti vzniku události	2 dny	27.2. 18	28.2. 18	34
36	Vyhodnocení přijatelnosti rizika	1 den?	1.3. 18	1.3. 18	35
37	Tvorba databáze kritických míst	1 den?	2.3. 18	2.3. 18	36;28
38	Konec	0 dny	7.3. 18	7.3. 18	37;15;22;29

## Příloha D Popis Grantova diagramu hodnocení rizika v oblasti výběru trasy

	Název úkolu	Doba trvání	Zahájení	Dokončení	Předchůdci
1	Začátek	0 dny	18.1. 18	18.1. 18	
2	Stanovení hranic individuálního rizika	4 dny	18.1. 18	23.1. 18	1
3	Dolní hranice rizika v silničních tunelech	1 den?	18.1. 18	18.1. 18	
4	Dolní hranice rizika mimo tunely	1 den?	19.1. 18	19.1. 18	3
5	Horní hranice rizika v silničních tunelech	1 den?	22.1. 18	22.1. 18	4
6	Horní hranice rizika mimo tunely	1 den?	23.1. 18	23.1. 18	5
7	Stanovení hranic společenského rizika	4 dny	18.1. 18	23.1. 18	
8	Dolní hranice rizika v silničních tunelech	1 den?	18.1. 18	18.1. 18	
9	Dolní hranice rizika mimo tunely	1 den?	19.1. 18	19.1. 18	8
10	Horní hranice rizika v silničních tunelech	1 den?	22.1. 18	22.1. 18	9
11	Horní hranice rizika mimo tunely	1 den?	23.1. 18	23.1. 18	10
12	Určení zón ohrožení	9 dny	19.1. 18	31.1. 18	
13	Zástupné kategorie nebezpečných věcí	1 den?	19.1. 18	19.1. 18	
14	Stanovení referenčních látek	1 den?	22.1. 18	22.1. 18	13
15	Určení limitů pro hodnocení dopadů	1 den?	23.1. 18	23.1. 18	14
16	Stanovení rozsahu úniků	2 dny	24.1. 18	25.1. 18	15
17	Stanovení podmínek modelování	2 dny	26.1. 18	29.1. 18	16
18	Provedení modelování	2 dny	30.1. 18	31.1. 18	17
19	Určení indexů zranitelnosti	3 dny	24.1. 18	26.1. 18	
20	Index zranitelnosti obyvatelstva	2 dny	24.1. 18	25.1. 18	
21	Index zranitelnosti ostatních biotických složek	2 dny	25.1. 18	26.1. 18	
22	Opatření ke snížení rizika	2 dny	9.2. 18	12.2. 18	27
23	Hodnocení rizika na trase	8 dny	29.1. 18	13.2. 18	19;2;7
24	Určení pravděpodobnosti nehodových scénářů	2 dny	29.1. 18	30.1. 18	
25	Určení plošného indexu zranitelnosti	2 dny	1.2. 18	2.2. 18	24;12
26	Stanovení rizikovosti přepravní trasy	3 dny	5.2. 18	7.2. 18	25
27	Porovnání s hranicemi přijatelnosti rizika	1 den?	8.2. 18	8.2. 18	26
28	Konec	0 dny	13.2. 18	13.2. 18	27;23

## Příloha E Použití metody Kontrolní seznam

**Tabulka 20** Identifikace příčin nehod metodou Kontrolního seznamu

Pořadí	Popis nehody	Příčina nehody	Problémový okruh
1.	Havárie při přečerpávání produktu z cisternového vozidla – protržení pryžové hadice.	Vysokotlaká flexibilní hadice nebyla dimenzovaná pro přepravovanou látkou.	C3
2.	Kolize nákladního vozidla přepravujícího nebezpečné věci s osobním vozidlem.	Nedání přednosti v jízdě řidičem osobního vozidla.	E3
3.	Elektrický zkrat v nákladu lithiových baterií.	Použití neschválených obalových prostředků.	D1
4.	Poškození cisterny vozidla a únik produktu (amoniak).	Nesprávný výběr typu cisternového vozidla pro naplnění produktu.	D1
5.	Poškození cisterny vozidla a únik produktu (bezvodý amoniak).	Defekt pláště cisterny v důsledku nekvalitního sváru, nedostatečné radiografické kontroly sváru a nekvalitní inspekční kontroly cisterny.	D2
6.	Poškození cisterny vozidla a únik produktu.	Kombinace únavové poruchy způsobené neúplným svařováním na spojovacích pásech mezi cisternou a podvozkem a rozsáhlá koroze rámu.	D2
7.	Kolize nákladního vozidla přepravujícího nebezpečné věci (vodík) s osobním vozidlem.	Pochybení řidiče osobního vozidla. Závažnost nehody byla podpořena nedostatečnou ochranou ventilů a armatur tlakových lahví a dále nesprávným upevněním nákladu.	E3
8.	Vyprázdnění nebezpečných látek do jiné stacionární nádrže – záměna produktu a použití nesprávné stacionární nádrže.	Nedostatečné pracovní postupy pro vykládku a provádění kontroly. Nehodě přispělo nedostatečné školení pracovníků v této oblasti.	A1
9.	Záměna hadic při vyprazdňování produktu z cisterny.	Nedostatečné postupy pro vykládku a související kontrolu. Nehodě přispělo podobné označení přilehlých potrubních přípojek.	A1
10.	Požár výparů směsi benzínu a motorové nafty v prostoru armatur cisternového vozidla.	Nevhodné pracovní postupy (manipulace s hořlavými kapalinami).	A3
11.	Přeplnění stacionárního zásobníku při vyprazdňování	Nezpracované bezpečnostní postupy pro přijímání	A3

Pořadí	Popis nehody	Příčina nehody	Problémový okruh
	produktu (benzín) z cisterny.	nebezpečných věcí. Nedostatečné školení pracovníků v problematice vyprazdňování cisteren.	
12.	Převrácení cisterny v důsledku provozu vozidla při nepřiměřené rychlosti.	Nevhodné pracovní postupy a školení řidičů. Selhání jednoho ze snímačů hladiny kapaliny.	A2
13.	Porucha příslušenství (ventilu) cisterny.	Nedostatečná kontrola – koroze ventilu způsobená přepravovanou látkou (amoniak). Nebyly použity nouzové únikové masky, i když byly ve výbavě.	C3
14.	Porucha příslušenství (přetlakového ventilu) cisterny.	Nedostatečná kontrola – nefunkční přetlakový ventil. Nárůst tlaku vedoucí k propuštění části produktu, který se zvýšenou teplotou vznítil.	C3
15.	Exploze při manipulaci s výbušninou (střelný prach).	Mechanické tření při manipulaci s výbušninou. Porušení pracovních postupů při manipulaci s výbušninami.	A1
16.	Úmyslné založení požáru.	Poškození majetku v souvislosti s krádeží látky.	E4
17.	Ruptura cisterny s nebezpečným odpadem.	Nárůst tlaku v cisterně obsahující oxidy dusíku z důvodu zanesení filtru.	C3
18.	Uzavření chybného ventilu při údržbě systému. Únik látky (koksárenského plynu) a následná exploze.	Nedostatečná kontrola pracovních postupů při údržbě systému.	A4
19.	Záměna potrubí při přečerpávání látky z IBC kontejnerů do stacionárních zásobníků.	Reakce kyseliny chlorovodíkové s chlornanem sodným a následné uvolnění chlóru do okolí odvzdušňovacím ventilem.	A1
20.	Záměna pyrotechniky a následná neadekvátní manipulace.	Chybná klasifikace a značení zábavní pyrotechniky – pyrotechnika byla rizikovější a skladována v nepovoleném množství.	D3
21.	Vstup osoby do cisterny při údržbě cisterny s dusičnanem amonným. Ztráta vědomí a udušení v důsledku nedostatku kyslíku v cisterně.	Porušení pracovních postupů, nedostatečné školení, management a kontrola.	A3
22.	Porušení těsnění a únik látky (dimethylamin) z cisterny.	Pochybení při opravě příslušenství cisterny.	A4

Pořadí	Popis nehody	Příčina nehody	Problémový okruh
		Použití jiného těsnění, než podle specifikace výrobce pro předpokládaný provoz.	
23.	Přeplnění cisterny při plnění produktem (naftoa). Únik látky do retenční nádrže a následně do okolí.	Nevhodné pracovní postupy a školení řidičů.	A1
24.	Chemická reakce nebezpečného odpadu v IBC kontejneru.	Nevhodné balení. Riziko bylo významně zvýšeno skladováním s dalšími IBC kontejnery v blízkosti skladu výbušnin.	D1
25.	Chemická reakce nebezpečné látky (kyselina dusičná) v IBC kontejneru.	Nevhodné balení. Zvyšování tlaku v IBC kontejneru a následný výbuch s šířením výparů oxidů dusíku do okolí.	D1
26.	Havárie při vyprazdňování produktu (fenol) z cisternového kontejneru.	Při vyprazdňování kontejneru tlakovým vzduchem došlo k protržení vysokotlaké hadice a následnému úniku látky do okolí.	C3
27.	Poškození sudu s nebezpečnou látkou (piperidin).	Nesprávná manipulace s vidlicemi vysokozdvížného vozíku. Nehodu zapříčinil pracovník, který byl první den v práci.	A1

Zdroj: autor na základě (66) a (67)

## Příloha F Použití metody Co se stane, když

**Tabulka 21** Metoda Co se stane, když: manipulace při nakládce či vykládce cisteren a kusů (A1)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Nevyčištění komor cisteren a následné naplnění nebezpečnou látkou reagující se zbytky předchozí látky (např. kyseliny a hydroxidy).	Vznik chemické reakce. Poškození cisterny.	Tvorba písemných postupů plnění a vyprazdňování cisteren s důrazem na chemickou snášenlivost látek.
Přeplnění mobilní cisterny.	Bezprostřední únik nebezpečné látky do okolí.	Instalace automatického vypínacího systému, který zablokuje dávkovací čerpadlo při přeplnění cisterny.
Přeplnění stacionární nádrže při vyprazdňování mobilní cisterny.	Bezprostřední únik nebezpečné látky do okolí.	Detekce volné kapacity stacionárních nádrží více nezávislými systémy.
Překročení předepsaného stupně plnění cisteren.	Únik nebezpečné látky do okolí při zvýšení teploty produktu vlivem tepelné roztažnosti.	Revize a doplnění písemných postupů při plnění a vyprazdňování cisteren.
Nedodržení stupně plnění (nad 80 %, nebo do 20 % vnitřního objemu) u velkých cisternových komor nad 7 500 litrů.	Vznik nebezpečných odstředivých sil při jízdě. Převrácení cisterny v důsledku negativního ovlivnění jízdních vlastností.	Implementace kontroly do postupů pro plnění cisteren. Nastavení systému kontroly.
Záměna plnicích hadic cisterny.	Naplnění jiného produktu do cisterny. Poškození vnitřních stěn a armatur cisterny.	Barevné označení hadic podle účelu použití. Automatická detekce látky – výbava ventily, které se uzavírají v závislosti na vlastnostech látky (pH, viskozita apod.).
Neuzemnění cisteren s hořlavými kapalinami nebo plyny při vyprazdňování.	Vznik vysokonapětového výboje při vypouštění látky vlivem statické elektřiny, Požár hořlavé látky.	Úprava písemných postupů plnění a vyprazdňování cisteren a zvýraznění rizika vzniku statické elektřiny při pohybu kapaliny.
Nezajištění přístupu vzduchu do cisterny nad hladinu kapaliny u cisteren plněných/vyprazdňovaných spodem (např. pomocí rekuperace, podtlakového ventilu).	Poškození pláště cisterny Únik nebezpečné látky do okolí.	Úprava písemných postupů plnění a vyprazdňování cisteren pro plnění / vyprazdňování jednotlivých typů cisteren.
Vznik kavitace při plnění nebo vyprazdňování cisteren hluboce zchlazenými zkapalněnými plyny.	Provoz čerpadla naplněného plynou fází. Požár plněného nebo vyprazdňovaného plynu.	Písemné pokyny pro plnění – čerpání pouze kapalně fáze plynu.

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
		Akustická kontrola správné funkce čerpadla. Implementace bezpečnostních postupů v případě krizové situace.
Překročení nejvyššího povoleného plnicího tlaku cisterny.	Riziko poškození přetlakového ventilu. Únik nebezpečné látky do okolí.	Revize přetlakových ventilů. Kontrola manometrů.
Otevření plnicího víka dómu natlakované cisterny.	Vážný úraz obsluhující osoby.	Úprava písemných pokynů pro manipulaci s cisternami.
Nesprávné uzavření víka dómu cisterny.	Únik nebezpečné látky do okolí.	Úprava písemných pokynů pro manipulaci s cisternami.
Neuzavření plnicích či vyprazdňovacích otvorů ventily, slepými koncovkami.	Únik nebezpečné látky do okolí.	Úprava písemných pokynů pro manipulaci s cisternami.
Nevyprázdnění zbytků látky z flexibilních hadic, případně neuzavření slepými přírubami.	Únik zbytků nebezpečné látky do okolí.	Úprava písemných pokynů pro manipulaci s cisternami v oblasti postupů po ukončení plnění / vyprazdňování cisterny.
Neuzamčení ochranných krytů uzávěru cisterny při přepravě látek, kde je to předepsáno (toxické, infekční, žíravé látky).	Odcizení velmi nebezpečné látky s rizikem následného zneužití.	Nastavení systému kontroly zabezpečení cisteren podle požadavků právních předpisů.
Neodčerpání nebezpečné látky z retenční nádrže armatur cisterny.	Únik nebezpečné látky do okolí.	Nastavení systému pravidelné údržby cisteren. Zabezpečení zadržené látky před únikem do okolí.
Použití cisterny na přepravu potravin či krmiv po předchozí přepravě některých rizikových látek (toxických, infekčních).	Kontaminace potravin. Poškození zdraví osob, zvířat.	Speciální barevné označení uzávěrů cisteren, které již nemohou být použity pro přepravu potravin či krmiv.
Provoz nezávislého vytápěcího systému při plnění / vyprazdňování hořlavých kapalin z cisterny.	Zvýšení intenzity tepelného záření. Vznícení hořlavé kapaliny.	Technologická opatření pro vypnutí vytápěcího systému před zahájením plnění / vyprazdňování cisterny.
Nenaplnění cisterny inertním plynem, případě vodou u látek, pro které je to předepsáno.	Vznik exotermní reakce. Vznícení nebezpečné látky a vozidla.	Písemné pracovní postupy pro plnění všech povolených specifických látek do cisterny. Kontrolní mechanismus dodržování postupů.
Nesprávné pořadí vyprazdňování komor vícekomorové cisterny.	Nevhodné těžiště cisterny. Zhoršené podmínky řízení vozidla při odlehčení řídicí nápravy	Písemné pracovní postupy. Výraznější barevné značení všech ventilů a spojů.

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Nerespektování zákazu manipulace s otevřeným ohněm a používání (elektronických) cigaret.	Zvýšené riziko požáru a jeho iniciace při úniku hořlavé kapaliny či plynu.	Monitoring prostoru nakládky / vykládky bezpečnostními kamerami.
Nezajištění vozidla proti pohybu parkovací brzdou / zakládacími klíny.	Samovolný pohyb vozidla, Zranění obsluhujícího personálu.	Písemné postupy pro kontrolu zajištění vozidla.
Poškození obalu kusu neodbornou manipulací vysokozdvížným vozíkem.	Únik nebezpečné látky do okolí.	Zajištění bezpečnostní dokumentace a pokynů pro případ nehody na pracovišti. Zkvalitnění systému vstupního a pravidelného školení pracovníků.
Nesprávné upevnění kusů na paletu / vozidlo (zákaz stohování, nerespektování symbolu neklopit apod.).	Poškození obalů v důsledku vysokého zatížení. Únik kapalin do ložného prostoru vozidla.	Písemné a grafické postupy pro správné upevnování kusů podle platné normy ČSN EN 12195-1.
Nerespektování zákazu společné nakládky některých nebezpečných věcí do společného vozidla.	Řetězová reakce nebezpečných věcí na základě vnější iniciace (např. dopravní nehody).	Písemné postupy pro nakládku – oddělená nakládka výbušnin.
Nesplnění podmínek při společné přepravě některých nebezpečných věcí (toxické, infekční, rakovinotvorné látky) s potravinami a krmivy.	Kontaminace poživatin. Poškození zdraví osob, nebo zvířat.	Písemné postupy pro provádění nakládky. Kontrolní mechanismy zamezující přípravu rizikových kombinací kusů pro nakládku do vozidla.
Překročení maximální povolené hmotnosti některých nebezpečných věcí (výbušniny) na vozidlo.	Silná exploze nebezpečných věcí na základě vnější iniciace (např. dopravní nehody).	Kontrolní mechanismy zajišťující přípravu pouze povoleného množství nebezpečných věcí do vozidla.
Neprovedení desinfekce a dekontaminace při úniku toxických či infekčních látek z kusů.	Kontaminace okolí. Ohrožení osob v okolí úniku.	Úprava písemných postupů pro vykládku nebezpečných věcí. Výbava vozidla dalšími ochrannými pomůckami.

Zdroj: autor



**Tabulka 22** Metoda Co se stane, když: řízení vozidla (A2)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Špatný aktuální fyzický či psychický stav řidiče.	Dopravní nehoda v důsledku únavy řidiče. Dopady v závislosti na závažnosti nehody a přepravované látce.	Kontrola dodržování maximální doby řízení a předepsaných bezpečnostních přestávek podle nařízení (ES) č. 561/2006.
Nepřiměřená rychlost vozidla.	Dopravní nehoda v důsledku kratší reakční doby na krizovou událost (nárůst brzdné dráhy).	Školení řidičů v oblasti bezpečné a defenzivní jízdy.
Nesprávné předjíždění.	Dopravní nehoda např. na dálnici.	Školení řidičů v oblasti bezp. a defenzivní jízdy.
Nedání přednosti v jízdě.	Dopravní nehoda např. na křižovatce.	Školení řidičů v oblasti bezp. a defenzivní jízdy.
Nesprávný způsob jízdy.	Dopravní nehoda např. na kruhovém objezdu. Dopady v závislosti na závažnosti nehody a přepravované látce.	Úprava technologie konstrukce cisteren, aby byly ventily a armatury chráněny proti působení sil při nehodách, včetně převrácení.
Nerespektování zákazu přepravy nebezpečných věcí v označených úsecích, včetně některých silničních tunelů.	Dopravní nehoda v obtížně přístupném úseku pro složky IZS. Zvýšené riziko hromadné nehody a závažných dopadů.	Automatická detekce vozidel přepravujících nebezpečné věci ve vybraných úsecích. Automatická notifikace dispečinku tunelu a kontrolním orgánům.
Nerespektování zákazu přepravy látek ohrožujících životní prostředí v označených úsecích.	Dopravní nehoda v oblasti vodních zdrojů. Kontaminace pitné vody, narušení zásobování.	Monitoring vozidel přepravujících nebezpečné věci ve vybraných úsecích.
Nerespektování zákazu otevření cisterny / kusu během přepravy – zejména pro látky náchylné k samozápalu.	Ohrožení řidiče a okolí. Samovolné vznícení nebezpečného nákladu. Požár vozidla.	Školení řidičů v oblasti bezpečné manipulace s nebezpečnými věcmi.
Nedodržení podmínek přepravy nebezpečných věcí při řízené teplotě.	Nárůst teploty v přepravním prostoru. Iniciace exotermického rozkladu přepravované látky. Riziko exploze nákladu.	Školení řidičů v oblasti přepravy látek při řízené teplotě. Nácvik postupů při dosažení kritické teploty v nákladovém prostoru.
Neprovádění dozoru nad vozidly při přepravě některých nebezpečných látek.	Odcizení vozidla či nákladu velmi nebezpečné věci s rizikem následného zneužití.	Monitoring polohy vozidel pomocí lokalizačních systémů (GPS).
Nedodržení předepsané vzdálenosti (50 metrů) mezi vozidly přepravující výbušniny.	Zvýšení rizika řetězové reakce v případě hromadné dopravní nehody.	Monitoring polohy vozidel pomocí lokalizačních systémů (GPS).
Přeprava jiných osob, než členů osádky vozidla.	Riziko odcizení vozidla. Nesprávný postup při nehodě.	Školení řidičů, interní kontrola dodržování pracovních postupů.

Zdroj: autor

**Tabulka 23** Metoda Co se stane, když: management (A3)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Špatná organizace řidičů / dispečink vozidel.	Přistavení nevhodného vozidla k přepravě nebezpečné věci. Zvýšené riziko nehody v důsledku stresu.	Audit a následná úprava interních postupů organizace řidičů a vozidel.
Chybějící či nesprávné vybavení vozidla průvodní dokumentací (přepravní doklad, písemné pokyny pro případ nehody).	Nesprávný postup v případě nehody. Špatná identifikace přepravované věci. Ohrožení zasahujících osob a okolí.	Revize činnosti bezpečnostního poradce. Pravidelná kontrola průvodní dokumentace a okamžité provedení nápravných opatření.
Chybějící, neúplná či nesprávná povinná výbava vozidla osobními ochrannými pomůckami.	Nedostatečná ochrana členů osádky vozidla v případě nehody. Riziko požáru / udušení / otravy v závislosti na přepravované látce.	Revize činnosti bezpečnostního poradce. Pravidelná kontrola povinné výbavy a okamžité provedení nápravných opatření.
Chybějící, neúplná či nesprávná povinná výbava vozidla předepsanými hasicími přístroji.	Neadekvátní možnost uhašení počátečního požáru. Požár vozidla a ohrožení okolí.	Pravidelná kontrola hasicích přístrojů a okamžité provedení nápravných opatření.
Nezabezpečení vozidel proti krádeži při přepravě vysoce rizikových látek.	Odcizení vozidla s vysoce rizikovou nebezpečnou věcí s rizikem následného zneužití.	Instalace elektronických nebo mechanických zabezpečovacích systémů proti krádeži do vozidel.
Nezajištění požadavků na monitoring vozidel přepravujících výbušniny.	Odcizení vozidla přepravujícího nebezpečné výbušniny s rizikem následného zneužití.	Pravidelná kontrola systému monitoringu při přepravě výbušnin a okamžité provedení nápravných opatření.
Nezajištění osoby vykonávající činnost bezpečnostního poradce pro přepravu nebezpečných věcí.	Neprovedení kontroly správnosti postupů při přepravě nebezpečných věcí. Kombinace rizik v závislosti na druhu přepravovaných věcí.	Komplexní systému monitoringu všech legislativních povinností. Zvýšená intenzita provádění externích kontrol ze strany kontrolních orgánů.
Nezpracování písemných pokynů pro nakládku / vykládku / plnění / vyprazdňování.	Nesprávné pracovní postupy vedoucí ke kombinaci rizik v závislosti na druhu nebezpečných věcí.	Okamžité zpracování písemných pracovních postupů a nastavení systému jejich aktualizace.
Nezajištění vhodného školení pro subjekty podílející se na přepravě.	Nesprávné pracovní postupy, Rizikové chování při manipulaci s nebezpečnými věcmi.	Okamžité zajištění vhodného školení pro všechny relevantní osoby podílející se na přepravě nebezpečných věcí.

Zdroj: autor

**Tabulka 24** Metoda Co se stane, když: kontrola (A4)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Neprovedení technické kontroly vozidel.	Dopravní nehoda v důsledku technické poruchy.	Písemná evidence technických kontrol vozidel a jejich příslušenství.
Neprovedení periodické inspekce cisternových vozidel.	Vznik netěsnosti v uzavíracích ventilech cisterny. Únik láky do okolí.	Kontrolní mechanismy provádění inspekcí. Implementace systému notifikace provedení kontroly zodpovědným pracovníkům.
Nevyřazení obalu kusů po konci doby životnosti.	Poškození obalů v důsledku koroze, degradace apod. Únik láky do okolí.	Implementace systému evidence legislativní životnosti některých obalů. Pravidelná kontrola technické životnosti všech obalů.
Nezajištění revizní kontroly hasicích přístrojů.	Nefunkční hasicí přístroj. Nemožnost uhašení počátečního požáru. Rozšíření požáru vozidla a ohrožení okolí.	Implementace systému evidence provádění revizních kontrol hasicích přístrojů.
Nezpracování bezpečnostního plánu pro vysoce rizikové nebezpečné věci.	Nesprávná manipulace. Riziko odcizení vozidla s nebezpečnými věcmi zneužitelnými pro teroristické účely.	Implementace systému evidence přepravovaných nebezpečných věcí s detekcí povinnosti zpracovat bezpečnostní plán.
Nezpracování výroční zprávy bezpečnostního poradce.	Neexistující podklady k zhodnocení bezpečnosti manipulace s nebezpečnými věcmi. Nemožnost přijmutí adekvátních opatření.	Revize ustanovení bezpečnostního poradce a kontrola jeho činnosti. Okamžité provedení nápravných opatření.
Neprovedení kontrol dodržování předpisů pro přepravu nebezpečných věcí, bezpečnosti práce.	Neodhalení rizikových postupů. Nemožnost přijmutí adekvátních opatření.	Nastavení systému interní kontroly pracovních postupů osob podílejících se na přepravě nebezpečných věcí.

Zdroj: autor

**Tabulka 25** Metoda Co se stane, když: technická závada příslušenství vozidla (C3)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Porucha uzavíracího ventilu cisterny (patní ventil, klapkový ventil).	Netěsnost cisterny. Únik nebezpečné látky do okolí.	Nastavení systému interní technické kontroly příslušenství cisterny.
Poškození průtržného kotouče hermeticky uzavřené cisterny.	Netěsnost cisterny, Únik nebezpečné látky do okolí.	Příprava písemných pokynů pro pravidelnou údržbu a kontrolu cisterny.
Porucha překlápěcího ventilu cisterny.	Únik nebezpečné látky do okolí v důsledku nehody, při které dojde k převrácení cisterny.	Nastavení systému interní technické kontroly příslušenství cisterny.
Porucha pojistného tlakového ventilu.	Nárůst tlaku v cisterně. Poškození cisterny a únik nebezpečné látky do okolí.	Technologické opatření pro uvolnění tlaku z cisterny do volného prostoru.
Poškození pryžového těsnění uzávěru cisterny.	Netěsnost cisterny. Únik nebezpečné látky do okolí.	Zajištění systému pravidelné údržby a kontroly. Provedení tlakové zkoušky.
Ruptura vysokotlakých flexibilních hadic.	Únik nebezpečné látky do okolí.	Kontrola chemické snášenlivosti příslušenství (flexibilních hadic) cisternových vozidel s přepravovanými látkami.
Porucha čidla teploty při přepravě látek při řízené teplotě.	Nesprávné informace o přepravní teplotě. Nezaznamenaný nárůst teploty v přepravním prostoru. Iniciace exotermického rozkladu přepravované látky, Riziko exploze nákladu.	Systém duplicitních čidel teploty nastavit pro použití dvou různých technologií, výrobců, technologické životnosti. Akustická notifikace řidiči při poruše čidla teploty.

Zdroj: autor

**Tabulka 26** Metoda Co se stane, když: vhodnost balení (D1)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Použití necertifikovaného obalu pro balení kusu.	Nedostatečné pevnostní parametry obalu. Únik nebezpečné látky do okolí.	Kontrola procesu balení nebezpečných věcí a použití předepsaných obalů.
Použití nevhodného obalu (kusu) pro balení nebezpečné látky.	Poškození obalu naplněnou nebezpečnou látkou. Únik nebezpečné látky do okolí.	Úprava postupů pro výběr obalů se zaměřením na zohlednění koncentrace látky, obalové skupiny apod.
Použití nesprávného druhu cisterny (např. místo cisterny pro kapaliny použití cisterny pro plyny).	Poškození cisterny naplněnou nebezpečnou látkou. Únik nebezpečné látky do okolí.	Písemné postupy pro výběr cisterny pro jednotlivé látky. Nastavení kontrolních mechanismů procesu výběru cisterny.
Použití nesprávné cisterny z hlediska plnicích a vyprazdňovacích otvorů.	Nedostatečné zabezpečení cisterny proti úniku nebezpečné látky. Únik nebezpečné látky do okolí.	Písemné postupy pro výběr cisterny pro jednotlivé látky. Nastavení kontrolních mechanismů procesu výběru cisterny.
Použití nesprávné cisterny z hlediska pojistných ventilů či zařízení.	Nedostatečné zabezpečení cisterny proti úniku nebezpečné látky. Únik nebezpečné látky do okolí.	Písemné postupy pro výběr cisterny pro jednotlivé látky. Nastavení kontrolních mechanismů procesu výběru cisterny.
Nesprávné použití vozidla či kontejneru pro přepravu ve volně loženém stavu (např. místo uzavřeného kontejneru, vozidlo s plachtou apod.).	Nedostatečné zabezpečení přepravovaných nebezpečných věcí proti úniku, uvolnění do okolí. Kontaminace okolí nebezpečnou látkou.	Písemné postupy pro výběr vozidla / kontejneru pro jednotlivé látky. Nastavení kontrolních mechanismů procesu výběru vozidla / kontejneru.
Použití cisterny bez přejeníků (vlnolamů).	Zhoršení jízdních vlastností, Riziko nehody v důsledku větší odstředivé síly při průjezdu zatáčkou.	Písemné postupy pro identifikaci a výběr cisteren s přejeníky.

Zdroj: autor

**Tabulka 27** Metoda Co se stane, když: kvalita balení (D2)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Poškození balení vlivem koroze kovů, degradace plastů apod.	Zhoršení pevnosti a těsnosti obalů. Únik nebezpečné látky do okolí.	Tvorba pokynů pro kontrolu obvodových svarů v spojovací struktuře cisterny, kde je vnější vizuální kontrola vyloučena izolací, opláštěním, dvojitými pásy.
Vady v provedení svarů pláště cisterny (neprůvary, trhliny, bubliny).	Zhoršení pevnosti cisterny. Protržení cisterny. Únik nebezpečné látky do okolí.	Zajištění použití nedestruktivních metod kontroly svarů při výrobě a inspekčních prohlídkách.
Mechanické poškození zemnicího pásu či kabelu cisterny.	Vznik vysokonapětového výboje při vypouštění nebezpečné látky z cisterny vlivem statické elektřiny. Iniciace požáru produktu a cisterny.	Zlepšení systému údržby a kontroly technických zařízení.
Použití nepředepsaného maziva při údržbě šroubových uzávěrů, čerpadel, ventilů apod.	Při úniku plynu podporujícího hoření a styku s plastickým mazivem či olejem dojde k explozi.	Výbava opravárenských zařízení a vozidla předepsanými mazivy (glycerín) a kontrola provádění údržby.

Zdroj: autor

**Tabulka 28** Metoda Co se stane, když: značení balení (D3)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Chybné označení balení v kusech.	Nesprávný postup při manipulaci. Špatná identifikace látky. Ohrožení okolí.	Písemné postupy pro provádění značení kusů. Implementace postupů do školení relevantních osob. Systém kontroly správnosti a úplnosti označení.
Chybné označení cisterny.	Špatná identifikace přepravované látky. Nesprávný postup při manipulaci či nehodě. Ohrožení okolí.	Písemné postupy pro provádění značení cisteren. Systém kontroly správnosti a úplnosti označení.
Chybné značení vozidla či kontejneru při přepravě ve volně loženém stavu.	Špatná identifikace přepravované látky. Nesprávný postup při manipulaci či nehodě. Ohrožení okolí.	Písemné postupy pro provádění značení vozidel / kontejnerů. Systém kontroly správnosti a úplnosti označení.
Nekvalitní značení kusů či vozidel (zmenšené, neodolné vůči ohni, poškozené, vybledlé, odlepující se ...).	Ztížená identifikace přepravované látky. Nesprávný postup při manipulaci či nehodě. Ohrožení okolí.	Písemné postupy pro zajištění vizuální identity a technologické kvality značení.
Redundantní značení odpovídající předchozím nebezpečným věcem.	Riziko záměny při identifikaci přepravované látky.	Revize systému kontroly správnosti označení se zaměřením na nerelevantní značení.

Zdroj: autor

**Tabulka 29** Metoda Co se stane, když: pochybení jiného účastníka silničního provozu (E3)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Závažné porušení pravidel provozu na pozemních komunikacích např. nedání přednosti v jízdě vozidlu přepravující nebezpečné věci.	Vznik dopravní nehody, Riziko následného požáru, udušení, otravy, ohrožení životního prostředí, v závislosti na přepravované látce.	Technické úpravy armatur cisternových vozidel, aby nebyly tak zranitelné při bočním nárazu do vozidla (eliminace rizika požáru).

Zdroj: autor

**Tabulka 30** Metoda Co se stane, když: jiná nepředvídatelná událost (E4)

<b>Generování otázek: „když“.</b>	<b>Generování odpovědí: „co se stane“.</b>	<b>Generování opatření na zmírnění rizika.</b>
Nečekaný vstup zvíře do vozovky.	Střet se zvířem. Havárie vozidla.	Instalace pachových ohradníků na vybraných úsecích.
Defekt pneumatiky vozidla.	Poškození pneumatiky. Ztráta plné kontroly nad vozidlem. Ohrožení okolí.	Školení řidiče v oblasti jednání v krizových situacích.
Požár pneumatiky vozidla.	Zastavení vozidla. Rozšíření požáru na celé vozidlo.	Školení řidiče v oblasti jednání v krizových situacích.
Záměrné založení požáru.	Požár vozidla a nákladu v důsledku jiné činnosti.	Úprava bezpečnostní dokumentace v oblasti záměrného založení požáru.

Zdroj: autor



## Příloha G Použití metody FMECA

Tabulka 31 Hodnocení událostí metodou FMECA

Název a číslo prvku	Druh poruchy	Možné příčiny	Následky	Opatření	Pravděpodobnost	Odhaltelnost	Následky
Vhodnost balení (D1)	Necertifikovaný obal pro ADR.	Přítomnost necertifikovaných obalů v místě balení.	Únik látky.	Změna organizace balení.	4	4	8
Vhodnost balení (D1)	Nepovolený obal pro danou látku.	Nezpracované písemné postupy pro výběr obalů.	Únik látky.	Tvorba písemných postupů.	6	6	7
Kvalita balení (D2)	Poškození balení degradací plastů.	Neprováděná evidence životnosti balení.	Únik látky.	Nastavení systému evidence obalů.	7	5	7
Značení balení (D3)	Nesprávné značení (UN číslo).	Chyba v interní skladové evidenci.	Špatná identifikace látky.	Aktualizace skladové evidence.	3	8	6
Značení balení (D3)	Poškozené značení (bezpečnostní značka).	Neodborná manipulace ve skladě.	Obtížná identifikace látky.	Školení manipulace ve skladu.	4	3	4
Značení balení (D3)	Redundantní značení (látky ohrožující životní prostředí)	Pozůstatek značení předchozí látky.	Nesprávné vyhodnocení nebezpečí.	Odstranění veškerého „starého“ značení.	7	4	3
Nakládka kusů (A1)	Nedostatečné upevnění obalů na paletu.	Pochybení baliče.	Poškození obalu při manipulaci.	Školení upevnění kusů.	7	4	6
Nakládka kusů (A1)	Poškození obalu při manipulaci.	Neodborná manipulace s vysokozdvížným vozíkem.	Poškození obalu.	Školení manipulace s vysokozdvížným vozíkem.	4	5	6
Nakládka kusů (A1)	Nerespektování zákazu stohování obalu.	Nevýrazné značení omezující stohování obalu.	Poškození obalu.	Doplnění značení obalu.	5	5	5
Nakládka kusů (A1)	Překročení povoleného množství na vozidlo.	Nekontrolovaný parametr při nakládce.	Rozsáhlejší dopady při nehodě.	Zařazení parametru do kontrolního listu.	2	7	3
Nakládka kusů (A1)	Nedostatečné upevnění obalů na vozidlo.	Nedostatečná výbava vozidla upevňovacími prostředky.	Poškození obalu při nehodě. Únik látky.	Školení upevnění kusů.	8	7	7

Název a číslo prvku	Druh poruchy	Možné příčiny	Následky	Opatření	Pravděpodobnost	Odhaltelnost	Následky
Nakládka kusů (A1)	Nakládka společně s potravinami.	Nezpracované písemné postupy pro nakládku.	Kontaminace potravin.	Vytvoření písemných postupů pro nakládku.	4	6	8
Jízda řidiče (A2)	Únava řidiče.	Překročení doby jízdy.	Dopravní nehoda.	Úprava organizace práce řidiče.	5	6	9
Jízda řidiče (A2)	Dopravní nehoda.	Nesprávný způsob jízdy.	Požár či únik látky.	Školení defenzivní jízdy.	5	6	10
Jízda řidiče (A2)	Vozidlo v zakázaném tunelu.	Nerespektování dopravního značení.	Intenzifikace dopadů potenciální nehody.	Automatizace systému detekce a kontroly v tunelech.	3	4	6
Jízda řidiče (A2)	Vozidlo v zakázaném úseku.	Nerespektování informace o vlastnostech látky.	Poškození životního prostředí při potenciální nehodě.	Zintenzivnění silniční kontroly.	4	4	5
Jízda řidiče (A2)	Nerespektování zákazu otevření kusu.	Porušení předpisů bezpečnosti práce.	Ohrožení zdraví osoby.	Školení manipulace s nebezpečnými věcmi.	2	9	8
Jízda řidiče (A2)	Přeprava věcí při vyšší než řízené teplotě.	Nedbalost při kontrole přepravní teploty.	Riziko samovolné reakce.	Akustická notifikace řidiči při překročení teploty.	4	4	9
Jízda řidiče (A2)	Neprovádění dozoru nad vozidly při parkování.	Nedostupné hlídané parkoviště.	Riziko odcizení vozidla / nákladu.	Zkvalitnění plánování přepravních tras.	7	5	6
Jízda řidiče (A2)	Nedodržení vzdálenosti mezi vozidly.	Nedostupná informace o předchozím vozidle.	Intenzifikace dopadů potenciální nehody.	Notifikace překročení na základě lokalizace vozidel.	4	7	5
Jízda řidiče (A2)	Přeprava nečlenů osádky vozidla.	Nerespektování zákazu přepravy jiných osob.	Riziko odcizení vozidla.	Nastavení systému interní kontroly v této oblasti.	3	5	4
Management (A3)	Chybějící písemné pokyny pro případ nehody.	Nezajištění výkonu bezpečnostního poradce.	Ohrožení zdraví při potenciální nehodě.	Jmenování externího bezpečnostního poradce.	4	4	4

Název a číslo prvku	Druh poruchy	Možné příčiny	Následky	Opatření	Pravděpodobnost	Odhali- telnost	Násled- ky
Management (A3)	Chybějící část povinné výbavy.	Nedostatečná kontrola povinné výbavy.	Ohrožení zdraví při potenciální nehodě.	Nastavení systému interní kontroly v této oblasti.	5	5	6
Management (A3)	Nevybavení vozidla zabezpečením proti krádeži.	Nesprávné posouzení rizik.	Riziko odcizení vozidla.	Nastavení systému interní kontroly v této oblasti.	3	7	5
Management (A3)	Vybavení vozidla nesprávnými hasicími přístroji.	Nekvalitní činnost bezpečnostního poradce.	Ohrožení zdraví při potenciálním požáru.	Implementace systému interní kontroly hasicích přístrojů.	3	5	5
Kontrola (A4)	Neprovedení revizní kontroly hasicích přístrojů.	Nekvalitní činnost bezpečnostního poradce.	Nefunkčnost hasicího přístroje při potenciálním požáru.	Implementace systému interní kontroly hasicích přístrojů.	5	6	4
Kontrola (A4)	Nezpracování bezpečnostního plánu.	Neidentifikovaná povinnost sestavit bezpečnostní plán.	Riziko odcizení vozidla / nákladu.	Interní systém detekce povinnosti zpracovat bezpečnostní plán.	5	5	4
Technická závada příslušenství vozidla (C3).	Přeprava při rizikové teplotě.	Porucha čidla teploty.	Riziko samovolné reakce.	Akustická notifikace řidiči při poruše čidla teploty.	2	6	9
Vykládka kusů (A1)	Neprovedení dekontaminace při úniku některých látek.	Nezpracované písemné postupy pro vykládku.	Kontaminace okolí.	Zpracování písemných postupů pro vykládku.	4	6	8

Zdroj: autor

## Příloha H Popis scénářů nehod definovaných v SW QRAM

Tabulka 32 Popis scénářů nehod definovaných v SW QRAM

Scénář	Popis scénáře	Kapacita nádrže	Velikost porušení [mm]	Únik látky [kg.s <sup>-1</sup> ]
1.	Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (20 MW).	-	-	-
2.	Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW).	-	-	-
3.	Výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg).	50 kg	-	-
4.	Požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu.	28 tun	100	20,6
5.	Výbuch par motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu.	28 tun	100	20,6
6.	Únik chloru z cisternového návěsu.	20 tun	50	45
7.	Výbuch expandujících par vroucího LPG v cisternovém návěsu.	18 tun	-	-
8.	Výbuch par LPG v cisternovém návěsu.	18 tun	50	36
9.	Vznícení LPG v cisternovém návěsu.	18 tun	50	36
10.	Únik amoniaku z cisternového návěsu.	20 tun	50	36
11.	Únik akroleinu z cisternového návěsu.	25 tun	100	24,8
12.	Únik akroleinu z tlakových lahví.	100 litrů	4	0,02
13.	Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků.	20 tun	-	-

Zdroj: QRAM, autor scénáře nehod v SW QRAM

## Příloha I Konstrukční parametry Lochkovského tunelu

Tabulka 33 Konstrukční parametry Lochkovského tunelu

Konstrukční parametry	Severní tubus (stoupací) směr D5	Jižní tubus (klesající) směr D1
<b>Rozměry</b>		
Délka	1661 m	1620 m
Efektivní výška	12,75 m (10,75 m vozovka + 2 m chodník)	11 m (9 m vozovka + 2 m chodník)
Efektivní šířka	4,5 m (průjezdny profil)	4,5 m
Efektivní průřez	57 m <sup>2</sup> (poloměr tubusu – 8 m, zmenšení průřezu sečnou vozovky, vzduchotechnikou apod.).	50 m <sup>2</sup>
Podélný sklon vozovky	4 %	
Počet jízdních pruhů	3	2
Provoz v tunelu	jednosměrný (v době údržby a mimořádných stavů obousměrný)	
<b>Parametry ventilace</b>		
Objem vzduchu odvedený z tunelu při standardním provozu	256 m <sup>3</sup> /s (4,5 m/s)	225 m <sup>3</sup> /s (4,5 m/s)
Objem vzduchu cirkulující v tunelu při standardním provozu		
Počet režimů nouzové ventilace	n (režimy ventilace jsou kontinuálně proměnné - ovládání některých ventilátorů pomocí frekvenčního měniče).	
Čas potřebný k aktivaci nouzové ventilace	0 min (nouzová ventilace je aktivována okamžitě)	
Objem vzduchu odvedený z tunelu při jednotlivých režimech nouzové ventilace (požární větrání)	114 m <sup>3</sup> /s (2 m/s)	100 m <sup>3</sup> /s (2 m/s)
Objem vzduchu cirkulující v tunelu při jednotlivých režimech nouzové ventilace		
<b>Další technické parametry</b>		
Vzdálenost záchytných jímek/šířka záchytného žlabu odpadních vod	(neuvedeno) m	
Plocha záchytných jímek kontaminovaných vod/záchytného žlabu odpadních vod	(neuvedeno) m <sup>2</sup>	
Vzdálenost mezi nouzovými východy	200 m	
Možnosti varování	proměnné značení, televizní okruh, rozhlas	
Konstrukce tunelu	ražený/hloubený. Z celkové délky je raženo 1 302 m. Hloubené části u Lahovic jsou 12 m u Lochkova pak 347 m	ražený/hloubený. Z celkové délky je raženo 1 252 m. Hloubené části u Lahovic jsou 20 m u Lochkova pak 347 m
Podloží tunelu	členité	Členité
Tloušťka pláště tunelu	ražená část: 0,6 m, hloubená část: 0,7 m.	ražená část: 0,55 m, hloubená část: 0,7 m

<b>Konstrukční parametry</b>	<b>Severní tubus (stoupací) směr D5</b>	<b>Jižní tubus (klesající) směr D1</b>
<b>Výška podloží vozovky</b>	1,5 m (technická dokumentace)	
<b>Vzdálenost tunelových tubusů</b>	5 m (vzdálenost je proměnná – u portálů cca 3 m, uprostřed min. 9 metrů)	
<b>Výška nadloží</b>	ražená část: 20 m (3 až 58 m), hloubená část: 3 m (1 až 6 m)	
<b>Výška vodního sloupce nad tunelem</b>	0 m (pouze u tunelů pod vodní hladinou)	
<b>Protipožární nátěr</b>	není aplikován (pouze beton a standardní nátěr)	
<b>Teplotní a časový koeficient protipožárního nátěru</b>	nátěr není aplikován (není relevantní)	

Zdroj: autor, Eltodo, ŘSD, ČVUT

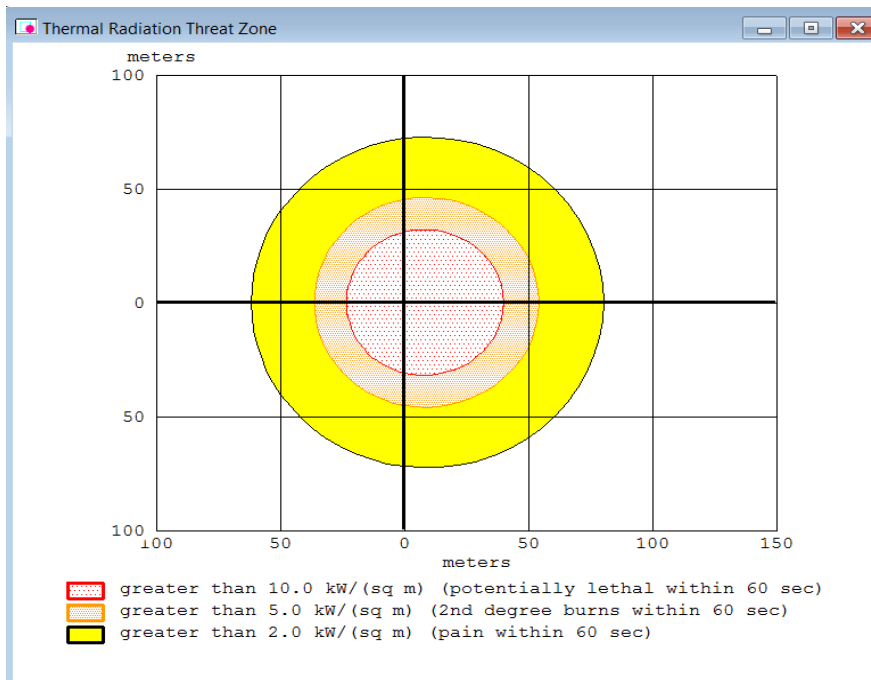
## Příloha J Parametry dopravního proudu v Lochkovském tunelu

Tabulka 34 Parametry dopravního proudu v Lochkovském tunelu

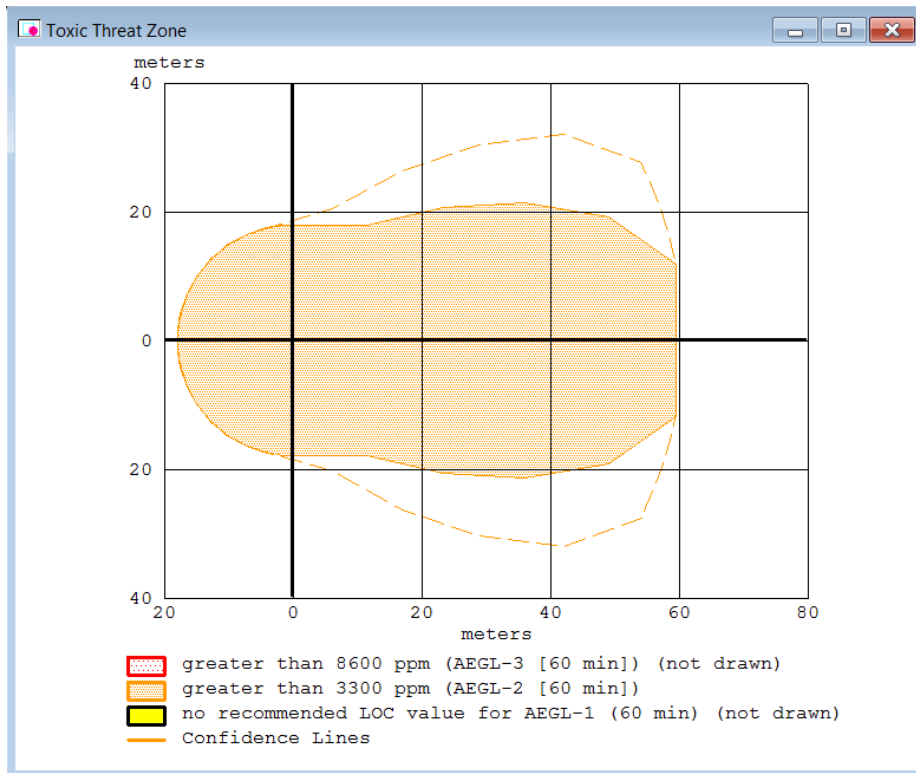
<b>Parametry dopravního proudu</b>	
<b>Celková intenzita provozu</b>	Pravá tunelová trouba – 19 070 voz./den (průměr ve všech pruzích za 24 hod.) Pravá tunelová trouba – 17 584 voz./den (průměr ve všech pruzích za 24 hod)
<b>Podíl nákladních vozidel na dopravním proudu</b>	29 %
<b>Podíl autobusů na dopravním proudu</b>	2 % (celostátní sčítání dopravy)
<b>Průměrná rychlost osobních vozidel</b>	80 km/h (nejvyšší povolená rychlost)
<b>Průměrná rychlost nákladních vozidel a autobusů</b>	75 km/h
<b>Průměrný počet osob v osobním vozidle</b>	1,6
<b>Průměrný počet osob v nákladním vozidle</b>	1,05
<b>Průměrný počet osob v autobusu</b>	26 (statistická ročenka dopravy – výkony autobusové dopravy)
<b>Průměrný počet vozidel přepravující nebezpečný náklad</b>	6 voz./hod.
<b>Nehodovost nákladních vozidel</b>	$0,6723 \cdot 10^{-6}$ nehod/vozokilometr (statistika nehod + počet vozokilometrů)
<b>Nehodovost nákladních vozidel přepravujících nebezpečné věci</b>	$0,6723 \cdot 10^{-6}$ nehod/vozokilometr – v souladu s nehodovostí nákladních vozidel bez rozlišení přepravy nebezpečných věcí.

Zdroj: autor, Eltodo, ŘSD

## Příloha K Výsledky modelování dopadu látek v SW ALOHA

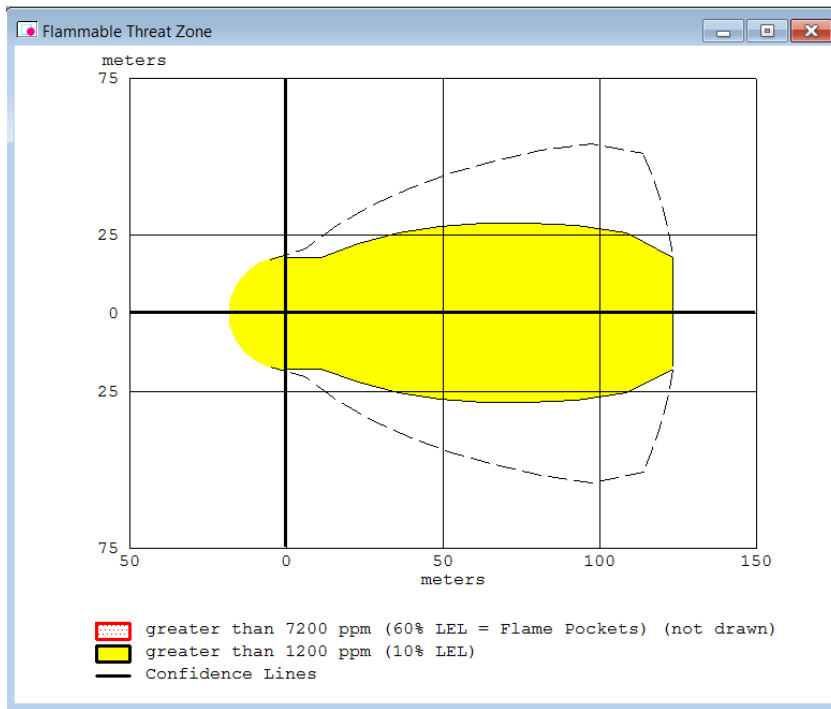


Obrázek 27 Hořlavá kapalina – termální riziko při požáru (autor podle hodnot v tabulce 16)

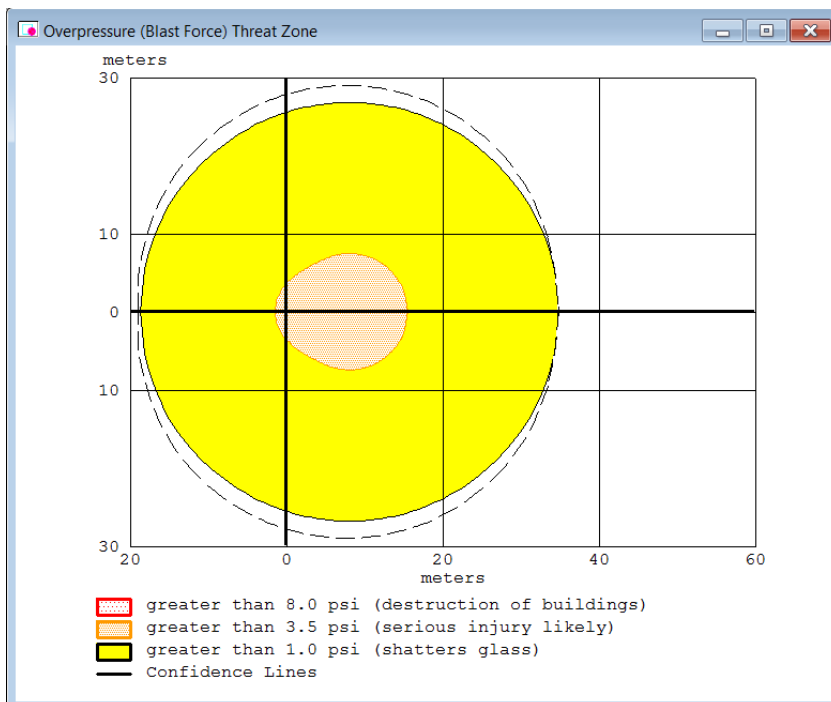


Obrázek 28 Hořlavá kapalina – toxické riziko při nevhájení látky (autor podle hodnot v tabulce 16)

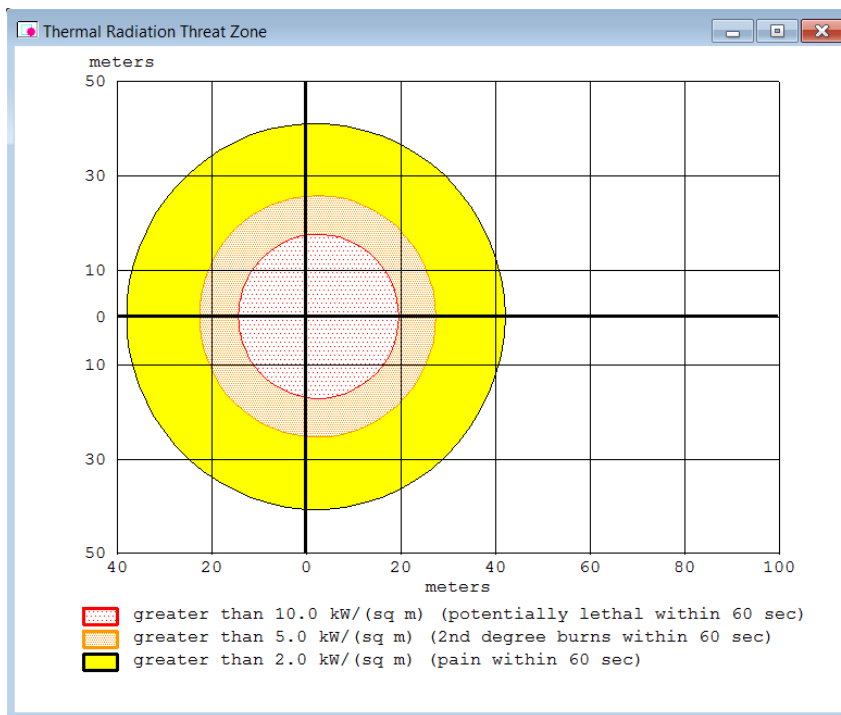




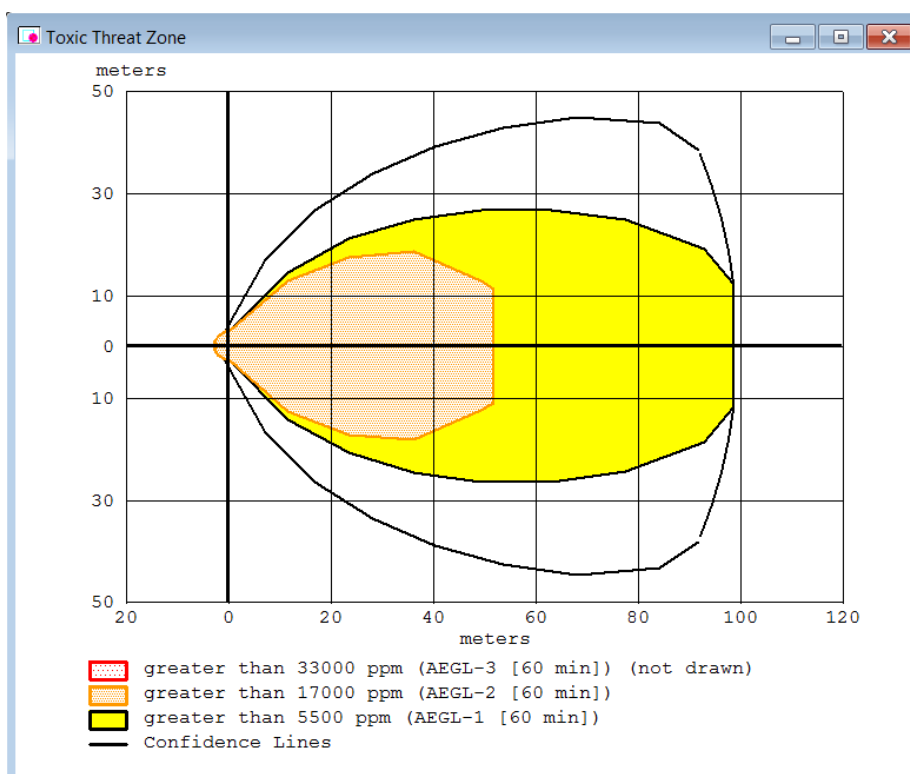
**Obrázek 29** Hořlavá kapalina – riziko hořlavých výparů při nevznícení látky (autor podle hodnot v tabulce 16)



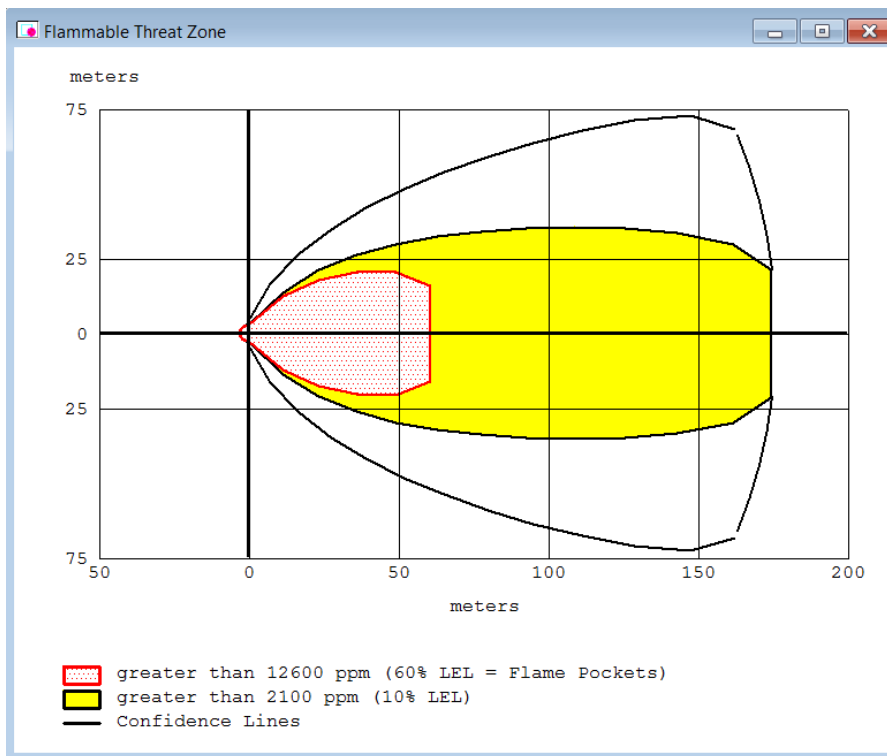
**Obrázek 30** Hořlavá kapalina – riziko tlakové vlny (autor podle hodnot v tabulce 16)



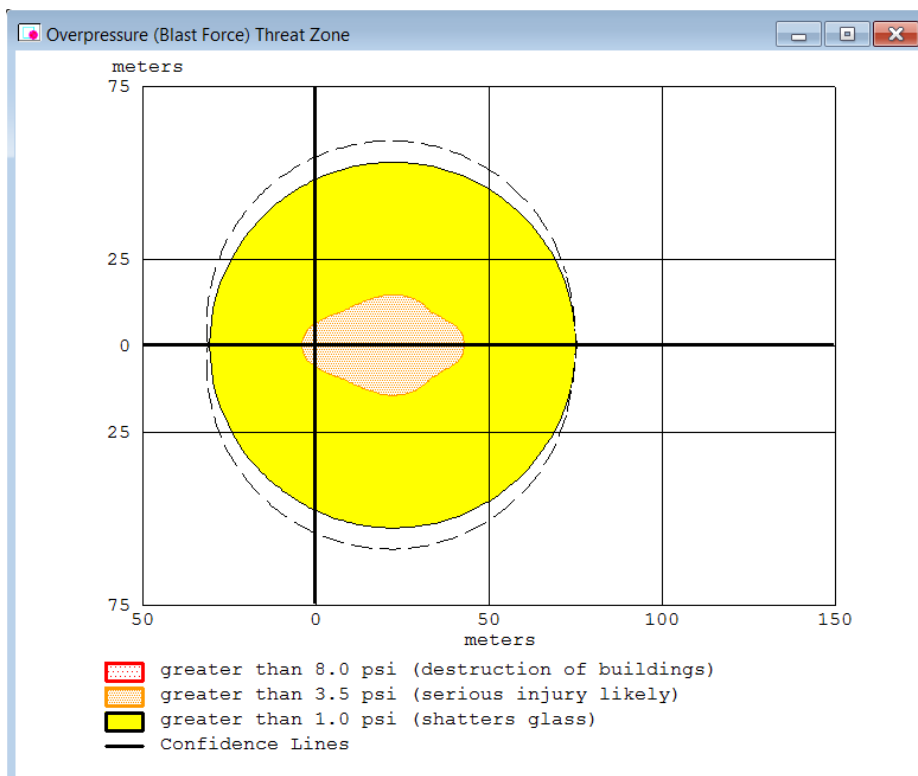
**Obrázek 31** Hořlavý zkvapalněný plyn – termální riziko při požáru (autor podle hodnot v tabulce 17)



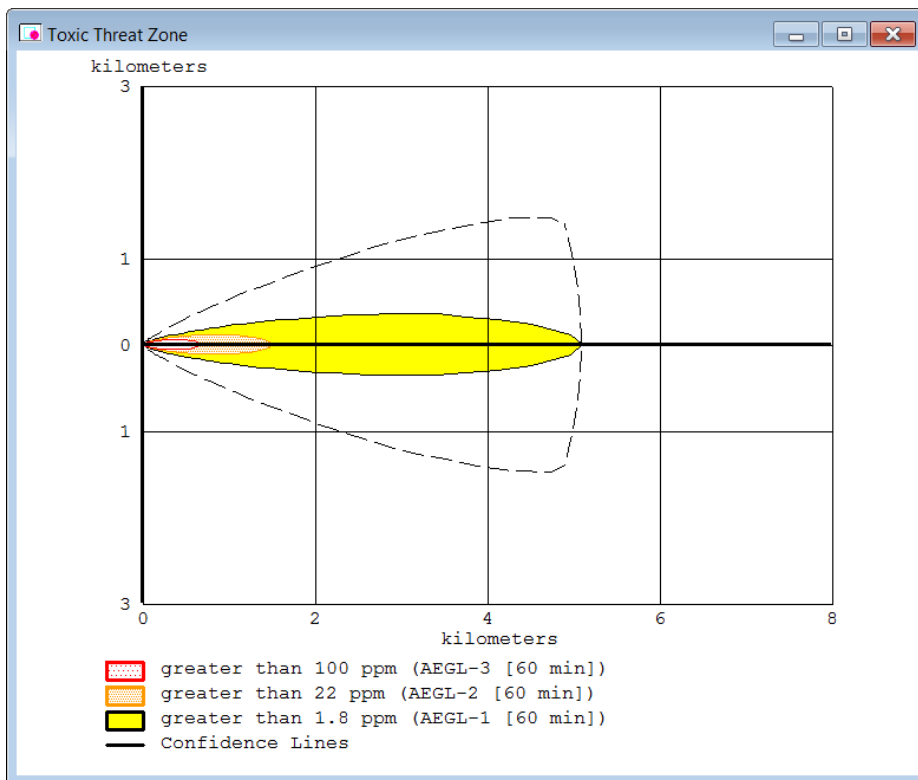
**Obrázek 32** Hořlavý zkvapalněný plyn – toxické riziko při nevznícení látky (autor podle hodnot v tabulce 17)



**Obrázek 33** Hořlavý zkapalněný plyn – riziko hořlavých výparů při nevnícení látky (autor podle hodnot v tabulce 17)



**Obrázek 34** Hořlavý zkapalněný plyn – riziko tlakové vlny (autor podle hodnot v tabulce 17)



**Obrázek 35** Toxický plyn (chlorovodík) – toxické riziko (autor podle hodnot v tabulce 18)  
 Zdroj: autor na základě modelování v SW ALOHA (70)

**Příloha L** Počet zasažených osob na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov

**Tabulka 35** Počet zasažených osob na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov – únik při přepravě hořlavé kapaliny

Hořlavá kapalina				Tepelné záření požáru par			Oblast toxického mraku			Oblast hořlavého mraku		
Poř.	Název ZSJ	Počet obyvatel [počet]	Celková rozloha ZSJ [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]
1.	Radotín-střed	5 457	1 505 873	148 295	9,85	537,39	106 067	7,04	384,37	127 418	8,46	461,74
2.	Radotín-Pod Velkým hájem	1 999	629 783	13 955	2,22	44,29	6 116	0,97	19,41	17 297	2,75	54,90
3.	Radotín-východ	201	661 369	37 678	5,70	11,45	26 449	4,00	8,04	32 024	4,84	9,73
4.	Lahovice	101	1 011 081	81 435	8,05	8,13	54 210	5,36	5,42	67 648	6,69	6,76
5.	Radotín	540	711 228	4 536	0,64	3,44	2 828	0,40	2,15	3 638	0,51	2,76
6.	Radotín-průmyslový obvod	22	430 334	49 361	11,47	2,52	32 975	7,66	1,69	41 155	9,56	2,10
7.	U cementárny	14	251 616	41 619	16,54	2,32	30 170	11,99	1,68	36 092	14,34	2,01
8.	Lahovičky	204	274 934	556	0,20	0,41	144	0,05	0,11	318	0,12	0,24
9.	Za humny	2	611 245	83 018	13,58	0,27	56 995	9,32	0,19	70 090	11,47	0,23
10.	Lahovičky-soutok	1	742 216	25 045	3,37	0,03	16 432	2,21	0,02	20 662	2,78	0,03
11.	Za chalupami-Na lipách	1	1 412 074	39 681	2,81	0,03	24 145	1,71	0,02	31 852	2,26	0,02
12.	Za fořtem	2	2 887 896	17 822	0,62	0,01	13 481	0,47	0,01	15 649	0,54	0,01
13.	Nad cementárnou	0	1 351 354	32 358	2,39	0,00	17 902	1,32	0,00	24 690	1,83	0,00
14.	U Lochkovského potoka	0	250 066	84 497	33,79	0,00	60 879	24,35	0,00	72 935	29,17	0,00
<b>Celkem obyvatel [počet]</b>						<b>610,32</b>			<b>423,09</b>			<b>540,53</b>

**Tabulka 36** Počet zasažených osob na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov – únik při přepravě hořlavého zkapalněného plynu

Hořlavý zkapalněný plyn				Tepelné záření požáru par			Oblast toxického mraku			Oblast hořlavého mraku		
Poř.	Název ZSJ	Počet obyv. [počet]	Celková rozloha ZSJ [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]
1.	Radotín-střed	5 457	1 505 873	83 012	5,51	300,82	134 337	8,92	486,81	228 721	15,19	828,84
2.	Radotín-Pod Velkým hájem	1 999	629 783	3 708	0,59	11,77	11 148	1,77	35,38	31 424	4,99	99,74
3.	Radotín-východ	201	661 369	20 768	3,14	6,31	33 899	5,13	10,30	60 315	9,12	18,33
4.	Lahovice	101	1 011 081	41 122	4,07	4,11	72 205	7,14	7,21	137 519	13,60	13,74
5.	Radotín	540	711 228	2 105	0,30	1,60	3 928	0,55	2,98	8 621	1,21	6,55
6.	Radotín-průmyslový obvod	22	430 334	24 943	5,80	1,28	43 889	10,20	2,24	80 974	18,82	4,14
7.	U cementárny	14	251 616	23 868	9,49	1,33	37 952	15,08	2,11	59 587	23,68	3,32
8.	Lahovičky	204	274 934	35	0,01	0,03	390	0,14	0,29	1 711	0,62	1,27
9.	Za humny	2	611 245	43 844	7,17	0,14	74 418	12,17	0,24	128 483	21,02	0,42
10.	Lahovičky-soutok	1	742 216	12 352	1,66	0,02	22 106	2,98	0,03	45 649	6,15	0,06
11.	Za chalupami-Na lipách	1	1 412 074	17 175	1,22	0,01	34 453	2,44	0,02	69 738	4,94	0,05
12.	Za fořtem	2	2 887 896	10 805	0,37	0,01	16 367	0,57	0,01	26 766	0,93	0,02
13.	Lochkov	622	688 857		0,00	0,00		0,00	0,00	1	0,00	0,00
14.	Nad cementárnou	0	1 351 354	12 395	0,92	0,00	27 191	2,01	0,00	64 432	4,77	0,00
15.	U Lochkovského potoka	0	250 066	48 271	19,30	0,00	76 840	30,73	0,00	126 910	50,75	0,00
<b>Celkem obyvatel [počet]</b>						<b>327,42</b>			<b>547,65</b>			<b>976,47</b>

**Tabulka 37** Počet zasažených osob na alternativní objízdné trase tunelu Lochkov – únik při přepravě toxického plynu

Poř.	Název ZSJ	Počet obyvatel [počet]	Celková rozloha ZSJ [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]
1.	Radotín-střed	5 457	1 505 873	1 505 873	100,00	5457,00
2.	Radotín-Pod Velkým hájem	1 999	629 783	622 031	98,77	1974,39
3.	Komořany-sever	1 883	372 673	224 035	60,12	1131,98
4.	Lochkov	622	688 857	650 233	94,39	587,12
5.	Radotín	540	711 228	489 771	68,86	371,86
6.	Lahovičky	204	274 934	265 133	96,44	196,73
7.	Radotín-východ	201	661 369	635 391	96,07	193,10
8.	Lahovice	101	1 011 081	1 011 081	100,00	101,00
9.	U jezírka	246	412 997	1 33 713	32,38	79,65
10.	U Komořan	457	274 979	32 768	11,92	54,46
11.	Kosoř	902	3 886 468	175 577	4,52	40,75
12.	Radotín-průmyslový obvod	22	430 334	430 334	100,00	22,00
13.	Peluněk	52	2 069 612	715 327	34,56	17,97
14.	Modřany-jih	28	234 695	124 064	52,86	14,80
15.	U cementárny	14	251 616	251 616	100,00	14,00
16.	U Valtrů	91	216 415	21 707	10,03	9,13
17.	Lahovská	75	505 073	53 976	10,69	8,02
18.	Velký háj u Radotína	14	1 811 579	804 642	44,42	6,22
19.	Dolní Černošice	135	3 886 477	147 095	3,78	5,11
20.	Cikánka	23	833 120	102 256	12,27	2,82
21.	Za humny	2	611 245	606 386	99,21	1,98
22.	Zbraslav-Záběhllice	3 146	973 102	375	0,04	1,21
23.	Lahovičky-soutok	1	742 216	742 216	100,00	1,00
24.	Komořany-jih	2	635 173	251 604	39,61	0,79
25.	Za fořtem	2	2 887 896	719 101	24,90	0,50
26.	Za chalupami-Na lipách	1	1 412 074	481 804	34,12	0,34
27.	Nad závoďišťem	0	401 549	91 253	22,73	0,00
28.	Krňák	0	607 882	392 536	64,57	0,00
29.	Nad cementárnou	0	1 351 354	974 002	72,08	0,00
30.	U Lochkovského potoka	0	250 066	250 066	100,00	0,00

Poř.	Název ZSJ	Počet obyvatel [počet]	Celková rozloha ZSJ [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [m <sup>2</sup> ]	Zasaž. oblast [%]	Zasaž. obyvatel [počet]
31.	Komořany-pobřeží	0	366 320	366 320	100,00	0,00
32.	Modřany-pobřeží	0	251 496	241 418	95,99	0,00
33.	Malý háj	0	500 925	394 455	78,75	0,00
34.	U Cholupického potoka	0	405 266	2 930	0,72	0,00
35.	Slavičí údolí	0	365 241	96 676	26,47	0,00
	<b>Celkem obyvatel [počet]</b>					<b>10 293,94</b>