

Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

Nalezení optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu

Location of optimal path for dangerous goods transport

Diplomová práce

Autor:	Bc. Martin Horký
Vedoucí práce:	Ing. Jan Kamenický, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jiří Havlíček

V Liberci 3.1.2011

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 3.1.2011

Podpis:

Poděkování

Děkuji panu Ing. Janu Kamenickému, Ph.D. za metodickou pomoc, kterou mi poskytl při zpracování mé diplomové práce. Také musím poděkovat celému týmu profesorů a doktorandů z Ústavu řízení systémů a spolehlivosti. Všichni pracovníci tohoto ústavu mi byli nápomocni při dotazech týkajících se předkládané diplomové práce, kdykoli bylo třeba.

Dále bych chtěl poděkovat celé mé rodině a samozřejmě také mé přítelkyni. Všichni tito lidé mě ve studiu podporovali a pomáhali mi při zpracování této diplomové práce.

Podpis:

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na nalezení optimální trasy přepravy nebezpečných látek. Optimální trasa přepravy je vybrána na základě rozhodovacího procesu, který je reprezentován aplikací vícekriteriální rozhodovací analýzy na konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu. Tato analýza umožňuje srovnání různých veličin pomocí jejich převodu na bodové hodnocení a následný výběr optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu z několika variant navržených tras přepravy. Výběr optimální trasy přepravy probíhá na základě posouzení jednotlivých možností přepravy pomocí kritérií, které reflektují přepravní, ekonomické a bezpečnostní aspekty jednotlivých tras přepravy. K tomuto účelu je nutné sesbírat a setřídit data týkající se hustoty provozu a nehodovosti v silniční a železniční dopravě, ale také hustotu osídlení v okolí tras, šetrnosti k životnímu prostředí, apod. Dále je také nutné seznámit se s problematikou samotné přepravy nebezpečných látek a věcí s tím souvisejících.

Výsledkem práce je ohodnocení jednotlivých variant přepravy nebezpečného nákladu pomocí vícekriteriální rozhodovací analýzy, na základě kterého se rozhodne o optimální variantě pro samotnou přepravu konkrétního množství nebezpečné látky na specifikovanou vzdálenost.

Klíčová slova: přeprava, nebezpečný náklad, rozhodovací proces, vícekriteriální rozhodovací analýza

Abstract

This work is focused on location of optimal path for dangerous goods transport. Optimal path of transport is chosen based on the decision-making process, which is represented by the application of mutli-criteria decision analysis, which is focused on particular example of dangerous goods transport. This analysis allows comparison of different quantities by their conversion to score and subsequent selection of optimal path of dangerous goods transport from several variants of proposed transport path. Selection of optimal transport route is based on assessment transportation options by criteria that reflected transport, economic and security aspects of transports routes. It is necessary for this purpose to collect and sort data of traffic intensity and accidents rate in road transport and rail transport, but also data of settlement around routes, data of environmental data, etc. It is also necessary to learn about problems of dangerous goods transport and about related things.

Result of the work is evaluation of various options of dangerous goods transport by mutli-criteria decision analysis, based on which is chosen the optimal variant for the transport of a specific quantity of dangerous goods to specified distance.

Keywords: transport, dangerous goods, decision-making process, mutli-criteria decision analysis

Obsah

PROHLÁŠENÍ.....	3
PODĚKOVÁNÍ.....	4
ABSTRAKT.....	5
ABSTRACT.....	6
SEZNAM TABULEK.....	9
SEZNAM GRAFŮ.....	9
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
1 ÚVOD.....	15
2 PROVOZ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH A ŽELEZNICI.....	16
2.1 SILNIČNÍ DOPRAVA.....	16
2.1.1 Nehodovost na pozemních komunikacích.....	17
2.1.2 Intenzita dopravy na pozemních komunikacích.....	18
2.2 ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA.....	19
2.2.1 Nehodovost v železniční dopravě.....	20
2.3 PŘEPRAVNÍ VÝKON SILNIČNÍ A ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY.....	20
3 NEBEZPEČNÉ LÁTKY.....	22
3.1 ADR.....	22
3.1.1 Třídy nebezpečných věcí.....	23
3.1.2 Nápis a bezpečnostní značky.....	23
3.2 RID.....	25
3.2.1 Třídy nebezpečných věcí.....	26
3.2.2 Nápis a bezpečnostní značky.....	26
4 ROZHODOVACÍ PROCES.....	27
4.1 POSTUP ROZHODOVACÍHO PROCESU.....	27
4.2 PRVKY ROZHODOVACÍHO PROCESU.....	27
4.3 TYPY ROZHODOVACÍHO PROCESU.....	28
4.4 VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ.....	28
4.4.1 Vícekriteriální hodnocení variant.....	29
4.4.2 Modelování preferencí rozhodovacích kritérií pomocí vah.....	30
5 ROZHODOVACÍ KRITÉRIA.....	32
5.1 PŘEPRAVNÍ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA.....	32
5.2 BEZPEČNOSTNÍ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA.....	32

5.3	EKONOMICKÁ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA	34
5.3.1	Náklady na výjezd složek IZS	34
5.3.2	Hmotné škody.....	36
5.3.2.1	Hmotné škody – silniční doprava	36
5.3.2.2	Hmotné škody – železniční doprava	38
5.3.3	Cena lidského života – zdravotní péče	39
5.3.3.1	Náklady na zdravotní péči	40
5.3.3.2	Náklady na vyplacení odškodnění od pojišťovny	41
5.3.3.3	Ztráty na produkci.....	41
5.3.3.4	Sociální výdaje.....	41
6	STANOVENÍ HODNOT KRITÉRIÍ A JEJICH APLIKACE	42
6.1	PŘEPRAVNÍ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA – STANOVENÍ HODNOT	42
6.2	BEZPEČNOSTNÍ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA – STANOVENÍ HODNOT	43
6.3	EKONOMICKÁ ROZHODOVACÍ KRITÉRIA – STANOVENÍ HODNOT	44
6.4	APLIKACE VÍCEKRITÉRIÁLNÍ ROZHODOVACÍ ANALÝZY	51
6.5	VÝSLEDKY VÍCEKRITÉRIÁLNÍ ROZHODOVACÍ ANALÝZY	52
7	ZÁVĚR.....	58
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59
	PŘÍLOHA A – OBSAH CD.....	62
	PŘÍLOHA B – PŘEHLED STATISTIK O PROVOZU NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH	63
	PŘÍLOHA C – PŘEHLED STATISTIK O PROVOZU NA ŽELEZNICI	69
	PŘÍLOHA D – PŘEHLED BEZPEČNOSTNÍCH ZNAČEK	70

Seznam tabulek

Tab. 1: Vývoj přepravního výkonu v silniční a železniční dopravě podle [3].....	21
Tab. 2: Párové srovnání rozhodovacích kritérií v tabulce	31
Tab. 3: Hodnoty přepravních kritérií vstupujících do analýzy – A	43
Tab. 4: Hodnoty přepravních kritérií vstupujících do analýzy – B.....	43
Tab. 5: Hodnoty bezpečnostních kritérií vstupujících do analýzy.....	44
Tab. 6: Pravděpodobnosti výskytu konkrétních druhů nehod dle vzorce (16, 17)	47
Tab. 7: Příklad výpočtu administrativních nákladů ze strany Policie ČR	47
Tab. 8: Proměnné vstupující do vzorců pro výpočet ekonomických kritérií.....	49
Tab. 9: Hodnoty ekonomických kritérií vstupujících do analýzy.....	50
Tab. 10: Bodové hodnocení navržených variant přepravy nebezpečného nákladu	54
Tab. B.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti na pozemních komunikacích	63
Tab. B.2: Nehodovost na pozemních komunikacích dle místa výskytu roku 2009.....	64
Tab. B.3: Nehodovost dle druhu pozemní komunikace roku 2009	64
Tab. B.4: Nehodovost dle krajů roku 2009 na pozemních komunikacích.....	65
Tab. B.5: Nehodovost na pozemních komunikacích dle měsíců roku 2009.....	66
Tab. B.6: Nehodovost na pozemních komunikacích dle dnů v týdnu roku 2009.....	66
Tab. B.7: Nehodovost dle kategorie nákladních automobilů roku 2009	67
Tab. B.8: Průměrná intenzita dopravy roku 2008 na pozemních komunikacích.....	68
Tab. B.9: Průměrný dopravní výkon roku 2008 na pozemních komunikacích	68
Tab. C.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti dle [6] na železnici.....	69

Seznam grafů

Graf 1: Procentuální podíl přepravního výkonu v jednotlivých letech podle [3]	21
Graf 2: Bodové hodnocení varianty A	52
Graf 3: Bodové hodnocení varianty B	53
Graf 4: Bodové hodnocení varianty C	53
Graf 5: Bodové hodnocení navržených variant přepravy	55
Graf 6: Procentuální změna bodového hodnocení přepravních kritérií	56
Graf 7: Procentuální změna bodového hodnocení bezpečnostních kritérií	56
Graf 8: Procentuální změna bodového hodnocení ekonomických kritérií.....	57
Graf B.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti na pozemních komunikacích	63
Graf B.2: Nehodovost na pozemních komunikacích dle místa výskytu v roce 2009	64

Graf B.3: Nehodovost dle druhu pozemní komunikace v roce 2009.....	64
Graf B.4: Nehodovost dle krajů v roce 2009 na pozemních komunikacích	65
Graf B.5: Nehodovost na pozemních komunikacích dle měsíců v roce 2009	66
Graf B.6: Nehodovost na pozemních komunikacích dle dnů v týdnu v roce 2009	67
Graf B.7: Nehodovost dle kategorie nákladních automobilů v roce 2009.....	67
Graf B.8: Průměrná intenzita dopravy v roce 2008 na pozemních komunikacích	68
Graf B.9: Průměrný dopravní výkon v roce 2008 na pozemních komunikacích.....	68
Graf C.1: Výskyt MU na drahách dle [6]	69
Graf C.2: Výskyt MU podle jednotlivých druhů v roce 2009 dle [6].....	69

Seznam obrázků

Obr. 1: Bezpečnostní značka pro třídu 1 dle [7]	24
Obr. 2: Oranžová tabule s identifikačním číslem bezpečnosti a UN-číslem dle [7].....	24
Obr. 3: Příklad značení jednoho druhu nebezpečného materiálu při přepravě	25
Obr. 4: Bezpečnostní značka pro opatrný posun dle [8]	26
Obr. 5: Bezpečnostní značka pro posun dle [8]	26
Obr. 6: Postup rozhodovacího procesu	51
Obr. D.1: Bezpečnostní značky – výbušné látky a předměty (1, 1.4, 1.5, 1.6).....	70
Obr. D.2: Bezpečnostní značky – hořlavé plyny (2.1).....	70
Obr. D.3: Bezpečnostní značky – nehořlavé, netoxické plyny (2.2)	70
Obr. D.4: Bezpečnostní značka – toxické plyny (2.3)	71
Obr. D.5: Bezpečnostní značky – hořlavé kapaliny (3)	71
Obr. D.6: Bezpečnostní značka – hořlavé tuhé látky (4.1)	71
Obr. D.7: Bezpečnostní značka – samozápalné látky (4.2)	71
Obr. D.8: Bezpečnostní značky – látky vyvíjející hořlavé plyny (4.3).....	72
Obr. D.9: Bezpečnostní značka – látky podporující hoření (5.1)	72
Obr. D.10: Bezpečnostní značky – organické peroxidy (5.2).....	72
Obr. D.11: Bezpečnostní značka – toxické látky (6.1)	72
Obr. D.12: Bezpečnostní značka – infekční látky (6.2).....	73
Obr. D.13: Bezpečnostní značky – radioaktivní látky (7A, 7B, 7C, 7E).....	73
Obr. D.14: Bezpečnostní značka – žíravé látky (8)	73
Obr. D.15: Bezpečnostní značka – jiné nebezpečné látky a předměty (9)	73

Seznam symbolů a zkratk

ADR	The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných látek
CIZS	náklady na záchranné, likvidační a asanační práce IZS [Kč]
CKM	celková sazba za ujetý kilometr všech užitých vozidel/strojů při zásahu IZS [$\text{Kč} \times \text{km}^{-1}$]
CMOTOH	celková sazba za započatou hodinu práce všech užitých vozidel/strojů při zásahu IZS [$\text{Kč} \times \text{h}^{-1}$]
CMY	náklady na mýtné na jeden ujetý kilometr v silniční přepravě [$\text{Kč} \times \text{km}^{-1}$]
CON	sazba za jednoho pracovníka za jednu započatou hodinu při zásahu IZS [$\text{Kč} \times \text{h}^{-1}$]
COTIF	Convention concerning International Carriage by Rail Úmluva o mezinárodní železniční přepravě
CPH	cena za jeden litr pohonné hmoty [$\text{Kč} \times \text{l}^{-1}$]
ČD	České dráhy, a.s.
ČSSR	Československá socialistická republika
DI	Drážní inspekce České republiky
ECHA	European Chemicals Agency Evropská agentura pro chemické látky
EU	European Union Evropská unie
H_{NV}	počet hodin nutných pro nakládku/vykládku materiálu [h]
H_{M}	počet hodin nutných pro přepravu [h]
HDP	hrubý domácí produkt [Kč]
HM_{M}	hodinová mzda řidiče/strojvedoucího při přepravě [$\text{Kč} \times \text{h}^{-1}$]
HM_{NV}	hodinová mzda pracovníka při nakládce/vykládce materiálu [$\text{Kč} \times \text{h}^{-1}$]
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
IZS	Integrovaný záchranný systém
K	počet rozhodovacích kritérií ve vícekritériální rozhodovací analýze [1]
K_{S}	množství ujetých vozových kilometrů všech nákladních automobilů za 1 rok [$\text{vozokm} \times \text{rok}^{-1}$]

K _ž	množství ujetých vlakových kilometrů všech nákladních vlaků za 1 rok [vlkm × rok ⁻¹]
Kemlerův kód	označení druhu nebezpečí spojeného s přepravou nebezpečné látky (směsi) [1]
M	kriteriální matice
M _p	náklady na mzdy řidičů a strojvedoucích při přepravě [Kč]
MAT	náklady na spotřebovaný materiál při zásahu IZS [Kč]
mld. tkm	miliarda tunokilometrů [1]
MOTOH	náklady na práci užitých vozidel/strojů při zásahu IZS [Kč]
MU	mimořádná událost
MY _p	náklady na mýtné při silniční přepravě [Kč]
N	počet srovnání v metodě párového srovnání kritérií [1]
N _s	počet nehod všech nákladních automobilů s únikem nebezpečné látky za 1 rok [rok ⁻¹]
N _ž	počet nehod všech nákladních vlaků s únikem nebezpečné látky za 1 rok [rok ⁻¹]
N _{S(U,T,L,B)}	počet nehod všech nákladních automobilů s únikem látky za 1 rok buď s následkem smrti, s těžkým zraněním, s lehkým zraněním, nebo bez zranění [rok ⁻¹]
N _{ž(U,T,L,B)}	počet nehod všech nákladních vlaků s únikem látky za 1 rok buď s následkem smrti, s těžkým zraněním, s lehkým zraněním, nebo bez zranění [rok ⁻¹]
NPH	náklady na pohonné hmoty při přepravě nebezpečného nákladu [Kč]
NPH _{IZS}	náklady na pohonné hmoty užitých vozidel/strojů při zásahu IZS [Kč]
NV	náklady na nakládku/vykládku materiálu [Kč]
O _{NV}	počet pracovníků nutných pro nakládku/vykládku materiálu [1]
ON	osobní náklady na pracovníky IZS při zásahu IZS [Kč]
OTIF	Intergovernmental Organisation for International Carriage by Rail Mezivládní organizace pro mezinárodní železniční přepravu
p _i	preferencie kritéria [1]
P _s	pravděpodobnost nehody s únikem látky při přepravě nebezpečné látky na jeden ujetý vozový kilometr v silniční přepravě [vozokm ⁻¹]
P _ž	pravděpodobnost nehody s únikem látky při přepravě nebezpečné látky na jeden ujetý vlakový kilometr v železniční přepravě [vlkm ⁻¹]

$P_{S(U,T,L,B)}$	pravděpodobnosti nehod buď s usmrcením, s těžkým zraněním, s lehkým zraněním, nebo bez zranění pro silniční přepravu [1]
$P_{Ž(U,T,L,B)}$	pravděpodobnosti nehod buď s usmrcením, s těžkým zraněním, s lehkým zraněním, nebo bez zranění pro železniční přepravu [1]
PČR	Policie České republiky
PDZ	průměrná doba zásahu složek IZS [h]
PH_{NV}	náklady na pohonné hmoty spotřebované při nakládce/vykládce materiálu [Kč]
PPO	průměrný počet osob zasahujících při zásahu IZS [1]
PTZ	počet tažných zařízení potřebných pro přepravu [1]
PVZKU	průměrná vzdálenost k události při zásahu IZS [km]
q_{min}	minimalizační kritérium (nákladového typu) [1]
q_{max}	maximalizační kritérium (výnosového typu) [1]
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek
RID	Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail Předpis pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí
SP	spotřeba tažného zařízení na jeden ujetý kilometr [$l \times km^{-1}$]
SSP	střední stav počtu obyvatel v produktivním věku [1]
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, s.o.
tkm	tunokilometr – jednotka dopravního výkonu; představuje přepravu jedné tuny nákladu na vzdálenost jednoho kilometru [1]
UN-číslo	identifikační číslo – definuje nebezpečnou látku (směs) [1]
v_i	váha kritéria [1]
vlkm	vlakový kilometr – přemístění jednoho nákladního vlaku na vzdálenost jednoho kilometru [1]
voz	vozidlo [1]
voz/24h	počet vozidel za časový interval 24 hodin [1]
vozokm	vozový kilometr – přemístění jednoho osobního/nákladního automobilu na vzdálenost jednoho kilometru [1]
vozokm/24h	počet vozokilometrů za časový interval 24 hodin [1]
VZ	vzdálenost startu a cíle přepravy [km]

ZK	délka části trasy vedoucí přes placené úseky pozemních komunikací při přepravě nebezpečného nákladu [km]
ZNP	ztráty na produkci v důsledku smrtelné nehody [Kč]
ZPV	zbývající nerealizovaný produktivní věk při usmrcení člověka [1]

1 Úvod

V dnešním světě je kladen velký důraz na umění a schopnost správně se rozhodnout při řešení rozmanitých situací, ať už se jedná o rozhodnutí v rovině osobní, nebo profesní. Tato skutečnost je způsobena narůstající složitostí vzájemných vztahů v mezilidské a ekonomické oblasti. Rozhodnutím se rozumí nalezení optimální možnosti řešení problému pomocí výběru z několika dostupných variant řešení na základě skutečností popisujících uvažovaný problém. Každé takové rozhodnutí s sebou samozřejmě přináší kladné i záporné důsledky. Nalezení optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu, kterým se zabývá předkládaná diplomová práce, reprezentuje jeden možný příklad takového rozhodování.

Pro řešení tohoto rozhodovacího problému je nutné zvolit správný postup a metodiku, tak aby rozhodnutí bylo co nejobjektivnější a nejlepší s ohledem na důsledky rozhodnutí. Jedna z takových metod, často užívaných v praxi, je metoda vícekriteriálního hodnocení variant (vícekriteriální rozhodovací analýza). Tato metoda je založena na myšlence ohodnocení jednotlivých variant možných řešení na základě hodnotících ukazatelů, takzvaných rozhodovacích kritérií. Výhodou této metody je možnost brát v úvahu velké množství rozhodovacích kritérií, které jsou často v nesouměřitelných jednotkách a pomocí jejich převodu na společné bodové ohodnocení umožnit následné rozhodnutí.

Cílem práce je tedy sestavení modelu vícekriteriální rozhodovací analýzy, která umožní volbu optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu výběrem z několika variant. Na jednotlivé varianty přepravy je nahlíženo z více hledisek, které charakterizují jednotlivé aspekty přepravy nebezpečného nákladu a rozdělují rozhodovací kritéria do několika kategorií (přepravní, bezpečnostní, ekonomická). Dalším cílem je aplikace modelu vícekriteriální rozhodovací analýzy na konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu s cílem nalezení optimální trasy transportu pro tento typ přepravy.

2 Provoz na pozemních komunikacích a železnici

Aby bylo možno stanovit optimální trasu přepravy nebezpečného materiálu, je třeba získat všechny potřebné informace o provozu i nehodách na různých typech komunikací. Mezi nejdůležitější a nejvyužívanější způsoby přepravy materiálu v ČR patří samozřejmě silniční a železniční přeprava. V následujících kapitolách bude uveden přehled o nehodovosti nejprve pro silniční a následně pro železniční dopravu.

2.1 Silniční doprava

Silniční doprava je realizována na pozemních komunikacích, které jsou určeny k využití silničními i jinými vozidly a chodci. Silniční vozidlo je vozidlo určené a vyrobené k provozu na pozemních komunikacích. Jiným než silničním vozidlem se rozumí vozidlo, které lze použít na pozemních komunikacích, ale které je vyrobené a určeno k jiným účelům. Pozemní komunikace se dle zákona č.13/1997 Sb. o pozemních komunikacích [1] dělí na jednotlivé typy:

- a) **Dálnice** – je dle [1] pozemní komunikace, která se využívá výhradně pro mezinárodní a vnitrostátní rychlostní dopravu silničními motorovými vozidly. V České republice je dálnice budována tak, že má oddělené vjezdy a výjezdy z každého směru jízdy s tím, že jízdní pruhy v opačných směrech jízdy jsou oddělené. Dálnice je přístupná všem motorovým vozidlům, která splňují podmínku nejnižší povolené rychlosti, kterou upravuje zvláštní předpis. Ve většině zemí, včetně ČR, se na dálnicích již v dnešní době platí poplatky za užívání těchto komunikací, ať se tak děje ve formě kuponů, či ve formě výběru mýtného.
- b) **Silnice** – je podle [1] veřejně přístupná pozemní komunikace určená k užití všemi možnými dopravními prostředky. Silnice mohou být využívány silničními i jinými vozidly a samozřejmě také chodci. Silnice se rozdělují do třech tříd dle jejich využití a významu. Všechny typy silnic tvoří dohromady silniční síť. Třídy silnic rozlišujeme:
 - a. Silnice I. třídy – je využívána výhradně pro dálkovou vnitrostátní a mezinárodní dopravu. Některé silnice I. třídy jsou vystavěné podobně jako dálnice. Tento druh silnice je označován jako rychlostní silnice pro motorová vozidla a je přístupný také pouze silničním

motorovým vozidlům splňujícím podmínku o minimální povolené rychlosti, kterou upravuje zvláštní předpis, stejně jako tomu je u komunikace typu dálnice. Rychlostní silnice mají podobné technické vybavení jako dálnice s tím rozdílem, že za jejich užívání se neplatí žádné poplatky či mýtné, pokud není rychlostní silnice zpoplatněna speciální dopravní značkou.

- b. Silnice II. třídy – tento druh silnice je převážně určen pro dopravu mezi okresy.
- c. Silnice III. třídy – je určena ke spojení mezi jednotlivými obcemi a k jejich napojení na další pozemní komunikace.
- c) **Místní komunikace** – veřejně přístupná pozemní komunikace, která je využitelná dopravními prostředky a chodci. Tento typ komunikace je užíván převážně k dopravě na území obce [1].
- d) **Účelová komunikace** – je dle [1] komunikace využívána vlastníky nemovitostí pro jejich vzájemné spojení a dopravu mezi nimi. Dále se tato komunikace využívá pro potřeby spojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi a v neposlední řadě také pro hospodářské účely, jako jsou doprava k zemědělským a lesním pozemkům apod.

Každý typ komunikace má dle [1] určeného svého vlastníka. Stát je vlastníkem dálnic a silnic I. třídy. Silnice II. a III. třídy jsou ve vlastnictví příslušného kraje, ve kterém se tyto silnice vyskytují. Obce jsou majiteli místních komunikací, jestliže se tyto komunikace nacházejí na jejich území. Účelové komunikace jsou ve vlastnictví jednotlivých právnických či fyzických osob. S vlastnictvím je spojena samozřejmě také povinnost udržovat příslušnou pozemní komunikaci sjízdnou, tedy ve stavu, aby nikomu nevznikla škoda při jejím užívání.

2.1.1 Nehodovost na pozemních komunikacích

V této kapitole bude shrnuta statistika nehodovosti na území ČR. Jedná se o nehodovost na pozemních komunikacích podle [2] za rok 2009, na kterou bude nahlíženo z těchto hledisek:

- vývoj základních ukazatelů nehodovosti
- místo výskytu

- druh komunikace
- výskyt v krajích
- výskyt v jednotlivých měsících
- výskyt v jednotlivých dnech v týdnu
- kategorie nákladních automobilů

Z policejních statistik vyplývá, že počet nehod v posledních letech neustále klesá. Zatímco v roce 2008 došlo k 160 376 nehodám, tak v roce 2009 kles počet nehod o více než 53 % a to na 74 815 nehod. Bohužel k tam výraznému poklesu již nedošlo také u počtu zraněných a usmrcených osob, kde se jedná o snížení v řádech jednotek procent oproti roku 2008. Kompletní přehled statistik vztahující se k problematice nehodovosti na pozemních komunikacích je zařazen do přílohy B – Přehled statistik o provozu na pozemních komunikacích.

2.1.2 Intenzita dopravy na pozemních komunikacích

Intenzita dopravy dle [3] na českých silnicích rok od roku neustále stoupá. Tento trend odpovídá vývoji prakticky po celém světě. Zvýšení intenzity dopravy je samozřejmě způsobeno zvýšením počtu vozidel registrovaných v České republice a zvýšením kamionové a tranzitní přepravy.

Uvedená data o intenzitách dopravy reflektují situaci z roku 2008. Novější data budou k dispozici až po dalším sčítání dopravy za rok 2010. Intenzita dopravy stoupá každým rokem - zatímco v roce 2004 byla průměrná intenzita dopravy na dálnicích podle [3] 27 984 [voz/24h], v roce 2008 to bylo již 32 415 [voz/24h], což je nárůst téměř o 16 %. Nejdůležitější komunikací v České republice je dálnice D1. Intenzita dopravy na dálnici D1 na prvních kilometrech v Praze dle [3] dosahuje v několika úsecích i hodnot okolo 100 tisíc vozidel za den. Zdaleka nejvyšší hodnoty intenzity dopravy okolo 120 tisíc vozidel za den dosahuje Městský okruh v Praze, konkrétně Jižní spojka, což je nejvytíženější komunikace uvnitř obce v České republice.

Zatížení pozemních komunikací se dá také vyjádřit prostřednictvím dopravního výkonu, který je udáván v počtu vozokilometrů za jednotku času. Tendence u tohoto ukazatele jsou stejné jako u intenzity dopravy. Dochází k nárůstu dopravního výkonu každým rokem o několik procent. Zatímco v roce 2004 byl dopravní výkon na dálnicích dle [3] 14 448 [1000 vozokm/24h], tak v roce 2008 to bylo již 21 596

[1000 vozokm/24h], což je nárůst bezmála o 50 %. Na tento jev měl samozřejmě vliv nárůst délky dálnic o 26 % mezi léty 2004 až 2008. Přehled všech statistik týkajících se intenzity dopravy na pozemních komunikacích je umístěn v příloze B – Přehled statistik o provozu na pozemních komunikacích.

2.2 Železniční doprava

Železniční doprava v České republice má dle [4] své počátky již v 19. století. Majoritním vlastníkem, provozovatelem a stavitelem drah byl v ČR převážně stát. Také v současnosti je vlastníkem většiny tratí v České republice sám stát, který je v těchto věcech zastoupen státní organizací Správa železniční dopravní cesty, s.o. (SŽDC). Největším dopravcem na železničních tratích v ČR jsou České dráhy, a.s. (ČD), ale je zde i mnoho jiných dopravců (např. Viamont a.s., OKD, Doprava, a.s.). Tito dopravci jsou vesměs vlastníky regionálních drah či vleček.

Železniční dráha je hojně využívána jak pro přepravu osobní, tak nákladní. Celková délka tratí v ČR je 9 478 km, což je stav ke 31.12.2009. V České republice se dle Zákona o drahách č. 266/1994 Sb. [5] rozlišují čtyři druhy železničních drah. O zařazení železniční tratě do příslušné kategorie rozhoduje drážní správní úřad:

- a) **Celostátní dráha** – je podle [5] dráha sloužící k mezinárodní a celostátní veřejné železniční dopravě. Celostátní dráha v republice je jedna a je tvořena všemi úseky, které k ní patří. Vlastníkem celostátní dráhy je stát a správa dráhy spadá pod SŽDC. Původně byla provozovatelem této dráhy společnost České dráhy, a.s., ale od 1.1.2008 tuto povinnost převzala Správa železniční dopravní cesty, s.o.. Všichni dopravci mají zaručen přístup na tyto dráhy na základě kapacity, kterou přiděluje provozovatel.
- b) **Regionální dráha** – je kolejová dráha nižší kategorie. Dle [5] se jedná o typ dráhy s regionálním či místním významem sloužící veřejné železniční dopravě. Na rozdíl od celostátní dráhy, regionálních drah je v ČR více a je tedy možno je rozdělit mezi více vlastníků a provozovatelů.
- c) **Vlečka** – je podle [5] většinou dráha spojující průmyslový objekt s železniční stanicí a také se tak nazývá kolejiště v průmyslových objektech. Jedná se tedy o dráhu sloužící vlastní potřebě podnikatele (provozovatele). Jako každý jiný typ dráhy i vlečka musí mít svého vlastníka a provozovatele.

- d) **Speciální dráha** – je dle [5] typ dráhy, do kterého patří například metro, tramvajová doprava či lanovky. I tyto dráhy mají vlastníka a provozovatele.

Pro účely této práce plně postačí informace o drahách celostátních, regionálních a vlečkách, protože na těchto typech dráhy se majoritně přepravuje nebezpečný materiál prostřednictvím železničních souprav.

2.2.1 Nehodovost v železniční dopravě

Dle [6] je mimořádná událost (MU) závažná nehoda, nehoda nebo ohrožení v železniční dopravě. Mimořádná událost ohrožuje nebo narušuje bezpečnost, pravidelnost a plynulost provozování drážní dopravy. Dále MU narušuje bezpečnost osob, bezpečnou funkci staveb a zařízení a ohrožuje životní prostředí. Dle příčin, následků a okolností vzniku těchto mimořádných událostí, se tyto události rozdělují do tří druhů dle [6]:

- a) **Závažná nehoda** – je vykolejení nebo srážka drážních vozidel, k nimž došlo v souvislosti s provozováním drážní dopravy s následkem smrti či újmy na zdraví minimálně 5-ti osob nebo škody nejméně 5 000 000 Kč.
- b) **Nehoda** - je událost, k níž došlo v souvislosti s provozováním drážní dopravy s následkem smrti, újmy na zdraví nebo značné škody (nejméně 500 000 Kč).
- c) **Ohrožení** - je mimořádná událost, jenž není nehodou nebo závažnou nehodou.

Za usmrcenou osobu se považuje osoba, která přímo zemřela při mimořádné události, nebo která zemřela na následky zranění způsobených mimořádnou událostí nejdéle do 30 dnů.

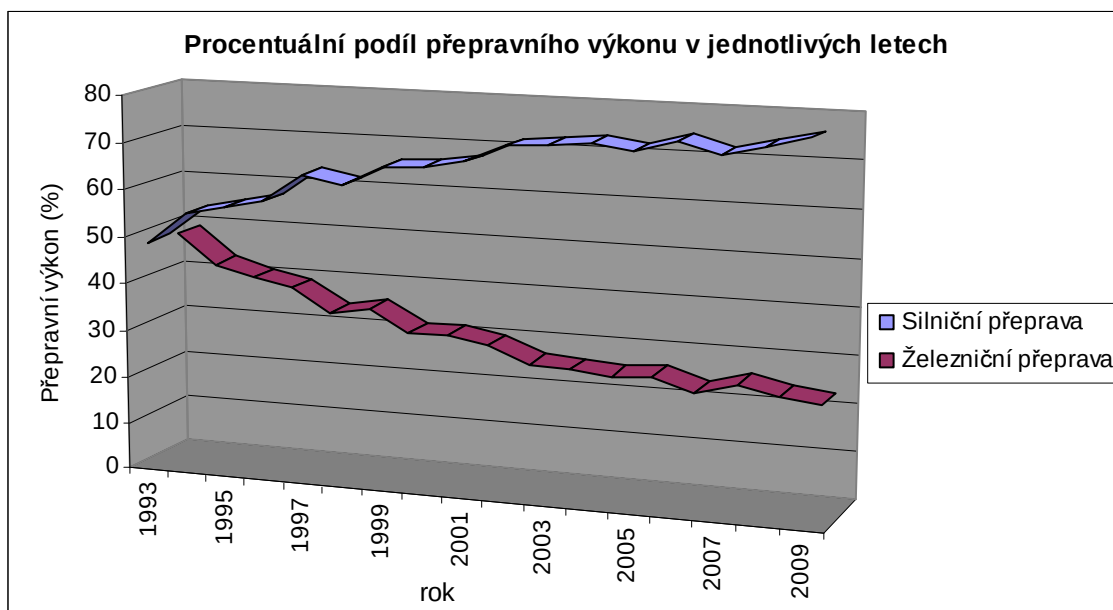
V posledních letech je vývoj počtu MU na drahách a vlečkách na území České republiky klesající. Tento trend se však příliš neprojevuje na počtu usmrcených a zraněných osob, který je vesměs konstantní. Přehled o nehodovosti v železniční dopravě je zařazen v příloze C – Přehled statistik o provozu na železnici.

2.3 Přepavní výkon silniční a železniční dopravy

V porovnání se silniční dopravou, kde přepravní výkon neustále roste, je v železniční dopravě tendence opačná (viz Tab. 1, Graf 1). Dochází zde rok od roku k neustálému poklesu přepraveného zboží.

Tab. 1: Vývoj přepravního výkonu v silniční a železniční dopravě podle [3]

rok	Přepravní výkon v mld. tkm_silniční	Přepravní výkon v mld. tkm_železniční
1993	25,26	25,14
1994	29,81	22,70
1995	32,50	22,63
1996	34,55	22,34
1997	40,64	21,01
1998	33,91	18,71
1999	36,96	16,71
2000	39,04	17,50
2001	40,26	16,88
2002	45,06	15,81
2003	46,56	15,86
2004	46,01	15,09
2005	43,45	14,87
2006	50,37	14,89
2007	48,14	16,30
2008	50,88	15,55
2009	44,95	12,81



Graf 1: Procentuální podíl přepravního výkonu v jednotlivých letech podle [3]

Jestliže jsou již známy všechny potřebné informace a statistiky o provozu a nehodách (mimořádných událostech) v silniční, respektive železniční dopravě, je třeba seznámit s problematikou samotné přepravy zboží. Jak již bylo uvedeno výše (viz zadání práce), předkládaná diplomová práce se zabývá přepravou nebezpečného nákladu. Tento konkrétní druh přepravy má samozřejmě svá specifika, která budou popsána v následující kapitole.

3 Nebezpečné látky

Dle [7] jako nebezpečné látky označujeme zpravidla ty látky, představující nebezpečí buď pro životní prostředí a nebo pro živý organismus. Každá nebezpečná látka má svoje specifické vlastnosti. Tyto vlastnosti se rozdělují na několik druhů.

Vlastnosti:

- hořlavost
- výbušnost
- toxicita
- žíravost
- škodlivost pro lidské zdraví
- dráždivost
- karcinogenita
- mutagenita
- nebezpečnost pro životní prostředí
- radioaktivita

Jestliže dojde k ději, kdy se nebezpečná látka z důvodu nehody či jiné události vymkne kontrole a začne ohrožovat životní prostředí, životy lidí či zdraví lidí, nebo jakýkoliv jiný živý organismus, označujeme tuto událost za havárii. V případě, že dojde k havárii, je třeba, aby záchranné složky Integrovaného záchranného systému (IZS) rychle a bezpečně zvládly odstranit případné následky této havárie. Pro zajištění ochrany zasahujících jednotek a bezpečné manipulace s nebezpečnými látkami byly přijaty mezinárodní smlouvy upravující pokyny pro identifikaci a přepravu nebezpečných látek. Velice důležitá je zřetelná a jednoznačná identifikace těchto látek. V silniční dopravě tento úkol plní dohoda ADR, pro železniční přepravu tyto pokyny upravuje předpis RID.

3.1 ADR

ADR je evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných látek. Tato dohoda přesně popisuje okolnosti, za jakých je možno přepravovat nebezpečné látky na pozemních komunikacích. ADR vznikla v září roku 1957 v Ženevě. Poté 29. ledna 1968 pod patronací evropské hospodářské komise vstoupila tato úmluva v platnost. ČSSR k ní přistoupila v roce 1987. Dohoda ADR je aktualizována každé dva

roky. Nejnovější verze této smlouvy je platná od 1. ledna 2009. Samotná dohoda nespecifikuje jakékoliv sankce při nedodržení jednotlivých pokynů plynoucích z této dohody. V praxi jsou silniční kontroly prováděny každým státem zvlášť a každý stát také stanoví případné pokuty dle platných právních předpisů. Jelikož ADR upravuje podmínky pro mezinárodní přepravu, přijaly státy Evropské unie (EU), z důvodu volného obchodu na území EU, předpis ADR jako základní dokument, který upravuje pravidla a předpisy pro vnitrostátní přepravu nebezpečných věcí na jejich území. Tento proces zvolily i některé nečlenské státy Evropské unie.

3.1.1 Třídy nebezpečných věcí

Nebezpečné věci se z pohledu jejich vlastností dělí do několika tříd. V ADR jsou dle [7] následující třídy nebezpečných věcí:

Třída 1	Výbušné látky a předměty
Třída 2	Plyny
Třída 3	Hořlavé látky
Třída 4.1	Hořlavé tuhé látky, samovolně se rozkládající látky a znečlivěné tuhé výbušné látky
Třída 4.2	Samozápalné látky
Třída 4.3	Látky, které ve styku s vodou vyvíjejí hořlavé plyny
Třída 5.1	Látky podporující hoření
Třída 5.2	Organické peroxidy
Třída 6.1	Toxické látky
Třída 6.2	Infekční látky
Třída 7	Radioaktivní látky
Třída 8	Žíravé látky
Třída 9	Jiné nebezpečné látky a předměty

3.1.2 Nápis a bezpečnostní značky

Bezpečnostní značky byly vytvořeny proto, aby došlo k usnadnění identifikace nebezpečných věcí při jejich přepravě. Tyto značky mají tvar čtverce postaveného na vrchol pod úhlem 45° (viz Obr. 1). Jestliže bezpečnostní značka slouží k označení jednotlivých kusů přepravované nebezpečné látky, používají se rozměry značky 100 x 100 mm [7]. Tyto značky se umísťují přímo na jednotlivé kusy nebezpečného nákladu a musí být bezpečně připevněny. V případě, že se jedná o označení kontejneru,

cisterny apod., je dle [7] nutné použít označení velkými bezpečnostními značkami. Tyto značky mají minimální předepsaný rozměr 250 x 250 mm. Velké bezpečnostní značky se umísťují vpředu, vzadu a po stranách kontejneru či cisterny. Jestliže tyto velké bezpečnostní značky nejsou viditelné zvnějšku, je nutné značky umístit také na přepravující vozidlo a to stejným způsobem jako tomu je u kontejnerů a cisteren. Přehled všech bezpečnostních značek užívaných pro přepravu nebezpečných věcí na pozemních komunikacích je uveden v příloze D – Přehled bezpečnostních značek.

Značení bezpečnostními značkami je doplněno výstražnými reflexními tabulemi oranžové barvy o rozměrech 300 x 400 mm (viz Obr. 2). Tabule jsou umístěny na přední a zadní straně dopravní jednotky, v případě že se jedná o přepravu jednoho druhu nebezpečné látky. Jestliže je třeba přepravit více druhů nebezpečných látek, je použito těchto tabulí i po stranách kontejnerů a cisteren [7].

Příklad bezpečnostních značek:

Nebezpečí třídy 1 – výbušné látky a předměty



Obr. 1: Bezpečnostní značka pro třídu 1 dle [7]

Příklad výstražné reflexní tabule oranžové barvy:



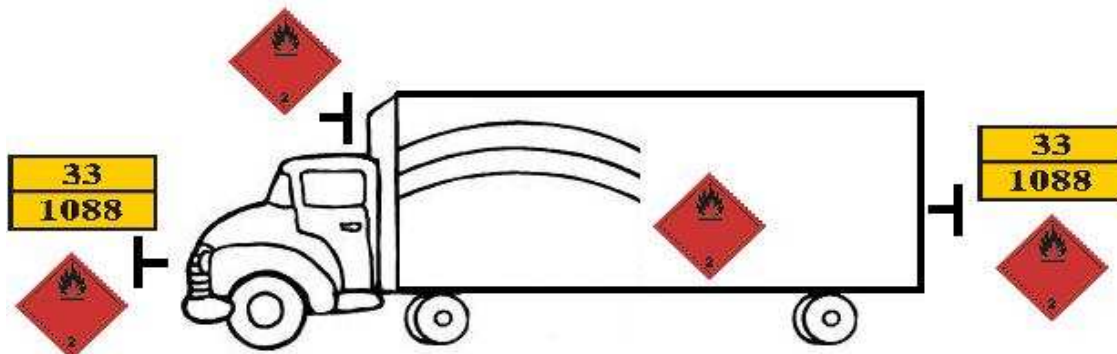
Obr. 2: Oranžová tabule s identifikačním číslem bezpečnosti a UN-číslem dle [7]

Reflexní tabule oranžové barvy obsahuje dvě čísla, jedno ve své horní a jedno v dolní polovině. Horní číslo reflexní tabule je identifikační číslo nebezpečnosti, neboli Kemlerův kód. Číslo v dolní polovině reflexní tabule je identifikační číslo látky (UN-číslo). Kemlerův kód je většinou dvouciferné či tříciferné číslo (viz Obr. 2). Jednotlivá čísla dle [7] označují druhy nebezpečí, která jsou spojená s přepravou konkrétní látky:

- 2 Únik plynu tlakem nebo chemickou reakcí
- 3 Hořlavost kapalin (par) a plynů nebo kapalin schopných samoohřevu
- 4 Hořlavost tuhých látek nebo tuhých látek schopných samoohřevu
- 5 Podpora hoření
- 6 Toxicita nebo nebezpečí infekce
- 7 Radioaktivita
- 8 Žíravost
- 9 Nebezpečí prudké samovolné reakce

Podle [7] zdvojení či ztrojení příslušné číslice označuje zvýšení příslušného nebezpečí. Stačí-li k označení látky jediná číslice, doplní se zprava nulou. V případě, že je před číslem nebezpečnosti uvedeno písmeno „X“, je to známka toho, že látka nebezpečně reaguje s vodou.

Číslo v dolní polovině reflexní tabule je identifikační číslo látky (UN-číslo), které je přiřazené každé látce v jednotlivých třídách nebezpečných věcí. Toto čtyřčíslí přesně identifikuje každou látku nebo směs. Příklad označení nebezpečného materiálu jednoho druhu při přepravě nákladním automobilem dle předpisu ADR (viz Obr. 3).



Obr. 3: Příklad značení jednoho druhu nebezpečného materiálu při přepravě

3.2 RID

Předpis pro mezinárodní přepravu nebezpečných věcí po železnici se nazývá RID. RID je dle [8] součástí úmluvy o mezinárodní železniční přepravě COTIF. Nejnovější verze tohoto předpisu je platná od 1. ledna 2009. Tato dohoda byla přijata roku 2007 respektive 2008 na 44. a 45. zasedání komise odborníků pro přepravu nebezpečných věcí organizace OTIF.

3.2.1 Třídy nebezpečných věcí

Rozdělení nebezpečných látek do jednotlivých tříd v předpisu RID je totožné jako tomu je u předpisu ADR (viz kapitola 3.1.1).

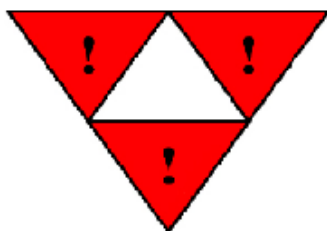
3.2.2 Nápis a bezpečnostní značky

Bezpečnostní značky a oranžové reflexní tabule nutné pro přepravu nebezpečného materiálu na železnici vycházející z předpisu RID jsou totožné jako tomu je u předpisu ADR (viz kapitola 3.1.2). Co se týče velikostí a umístění jednotlivých značek a tabulí, užívají se stejné principy značení nebezpečného nákladu a to z důvodu možné kombinace silniční a železniční přepravy. V předpise RID jsou dle [8] navíc definovány bezpečnostní značky pro posun nebezpečných látek po kolejišti. Tyto značky mají minimální velikost 100 x 70 mm a jejich umístění je stejné jako u velkých bezpečnostních značek (viz kapitola 3.1.2).

Přehled bezpečnostních značek pro posun nebezpečných látek po kolejišti:



Obr. 4: Bezpečnostní značka pro opatrný posun dle [8]



Obr. 5: Bezpečnostní značka pro posun dle [8]

Bezpečnostní značka reprezentovaná červeným trojúhelníkem s černým vykřičníkem (viz Obr. 4) značí opatrný posun po kolejišti. Značka se třemi červenými trojúhelníky s černými vykřičníky (viz Obr. 5) má význam zákazu odrážení a spouštění vagonu, nutnosti přistavení vagonu hnacím vozidlem a ochrany vagonu proti najetí od jiného vozu. Kompletní přehled bezpečnostních značek užívaných pro přepravu nebezpečných věcí v železniční dopravě je uveden v příloze D – Přehled bezpečnostních značek.

4 Rozhodovací proces

Se skutečností, že je třeba o něčem rozhodnout, se člověk setkává prakticky denně. Celý tento děj lze nazvat jako rozhodovací proces. Dle [9] se jedná o proceduru, při které z nabízených možností (alespoň dvou variant) dojde k výběru pouze jediné, optimální varianty, která je později určena k následné realizaci. Každé takové rozhodnutí s sebou samozřejmě nese kladné i záporné dopady, proto je třeba pečlivě zvážit všechny důsledky a na tomto základě zvolit optimální variantu řešení.

4.1 Postup rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces má dle [9] svojí hierarchii a je rozdělen do několika etap (částí). Etapy jsou mezi sebou vzájemně závislé a návazné. Rozhodovací proces lze dekomponovat více způsoby podle požadované podrobnosti. Podle [9] lze rozhodovací proces rozložit například na:

- analýzu okolí (zjišťování podmínek, identifikace příčin problému),
- návrh řešení (hledání a různých variant řešení problému),
- volbu řešení (hodnocení jednotlivých variant řešení problému navržených v předchozí variantě),
- kontrolu výsledků (hodnocení dosažených výsledků, tedy vybrané varianty řešení problému).

4.2 Prvky rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces se dělí na několik základních prvků dle [9]. V principu lze proces rozdělit na cíl rozhodování, rozhodovací kritéria, subjekt rozhodování (rozhodovatel, analytik) a objekt rozhodování. Cílem rozhodování se rozumí určitý stav věci, kterého se má prostřednictvím rozhodovacího procesu dosáhnout. Jako subjekt rozhodování (rozhodovatel) je označován jednotlivec nebo skupina lidí. Rozhodovatel dle [10] rozhoduje o optimální variantě řešení procesu na základě poskytovaných doporučení od analytika, který zpracovává přednostní informace od rozhodovatele. Objektem rozhodování je oblast, ve které byl problém definován a které se týká. Rozhodovací kritéria slouží k ohodnocení jednotlivých variant (možných výsledků rozhodování) z několika pohledů podle rozhodnutí rozhodovatele. Nejčastěji jsou kritéria rozdělena do několika skupin podle toho, jaké části řešeného problému se týkají. Samotná kritéria se rozdělují podle svojí povahy na:

- maximalizační kritérium (výnosové typu),
- minimalizační kritérium (nákladové typu).

Maximalizační kritérium dosahuje u optimální varianty nejvyšší hodnoty, naopak minimalizační kritériu nabývá nejnižší hodnoty pro optimální variantu řešení. Dále je možné kritéria dělit podle jejich kvantifikovatelnosti na:

- kvantitativní kritérium (číselná hodnota),
- kvalitativní kritérium (slovní vyjádření).

Kvantitativní kritéria jsou z pohledu rozhodování objektivnější, protože jsou tvořeny měřitelnými údaji. Naproti tomu kvalitativní kritéria spíše vyjadřují subjektivní hodnocení rozhodovatele, a proto jsou v mnoha případech nepřesná.

4.3 Typy rozhodovacího procesu

Rozhodovací procesy lze dle [9] rozdělit na několik typů z pohledu různých hledisek. Existují dobře/špatně strukturované problémy, rozhodování za jistoty/nejistoty, rozhodování za rizika, rozhodování subjektivní/kolektivní, procesy statické/dynamické, rozhodování jednoetapové/víceetapové, rozhodování strategické/operativní, rozhodování konfliktní/nekonfliktní a nakonec rozhodování jednokriteriální/vícekriteriální. V této diplomové práci bude využit proces vícekriteriálního rozhodování, což tedy znamená množinu m variant možných řešení rozhodovacího procesu, které jsou hodnoceny podle n rozhodovacích kritérií [9].

4.4 Vícekriteriální rozhodování

S vícekriteriálním rozhodováním se člověk setkává denně, aniž by si tuto skutečnost uvědomoval. Rozhodování se může dít v rovině osobní, potažmo profesní. Každé rozhodnutí, ať už je jakékoliv, s sebou samozřejmě nese pozitivní a negativní důsledky. Smyslem vícekriteriálního rozhodnutí je nalezení optimální varianty řešení problému, u nichž se posuzují důsledky rozhodnutí pomocí rozhodovacích kritérií. Vícekriteriální rozhodovací problém je tedy reprezentován množinou možných variant řešení, množinou rozhodovacích kritérií a vztahy mezi nimi. Optimální varianta bude tedy ta, která bude celkově ohodnocena nejlépe na základě zvolených rozhodovacích kritérií. Počet potenciálních variant, které mohou být výsledkem rozhodnutí, a počet kritérií, které slouží k posouzení jednotlivých variant, je v ideálním případě konečný, i když v praxi je tento jev spíše řídkou záležitostí. Z tohoto hlediska se rozlišují dva

základní druhy vícekriteriálního rozhodování. První způsob je takový, že seznam potenciálních variant řešení problému a rozhodovacích kritérií je zadán jako konečná množina. V tomto případě se dle [10] jedná o vícekriteriální diskrétní model rozhodování. Druhý způsob je zadání omezujících podmínek, které definují nekonečnou množinu potenciálních variant (možných řešení) ohodnocených pomocí jednotlivých kriteriálních funkcí. Tento případ je podle [10] nazýván jako vícekriteriální spojitý model rozhodování. V této diplomové práci bude použit model vícekriteriálního diskrétního modelování.

Metod vícekriteriálního diskrétního rozhodování, které slouží pro nalezení optimálního řešení, samozřejmě existuje několik. Jedná se dle [10] o metody preferenčního uspořádání variant (ordinální forma pořadí důležitosti kritérií) a o metody stanovení vah kritérií (kardinální forma důležitosti kritérií). V praxi se asi nejvíce užívají metody s přiřazováním vah jednotlivým kritériím, proto také přiřazování vah bude využito v této diplomové práci [11].

4.4.1 Vícekriteriální hodnocení variant

Tato metoda je podle [10] založena na skutečnosti, že seznam možných variant řešení $R=\{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ a vyhodnocovacích kritérií $K=\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ je zadán explicitně. Jedná se tedy o vícekriteriální diskrétní modelování. Principem metody je ohodnocení jednotlivých možných variant R množinou kritérií K . Cílem je nalezení varianty, která dosáhne nejlepšího ohodnocení podle jednotlivých rozhodovacích kritérií. Tato varianta poté bude označena za optimální. Jestliže jsou k dispozici všechny informace o kritériích a jednotlivých variantách, je možné tyto informace poskládat do takzvané kriteriální matice, ve které dochází k ohodnocení jednotlivých variant množinou kritérií [12].

Kriteriální matice M :

$$M = \begin{matrix} & k_1 & k_2 & & k_n \\ \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{m1} & m_{m2} & \dots & m_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Rozhodovací kritéria užívaná v této metodě však mohou mít různý charakter a tím pádem také mohou být v různých jednotkách či měřítkách. Je proto třeba dle [10] transformovat informace vstupující do rozhodovacího procesu na normovaný tvar, tak aby mohlo dojít k agregaci všech kritérií. Transformace kritérií se provede podle vztahů:

- Minimalizační kritérium (nákladového typu)

$$q_{\min} = [(\max_m m_{mn} - m_{mn}) / (\max_m m_{mn} - \min_m m_{mn})] \times 100 \quad (2)$$

- Maximalizační kritérium (výnosového typu)

$$q_{\max} = [(m_{mn} - \min_m m_{mn}) / (\max_m m_{mn} - \min_m m_{mn})] \times 100 \quad (3)$$

Jestliže jsou kritéria převedena do normovaného tvaru, je důležité nějakým způsobem vyjádřit preference rozhodovatele ve smyslu upřednostnění jedněch kritérií před dalšími. V předkládané práci se toto realizuje pomocí stanovení vah jednotlivých kritérií.

4.4.2 Modelování preferencí rozhodovacích kritérií pomocí vah

Váhy slouží k vyjádření skutečnosti, že jedno kritérium je preferováno před druhým. V praxi to znamená, že čím je kritérium pro výsledné rozhodnutí důležitější, tím větší má toto kritérium váhu a naopak. Hodnoty vah by měl stanovit rozhodovatel, avšak získat přímo jejich hodnoty může být velice obtížné. Proto existují metody, pomocí kterých lze konstruovat odhady vah kritérií na základě jednodušších základních informací od rozhodovatele. Mezi tyto metody patří dle [10]:

- metoda pořadí,
- bodovací metoda,
- metoda párového srovnání kritérií,
- Saatyho metoda.

V této práci bude využita metoda párového srovnání kritérií, protože není tak náročná na znalosti rozhodovatele o daném problému, jako tomu je u jiných metod. Tato metoda pro stanovení jednotlivých vah využívá vždy pouze porovnání dvou konkrétních kritérií. Rozhodovatel porovná každá dvě kritéria mezi sebou postupně, dokud nedojde k porovnání všech. Počet srovnání bude tedy roven výsledku vzorce (4) dle [10].

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (4)$$

$$v_i = \frac{p_i}{N} \quad (5)$$

Srovnání jednotlivých kritérií lze provádět v tabulce, nebo v tzv. Fullerově trojúhelníku. V této práci je využito srovnání kritérií v tabulce. Rozhodovatel rozhodne u každé dvojice kritérií, zda preferuje kritérium v řádku (zapíše se 1), nebo zda preferuje kritérium ve sloupci (zapíše se 0). Jakmile je ohodnocení dokončeno, stanoví se počet preferencí pro jednotlivá kritéria (viz Tab. 2). Počet preferencí je roven počtu jedniček v řádku kritéria navýšenému o počet nul ve sloupci příslušného kritéria. Přípustná je také situace, že některá kritéria dosáhnou stejného počtu preferencí, což znamená, že jsou stejně důležitá pro výsledek rozhodování. Nakonec se spočítají váhy jednotlivých kritérií na základě získaných preferencí z párového srovnání. Výpočet jednotlivých vah v_i je realizován podle [10] vzorcem (5).

Tab. 2: Párové srovnání rozhodovacích kritérií v tabulce

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	Preference (p_i)	Váhy (v_i)
K1	#	1	1	1	1	4	0,4
K2	#	#	0	0	1	1	0,1
K3	#	#	#	0	1	2	0,2
K4	#	#	#	#	1	3	0,3
K5	#	#	#	#	#	0	0,0

V předcházejících kapitolách byl položen teoretický základ předkládané diplomové práce. Nejprve byly shromážděny všechny informace a statistiky týkající se silniční a železniční přepravy. Dále byla popsána problematika nebezpečných látek a jejich přepravy v silniční a železniční dopravě. Nakonec byla charakterizována specifika rozhodovacího procesu, konkrétně úloha vícekritériálního rozhodování. V další části předkládané práce budou definovány rozhodovací kritéria vstupující do rozhodovací analýzy a dále bude popsána samotná vícekritériální rozhodovací analýza a její jednotlivé složky. Tato analýza poté bude aplikována na konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu.

5 Rozhodovací kritéria

Pro nalezení optimální trasy přepravy nebezpečného materiálu je důležité přesně stanovit rozhodovací kritéria, na základě kterých bude analýza volit optimální variantu transportu mezi plánovaným startem a cílem. Rozhodování o druhu přepravního prostředku a samotné trase přepravy musí probíhat paralelně, jelikož tyto dvě odvětví spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují. Rozhodovací kritéria jsou rozdělena do tří skupin dle jejich charakteru a to na přepravní, bezpečnostní a ekonomická. Pro účely této práce se omezíme na nejužívanější druhy přepravy v ČR, na silniční a železniční přepravu.

5.1 Přepravní rozhodovací kritéria

Přepravní rozhodovací kritéria reprezentují část analýzy zabývající se základními ukazateli o samotném transportu nebezpečného nákladu. Prvním přepravním kritériem je vhodnost určitého druhu přepravy pro jednotlivé nebezpečné látky. Každý dopravní prostředek má z pohledu rozměrů a množství přepravovaného nákladu své limity a proto je třeba tyto skutečnosti brát v úvahu. Tato vlastnost se odráží i v dalším kritériu, které se zabývá přímo počtem potřebných tažných zařízení (tahač, lokomotiva) nutných pro přepravu uvažovaného množství nákladu. Následuje kritérium vzdálenosti plánované přepravy mající dopad na přepravní náklady. Dalším přepravním kritériem je časová náročnost přepravy, která závisí na distanci startu a cíle transportu a také na zvoleném druhu dopravního prostředku. Posledním přepravním kritériem je počet kilometrů placených úseků pozemních komunikací na trase přepravy nebezpečného nákladu.

5.2 Bezpečnostní rozhodovací kritéria

Bezpečnostní rozhodovací kritéria reflektují část analýzy zaměřenou na samotnou bezpečnost přepravy nebezpečného nákladu. Hlavním bezpečnostním kritériem je pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr. Toto kritérium vyjadřuje pravděpodobnost, že dojde k nehodě s únikem nebezpečné látky na jednom kilometru při přepravě nebezpečného materiálu a vypočítá se dle vzorce (6) pro železniční přepravu a podle vzorce (7) pro přepravu silniční.

$$P_z [\text{vlkm}^{-1}] = N_z [\text{rok}^{-1}] / K_z [\text{vlkm} \times \text{rok}^{-1}] \quad (6)$$

$$P_s [\text{vozokm}^{-1}] = N_s [\text{rok}^{-1}] / K_s [\text{vozokm} \times \text{rok}^{-1}] \quad (7)$$

Dalším bezpečnostním kritériem je osídlení v oblastech, přes které potencionální transport nebezpečného nákladu povede. Je třeba se snažit o to, aby koridor přepravy nevedl přes hustě osídlené území z důvodu bezpečnosti. V případě havárie s únikem nebezpečné látky by mělo být ohroženo nejméně lidských životů.

Dále je také důležité zohlednit omezení silničního provozu vozidel při přepravě nebezpečných věcí vybranými územními celky i omezení přepravy v určitých dnech týdne či roku. Při přepravě nebezpečného nákladu je nutné se dle [7] vyhnout obchodním a obytným územím, průmyslovým zónám s rizikovými zařízeními nebo silnicím s vážnými fyzikálními riziky. Platí zde také omezení průjezdu tunely z důvodu nebezpečí výbuchu, požáru a úniku toxického plynu nebo těkavé toxické kapaliny. Tunely jsou dle [7] rozděleny do pěti kategorií (A až E), z nichž každá stanovuje omezení pro přepravu nebezpečných věcí, dle toho jak jsou nebezpečné látky rozděleny do jednotlivých tříd (viz kapitola 3.1.1). Například kategorie A neklade žádné omezení pro přepravu nebezpečných věcí, ale kategorie E již omezuje transport pro všechny nebezpečné věci jiné než UN 2919, 3291, 3331 a 3373. Z předpisu ADR [7] plyne, že každý stát patřící do této dohody má možnost si omezení týkající se zákazu přepravy v určitých dnech týdne či roku ustanovit sám podle vlastního uvážení. V případě České republiky to znamená omezení pro nákladní automobily o maximální hmotnosti převyšující 7500 kg a omezení pro nákladní automobily, jejichž hmotnost přesahuje 3500 kg s připojeným přípojným vozidlem. Toto omezení, plynoucí ze zákona č.361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích [13], platí pro:

- neděle a ostatní dny pracovního klidu v době od 13:00 do 22:00,
- soboty v období od 1.července do 31 srpna v době od 7:00 do 13:00,
- pátky v období od 1.července do 31 srpna v době od 17:00 do 21:00.

Nakonec je také důležité, aby přeprava nebezpečného nákladu byla bezpečná vůči životnímu prostředí. To znamená, pokud je to možné, vyhnout se trase vedoucí přes zvláště chráněná území přírody. V případě že dojde k havárii, by tato skutečnost měla fatální dopady na faunu a floru v těchto chráněných územích. Zvláště chráněné území definuje zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Mezi tato zvláště chráněná území patří dle [14]:

- národní park (NP),
- chráněné krajinné oblasti (CHKO),
- národní přírodní rezervace (NPR),

- přírodní rezervace (PR),
- národní přírodní památky (NPP),
- přírodní památky (PP).

5.3 Ekonomická rozhodovací kritéria

Ekonomická kritéria popisují samotnou přepravu nebezpečného nákladu z pohledu peněz. To znamená, že jsou zde kritéria spjatá se náklady na přepravu, ale také kritéria popisující výdaje související s případnou nehodou při přepravě nebezpečného nákladu.

Do nákladů na přepravu je nutné započítat výdaje spjaté s nakládkou a vykládkou přepravovaného materiálu, náklady na pohonné hmoty, platy zaměstnanců (řidič, strojvedoucí atd.) a také výlohy spojené s mýtem placeným na vybraných úsecích pozemních komunikací. Jestliže dojde k nehodě při přepravě nebezpečného nákladu, je třeba zohlednit ekonomické dopady této nehody na cenu přepravy. Principem je ocenění lehkých, těžkých a smrtelných zranění a samozřejmě také vzniklých hmotných škod. Je tedy třeba počítat s výdaji a to ze strany:

- nákladů na výjezd složek integrovaného záchranného systému,
- hmotných škod,
- ceny lidského života.

5.3.1 Náklady na výjezd složek IZS

Integrovaný záchranný systém je koordinovaný postup záchranných, likvidačních a ojediněle i obnovovacích (asanačních) prací při vzniku mimořádných událostí. Tento systém vznikl z důvodu každodenní spolupráce hasičů, zdravotníků, policie a dalších složek, které přispívají k řešení mimořádných událostí. Integrovaný záchranný systém koordinuje bezpečnostní i ozbrojené sbory a dále záchranné a pohotovostní služby. IZS se skládá z několika základních a ostatních složek.

Základní složky IZS dle [15] jsou:

- Hasičský záchranný sbor České republiky (HZS ČR),
- jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí okresu jednotkami požární ochrany,
- zdravotnická záchranná služba,
- Policie České republiky (PČR).

Ostatní složky IZS dle [15] jsou:

- vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil,
- ostatní záchranné sbory,
- orgány ochrany veřejného zdraví,
- havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby,
- zařízení civilní obrany,
- neziskové organizace a sdružení občanů.

Podle [16] má každý právo na ochranu zdraví, života a majetku. Na základě tohoto práva provádí základní a ostatní složky IZS záchranné práce ve prospěch každého bezúplatně. Náklady na tyto práce se hradí z rozpočtových prostředků jednotlivých složek IZS, nebo z prostředků veřejných zdrojů k tomu určených. Záchranná práce je činnost, kterou je při zásahu složek IZS nutné provést v místě nasazení v okamžiku, kdy je to možné s ohledem na ochranu zdraví a životů zasahujících osob. Záchranné práce mají přednost před zahájením likvidačních a obnovovacích (asanačních) prací [16].

Likvidační práce je činnost vedoucí k odstranění následků působících na osoby, zvířata a životní prostředí, které jsou zapříčiněny mimořádnou událostí. Náklady na tyto práce jsou hrazeny na základě toho, zda se jedná o havárii, či nikoliv. Havárie je mimořádná událost, která vznikne v souvislosti s provozem budov a technických zařízení (silniční a kolejové dopravní prostředky sloužící k výkonu podnikatelské činnosti), nakládáním s nebezpečnými odpady a nakládáním s nebezpečnými chemickými látkami a při jejich přepravě. V případě, že mimořádná událost není havárie, provádějí základní složky IZS likvidační práce bezúplatně a hradí je ze svých rozpočtových prostředků, či veřejných zdrojů. Jestliže se jedná o havárii, požadují složky IZS úhradu nákladů na tyto práce od původce havárie a to na základě objektivní odpovědnosti, kterou posuzují HZS ČR, PČR, inspekční orgány životního prostředí a další instituce [16].

Obnovovací (asanační) práce jsou dle [16] činnosti vedoucí k revitalizaci a obnově životního prostředí, společenského života a materiálních hodnot. IZS tyto práce neprovádí s výjimkou sjednaných prací za úhradu nákladů, nebo jestliže je to v rámci výcviku jednotlivých složek Integrovaného záchranného systému.

5.3.2 Hmotné škody

Náklady na hmotné škody způsobené případnou nehodou během transportu nebezpečné látky jsou velice důležitou položkou při kalkulaci celkových nákladů přepravy nebezpečného materiálu v silniční a železniční dopravě. Tyto náklady se skládají z pojistného plnění, administrativních výdajů a škod na zařízení infrastruktury.

5.3.2.1 Hmotné škody – silniční doprava

Hmotné škody na pozemních komunikacích vznikají u čtyř druhů dopravních nehod. Jedná se o nehodu jen s hmotnou škodou, s usmrcením člověka, s těžkým zraněním a o nehodu s lehkým zraněním. Tyto škody v silniční dopravě se skládají z pojistného plnění silničních vozidel, administrativních nákladů spojených s vyšetřování a zpracování dopravních nehod a ze škod vzniklých na zařízení infrastruktury.

První z položek jsou pojistná plnění silničních vozidel. Do pojištění vozidel při přepravě nebezpečného nákladu patří:

- pojištění odpovědnosti z provozu vozidla (povinné ručení),
- havarijní pojištění,
- pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku závažné havárie,
- připojištění (pojištění odpovědnosti za škodu silničního dopravce, pojištění přepravy zásilek apod.).

Samotné povinné ručení je ze zákona č. 168/1999 Sb. o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla [17] povinné a poskytuje pojistnou ochranu pojištěnému v případě škod, které jsou způsobené provozem vozidla. Dle [17] toto povinně smluvní pojištění zajišťuje ochranu před finančními dopady nároků poškozených účastníků nehody a vztahuje se na:

- újmy na zdraví nebo usmrcení (náklady na léčení),
- věcné škody,
- škody z ušlého zisku,
- náklady na právní zastoupení poškozeného.

Z těchto nákladů budou pro účely předkládané diplomové práce do hmotných škod plynoucích z pojištění odpovědnosti z provozu vozidla započítány pouze náklady

na právní zastoupení poškozeného a věcné škody. Zbylé položky, na které se vztahuje povinné ručení, budou započítány do ceny lidského života (viz kapitola 5.3.3).

Havarijní pojištění se vztahuje na případ poškození a odcizení vozidla. Na rozdíl od pojištění odpovědnosti z provozu vozidla zde neplatí povinnost tento druh pojištění vlastnit. Záleží na majiteli vozidla, zda se pro tento typ pojištění rozhodne.

Při přepravě nebezpečného nákladu je nutné sjednat pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku závažné havárie. Tento druh pojištění je přepravce povinný si sjednat na základě zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, který stanovuje systém prevence při přepravě nebezpečných látek. Pojištění chrání pro případ škody způsobené jinému ve vztahu se vzniklou havárií a to v případě zodpovědnosti za vzniklou škodu. Přepravce má také možnost si sjednat další doplňková připojištění, jako jsou pojištění odpovědnosti za škodu silničního dopravce a pojištění přepravy zásilek. Tyto druhy pojištění mají různý předmět a platnost pojištění podle individuální nabídky jednotlivých pojišťovacích ústavů.

Další položkou, kterou je nutno započítat do hmotných škod způsobených nehodu při přepravě nebezpečného nákladu, jsou administrativní náklady spojené se samotným vyšetřováním a zpracováním dopravní nehody. Tyto administrativní náklady lze rozdělit dle [18] do tří kategorií:

- Policie ČR (náklady na vyšetřování a zpracování dopravních nehod)
- soudy (náklady na soudní řízení)
- pojišťovny (administrativně správní náklady na likvidaci pojistných událostí)

Výdaje, které souvisejí s vyšetřováním a zpracováním dopravních nehod příslušníky nehodové služby dopravní policie a dalších specialistů, jsou dle [18] vyčísleny na základě střední spotřeby času na 1 nehodu. Opět se zde pracuje se čtyřmi základními druhy dopravních nehod. Jedná se o nehody pouze s hmotnou škodou, nehody s usmrcením, těžkým a lehkým zraněním. Do administrativních výdajů jsou tedy započítány náklady na platy policistů, na provoz automobilů, na soudní pitvu (nezbytná v 80 % případů u nehody s usmrcením v roce 2006), jejíž cena kolísá podle množství potřebných laboratorních testů (vyšetření) a také náklady na znalecké posudky, které jsou nezbytné pro šetření nehod.

K administrativním nákladům na soudní řízení dochází dle [18] průměrně ve 20 % z celkového počtu nehod s osobními škodami. Soudní řízení se v drtivé většině týká

nehod s následkem smrti či nehod s těžkým zraněním. Pro nehody s lehkým zraněním se s těmito náklady nepočítá, protože většina soudních řízení řeší trestné činy v dopravě, z nichž se 99 % týká trestného činu ublížení na zdraví, ke kterému u nehod s lehkým zraněním příliš nedochází. Do těchto nákladů na soudní řízení jsou dále zahrnuty výdaje na pracovníky soudu, soudní znalce a svědky, kterým vzniká nárok na náhradu ušlé čisté mzdy.

Poslední položkou administrativních nákladů jsou správní náklady pojišťovny na likvidaci pojistných událostí z dopravních nehod. Podle [18] v letech 2001 – 2004 tyto náklady činily zhruba 12 % z nastalých průměrných hmotných škod, které jsou reprezentovány výší pojistného plnění při nehodě, proto je možné zde vycházet z průměrné škody na jednu nehodu.

5.3.2.2 Hmotné škody – železniční doprava

Hmotné škody na železnici vznikají při mimořádných událostech. Jelikož nebyla dostupná data, která by vyčíslila tyto škody v souvislosti se třemi druhy mimořádných událostí (viz kapitola 2.2.1), bylo nutné tyto hmotné škody vztáhnout ke čtyřem druhům nehod hodnocených dle jejich důsledků, jako tomu je u silniční dopravy (viz kapitola 5.3.2.1). I v železniční dopravě se hmotné škody skládají z pojistného plnění jednotlivých souprav, administrativních nákladů na vyšetřování mimořádných událostí a nákladů vznikajících při poškození zařízení infrastruktury, k němuž ve většině mimořádných událostí dochází. Mezi základní typy pojištění v železniční dopravě patří:

- pojištění odpovědnosti za škodu drážního dopravce,
- pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku závažné havárie,
- připojištění (pojištění odpovědnosti za škodu držitele železničních nákladních vozů, pojištění přepravy zásilek apod.).

Pojištění odpovědnosti za škodu drážního dopravce je povinen sjednat dopravce ke dni zahájení drážní dopravy a zaplatit pojistné po celou dobu provozování drážní dopravy a to na základě zákona č. 266/1994 Sb. o drahách [5]. Toto pojištění kryje škody způsobené v souvislosti s přepravou osob, nákladu a zvířat. Dále je nutné také sjednat pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku závažné havárie, stejně jako tomu je u silniční přepravy. Tato povinnost opět plyne ze zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií a chrání pojištěného pro případ škody způsobené jinému subjektu ve vztahu se vzniklou havárií.

Samozřejmě je i u železniční dopravy možnost dalšího připojištění. V tomto případě se jedná o pojištění odpovědnosti za škodu držitele železničních nákladních vozů. Pojištění je určeno především majitelům železničních nákladních vozů, kteří vozy nějakým způsobem pronajímají. Další možností je pojištění přepravy zásilek. Stejně jako u silniční přepravy mají tyto druhy pojištění různý předmět a platnost pojištění.

Další položkou hmotných škod způsobených mimořádnou událostí při přepravě nebezpečného materiálu jsou administrativní náklady plynoucí z jejich vyšetřování a zpracování. Tyto náklady lze rozdělit na několik složek:

- Policie ČR (náklady na vyšetřování a zpracování mimořádné události),
- drážní inspekce (náklady na vyšetřování a zpracování mimořádné události),
- soudy (náklady na soudní řízení),
- pojišťovny (správní náklady na likvidaci pojistných událostí).

Náklady spojené s vyšetřováním mimořádných událostí ze strany Policie ČR lze vyčíslit podobným způsobem, jako tomu je u nehod na pozemních komunikacích (viz kapitola 5.3.2.1). K šetření MU přispívá také drážní inspekce (DI), která má za úkol objasnit příčiny a okolnosti mimořádných událostí. Výdaje spjaté s šetřením drážní inspekce lze vyčíslit stejným způsobem jako tomu je u vyšetřování ze strany Policie ČR. V případech, kdy dojde k soudnímu řízení při objasňování mimořádných událostí, je třeba do administrativních nákladů samozřejmě zahrnout výdaje na pracovníky soudu, soudní znalce a také svědky, jimž vzniká nárok na náhradu ušlého zisku. Do administrativních nákladů je nutné započítat nepochybně také náklady na likvidaci pojistných událostí ze strany pojišťoven.

5.3.3 Cena lidského života – zdravotní péče

Cena lidského života je posledním ekonomickým kritériem ovlivňujícím výběr optimální trasy přepravy. Podle některých vyjádření je cena lidského života nevyčíslitelná. Pro potřeby vypořádání se s následky různých nehod a neštěstí je ale potřeba nějakým způsobem stanovit hodnotu lidského života. Tuto hodnotu lze dále využívat pro potřeby jednotlivých analýz, které se zabývají například právě problematikou bezpečnosti silničního/železničního provozu. Možností jak vyčíslit cenu lidského života je několik. Pro účely této práce bude použit model, který počítá ztráty z jedné dopravní nehody.

Z tohoto pohledu jde o tři druhy dopravních nehod. Jedná se o nehodu s usmrcením člověka, nehodu s těžkým zraněním a o nehodu s lehkým zraněním. Každá nehoda s sebou nese různě těžké následky. Ztráty způsobené těmito nehodami lze dle [18] rozdělit na přímé náklady (náklady na zdravotní péči, vyplacení odškodnění od pojišťovny) a nepřímé náklady (ztráty na produkci, sociální výdaje). Tento model přímých a nepřímých nákladů řeší pouze akutní riziko spojené se samotnou nehodou a následnou ústavní léčbu, ale nezohledňuje důsledky působení nebezpečných látek na lidský organismus a s tím spojené výdaje na léčbu. Pro tyto případy zatím nejsou shromážděny relevantní informace, a proto nebudou v předkládané diplomové práci uvažovány.

Nový projekt Evropské unie s názvem REACH, by měl tyto informace shromažďovat tak, aby se daly následně využívat, leč je zatím ve fázi příprav a tedy nepoužitelný. REACH je dle [19] nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek. Tento projekt odstartoval v roce 2007 a během následujících jedenácti let je nutné všechny látky vyrobené v EU, nebo do ní dovážené, v tomto projektu zaregistrovat. Poté by tento projekt měl plnohodnotně fungovat. REACH má za cíl vylepšit ochranu lidského zdraví a životního prostředí před riziky chemických látek, podnítit vznik alternativních metod hodnocení nebezpečnosti chemických látek a zajistit volný pohyb chemických látek na trhu Evropské unie. Všechny tyto postupy by měla kontrolovat a řídit Evropská agentura pro chemické látky (ECHA).

5.3.3.1 Náklady na zdravotní péči

Do nákladů na zdravotní péči, které reprezentují výdaje spjaté se samotnou nehodou a následnou ústavní léčbou, lze podle [18] zahrnout náklady na rychlou zdravotnickou pomoc na místě nehody, na následný převoz do zdravotnického zařízení, ať už se jedná o převoz automobilem či leteckou záchrannou službou. Dále je nutné započítat i náklady na ústavní nemocniční péči. Zde se počítá s průměrnými náklady na jedno lůžko na jednotce intenzivní péče, anesteziologicko resuscitačním oddělení nebo na standardním oddělení za jeden den. Nakonec je třeba zohlednit také výdaje spojené s následnou ambulantní lékařskou péčí a rehabilitací. Zde se vychází z průměrné ceny za ambulanční léčení a z průměrné ceny rehabilitace na jeden týden.

5.3.3.2 Náklady na vyplacení odškodnění od pojišťovny

Odškodnění pojišťovna vyplácí na základě sjednané pojistky mezi pojišťovnou a plátcem pojistky. Druh pojistky si každý občan zvolí a hradí sám. Pojišťovna poté na základě takzvaných oceňovacích tabulek stanoví výši bolestného, které je následně uhrazeno plátcí pojistky, popřípadě příbuzenstvu pojištěného. Oceňovací tabulky si každá pojišťovna vytváří sama na základě vlastní firemní politiky.

5.3.3.3 Ztráty na produkci

Z ekonomického hlediska představují dle [18] ztráty na produkci v důsledku usmrcení či zranění osob (těžké, lehké) nejvyšší položky. Tyto ztráty představují peněžní sumu vyčísľující ztracenou produkci hrubého domácího produktu (HDP) jednoho člověka v důsledku smrti či zranění. Pro výpočet ztrát na produkci je nutné znát hodnotu HDP v běžných cenách, která je sestavená z cen sledovaného roku neočištěných od inflace. Dále je nutné zjistit střední stav počtu obyvatel v produktivním věku. U mužů je tento věk 15 - 62 let a u žen je 15 – 60 let. Střední stav reprezentuje hodnotu k 1. červenci, jenž je považován za střed kalendářního roku. Všechny tyto údaje poskytuje Český statistický úřad. Z těchto čísel je možné vypočítat HDP na jednoho obyvatele v produktivním věku za jeden rok. Nakonec je potřeba znát počet let, ve kterých zraněná či usmrcená osoba není schopna produkovat svůj podíl HDP.

5.3.3.4 Sociální výdaje

Při výpočtu těchto nákladů je třeba se řídit stávajícími platnými předpisy o nemocenském a důchodovém pojištění. Sociální výdaje se dle [18] počítají z dávek nemocenského pojištění, invalidních důchodů, sirotčích důchodů, vdovských a vdoveckých důchodů.

6 Stanovení hodnot kritérií a jejich aplikace

Jestliže byla vybrána rozhodovací kritéria pro vícekritériální rozhodovací proces, je možné přejít k samotné realizaci analýzy pro výběr optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu. Byl zvolen modelový příklad transportu nebezpečné látky pomocí silniční a železniční přepravy a to v několika různých množstvích nákladu. V tomto modelovém příkladu bylo navrženo několik možných variant přepravy nebezpečné látky, z nichž se pomocí vícekritériální analýzy vybere ta optimální.

Pro účely této práce byl tedy zvolen konkrétní příklad přepravy. Jedná se o přepravu pohonných hmot z hlavního města Prahy do Liberce. Množství přepravované nebezpečné látky bylo stanoveno v rozmezí 34 000 litrů až 374 000 litrů. Dále byly navrženy tři možné varianty přepravy – dvě trasy silniční přepravy (jedna trasa vede přes placené úseky pozemních komunikací, druhá nikoli), jedna trasa železniční přepravy:

- **varianta A:** silniční přeprava – (Praha – Mladá Boleslav – Turnov – Liberec)
- **varianta B:** silniční přeprava – (Praha – Neratovice – Mělník – Bělá pod Bezdězem – Liberec)
- **varianta C:** železniční přeprava – (Praha hlavní nádraží – Praha Vršovice – Praha Libeň – Nymburk hlavní nádraží – Liberec hlavní nádraží)

V následujících kapitolách bude popsáno stanovení hodnot jednotlivých rozhodovacích kritérií a popis toho, jak kritéria vstupují do rozhodovací analýzy, jak se vzájemně ovlivňují a jak se aplikují ve vícekritériální rozhodovací analýze.

6.1 Převážní rozhodovací kritéria – stanovení hodnot

Jak již bylo uvedeno výše (viz kapitola 5.1), přepravní kritéria popisují základní ukazatele o samotném transportu nebezpečného nákladu. Do skupiny přepravních kritérií patří kritéria vhodnosti určitého druhu přepravy a počtu tažných zařízení, která spolu úzce souvisí. Hodnoty těchto dvou kritérií jsou získány pomocí převodní tabulky, která vyjadřuje závislost těchto kritérií na přepravovaném množství nebezpečného nákladu (viz Tab. 3). Vhodnost určitého druhu přepravy je vyjádřena pomocí bodového hodnocení (0 - 10), kde optimum je maximální bodové ohodnocení. Počet tažných zařízení (tahač, lokomotiva) vyjadřuje přímo počet těchto zařízení nutných pro přepravu uvažovaného množství nebezpečného nákladu. Optimum tohoto kritéria je

dosažení co nejmenšího množství tažných zařízení, jelikož jejich počet přímo ovlivňuje ekonomická kritéria přepravy a bezpečnostní kritérium pravděpodobnosti nehody na jeden vlakový/vozový kilometr.

Tab. 3: Hodnoty přepravních kritérií vstupujících do analýzy – A

Množství [litr]	Vhodnost určitého druhu přepravy		Počet tažných zařízení	
	Silniční přeprava	Železniční přeprava	Silniční přeprava	Železniční přeprava
<= 34 000	10	0	1	1
<= 68 000	9	1	2	1
<= 102 000	8	2	3	1
<= 136 000	7	3	4	1
<= 170 000	6	4	5	1
<= 204 000	5	5	6	1
<= 238 000	4	6	7	1
<= 272 000	3	7	8	1
<= 306 000	2	8	9	1
<= 340 000	1	9	10	1
<= 374 000	0	10	11	1

Vzdálenost jako další přepravní kritérium udává distanci mezi Prahou a Libercem a liší se na základě zvolené trasy přepravy. Kritérium vzdálenosti přepravy má vliv na výši přepravních nákladů, konkrétně na pohonné hmoty. Dalším přepravním kritériem je časová náročnost přepravy vyjadřující počet hodin nutných pro přepravu nákladu. Toto kritérium také ovlivňuje přepravní náklady. V tomto případě se jedná o náklady na mzdy řidičů a strojvedoucích. Posledním kritériem je počet kilometrů placených úseků pozemních komunikací, které má vliv na výši mýtného při přepravě. Hodnoty těchto tří kritérií, které vstupují do analýzy udává Tab. 4.

Tab. 4: Hodnoty přepravních kritérií vstupujících do analýzy – B

Vstupující kritéria	měrná jednotka	optimum	varianta A	varianta B	varianta C
Vzdálenost	[km]	minimum	111	125	137
Časová náročnost	[h]	minimum	2,5	3,5	6,5
Počet kilometrů placených úseků	[km]	minimum	100	0	0

6.2 Bezpečnostní rozhodovací kritéria – stanovení hodnot

Bezpečnostní kritéria charakterizují část analýzy zaměřenou na bezpečnost přepravy nebezpečného nákladu. Zde se jedná zejména o pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr. Toto kritérium lze spočítat dle vzorce (6) a (7). Hodnoty vstupující do vzorců (6) a (7) byly získány ze statistik HZS ČR, DI, ČD a Centra dopravního výzkumu, v.v.i. [18].

$$\text{dle (6): } P_z[\text{vlkm}^{-1}] = N_z[\text{rok}^{-1}] / K_z[\text{vlkm} \times \text{rok}^{-1}] = 60 / 26,1 \times 10^6 = 2,60 \times 10^{-6}$$

$$\text{dle (7): } P_s[\text{vozokm}^{-1}] = N_s[\text{rok}^{-1}] / K_s[\text{vozokm}^{-1} \times \text{rok}^{-1}] = 5000 / 13 \times 10^9 = 3,85 \times 10^{-7}$$

Dalším bezpečnostním kritériem je osídlení. V tomto případě jde o to, vyčíslit hodnotu osídlení v oblastech, přes které vede uvažovaná trasa přepravy. Hodnocení se realizuje na bázi bodového odhadu (v uvažovaném případě 0 – 10) podle úvahy rozhodovatele, vycházející ze statistik Českého statistického úřadu. Následujícím kritériem bezpečnosti je počet omezení průjezdů vybranými územními celky a omezení přepravy ve vybraných dnech týdne či roku, které jsou definovány v kapitole 5.2. Hodnotu tohoto kritéria určuje přímo počet těchto omezení pro jednotlivé varianty přepravy. Posledním bezpečnostním kritériem je bezpečnost uvažované přepravy vůči životnímu prostředí, které se stanoví na základě počtu průjezdů zvláště chráněným územím u jednotlivých variant transportu. Hodnoty bezpečnostních kritérií, vstupující do vícekritériální analýzy, jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5: Hodnoty bezpečnostních kritérií vstupujících do analýzy

Vstupující kritéria	měrná jednotka	optimum	var. A	var. B	var. C
Pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr	[vlkm ⁻¹ ; vozokm ⁻¹]	minimum	3,85×10 ⁻⁷	3,85×10 ⁻⁷	2,60×10 ⁻⁶
Osídlení	[1]	minimum	5	6	4
Počet omezení průjezdů	[1]	minimum	4	3	0
Životní prostředí	[1]	minimum	2	2	1

6.3 Ekonomická rozhodovací kritéria – stanovení hodnot

Ekonomická kritéria vícekritériální analýzy jsou zaměřena na samotné náklady spjaté s přepravou. Tyto výdaje jsou rozděleny na přepravní náklady a na výdaje související s možnou nehodou při přepravě nebezpečného materiálu.

Do kategorie přepravních nákladů patří kritéria, která vyčíslují výlohy týkající se nakládky a vykládky materiálu. Tato kritéria lze vyčíslit dle vzorce (8).

$$NV[Kč] = (HM_{NV}[Kč \times h^{-1}] \times O_{NV}[1] \times H_{NV}[h]) + PH_{NV}[Kč] \quad (8)$$

Dalším kritériem, které je zahrnuto do výloh spojených s přepravou, jsou náklady na pohonné hmoty. Toto kritérium je ovlivněno vzdáleností startu a cíle přepravy, počtem tažných zařízení, spotřebou tažného zařízení a cenou paliva. Kritérium lze spočítat dle vzorce (9).

$$NPH[Kč] = SP[l \times km^{-1}] \times CPH[Kč \times l^{-1}] \times PTZ[1] \times VZ[km] \quad (9)$$

Následujícím ekonomickým kritériem jsou výdaje spojené s platy řidičů nákladních aut a strojvedoucích lokomotiv. Hodnoty tohoto kritéria jsou ovlivněné časovou náročností přepravy, počtem tažných zařízení potřebných pro přepravu nebezpečného nákladu a samozřejmě také výší hodinové mzdy (viz vzorec (10)).

$$M_p[Kč] = HM_M[Kč \times h^{-1}] \times H_M[h] \times PTZ[1] \quad (10)$$

Posledním kritériem patřícím do nákladů na přepravu je mýtné. Toto kritérium se týká jen silniční přepravy a to tras vedoucích přes placené úseky pozemních komunikací. Jak je uvedeno ve vzorci (11), mýtné je závislé na ceně mýta za kilometr, počtu zpoplatněných kilometrů příslušné trasy a na počtu tažných zařízení.

$$MY_p[Kč] = CMY[Kč \times km^{-1}] \times ZK[km] \times PTZ[1] \quad (11)$$

Následující kritéria charakterizují náklady spjaté s případnou nehodou při přepravě nebezpečného nákladu. Tento typ kritérií se, jak bylo uvedeno výše (viz kapitola 5.3), dělí na kritéria popisující výjezd složek IZS, hmotné škody způsobené nehodou a cenu lidského života.

Kritéria zabývající se náklady na výjezd složek IZS se dále dělí na záchranné, likvidační a asanační práce. Náklady na tyto práce jsou závislé na mnoha faktorech, jako jsou sazba za ujetý kilometr užitých vozidel, sazba za započatou hodinu práce užitých vozidel, osobní náklady na pracovníky IZS a náklady na spotřebovaný materiál při těchto pracích (sorbenty). Každé z těchto tří kritérií lze vyčíslit dle vzorce (12), který se dále dělí na vzorec (13) vyčíslující náklady na pohonné hmoty, vzorec (14) reflektující výdaje na práci jednotlivých vozidel/strojů a vzorec (15), který vyčísluje osobní náklady na pracovníky IZS. Hodnoty těchto kritérií bylo nutné dále upravit s ohledem na pravděpodobnost, že k případné nehodě opravdu dojde, což znamená vynásobit tyto hodnoty pravděpodobností nehody na jeden vlakový/vozový kilometr a počtem ujetých kilometrů při přepravě. Hodnoty vstupující do vzorců (13, 14, 15) byly získány ze statistik HZS ČR.

$$CIZS[Kč] = NPH_{IZS}[Kč] + MOTOH[Kč] + ON[Kč] + MAT[Kč] \quad (12)$$

$$NPH_{IZS}[Kč] = PVZKU[km] \times CKM[Kč \times km^{-1}] \quad (13)$$

$$MOTOH[Kč] = PDZ[h] \times CMOTOH[Kč \times h^{-1}] \quad (14)$$

$$ON[Kč] = PDZ[h] \times PPO[1] \times CON[Kč \times h^{-1}] \quad (15)$$

Další kritéria spojená s náklady na možnou nehodu při přepravě nebezpečného nákladu jsou kritéria zabývající se hmotnými škodami. Tato kritéria byla rozdělena na pojistné plnění jednotlivých nehod, administrativní náklady spojené s vyšetřováním nehod a na škody na zařízení infrastruktury (viz kapitola 5.3.2).

Z pohledu pojistného plnění se jedná v silniční dopravě o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla a havarijní pojištění. V železniční dopravě jde o pojištění odpovědnosti za škodu drážního dopravce. Pro oba typy dopravy navíc existuje při přepravě nebezpečného nákladu povinnost pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku závažné havárie. Náklady na odškodnění vyplývající z těchto druhů pojištění jsou stanoveny na základě statistických údajů Drážní inspekce a Policie ČR. Jedná se o průměrné hodnoty vypočítané z určitého počtu nehod. Škody vzniklé na zařízení infrastruktury v důsledku nehody při přepravě nebezpečného nákladu jsou ohodnoceny stejným způsobem jako náklady na pojistné plnění. Kritéria týkající se pojistného plnění a škod vzniklých na zařízení infrastruktury bylo nutné upravit s ohledem na pravděpodobnost výskytu uvažované nehody. To znamená vynásobit tato kritéria pravděpodobností nehody na jeden vlakový/vozový kilometr a počtem ujetých kilometrů při přepravě nákladu.

Administrativní výdaje jsou rozděleny na náklady spjaté s šetřením nehod ze strany Policie ČR, soudů, pojišťoven a Drážní inspekce v případě železniční přepravy. Potenciální nehody byly pro účely této práce dále rozděleny na čtyři typy na základě jejich případných následků (nehoda s usmrcením člověka, s těžkým zraněním, s lehkým zraněním a bez zranění pouze s hmotnou škodou). Kritéria pro Policii ČR, soudy a pojišťovny tedy obsahují vyčíslení nákladů pro jednotlivé typy možných nehod. Hodnoty těchto kritérií jsou stanoveny na základě statistik Centra dopravního výzkumu, v.v.i. [18]. Nejaktuálnější hodnoty zde byly uvedeny pro rok 2003, proto bylo nutné je upravit pro rok 2009 pomocí přepočtu na základě údajů o inflaci z předchozích let. Dále bylo samozřejmě nezbytné tato kritéria modifikovat s ohledem na pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr vynásobenou počtem ujetých kilometrů. Jelikož se zde ale uvažují čtyři různé druhy nehod, byla zde nutnost tato kritéria dále vynásobit pravděpodobností výskytu již konkrétního druhu nehody.

Pravděpodobnosti výskytu stanovených druhů nehod byly vypočítány pro všechny čtyři typy nehod (viz Tab. 6) dle vzorců (16, 17) pouze s jinými vstupními hodnotami, které byly získány ze statistik HZS ČR, DI a ČD.

$$P_{\check{Z}(U,T,L,B)}[1] = N_{\check{Z}}[rok^{-1}] / N_{\check{Z}(U,T,L,B)}[rok^{-1}] \quad (16)$$

$$P_{S(U,T,L,B)}[1] = N_S[rok^{-1}] / N_{S(U,T,L,B)}[rok^{-1}] \quad (17)$$

Tab. 6: Pravděpodobnosti výskytu konkrétních druhů nehod dle vzorce (16, 17)

	Železniční přeprava				Silniční přeprava			
	$P_{\check{Z}(U)}$	$P_{\check{Z}(T)}$	$P_{\check{Z}(L)}$	$P_{\check{Z}(B)}$	$P_{S(U)}$	$P_{S(T)}$	$P_{S(L)}$	$P_{S(B)}$
Pravděpodobnosti konkrétních druhů nehod	0,033	0,043	0,087	0,836	0,011	0,047	0,317	0,625

Náklady na šetření nehod ze strany drážní inspekce byly stanoveny pouze pro železniční dopravu. Hodnoty tohoto kritéria byly odhadnuty, jelikož Drážní inspekce těmito čísly nedisponuje. Toto kritérium bylo samozřejmě také nutné upravit s ohledem na pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr vynásobenou ujetými kilometry při přepravě. V případě drážní inspekce se nekalkuluje s více druhy nehod a proto nebyla nutná další úprava pomocí pravděpodobností výskytu konkrétních typů nehod. Příklad výpočtu administrativních nákladů ze strany Policie ČR pro množství přepravovaného nákladu 34 000 litrů pohonných hmot je zobrazen v Tab. 7.

Tab. 7: Příklad výpočtu administrativních nákladů ze strany Policie ČR

Policie ČR	měrná jednotka	var. A	var. B	var. C
Náklady na nehodu s usmrcením člověka	[Kč]	37 680	37 680	37 680
Náklady na nehodu s těžkým zraněním	[Kč]	4 606	4 606	4 606
Náklady na nehodu s lehkým zraněním	[Kč]	2 194	2 194	2 194
Náklady na nehodu bez následků na zdraví	[Kč]	1 174	1 174	1 174
Pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr	[vlkm ⁻¹ vozokm ⁻¹]	3,85×10 ⁻⁷	3,85×10 ⁻⁷	2,60×10 ⁻⁶
Délka trasy	[km]	111	125	137
Náklady na jednotlivé nehody způsobené pravděpodobnosti výskytu nehody na jeden vlakový/vozový kilometr a délce trasy				
Náklady na nehodu s usmrcením člověka	[Kč]	1,610	1,813	13,422
Náklady na nehodu s těžkým zraněním	[Kč]	0,197	0,222	1,641
Náklady na nehodu s lehkým zraněním	[Kč]	0,094	0,106	0,782
Náklady na nehodu bez následků na zdraví	[Kč]	0,050	0,056	0,042
Pravděpodobnost nehody se smrtelným zraněním	[1]	0,011	0,011	0,033
Pravděpodobnost nehody s těžkým zraněním	[1]	0,047	0,047	0,043
Pravděpodobnost nehody s lehkým zraněním	[1]	0,317	0,317	0,087
Pravděpodobnost nehody bez zranění	[1]	0,625	0,625	0,836
Náklady na jednotlivé nehody upravené o pravděpodobnosti výskytu jednotlivých typů nehod				
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	0,018	0,019	0,447
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	0,009	0,010	0,071
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	0,030	0,034	0,068
Nehoda bez následků na zdraví	[Kč]	0,031	0,035	0,035

Poslední skupinou kritérií, která se zabývá výdaji spojenými s možnou nehodou při přepravě nebezpečného nákladu, jsou kritéria vyjadřující cenu lidského života a výdaje na zdravotní péči. Tato skupina kritérií byla rozdělena do čtyř základních celků a to na náklady na zdravotní péči, náklady na vyplacení odškodnění od pojišťovny, ztráty na produkci a sociální výdaje (viz kapitola 5.3.3). Každý z těchto oddílů vyčísluje náklady dle jednotlivých typů nehod, stejně jako tomu bylo v případě administrativních nákladů. Opět se jedná o čtyři druhy nehod (viz kapitola 5.3.2.1). Hodnoty kritérií vyjadřující cenu lidského života byly získány ze statistik Centra dopravního výzkumu, v.v.i. [18]. Tyto hodnoty byly v příslušných statistikách vedeny pro rok 2003, proto bylo nutné je upravit pro rok 2009 pomocí přepočítání na základě údajů o inflaci z předchozích let. Výjimkou byla kritéria popisujících ztráty na produkci. Ta byla vypočítána podle textu v kapitole 5.3.3.3 dle vzorce (18).

$$ZNP[Kč] = (HDP[Kč] / SSP[1]) \times ZPV[1] \quad (18)$$

Vzorec (18) reprezentuje výpočet ztrát na produkci v důsledku smrtelné nehody. Jestliže však dojde jen k těžkému, nebo lehkému zranění, jedná se o procentuální podíl ze ztrát na produkci v důsledku smrtelného zranění. V případě těžkého zranění se dle [18] jedná o 15% podíl a v případě lehkého zranění jde o 0,8% podíl ze ztrát na produkci v důsledku smrtelné nehody.

Nakonec bylo třeba kritéria popisující cenu lidského života upravit s ohledem na pravděpodobnost nehody na jeden vlakový/vozový kilometr vynásobenou počtem ujetých kilometrů při přepravě a také s ohledem na pravděpodobnosti vzniku jednotlivých typů nehod, tak jak tomu je v případě administrativních nákladů vypočítaných v Tab. 7.

V této kapitole byly popsány způsoby stanovení hodnot ekonomických rozhodovacích kritérií. Ve zbytku kapitoly budou tato kritéria přesně vyčíslena na základě statistik Policie ČR, Drážní inspekce a Centra dopravního výzkumu, v.v.i., nebo dle výše uvedených vzorců.

V Tab. 8 jsou uvedeny hodnoty některých kritérií a proměnných, které vstupují do vzorců pro výpočet ekonomických kritérií. Tyto proměnné jsou statické, nebo dynamické. Statické hodnoty se s měnícím se množstvím přepravovaného nákladu a vzdáleností přepravy nemění, na rozdíl od dynamických. Uvedené hodnoty proměnných jsou vztaženy k množství nákladu 34 000 litrů pohonných hmot.

Tab. 8: Proměnné vstupující do vzorců pro výpočet ekonomických kritérií

Vstupující proměnná	měrná jednotka	Hodnoty		
		varianta A	varianta B	varianta C
$N_{\dot{z}}$	$[\text{rok}^{-1}]$	0	0	60
$K_{\dot{z}}$	$[\text{vlkm} \times \text{rok}^{-1}]$	0	0	26,1 mil.
N_S	$[\text{rok}^{-1}]$	5 000	5 000	0
K_S	$[\text{vozokm} \times \text{rok}^{-1}]$	13 000 mil.	13 000 mil.	0
HM_{NV}	$[\text{Kč} \times \text{h}^{-1}]$	200	200	200
O_{NV}	[1]	2	2	3
H_{NV}	[h]	4	4	4
PH_{NV}	[Kč]	100	100	300
SP	$[\text{l} \times \text{km}^{-1}]$	0,35	0,35	11
CPH	$[\text{Kč} \times \text{l}^{-1}]$	30	30	30
PTZ	[1]	1	1	1
VZ	[km]	111	125	137
HM_M	$[\text{Kč} \times \text{h}^{-1}]$	200	200	180
H_M	[h]	2,5	3,5	6,5
CMY	$[\text{Kč} \times \text{km}^{-1}]$	4,2	4,2	0
PVZKU	[km]	7,32	7,32	7,32
CKM	$[\text{Kč} \times \text{km}^{-1}]$	963	963	963
PDZ	[h]	3	3	3
CMOTOH	$[\text{Kč} \times \text{h}^{-1}]$	22 008	22 008	36 736
PPO	[1]	5,66	5,66	5,66
CON	$[\text{Kč} \times \text{h}^{-1}]$	280	280	280
HDP	[Kč]	3 626 mld.	3 626 mld.	3 626 mld.
SSP	[1]	7 006 tis.	7 006 tis.	7 006 tis.
ZPV	[1]	23	23	23

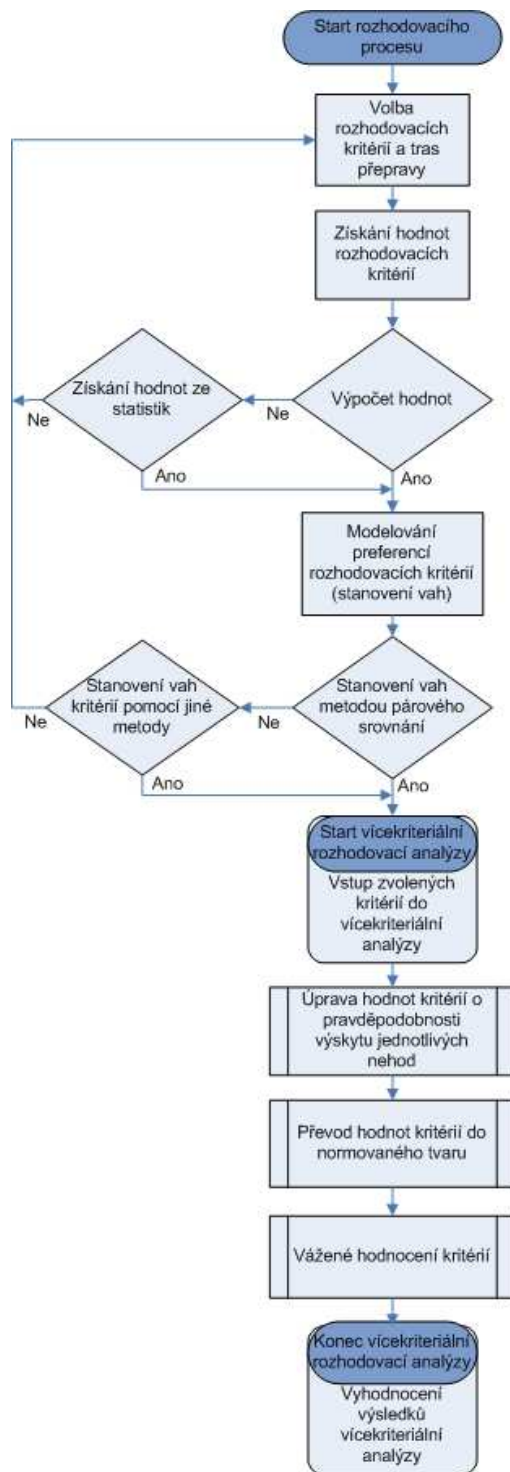
V Tab. 9 jsou uvedeny hodnoty všech ekonomických kritérií vstupujících do rozhodovací analýzy. Jejich hodnoty jsou buď přímo zvoleny na základě statistických dat, nebo vypočítány dle výše uvedených vzorců v této kapitole. Ekonomická kritéria mají opět charakter statický, nebo dynamický. Dynamická kritéria mění své hodnoty v závislosti na přepravovaném množství nákladu a délce trasy přepravy. Statická kritéria mají konstantní hodnoty při měnícím se množství přepravovaného nákladu a délce přepravy. Prezentované hodnoty kritérií jsou vztaženy k množství přepravovaného nákladu 34 000 litrů pohonných hmot.

Tab. 9: Hodnoty ekonomických kritérií vstupující do analýzy

Vstupující kritéria	měrná jednotka	Optimum	Hodnoty		
			var. A	var. B	var. C
Nakládka materiálu	[Kč]	minimum	1 700	1 700	2 700
Vykládka materiálu	[Kč]	minimum	1 700	1 700	2 700
Pohonné hmoty	[Kč×l ⁻¹]	minimum	30	30	30
Mzdy	[Kč×h ⁻¹]	minimum	200	200	180
Mýtné	[Kč×km ⁻¹]	minimum	4,2	4,2	0
Záchranné práce	[Kč]	minimum	37 000	37 000	37 000
Likvidační práce	[Kč]	minimum	77 827	77 827	122 011
Asanační práce	[Kč]	minimum	19 500	19 500	19 500
Pojištění odpovědnosti z provozu vozidla	[Kč]	minimum	120 000	120 000	0
Havarijní pojištění	[Kč]	minimum	75 000	75 000	0
Pojištění odpovědnosti za škodu drážního dopravce	[Kč]	minimum	0	0	3 850 000
Pojištění odpovědnosti za škodu vzniklou v důsledku havárie	[Kč]	minimum	66 579	66 579	157 655
Škody na zařízení infrastruktury	[Kč]	minimum	50 000	50 000	2 500 000
Policie ČR – administrativní náklady					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	37 680	37 680	37 680
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	4 606	4 606	4 606
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	2 194	2 194	2 194
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	1 174	1 174	1 174
Soudy – administrativní náklady					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	24 109	24 109	24 109
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	24 109	24 109	24 109
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	0	0	0
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	0	0	0
Pojišťovny – administrativní náklady					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	44 793	44 793	44 793
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	25 450	25 450	25 450
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	19 839	19 839	19 839
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	11 685	11 685	11 685
Drážní inspekce – administrativní náklady	[Kč]	minimum	0	0	20 000
Náklady na zdravotní péči					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	131 163	131 163	131 163
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	995 232	995 232	995 232
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	109 391	109 391	109 391
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	0	0	0
Náklady na odškodnění od pojišťovny					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	1 000 000	1 000 000	1 000 000
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	11 900	11 900	11 900
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	11 900	11 900	11 900
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	0	0	0
Ztráty na produkci					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	9 936 998	9 936 998	9 936 998
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	1 490 548	1 490 548	1 490 548
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	79 495	79 495	79 495
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	0	0	0
Sociální výdaje					
Nehoda s usmrcením člověka	[Kč]	minimum	1 016 368	1 016 368	1 016 368
Nehoda s těžkým zraněním	[Kč]	minimum	739 569	739 569	739 569
Nehoda s lehkým zraněním	[Kč]	minimum	27 577	27 577	27 577
Nehoda bez zranění	[Kč]	minimum	0	0	0

6.4 Aplikace vícekriteriální rozhodovací analýzy

Poté, co byly stanoveny (vypočteny) hodnoty všech rozhodovacích kritérií vstupujících do vícekriteriální analýzy, je možné provést celý rozhodovací proces. Tento proces se skládá z několika kroků, které jsou znázorněny na Obr. 6.

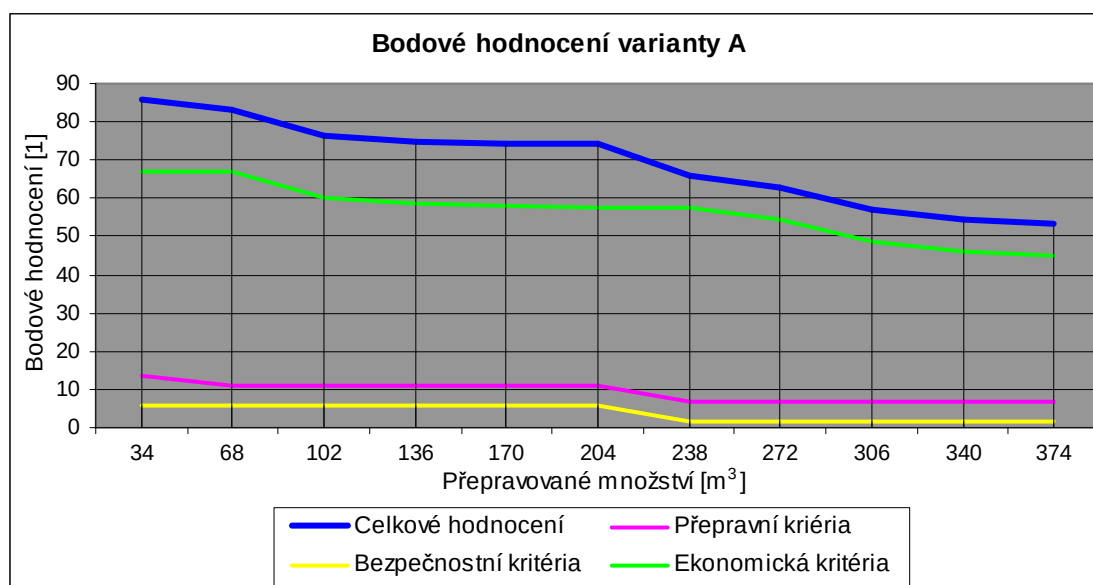


Obr. 6: Postup rozhodovacího procesu

Celý postup rozhodovacího procesu, včetně vícekriteriální rozhodovací analýzy rozhodující o optimální trase přepravy nebezpečného nákladu, je realizován v souboru Vícekriteriální rozhodovací analýza.xls (viz příloha A – Obsah CD).

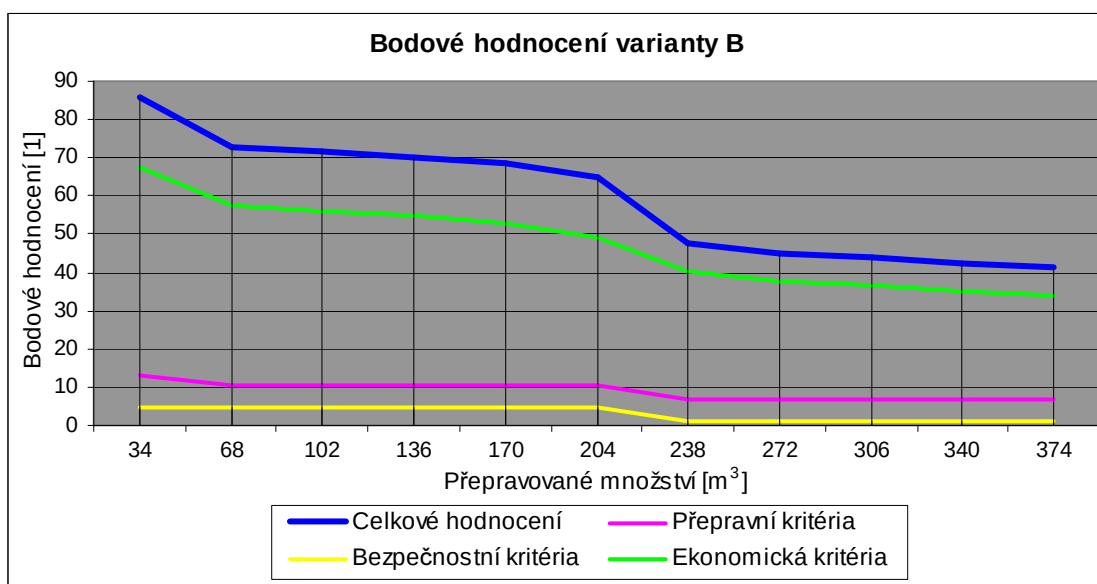
6.5 Výsledky vícekriteriální rozhodovací analýzy

Vícekriteriální rozhodovací analýza sloužila k nalezení optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu. Jednalo se o přepravu pohonných hmot ve stanoveném množství 34 000 až 374 000 litrů. Byly navrženy tři varianty transportu, mezi nimiž se volila optimální pro každé uvažované množství přepravovaného nákladu. Každá z variant byla ohodnocena ze tří hledisek přepravy – přepravní, bezpečnostní, ekonomické. Součet bodového hodnocení těchto aspektů přepravy reprezentuje celkové dosažené skóre navržených typů transportu. Následující grafy zobrazují bodové hodnocení jednotlivých variant přepravy, které byly obodovány na základě rozhodovacích kritérií v závislosti na množství přepravovaného nákladu.



Graf 2: Bodové hodnocení varianty A

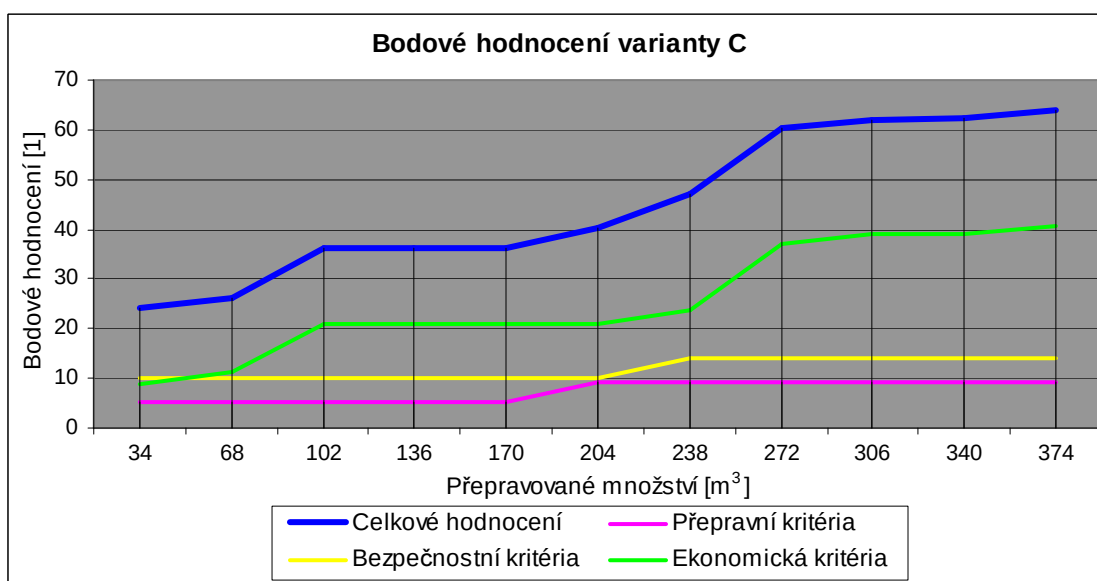
Graf 2 prezentuje bodové hodnocení varianty A, což je silniční přeprava vedoucí přes placené úseky pozemních komunikací. Z tohoto grafu se jasně ukazuje, že s rostoucím objemem přepravovaného materiálu klesá bodové hodnocení jak u jednotlivých druhů rozhodovacích kritérií, tak i celkové.



Graf 3: Bodové hodnocení varianty B

Bodové ohodnocení druhého typu silniční přepravy zobrazuje Graf 3. Jedná se o variantu B, jejíž trasa vede pouze přes neplacené úseky pozemních komunikací. Bodové hodnocení zde má stejnou tendenci jako u varianty A. Také dochází k poklesu se zvětšujícím se objemem přepravovaného nákladu.

Následující Graf 4 vykresluje bodové hodnocení třetí navržené varianty, tedy přepravy nebezpečného materiálu po železnici. V tomto případě má hodnocení opačný trend než u předchozích dvou typů transportu. S rostoucím objemem přepravovaného nákladu stoupá bodové ohodnocení jak jednotlivých druhů kritérií, tak i celkové.



Graf 4: Bodové hodnocení varianty C

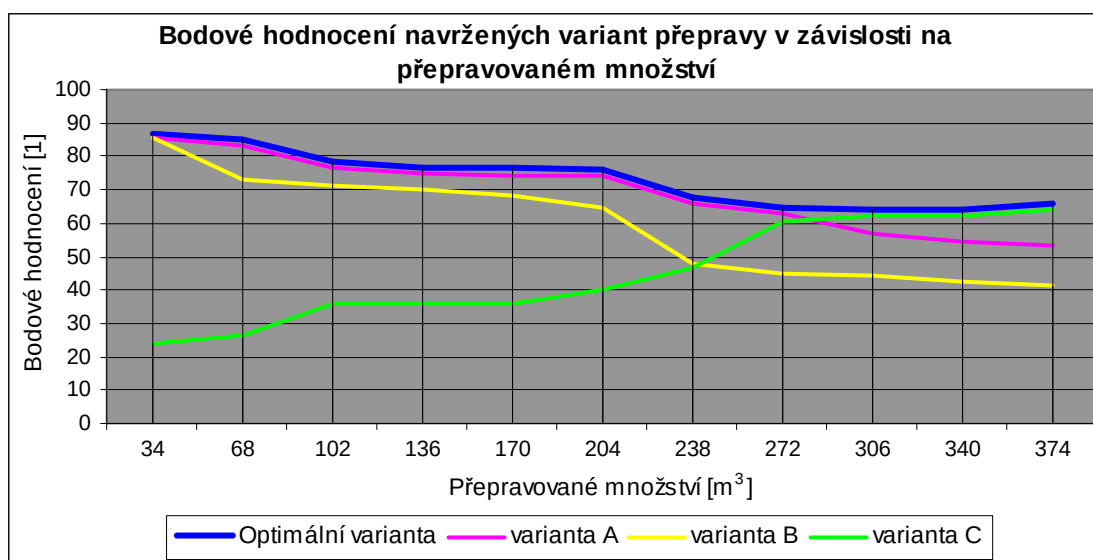
Jednotlivé varianty přepravy tedy byly ohodnoceny pro specifikované objemy nákladu na základě vícekritériální rozhodovací analýzy (viz Tab. 10). Optimální způsob přepravy je ten, u něhož je bodové ohodnocení ze tří nabízených možností nejvyšší pro určité množství nákladu.

Tab. 10: Bodové hodnocení navržených variant přepravy nebezpečného nákladu

Množství nákladu	Bodové hodnocení		
[litr]	varianta A	varianta B	varianta C
<= 34 000	85,854	85,615	24,163
<= 68 000	83,241	72,971	26,275
<= 102 000	76,465	71,482	36,163
<= 136 000	74,928	70,302	36,163
<= 170 000	74,383	68,411	36,163
<= 204 000	74,102	64,674	40,245
<= 238 000	65,931	47,615	46,973
<= 272 000	62,879	45,076	60,197
<= 306 000	57,051	44,189	62,122
<= 340 000	54,492	42,548	62,286
<= 374 000	53,231	41,514	63,994

Z uvedené Tab. 10 plyne, že optimální způsob přepravy bude pro měnící se množství přepravovaného nákladu proměnlivý. Z Grafu 5 se ukazuje, že pro transport menšího množství nebezpečného materiálu je výhodnější využití silniční přepravy, naopak pro větší přepravované objemy se ukazuje být nejlepší variantou využití železnice. Od nejmenšího uvažovaného nákladu (34 000 litrů) je nejvýhodnějším způsobem přepravy varianta A (placené úseky pozemních komunikací), jejíž ohodnocení kopíruje v nižší bodové hladině další typ silniční přepravy – varianta B (neplacené úseky pozemních komunikací). Způsob silniční přepravy využívající placené úseky se ukazuje být optimální až do množství převáženého nákladu 272 000 litrů, za nímž se nachází takzvaný bod zlomu. Od tohoto bodu až do maximálního uvažovaného objemu nákladu (374 000 litrů) je nejlépe ohodnocenou možností varianta C, tedy železniční přeprava.

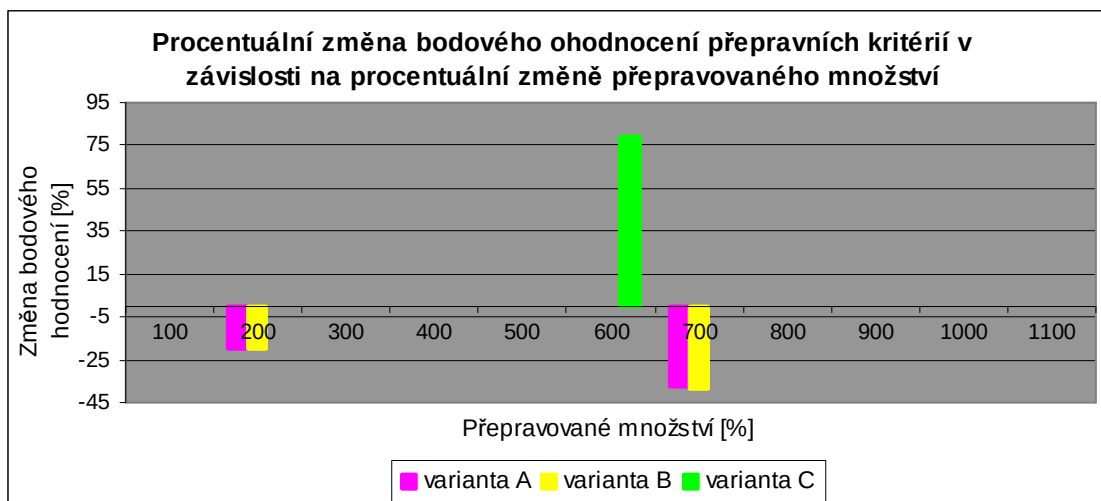
Optimální varianta, reprezentující nejvýhodnější dopravní prostředek a nejlepší trasu přepravy nebezpečného nákladu, kopíruje maximální hodnoty dosaženého bodového hodnocení ze tří navržených druhů přepravy pro jednotlivá množství nákladu (viz Graf 5).



Graf 5: Bodové hodnocení navržených variant přepravy

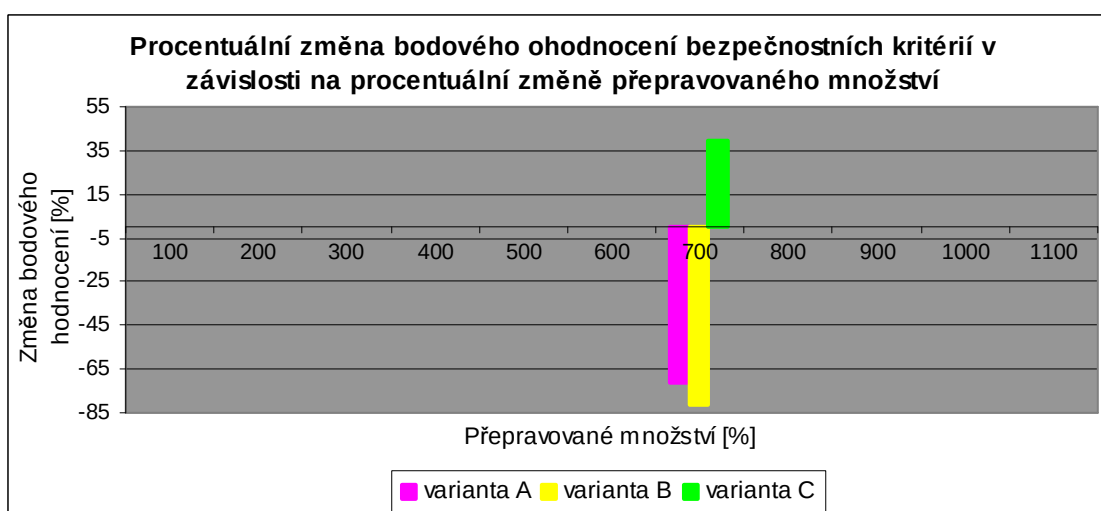
Největší vliv na bodové výsledky rozhodovací analýzy pro jednotlivá množství nákladu mají ekonomická kritéria, jejichž hodnoty jsou však přímo ovlivněny přepravními a bezpečnostními kritérii. Značný vliv na výsledky analýzy má také modelování preferencí rozhodovacích kritérií pomocí vah. Toto modelování je provedeno metodou párového srovnání na základě posouzení rozhodovatele o důležitosti kritérií pro bezpečnost a ekonomiku samotné přepravy. Z tohoto pohledu jsou výsledky analýzy nejvíce citlivé na kritéria s nejvyšším preferenčním ohodnocením. V případě předkládané analýzy se jedná o kritéria přepravní, bezpečnostní a vybraná kritéria z ekonomické oblasti (ztráty na produkci, sociální výdaje apod.), která dosahují fatálních hodnot výše nákladů při případné nehodě během přepravy. Řazení rozhodovacích kritérií dle jejich preferencí je realizováno v souboru Vícekritériální rozhodovací analýza.xls (viz příloha A – Obsah CD).

Procentuální změny bodové hodnocení variant přepravy v závislosti na jednotce změny množství transportovaného nákladu v oblasti přepravních kritérií jsou zobrazeny v Grafu 6, kde 100 % přepravovaného množství reprezentuje 34 000 litrů objemu transportované látky. Z tohoto grafu se jasně ukazuje, že pro dva zvolené typy silniční přepravy dochází k poklesu bodování ve dvou případech změny objemu přepravovaného nákladu, na rozdíl od varianty železničního transportu, kde dochází k velkému navýšení bodového ohodnocení při změně množství z 500 % na 600 % základního objemu nákladu.



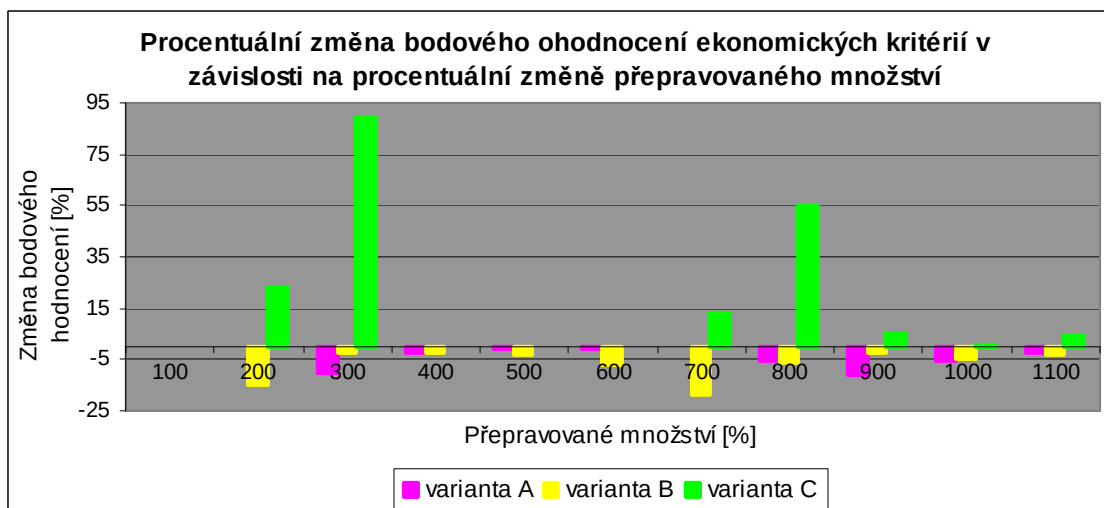
Graf 6: Procentuální změna bodového hodnocení přepravních kritérií

Následující Graf 7 zobrazuje procentuální změny bodového hodnocení bezpečnostních kritérií zvolených variant přepravy v závislosti na jednotlivých změnách objemu transportovaného nákladu. Procentuální množství přepravovaného nákladu odpovídá stejnému objemu jako v předcházejícím grafu (100 % = 34 000 litrů). Největší vliv na změny bodového hodnocení má kritérium pravděpodobnosti nehody na jeden vlakový/vozový kilometr. Hodnoty tohoto kritéria, které je vztažené k jednomu ujetému kilometru, rostou na základě zvyšujícího se počtu najetých kilometrů při přepravě, což je způsobeno změnou počtu tažných zařízení. Tento fakt má vliv na pokles ohodnocení bezpečnostních kritérií u dvou typů silniční přepravy, kde dochází k nárůstu počtu tažných zařízení vlivem zvyšujícího se množství přepravovaného nákladu, oproti variantě využívající železnici, kde je počet tažných zařízení pro navržené objemy přepravy neměnný.



Graf 7: Procentuální změna bodového hodnocení bezpečnostních kritérií

Graf 8 reprezentuje procentuální změny bodového hodnocení ekonomických kritérií jednotlivých variant přepravy v důsledku změny množství přepravovaného nákladu. Na hodnocení v této oblasti přepravy mají největší vliv kritéria, která dosahují nejvyšších hodnot nákladů při případné nehodě během přepravy, což jsou kritéria z oblasti ceny lidského života.



Graf 8: Procentuální změna bodového hodnocení ekonomických kritérií

Z výše uvedených grafů jednoznačně vyplývá, že s rostoucím množstvím přepravovaného nebezpečného nákladu klesá bodové hodnocení dvou typů silniční přepravy, naopak roste skóre přepravy železniční. Tento jev je způsoben hlavně změnou počtu tažných zařízení potřebných pro transport příslušného množství nebezpečného materiálu, což má dopad na další kritéria z oblasti ekonomiky a bezpečnosti přepravy. Dále z těchto grafů plyne, že nejvíce výsledky analýzy ovlivňují ekonomická kritéria, jejichž bodové ohodnocení plynule mění svojí hodnotu v závislosti na přepravovaném množství.

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na nalezení optimální trasy přepravy nebezpečného nákladu. K tomuto účelu bylo nutné najít správný nástroj pro volbu optimální trasy z několika možných variant přepravy. Jako prostředek pro tuto volbu byla vybrána metoda vícekriteriálního hodnocení variant (vícekriteriální rozhodovací analýza). Tato metoda umožňuje klasifikaci navržených variant přepravy na základě hodnotících ukazatelů (rozhodovacích kritérií). Model vícekriteriální rozhodovací analýzy, prezentovaný v této práci, je sestaven v programu Microsoft Office Excel. Na tento model je aplikován konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu s cílem volby optimální trasy transportu.

První část práce je zaměřena na teoretické základy, které jsou nezbytné pro realizaci zadaných cílů. Nejprve byla sesbírána a zpracována data o silničním a železničním provozu, pomocí kterých se měla uvažovaná přeprava nebezpečného nákladu realizovat. Dále je zde popsána problematika nebezpečných látek a zákonitostí jejich přepravy na pozemních komunikacích a železnici. Na závěr teoretické části jsou charakterizovány principy rozhodovacího procesu, konkrétně problematika vícekriteriálního hodnocení variant.

V další části práce je popsáno samotné sestavení a použití modelu vícekriteriální rozhodovací analýzy. Nachází se zde charakteristika vstupujících rozhodovacích kritérií, popis jednotlivých kroků rozhodovacího procesu a zhodnocení výsledků analýzy aplikované na konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu.

Výsledky aplikace rozhodovací analýzy jsou závislé na několika faktorech. Záleží zde na volbě jednotlivých rozhodovacích kritérií, na jejich preferenčním ohodnocení, na výběru možných tras přepravy a na smýšlení rozhodovatele (autor práce), který sestavuje některé tyto aspekty analýzy. Z tohoto pohledu jsou tedy výsledky analýzy závislé na jejím nastavení. Vícekriteriální analýza, tak jak byla zkonstruována v této práci, je schopna jednoznačně a zodpovědně rozhodnout o volbě optimální trasy přepravy pro libovolný příklad transportu nebezpečného nákladu.

V předkládané práci se podařilo splnit všechny zadané cíle diplomové práce. Byla tedy sestavena rozhodovací analýza a následně byla aplikována na konkrétní příklad přepravy nebezpečného nákladu. Na základě výsledků analýzy byla vybrána optimální trasa a dopravní prostředek, který přepravu realizuje.

8 Seznam použité literatury

- [1] Ministerstvo dopravy ČR. Pozemní komunikace [online]. 2006.
URL:<<http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/07A1C4A0-4563-40EC-B576-8C8414104135/0/z%C3%A1kon131997opozemn%C3%ADchkomunikac%C3%A1Dchvezn%C4%9Bn%C3%AD3472009.doc>>
- [2] Policie ČR. Statistika nehodovosti – Policie České republiky [online]. 2010.
URL:<<http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-178464.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>>
- [3] Ředitelství silnic a dálnic ČR – Silnice a dálnice v české republice 2009 [online]. 2009.
URL:<[http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/AE55C3DAD269424BC12575CB0050A3A7/\\$file/RSD2009cz.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/AE55C3DAD269424BC12575CB0050A3A7/$file/RSD2009cz.pdf)>
- [4] Správa železniční dopravní cesty. Hlavní strana [online]. 2009.
URL:<<http://www.szdc.cz/index.html>>
- [5] Ministerstvo dopravy ČR. Drážní doprava [online]. 2009.
URL:<http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/C4C324B9-A8D2-4A49-963D-79E74A06E75E/0/26694k_3_12_2009_uplzneni.pdf>
- [6] Drážní inspekce. Výroční zprávy – Drážní inspekce [online]. 2006.
URL:<http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/DI_VZ_2009.pdf>
- [7] Ministerstvo dopravy ČR. Přeprava nebezpečných věcí (ADR) [online]. 2009.
URL:<http://www.mdcr.cz/cs/Silnicni_doprava/Nakladni_doprava/adr/ADR+2009+-+ke+sta%C5%BEen%C3%AD/ADR+2009.htm>
- [8] Ministerstvo dopravy ČR. Přeprava nebezpečných věcí (RID) [online]. 2009.
URL:<<http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/18209D67-D19D-40E3-AD8C-C853826AB991/0/RID2009o.pdf>>

- [9] J. Fotr, J. Dědina, H. Hrůzová. Manažerské rozhodování. 2. upravené a rozšířené vydání. Ekopress, 2000. 231 stran. ISBN 80-86119-20-3
- [10] P. Fiala. Modely a metody rozhodování. 1. vydání. Vysoká škola ekonomická v Praze - Oeconomica, 2006. 292 stran. ISBN 80-245-0622-X
- [11] P. Vincke. Multicriteria Decision-Aid. New York, J. Wiley, 1992. 154 stran. ISBN 9780471931843
- [12] C.A. Bana e Costa. Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Springer, 1990. 660 stran. ISBN 978-0387529509
- [13] Ministerstvo dopravy ČR. Silniční doprava [online]. 2006.
URL:<<http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/C33E38FC-A12A-46B8-9E89-841136D385FE/0/MicrosoftWord361.pdf>>
- [14] Ministerstvo životního prostředí ČR. Oficiální webové stránky Ministerstva životního prostředí ČR [online]. 2008.
URL:<[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priroda_krajina/\\$FILE/OOP-zakon_114-1992.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priroda_krajina/$FILE/OOP-zakon_114-1992.pdf)>
- [15] Ministerstvo vnitra ČR. Zákony – Vyhledávání – Portál veřejné správy České republiky [online]. 2010.
URL:<http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701/.cmd/ad/.c/313/.ce/10821/.p/8411/_s.155/701?PC_8411_number1=239/2000&PC_8411_l=239/2000&PC_8411_ps=10#10821>
- [16] Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje. Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje [online]. 2003.
URL:<http://www.firebrno.cz/uploads/dokumenty_.PDF_info_pro_obcany/Zachr_likvid_obnov_prace_cleneni.pdf>

- [17] Ministerstvo dopravy ČR. Silniční doprava [online]. 2009.
URL:<<http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/C6EAE360-AF66-4984-B4B3-43B71E2ECFB3/0/z%C3%A1kon1681999Sbvezn%C4%9Bn%C3%AD1372008Sb.rtf>>
- [18] Centrum dopravního výzkumu. Politika bezpečnosti dopravy, ekonomické následky | Observař bezpečnosti silničního provozu [online]. 2008.
URL:<<http://www.czrso.cz/index.php?id=1>>
- [19] ECHA – Evropská agentura pro chemické látky. REACH Navigátor – Úvodní stránka [online]. 2007.
URL:<http://guidance.echa.europa.eu/about_reach_cs.htm>

Příloha A – Obsah CD

Adresář DP – Vlastní text diplomové práce ve formátu *.doc a *.pdf

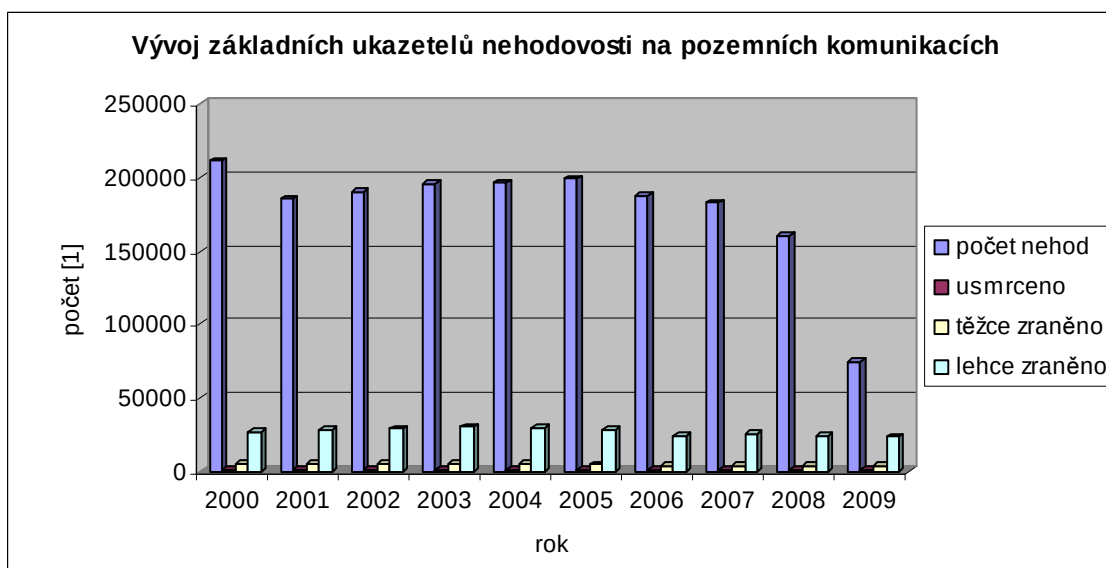
Adresář Analýza – Vícekriteriální rozhodovací analýza ve formátu *.xls

Příloha B – Přehled statistik o provozu na pozemních komunikacích

Z níže uvedených grafů a tabulek je možno udělat si ucelený obraz o nehodovosti a intenzitě dopravy na pozemních komunikacích v České republice. Statistiky týkající se této problematiky jsou děleny dle hledisek uvedených v kapitole 2.1.1. Zdrojem dat o nehodovosti, jsou policejní statistiky [2], které každoročně vydává Policie ČR. Data popisující intenzitu dopravy a dopravní výkon na pozemních komunikacích byla získána ze statistik Ředitelství silnic a dálnic ČR [3].

Tab. B.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti na pozemních komunikacích

Rok	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet těžce zraněných [1]	Počet lehce zraněných [1]
2000	211 516	1 336	5 525	27 063
2001	185 684	1 219	5 493	28 297
2002	190 718	1 314	5 492	29 013
2003	195 851	1 319	5 253	30 312
2004	196 484	1 215	4 878	29 543
2005	199 262	1 127	4 396	27 974
2006	187 965	956	3 990	24 231
2007	182 736	1 123	3 960	25 382
2008	160 376	992	3 809	24 776
2009	74 815	832	3 536	23 777



Graf B.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti na pozemních komunikacích

Tab. B.2: Nehodovost na pozemních komunikacích dle místa výskytu roku 2009

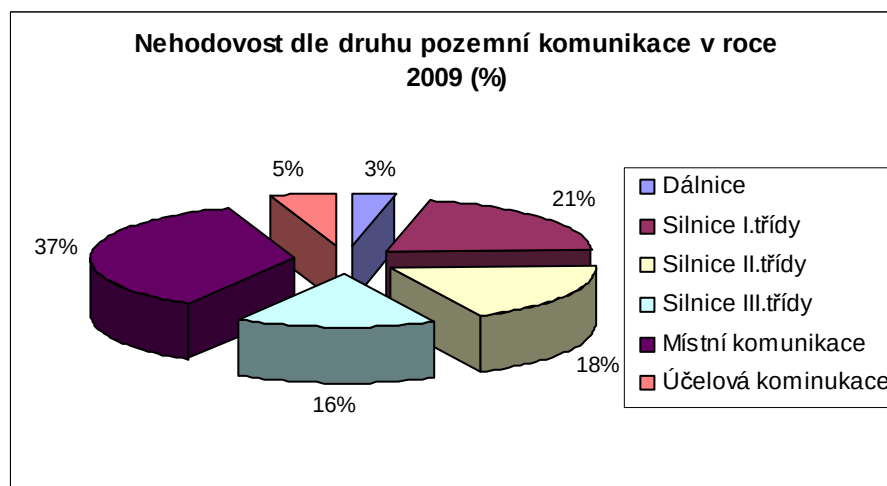
Místo nehody	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet těžce zraněných [1]	Počet lehce zraněných [1]	Hmotná škoda [mil. Kč]
V obci	52 421	295	1 854	13 452	2 770,6
Mimo obec	22 394	537	1 682	10 325	2 210,5
Celkem	74 815	832	3 536	23 777	4 981,1



Graf B.2: Nehodovost na pozemních komunikacích dle místa výskytu v roce 2009

Tab. B.3: Nehodovost dle druhu pozemní komunikace roku 2009

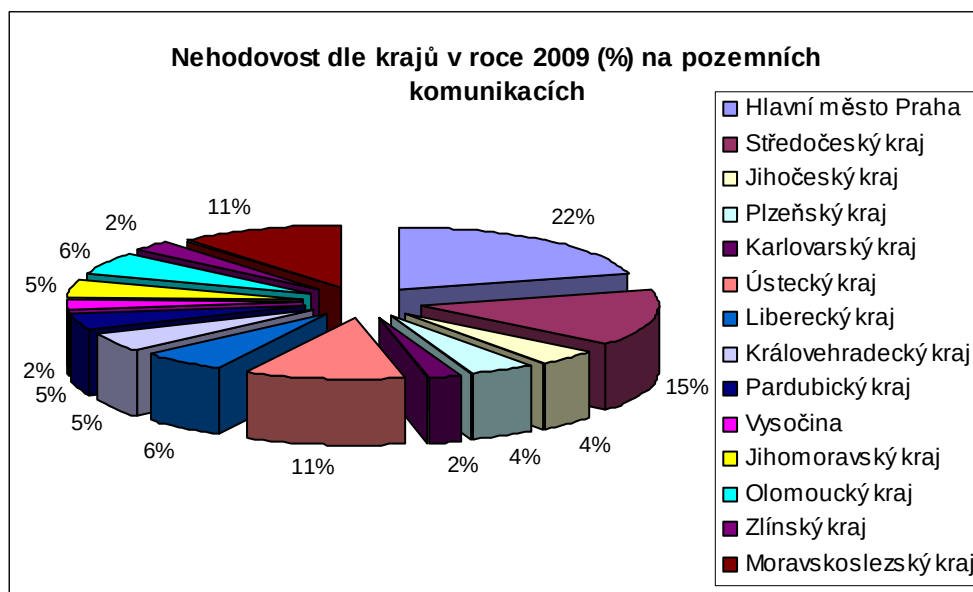
Druh komunikace	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet nehod na jednu usmrcenou osobu [1]
Dálnice	2 008	24	83,6
Silnice I. třídy	13 120	325	40,4
Silnice II. třídy	11 449	199	57,5
Silnice III. třídy	9 884	150	65,9
Místní komunikace	22 497	59	381,3
Účelová komunikace	3 211	13	247,0



Graf B.3: Nehodovost dle druhu pozemní komunikace v roce 2009

Tab. B.4: Nehodovost dle krajů roku 2009 na pozemních komunikacích

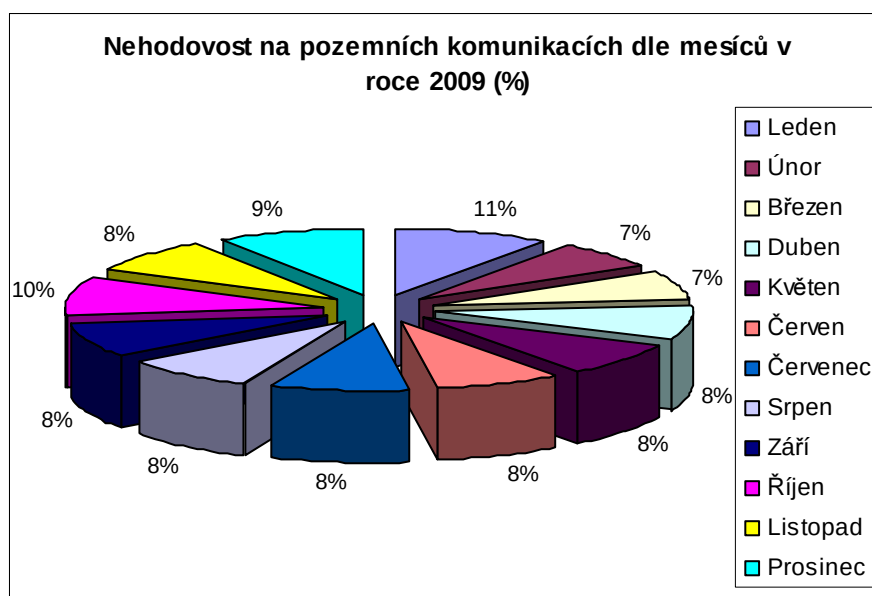
Kraj	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet nehod na jednu usmrcenou osobu [1]
Hlavní město Praha	25 583	40	639,6
Středočeský kraj	11 183	124	90,2
Jihočeský kraj	3 206	74	43,3
Plzeňský kraj	3 217	61	52,7
Karlovarský kraj	1 772	34	52,1
Ústecký kraj	8 033	72	111,6
Liberecký kraj	4 366	25	174,6
Královehradecký kraj	3 692	53	69,7
Pardubický kraj	3 501	47	74,5
Vysočina	1 843	34	54,2
Jihomoravský kraj	3 642	81	45,0
Olomoucký kraj	4 407	51	86,4
Zlínský kraj	1 798	43	41,8
Moravskoslezský kraj	8 572	93	92,2



Graf B.4: Nehodovost dle krajů v roce 2009 na pozemních komunikacích

Tab. B.5: Nehodovost na pozemních komunikacích dle měsíců roku 2009

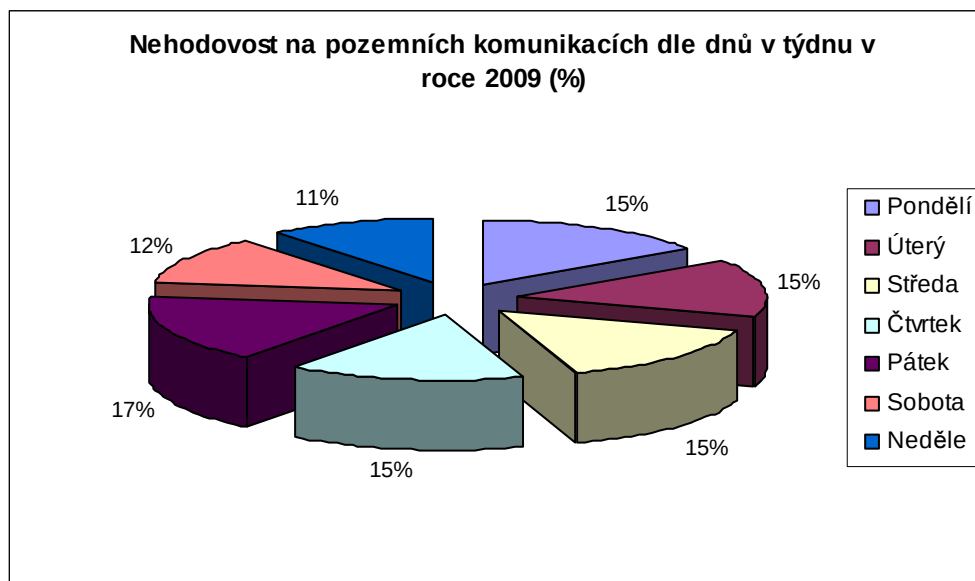
Měsíc	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet nehod na jednu usmrcenou osobu [1]
Leden	7 296	78	93,5
Únor	5 253	52	101,0
Březen	5 177	46	112,5
Duben	5 870	61	96,2
Květen	6 130	64	95,8
Červen	6 080	79	77,0
Červenec	6 338	75	84,5
Srpen	6 251	75	83,4
Září	6 169	72	85,7
Říjen	7 076	97	73,0
Listopad	6 321	65	97,3
Prosinec	6 854	68	100,8



Graf B.5: Nehodovost na pozemních komunikacích dle měsíců v roce 2009

Tab. B.6: Nehodovost na pozemních komunikacích dle dnů v týdnu roku 2009

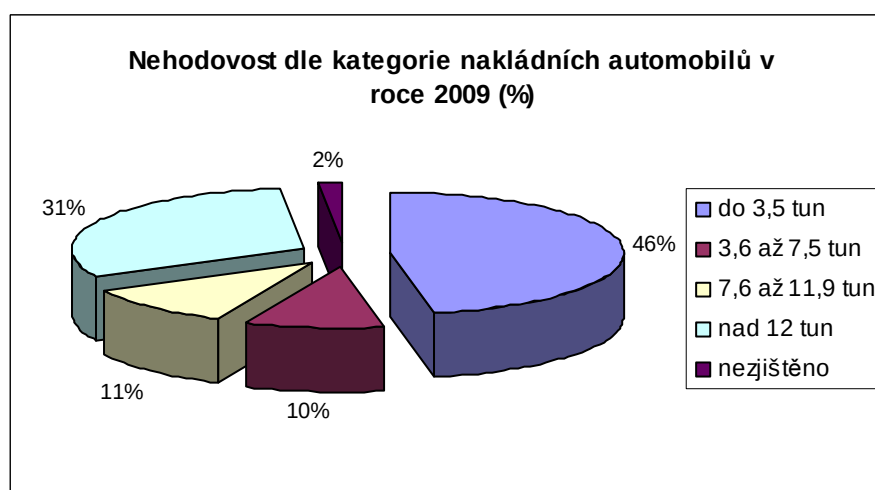
Den	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet nehod na jednu usmrcenou osobu [1]
Pondělí	11 532	109	105,8
Úterý	10 930	107	102,1
Středa	11 147	101	110,4
Čtvrtek	11 422	114	100,2
Pátek	12 446	126	98,8
Sobota	9 313	158	59,0
Neděle	8 025	117	68,6



Graf B.6: Nehodovost na pozemních komunikacích dle dnů v týdnu v roce 2009

Tab. B.7: Nehodovost dle kategorie nákladních automobilů roku 2009

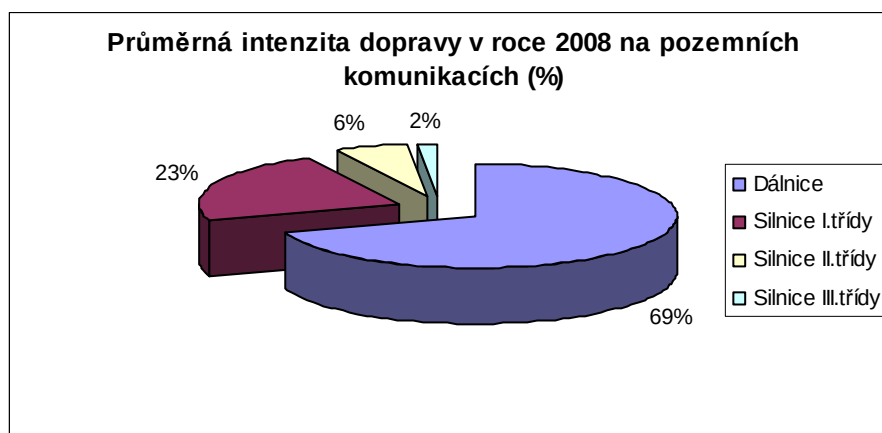
Nákladní automobily	Počet nehod [1]	Počet usmrcených [1]	Počet nehod na jednu usmrcenou osobu [1]
do 3,5 tun	4 603	53	86,9
3,6 až 7,5 tun	952	7	136,0
7,6 až 11,9 tun	1 040	14	74,3
nad 12 tun	3 022	30	100,7
Nezjištěno	166	4	41,5
Celkem	9 783	108	90,6
Z toho nad 3,5 tuny	5 014	51	98,3



Graf B.7: Nehodovost dle kategorie nákladních automobilů v roce 2009

Tab. B.8: Průměrná intenzita dopravy roku 2008 na pozemních komunikacích

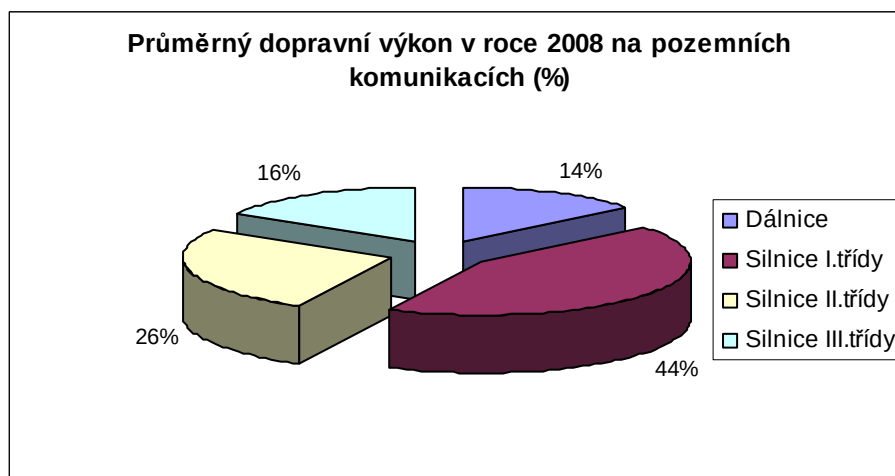
Typ pozemní komunikace	Intenzita [voz/24h]
Dálnice	32 415
Silnice I. třídy	10 502
Silnice II. třídy	2 724
Silnice III. třídy	732



Graf B.8: Průměrná intenzita dopravy v roce 2008 na pozemních komunikacích

Tab. B.9: Průměrný dopravní výkon roku 2008 na pozemních komunikacích

Typ pozemní komunikace	Dopravní výkon[1000 vozokm/24h]
Dálnice	21 596
Silnice I. třídy	65 213
Silnice II. třídy	39 982
Silnice III. třídy	25 022

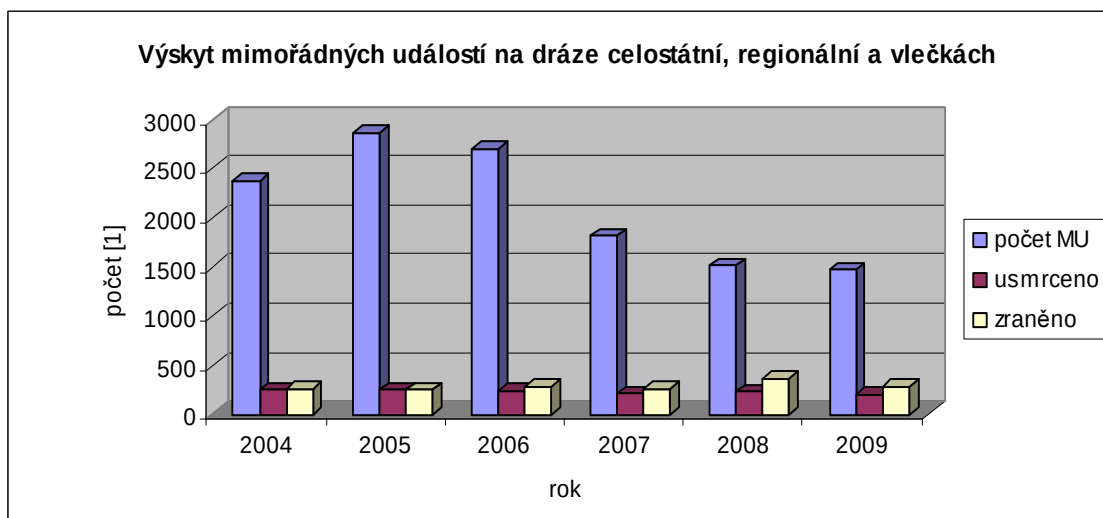


Graf B.9: Průměrný dopravní výkon v roce 2008 na pozemních komunikacích

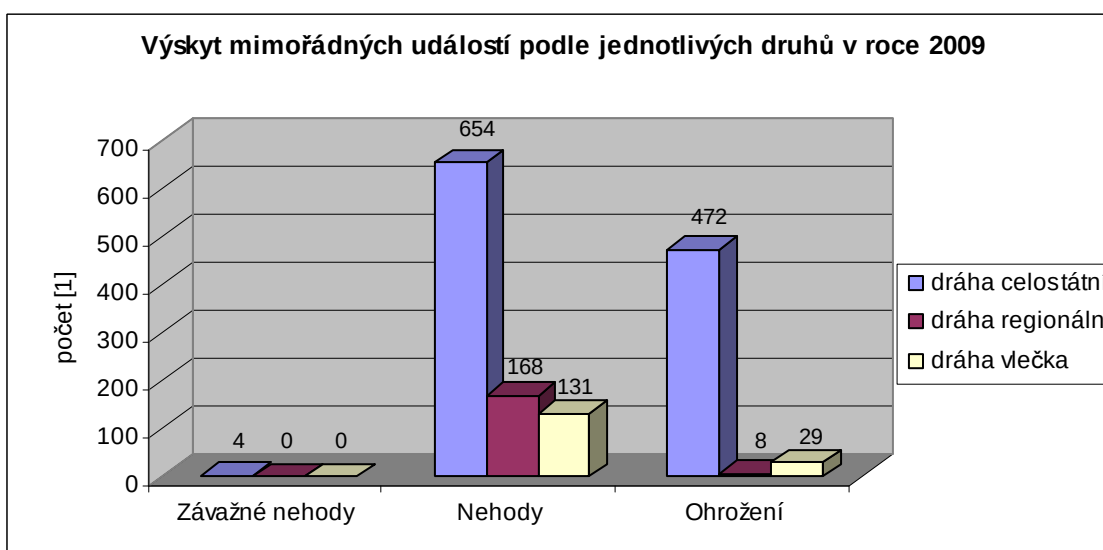
Příloha C – Přehled statistik o provozu na železnici

Tab. C.1: Vývoj základních ukazatelů nehodovosti dle [6] na železnici

Rok	Počet MU [1]	Počet usmrcených [1]	Počet zraněných [1]
2004	2376	249	266
2005	2855	254	251
2006	2703	247	283
2007	1813	209	260
2008	1510	230	362
2009	1466	203	277



Graf C.1: Výskyt MU na drahách dle [6]



Graf C.2: Výskyt MU podle jednotlivých druhů v roce 2009 dle [6]

Příloha D – Přehled bezpečnostních značek

V této příloze je uveden kompletní přehled bezpečnostních značek užívaných ke značení vozidel, kontejnerů a cisteren při přepravě nebezpečných věcí. Značky vycházejí z předpisů ADR, RID dle [7] a [8].

Třída 1 – Výbušné látky a předměty



Obr. D.1: Bezpečnostní značky – výbušné látky a předměty (1, 1.4, 1.5, 1.6)

Třída 2 – Plyny



Obr. D.2: Bezpečnostní značky – hořlavé plyny (2.1)

Obr. D.3: Bezpečnostní značky – nehořlavé, netoxické plyny (2.2)



Obr. D.4: Bezpečnostní značka – toxické plyny (2.3)

Třída 3 – Hořlavé kapaliny



Obr. D.5: Bezpečnostní značky – hořlavé kapaliny (3)

Třída 4.1 – Hořlavé tuhé látky samovolně se rozkládající látky a znečlivělé výbušné látky



Obr. D.6: Bezpečnostní značka – hořlavé tuhé látky (4.1)

Třída 4.2 – Samozápalné látky



Obr. D.7: Bezpečnostní značka – samozápalné látky (4.2)

Třída 4.3 – Látky, které ve styku s vodou vyvíjejí hořlavé plyny



Obr. D.8: Bezpečnostní značky – látky vyvíjející hořlavé plyny (4.3)

Třída 5.1 – Látky podporující hoření



Obr. D.9: Bezpečnostní značka – látky podporující hoření (5.1)

Třída 5.2 – Organické peroxidy



Obr. D.10: Bezpečnostní značky – organické peroxidy (5.2)

Třída 6.1 – Toxické látky



Obr. D.11: Bezpečnostní značka – toxické látky (6.1)

Třída 6.2 – Infekční látky



Obr. D.12: Bezpečnostní značka – infekční látky (6.2)

Třída 7 – Radioaktivní látky



Obr. D.13: Bezpečnostní značky – radioaktivní látky (7A, 7B, 7C, 7E)

Třída 8 – Žíravé látky



Obr. D.14: Bezpečnostní značka – žíravé látky (8)

Třída 9 – Jiné nebezpečné látky a předměty



Obr. D.15: Bezpečnostní značka – jiné nebezpečné látky a předměty (9)