

# Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky

Závěrečná zpráva k řešení projektu realizovaného v rámci veřejné soutěže ve výzkumu a vývoji  
v programu „Podpora realizace udržitelného rozvoje dopravy“

CG712-111-520



Univerzita Karlova v Praze –  
Centrum pro otázky životního  
prostředí



Centrum dopravního výzkumu,  
v.v.i.



SC & C spol. s r.o.

Praha, leden 2012

## **Řešitelský tým**

### Univerzita Karlova

Vojtěch Máca

Jan Melichar

Jan Urban

Markéta Braun Kohlová

Milan Ščasný

Hana Škopková

Bedřich Moldan

### Centrum dopravního výzkumu

Jiří Jedlička

Vítězslav Křivánek

Ivo Dostál

Jiří Dufek

### SC&C

Jana Hamanová

Štěpán Mach

## **Webová stránka projektu**

[www.czp.cuni.cz/tranext](http://www.czp.cuni.cz/tranext)

## Obsah

Úvod	4
Výpočet externích nákladů působených znečištěním ovzduší	5
Přístupy k agregaci externích nákladů vyvolaných emisemi z dopravy	5
Případová studie – nízkoemisní zóna centrální část Prahy	6
Agregace výsledků pomocí modelového prostředí EcoSenseWeb V1.3	16
Výpočet externích nákladů vyvolaných hlukem z dopravy	22
Vymezení hodnocených fyzických dopadů	22
Ekonomické hodnocení dopadů	23
Dopravně-technická opatření v části obce Kopřivnice	24
Dopravně-technická opatření v části obce Vysoké Mýto	31
Kvantifikace dopadů hluku z úseku železničního koridoru Dlouhá Třebová – Česká Třebová	36
Výpočet externích nákladů způsobených kongescemi a nehodami	41
Dotazníkové šetření na ochotu platit za změnu cestovního času	41
Vyhodnocení dotazníkového šetření	43
Statistická/ekonometrická analýza	59
Kvantifikace přínosů z úspory cestovního času při rozšíření dálnice D1 mezi Prahou a Brnem	67
Kvantifikace společenských nákladů nehod	72
Společenské náklady nehod na úseku dálnice D1 Praha – Brno	74
Využití výsledků při tvorbě politik a podpůrných nástrojů	77
Diseminace výsledků projektu	81
Závěrečná mezinárodní konference	81
Publikace	83
Literatura	84
Příloha – Modelování hlukové zátěže v části obce Kopřivnice	86

## Úvod

Tato zpráva shrnuje výsledky 5 letého výzkumného projektu zaměřeného na kvantifikaci externích nákladů z dopravy. Největší úsilí bylo spojeno především s realizací dvou dotazníkových valuačních studií, které kladly velké nároky na důkladnou přípravu, avšak zároveň přinesla celou řadu nových a pro praxi potřebných výsledků, ať už se jedná o připravovanou metodiku oceňování hluku z dopravy, či detailnější zkoumání variability (spolehlivosti) cestovního času.

Řešitelský tým byl po celou dobu veden snahou naplnit komplexní přístup k problematice kvantifikace externích nákladů a demonstrovat jeho uplatnění na případových studiích, ať se jednalo o ocenění dopadů z emisí (vč. skleníkových plynů) a hluku, nehod či cestovního času. Rozvíjený metodologický rámec je přitom plně v souladu s přístupy, z nichž vychází evropská legislativa ke zpoplatnění těžkých nákladních vozidel i z nichž budou s největší pravděpodobností vycházet i v nové evropské dopravní politice plánované pokyny a pravidla, na něž upozorňuje předposlední kapitola této zprávy.

## Výpočet externích nákladů působených znečištěním ovzduší

V předchozích periodických zprávách byly reportovány mezní externí náklady pro jednotlivé typy dopravy a lokality. Pro vyhodnocení celospolečenských dopadů dopravních opatření je potřebné externí náklady agregovat v měřítku, které je vyžadováno typem a rozsahem analýzy. V této části zprávy jsou uvedeny dva možné přístupy pro agregaci externích nákladů, které jsou vyvolané atmosférickými znečišťujícími látkami ze silniční dopravy. Tyto přístupy k agregaci externích nákladů jsou následně ilustrovány na posouzení 2 variant dopravně-inženýrských opatření pro širší centrum hl. města Prahy, které představují vymezení nízkoemisní zóny s omezením vjezdu vozidel nesplňující normu EURO 2 a nižší, ve druhé variantě poté nesplňující normu EURO 3 a nižší.

## Přístupy k agregaci externích nákladů vyvolaných emisemi z dopravy

### Odhad externích nákladů z rozptylových studií

Tento přístup je vhodný především pro odhad škod na lokální úrovni, které se nevyznačují regionálním rozsahem. Vychází z detailních rozptylových studií, které modelují atmosférickou disperzi primárních znečišťujících látek, jako jsou prachové částice, oxidy dusíku, oxid siřičitý a další organické látky. Tento přístup však neumožňuje modelovat sekundární polutanty (např. troposférický ozón).

Formalizovaný výpočet fyzických dopadů pak pro jednotlivá pásma koncentrací určených na základě rozptylové studie vypadá následovně:

$$\text{Fyzický dopad} = \text{pásma koncentrace} * \text{ohrožená populace} * \text{riziková skupina} * \text{CR funkce}$$

kde pásma koncentrace představuje roční (denní) koncentraci příslušné znečišťující látky, ohrožená populace je věkově určená frakce populace relevantní pro specifický dopad na zdraví, riziková skupina je frakce populace s vyšší citlivostí pro specifický dopad (např. astmatici), CR funkce je odhadnutý vztah asociace mezi expozicí určitému pásmu koncentrace a odezvou v podobě případu zdravotního dopadu nebo ztráty roku lidského života v případě dopadu v podobě zvýšeného rizika předčasného úmrtí. Při kvantifikaci dopadů prachových částic bylo pracováno s využitím hlavních CR funkcí a ročních průměrů koncentrací vybraných škodlivin.

Fyzická dopad je následně přepočten na externí náklad pomocí jednotkových hodnot, které jsou k dispozici za jednotlivé typy dopadů.

### Agregace externích nákladů na základě integrovaného modelu

Druhý přístup k agregaci externích nákladů umožňuje využití integrovaného softwarového modelu EcoSenseWeb V1.3. Tento model byl popsán v periodické zprávě 2008. Jedná se o komplexní model oceňování externích nákladů atmosférických znečišťujících látek, který byl vytvořen v rámci projektů ExternE.

Pomocí modelu EcoSenseWeb V1.3 lze kvantifikovat významné dopady na lidské zdraví, zemědělskou produkci a budovy a materiály, které vznikají v důsledku znečišťování ovzduší z antropogenních procesů jako je silniční doprava. Dopady změny klimatu tento model nezahrnuje, protože tyto dopady jsou založené na jiném mechanismu a jsou globálního charakteru. Verze EcoSenseWeb V1.3 zahrnuje parametry pro výpočet rozptylu mnoha škodlivých látek, včetně klasických polutantů, jako jsou SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, tuhé částice frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, také některé těžké kovy a organické látky VOC a NH<sub>3</sub>.

Současně lze modelovat i zvýšení koncentrací sekundárních polutantů, které vznikají teprve následně jako produkt chemických reakcí v atmosféře. Současně dochází k transportu znečišťujících látek, v důsledku toho uvedené procesy často probíhají ve značných vzdálenostech od původního zdroje. Příkladem je vznik troposférického ozónu, sulfátů či nitrátů. Proto je tento přístup vhodný pro posuzování dopravních opatření, která významně přispívají ke změně těchto sekundárních polutantů a působí především dopad na regionální úrovni (myšleno evropský rozsah).

Součástí modelu EcoSenseWeb1.3 jsou tři atmosférické rozptylové modely:

- Industrial Source Complex Model (ISC), který byl vytvořen v USA-EPA. ISC modeluje atmosférický rozptyl primárních znečišťujících látek (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, tuhých částic) na lokální úrovni.
- Source receptor (SR) maticový model pro regionální modelování přenosu a chemické přeměny znečišťujících látek, který vychází z EMEP/MS-Costs Eulerian disperzního modelu.
- SR maticový model pro mezikontinentální přenos látek v oblasti severní hemisféry Země.

Další součástí EcoSense modelu jsou komplexní databáze obsahující data o receptorech (populace, využití půdy, zemědělská produkce, budovy a materiály, atd.), meteorologická data a data emisí za celou Evropu. Model EcoSense dále obsahuje funkce dávka-odpověď a peněžní hodnoty. Výstupem modelu EcoSense jsou marginální externí náklady způsobené danou energetickou technologií (Kč/kWh) nebo celkové externí náklady za celý zdroj. Model poskytuje také hrubé mapové výstupy v rozlišení čtverce 50x50 km a data o dopadech v disagregované formě po jednotlivých polutantech a typech dopadu. Také je možná disagregace podle jednotlivých zemí, kde dopady nastanou. Tento model je dostupný na stránkách <http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de>.

## **Případová studie – nízkoemisní zóna centrální část Prahy**

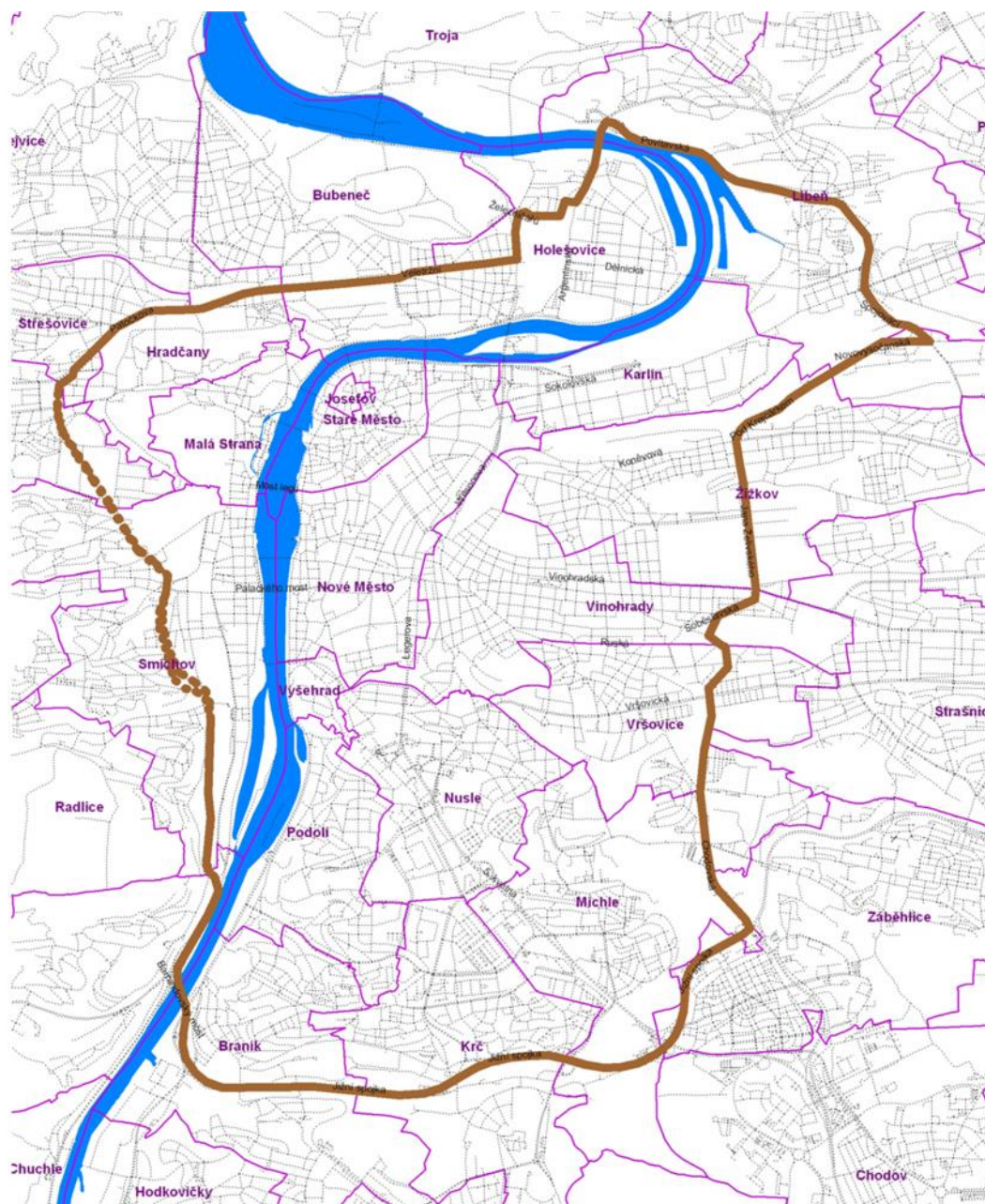
V této části je představen první přístup agregace externích nákladů, který vychází z realizace rozptylové studie. Modelované opatření bylo navrženo jako vymezení tzv. „nízkoemisní zóny“, tj. oblasti se zákazem vjezdu vozidel, nesplňujících stanovené emisní limity.<sup>1</sup> Posuzovány byly dvě varianty, v první byl omezen vjezd vozidlům nesplňující normu EURO 2 a nižší („zóna EURO 3“), ve druhé variantě poté nesplňující normu EURO 3 a nižší („zóna EURO 4“). Hodnocení je provedeno pro část území hl. m. Prahy, přičemž prostorový rozsah zóny byl navržen tak, aby pokrýval širší centrum města a současně umožňoval zachovat objízdné trasy po komunikacích, které tvoří hranici této zóny.

---

<sup>1</sup> Tato agregace dopadů vychází ze studie „Zavedení nízkoemisní zóny na komunikační síti v Praze - modelové hodnocení kvality ovzduší“, zpracované pro řešitele společností ATEM s.r.o.; tato studie byla přílohou zprávy o průběhu řešení projektu za rok 2010.

Data o dopravních proudech, emisích a jejich rozptylu jsou bezvýtku přebírána z podkladové studie ATEM. Pro odhad dopadů jsou využívány funkce koncentrace-odezva (viz tabulka 17) metodiky ExternE (Bickel a kol., 2005). V případě dopadů na zdraví, které jsou vázány na dílčí frakce populace, je věkové složení populace Prahy převzato ze statistiky ČSÚ za celou Prahu. Pro ocenění dopadů jsou používány monetární hodnoty doporučené v metodice ExternE.

Obrázek 1 - Uvažované vymezení nízkoemisní zóny



Zdroj: ATEM (2011)

### Dopady emisí tuhých částic frakcí $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$

Emisní bilance těchto škodlivin jsou počítány ve dvou částech: úseky uvnitř oblasti regulace a dále úseky, které tvoří její hranici. Výsledky emisních výpočtů potvrzují předpoklady, že nejvýraznější

snížení emisí lze očekávat na úsecích uvnitř regulované oblasti. Naopak na úsecích na hranici, kam se přesune část automobilové dopravy, je nutno předpokládat nárůst emisí. Emisní bilance prachových částic frakcí PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> přibližují následující tabulky.

**Tabulka 1 - Emise prachových částic PM<sub>10</sub> z automobilové dopravy (t.rok<sup>-1</sup>)**

	Osobní automobily		
	výchozí stav	varianta 1	varianta 2
celkový objem emisí uvnitř zóny	496,7	369,2	279,6
emisní příspěvek na hranici zóny	-	152,3	174,9
	Nákladní vozidla a autobusy		
	výchozí stav	varianta 1	varianta 2
celkový objem emisí uvnitř zóny	346,5	239,9	154,6
příspěvek na hranici zóny	-	144,6	172,8

zdroj: ATEM

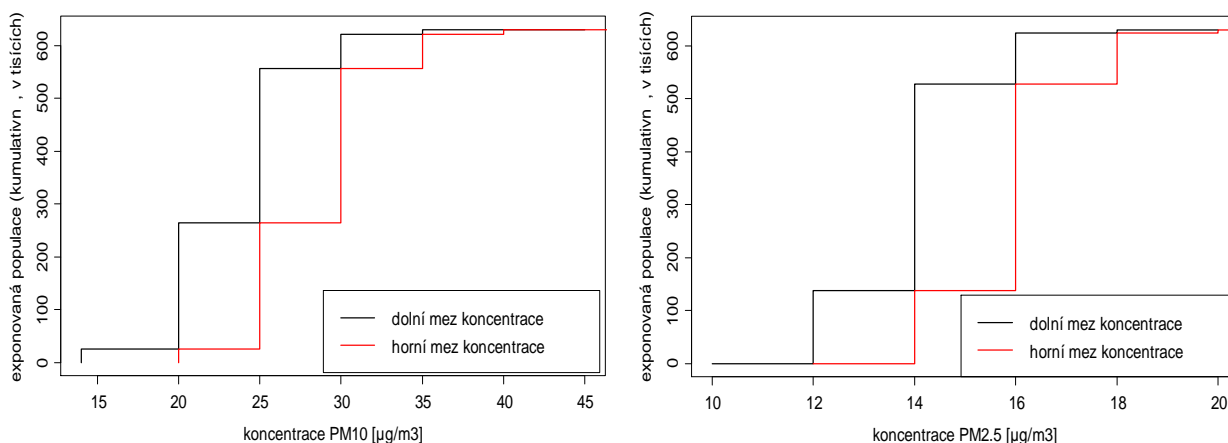
**Tabulka 2 - Emise prachových částic PM<sub>2,5</sub> z automobilové dopravy (t.rok<sup>-1</sup>)**

	Osobní automobily		
	výchozí stav	varianta 1	varianta 2
celkový objem emisí uvnitř zóny	150,0	99,3	74,0
emisní příspěvek na hranici zóny	-	52,2	60,1
	Nákladní vozidla a autobusy		
	výchozí stav	varianta 1	varianta 2
uvnitř zóny	106,6	64,1	40,4
příspěvek na hranici zóny	-	50,0	58,7

zdroj: ATEM

Kumulativní expozici obyvatel pilotní oblasti znečištění prachovými částicemi frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> za stávajícího stavu přibližuje následující graf. Valná většina obyvatel pilotní oblasti je exponována koncentracím PM<sub>10</sub> v rozmezí 20 až 30 µm a PM<sub>2,5</sub> v rozmezí 12 až 16 µm.

**Obrázek 2 – kumulativní expozice znečištění prachovými částicemi frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> (výchozí stav)**





## Ekonomické dopady ze stávajícího stavu

V následující tabulce jsou kvantifikovány dopady na lidském zdraví stávající expozice emisím prachových částic PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub> v pilotní oblasti. V dvou prostředních sloupcích tabulky jsou uvedeny počty případů jednotlivých dopadů (např. u PM<sub>10</sub> je to 64, resp. 78 hospitalizací s chorobami srdce pro dolní a horní mez ročních průměrů koncentrací). V posledních dvou sloupcích jsou pak tyto dopady převedeny na peněžní hodnotu v eurech (cenová úroveň roku 2000).

Tabulka 3 - Varianta 0 – výchozí stav

Dopad na zdraví	frakce populace	dopady (spodní odhad)	dopady (horní odhad)	škody (spodní odhad)	škody (horní odhad)
<b>PM2.5</b>					
YOLL (chronické)	celá	5 704	6 525	228 164 928	260 988 973
Dny s mírně omezenou aktivitou	dospělí_18_64	323 567	370 115	12 295 531	14 064 379
Dny pracovní neschopnosti	dospělí_15_64	121 884	139 419	35 955 849	41 128 495
Dny s omezenou aktivitou				17 452 004	19 721 078
<b>PM10</b>					
Užití bronchodilátoru	dospělí_20+	48 114	58 515	48 114	58 515
Užití bronchodilátoru	děti_5_14	4 443	5 403	4 443	5 403
Hospitalizace se srdečním onemocněním	celá	63.8	77.54	127 520	155 087
Dětská úmrtnost (případ)	kojenci	1	1.2	3 014 649	3 666 344
Chronická bronchitida	dospělí_27+	273	331	54 504 619	66 287 219
Příznaky nemocí dolních cest dýchacích	dospělí_15+	475 556	578 360	18 071 146	21 977 697
Příznaky nemocí dolních cest dýchacích	děti_5_14	306 049	372 209	11 629 846	14 143 942
Hospitalizace s onemocněním dýchacích cest	celá	103	126	206 559	251 212
<b>CELKEM</b>				<b>381 475 208</b>	<b>442 448 344</b>

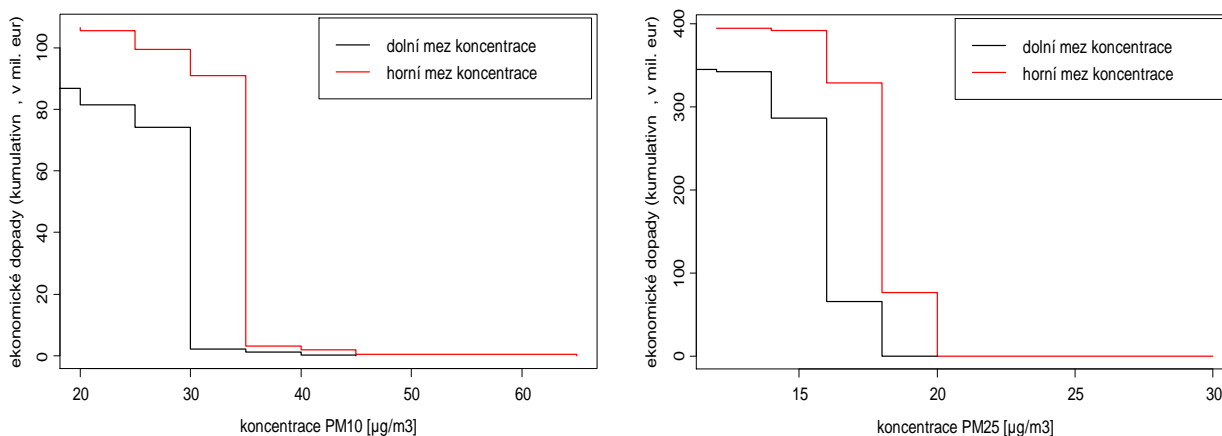
YOLL – rok(y) ztraceného života

Přibližně ¼ ekonomických škod připadá na dopady asociované s expozicí prachovým částicím jemné frakce 2,5 µm, zbývající část ekonomických škod pak je spojena s dopady asociovanými s částicemi frakce 10 µm.

Následující graf přibližuje rozložení ekonomických škod vzhledem k pásmům koncentrací tuhých částic. Největší část škod pochází z expozice obyvatel částicím frakce PM<sub>10</sub> v koncentračním pásmu 30-35 µm, třebaže jak ukazuje Obrázek 2 výše největší část obyvatel je exponována koncentracím

v pásmu 25-30  $\mu\text{m}$ . Obdobně u frakce  $\text{PM}_{2,5}$  je největší část škod působena expozicí obyvatel v pásmu koncentrací 16-18  $\mu\text{m}$ , i když opět většina obyvatel pilotní oblasti žije v nižších koncentračních pásmech.

**Obrázek 3 – rozložení škod působených prachovými částicemi frakce  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$  (výchozí stav)**



### Ekonomické přínosy zavedení nízkoe emisní zóny

U uvažovaných opatření v podobě vymezení nízkoe emisní zóny pro vozidla splňující emisní normu EURO 3 a vyšší (Varianta 1) a pro vozidla splňující emisní normu EURO 4 a vyšší (Varianta 2) byly odhadnuty následující změny v emisních bilancích. Zatímco v případě varianty 1 dochází u obou frakcí prachových částic k nárůstu emisí na hranici zóny, který převyšuje celkové snížení uvnitř zóny, u varianty 2 dochází k celkovému poklesu u obou frakcí, přičemž tento pokles dosahuje u frakce  $\text{PM}_{10}$  zhruba 7 % a u frakce  $\text{PM}_{2,5}$  přibližně 9 %.

**Tabulka 4 - Emise znečišťujících látek z automobilové dopravy, rozdílové hodnoty (varianty – výchozí stav)**

	částice $\text{PM}_{10}$ ( $\text{t.rok}^{-1}$ )	
	var. 1 (nízkoe emisní zóna EURO 3) – výchozí stav	var. 2 (nízkoe emisní zóna EURO 4) – výchozí stav
uvnitř zóny	-234	-409
hranice zóny	297	348
<b>Celkem</b>	<b>63</b>	<b>-61</b>
	částice $\text{PM}_{2,5}$ ( $\text{t.rok}^{-1}$ )	
	var. 1 (nízkoe emisní zóna EURO 3) – výchozí stav	var. 2 (nízkoe emisní zóna EURO 4) – výchozí stav
uvnitř zóny	-93	-142
hranice zóny	102	119
<b>Celkem</b>	<b>9</b>	<b>-23</b>

Zdroj: ATEM

V následující tabulce jsou vyčísleny potenciální přínosy (záporné hodnoty) nebo dodatečné škody (kladné hodnoty) při realizaci nízkoe emisní zóny dle varianty 1. V ekonomickém vyjádření se tento

odhad pohybuje od přínosu ve výši 11,5 mil. euro po dodatečné škody ve výši 6,2 mil. euro, v procentuálním vyjádření vůči úrovni škod za stávajícího stavu od 3% snížení do 1,4% navýšení.

Tabulka 5 - zamezené ekonomické škody při realizaci nízkoe emisní zóny EURO 3 a vyšší (Varianta 1)

Dopad na zdraví	frakce populace	dopady (spodní odhad)	dopady (horní odhad)	škody (spodní odhad)	škody (horní odhad)
<b>PM2.5</b>					
YOLL (chronické)	celá	-150	94	-6 016 528	3 753 167
Dny s mírně omezenou aktivitou	dospělí_18_64	-13 285	8 287	-504 834	314 920
Dny pracovní neschopnosti	dospělí_15_64	-4 948	3 087	-1 459 703	910 577
<b>Dny s omezenou aktivitou</b>				<b>-730 139</b>	<b>494 938</b>
<b>PM10</b>					
Užití bronchodilátoru	dospělí_20+	-1 560	405	-1 560	405
Užití bronchodilátoru	děti_5_14	-144	37	-144	37
Hospitalizace se srdečním onemocněním	celá	-2	0.5	-4 135	1 073
Dětská úmrtnost (případ)	kojenci	0	0	-97 743	25 356
Chronická bronchitida	dospělí_27+	-8.8	2.3	-1 767 181	458 428
Příznaky nemocí dolních cest dýchacích	dospělí_15+	-15 419	4 000	-585 913	151 993
Příznaky nemocí dolních cest dýchacích	děti_5_14	-9 923	2 574	-377 070	97 816
Hospitalizace s onemocněním dýchacích cest	celá	-3.4	0.9	-6 697	1 737
<b>CELKEM</b>				<b>-11 551 646</b>	<b>6 210 447</b>

V případě realizace nízkoe emisní zóny dle varianty 2 uvádí potenciální přínosy (záporné hodnoty) nebo dodatečné škody (kladné hodnoty) Tabulka 6. V peněžním vyjádření se odhad pohybuje od přínosů ve výši 18,8 mil. euro po dodatečné škody ve výši 2,2 mil. euro, v procentuálním vyjádření vůči úrovni škod za stávajícího stavu od 5% snížení po 0,5% navýšení.

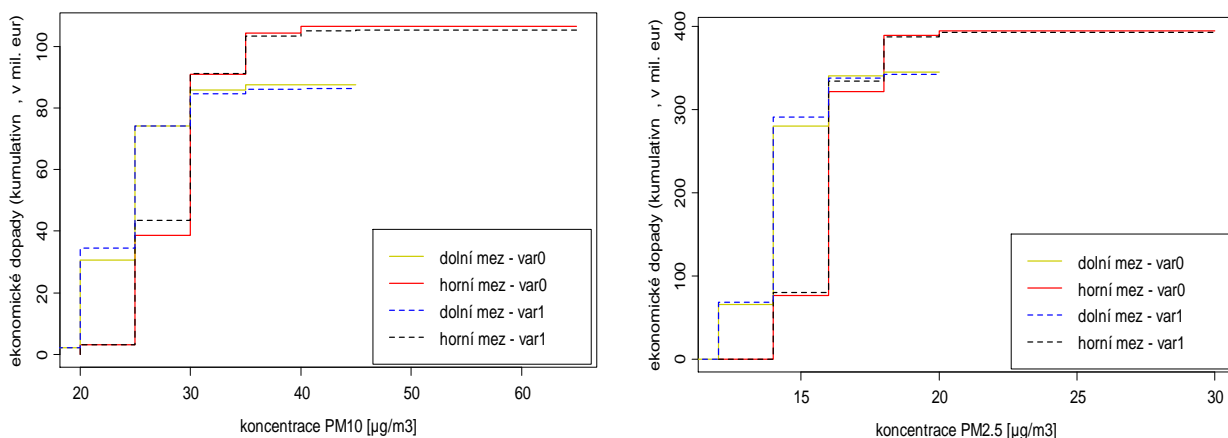
Tabulka 6 – zamezené ekonomické škody při realizaci nízkoe emisní zóny EURO 4 a vyšší (Varianta 2)

Dopad na zdraví	frakce populace	dopady (spodní odhad)	dopady (horní odhad)	škody (spodní odhad)	škody (horní odhad)
<b>PM2.5</b>					
YOLL (chronické)	celá	-269	57	-10 778 399	2 275 479
Dny s mírně omezenou aktivitou	dospělí_18_64	-15 285	3 227	-580 835	122 623

<b>Dny pracovní neschopnosti</b>	dospělí_15_64	-5 758	1 216	-1 698 537	358 586
<b>Dny s omezenou aktivitou</b>				-792 937	238 161
<b>PM10</b>					
<b>Užití bronchodilátoru</b>	dospělí_20+	-2 726	-444	-2 726	-444
<b>Užití bronchodilátoru</b>	děti_5_14	-252	-41	-252	-41
<b>Hospitalizace se srdečním onemocněním</b>	celá	-4	-1	-7 226	-1 175
<b>Dětská úmrtnost (případ)</b>	kojenci	0	0	-170 824	-27 789
<b>Chronická bronchitida</b>	dospělí_27+	-15	-3	-3 088 480	-502 419
<b>Příznaky nemocí dolních cest dýchacích</b>	dospělí_15+	-26 947	-4 384	-1 023 994	-166 578
<b>Příznaky nemocí dolních cest dýchacích</b>	děti_5_14	-17 342	-2 821	-659 000	-107 203
<b>Hospitalizace s onemocněním dýchacích cest</b>	celá	-6	-1	-11 705	-1 904
<b>CELKEM</b>				<b>-18 814 913</b>	<b>2 187 296</b>

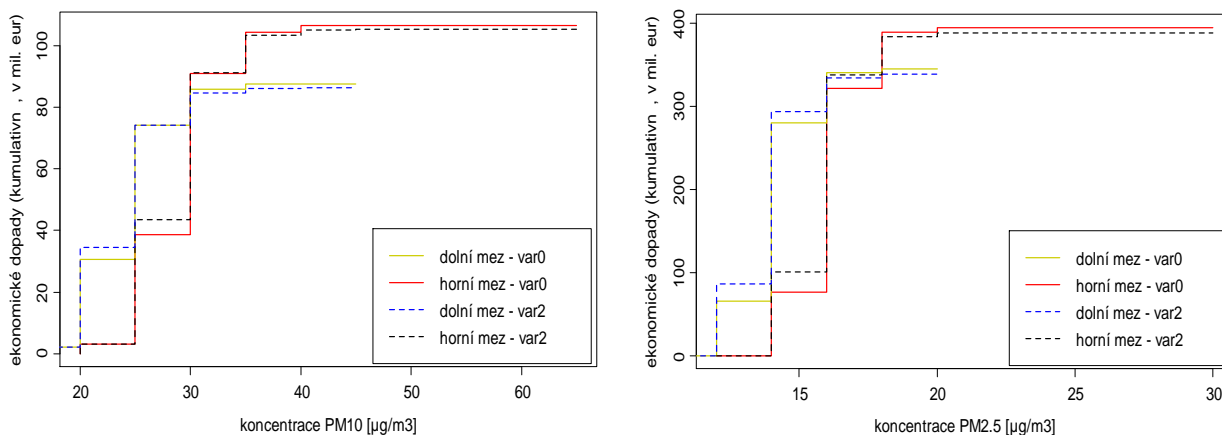
Kumulativní rozdělení těchto přínosů (resp. dodatečných škod) pro stávající stav (označený jako varianta 0) a zavedení nízkoe emisní zóny ve variantě 1 pro obě hodnocení frakce ukazuje následující dvojice grafů.

**Obrázek 4 – srovnání rozložení škod podle úrovní koncentrací PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> ve variantách 0 a 1**



Obdobně je kumulativní rozdělení přínosů (resp. dodatečných škod) ve srovnání stávajícího stavu (varianta 0) a nízkoe emisní zóny ve variantě 2 pro frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> zobrazeno v následujícím grafu.

**Obrázek 5 – srovnání rozložení škod podle úrovní koncentrací PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> ve variantách 0 a 2**



Uvedené odhadnuté hodnoty lze rovněž převést na českou měnu, relativně nejběžnější je v tomto případě konverze paritou kupní síly. Na základě dat Eurostatu lze takto vypočítat, že 1 euro cenové úrovně roku 2000 odpovídá 21 Kč cenové úrovně roku 2010. Výše externích nákladů z emisí prachových částic frakcí  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  v hodnocené lokalitě dosahuje výše přibližně 8,7 mld. Kč (dolní mez 8 mld. Kč a horní mez 9,3 mld. Kč).

Realizace nízkoemisní zóny ve variantě 1 (vjezd vozidel splňujících alespoň normu EURO 3) by pravděpodobně vedla ke snížení externích nákladů zhruba o 56 mil. Kč (dolní mez představuje snížení o 243 mil. Kč, horní mez zvýšení o 130 mil. Kč), neboli v procentuálním vyjádření je to snížení externích nákladů o necelé 1 %.

Při zavedení nízkoemisní zóny ve variantě 2 – tedy s omezením vjezdu pouze na vozidla splňujících alespoň normu EURO 4 – je snížení působených externích nákladů přibližně 175 mil. Kč (dolní mez snížení o 395 mil. Kč, horní mez zvýšení o 46 mil. Kč), tedy v relativním vyjádření pokles působených škod na lidském zdraví o 2,2 %.

Přestože se jedná spíše o orientační modelový výpočet, ukazuje se zde potřeba důkladné přípravy případného zavedení nízkoemisní zóny a vyhodnocení různých variant – jednak jakým emisním třídám vozidel bude povolen vjezd a současně jak bude stanovena samotná hranice zóny, neboť podstatný efekt bude dosažen pouze tehdy pokud se objížděné trasy budou nacházet mimo hustě osídlené sídelní území.

### Dopady emisí $SO_2$ , $NO_2$ a dalších znečišťujících organických látek

Dále byly hodnoceny škody z dalších atmosférických znečišťujících látek, konkrétně se jedná o  $SO_2$ ,  $NO_2$ , benzen, benzo(a)pyren a formaldehyd. Emisní bilance těchto látek pro výchozí stav a obě varianty nízkoemisní zóny, opět pro úseky vnitřní oblasti regulace a úseky za hranicí regulace, jsou prezentovány v následující tabulce. Současně jsou prezentovány změny v emisních bilancích. Tak jako v případě prachových částic, dochází ke snížení emisí uvnitř zóny a k nárůstu škodlivin na hranicích zóny. Jak je patrné z dané tabulky, celkové snížení emisí uvnitř zóny pro tyto typy polutantů převyšuje nárůst emisí na hranicích zóny.

Tabulka 7 – Emise NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a dalších znečišťujících organických látek, absolutní a rozdílové hodnoty (t.rok<sup>-1</sup>)

	Absolutní hodnoty			Rozdílové hodnoty	
	var0	var1	var2	var1 - var0	var2 - var0
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>1536,5</b>	<b>1411,3</b>	<b>1337,6</b>	<b>-125,2</b>	<b>-198,9</b>
uvnitř zóny	1536,5	392,8	209,4	-1143,7	-1327,1
hranice zóny	-	1018,5	1128,2	1018,5	1128,2
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>9,0</b>	<b>8,3</b>	<b>7,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,3</b>
uvnitř zóny	9,0	5,7	3,6	-3,3	-5,4
hranice zóny	-	2,6	4,1	2,6	4,1
<b>benzen</b>	<b>87,2</b>	<b>55,9</b>	<b>49,8</b>	<b>-31,3</b>	<b>-37,5</b>
uvnitř zóny	87,2	17,0	9,2	-70,3	-78,0
hranice zóny	-	39,0	40,6	39,0	40,6
<b>benzo(a)pyren</b>	<b>8907,8</b>	<b>8847,5</b>	<b>8795,5</b>	<b>-60,3</b>	<b>-112,3</b>
uvnitř zóny	8907,8	5521,4	3645,0	-3386,4	-5262,8
hranice zóny	-	3326,1	5150,5	3326,1	5150,5
<b>formaldehydu</b>	<b>76,4</b>	<b>46,5</b>	<b>41,0</b>	<b>-29,9</b>	<b>-35,4</b>
uvnitř zóny	76,4	16,5	8,8	-59,9	-67,6
hranice zóny	-	30,0	32,2	30,0	32,2

Poznámky: Emise benzo(a)pyrenu jsou uvedeny v kg.rok<sup>-1</sup>

Pro dané typy škodlivin jako v případě tuhých znečišťujících látek byly hodnoceny dopady na lidské zdraví. Opět byly využity funkce koncentrace-odezva z metodiky ExternE (Bickel a kol., 2005) a pro peněžní odhad fyzických dopadů byly použity monetární hodnoty doporučené v metodice ExternE (viz následující tabulka).

Tabulka 8 – Přehled funkcí koncentrace-odezva pro SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> a dalších znečišťujících organických látek

Škodlivina	Dopad na zdraví	Populace vystavená riziku	Sklon funkce koncentrace-odezva (1/(μg/m <sup>3</sup> ))	Peněžní hodnota	Fyzický dopad (osoba/μg/m <sup>3</sup> )	Externí náklad (osoba/μg/m <sup>3</sup> )
SO <sub>2</sub>	Zvýšené riziko úmrtí	celá populace	7,20E-04	60000	5,35E-06	3,21E-01
NO <sub>2</sub>	Zvýšené riziko úmrtí	celá populace	3,40E-04	60000	2,52E-06	1,51E-01
NO <sub>2</sub>	Hospitalizace s respiračními chorobami	celá populace	1,40E-06	2000	1,40E-06	2,80E-03
Benzen	Rakovina	celá populace	1,14E-07	1120000	1,14E-07	1,28E-01
Benzo(a)pyren	Rakovina	celá populace	1,43E-03	1120000	1,43E-03	1,60E+03
Formaldehyd	Rakovina	celá populace	1,43E-07	1120000	1,43E-07	1,60E-01

V následující tabulce jsou pak vyčísleny externí náklady pro výchozí stav (var0) a potenciální přínosy (záporné hodnoty) nebo dodatečné škody (kladné hodnoty) při realizaci nízkoemisní zóny dle varianty 1 (var1 – var0) a dle varianty 2 (var2 – var0). Škody, spodní a horní odhad, jsou prezentovány v Kč cenách roku 2010. Z této tabulky je patrné, že pro variantu 1 se odhad pohybuje od přínosu 7,1 mil. Kč po dodatečné škody 124 mil. Kč. Varianta 2 generuje pouze přínosy od 8 do 376 mil. Kč.

Tabulka 9 – Odhad externích nákladů emisí SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> a ostatních látek pro výchozí stav a jejich změna při realizaci nízkoemisních zón (Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)

Škodlivina	Druh dopadu	var0		var1 - var0		var2 - var0	
		spodní odhad	horní odhad	spodní odhad	horní odhad	spodní odhad	horní odhad
SO <sub>2</sub>	Zvýšené riziko úmrtí	21 623 031	26 715 915	-98 065	63 363	-116 311	36 808
<b>NO<sub>2</sub> - celkem</b>		54 581 805	65 512 704	-5 442 292	-150 379	-6 383 928	-549 568
NO <sub>2</sub>	Zvýšené riziko úmrtí	53 591 145	64 323 649	-5 343 515	-147 650	-6 268 060	-539 593
NO <sub>2</sub>	Hospitalizace s resp. chorobami	990 660	1 189 055	-98 778	-2 729	-115 868	-9 975
Benzen	Rakovina	1 103 312	1 938 757	-581 311	11 621	-643 627	-23 735
Benzo(a)pyren	Rakovina	745 531	1 568 047	-442 247	159 878	-475 447	151 063
Formaldehyd	Rakovina	634 256	1 188 939	-626 882	39 896	-669 679	8 982
<b>Celkem</b>		<b>78 687 935</b>	<b>96 924 363</b>	<b>-7 190 796</b>	<b>124 379</b>	<b>-8 288 992</b>	<b>-376 450</b>

## Dopady emisí skleníkových plynů

Dalším typem hodnocených dopadů jsou škody z emisí skleníkových plynů, konkrétně se jedná o oxid uhličitý a metan. Emisní bilance včetně rozdílových hodnot pro obě varianty prezentuje následující tabulka.

Tabulka 10 – Emise CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>, absolutní a rozdílové hodnoty (t.rok<sup>-1</sup>)

	Absolutní hodnoty			Rozdílové hodnoty	
	var0	var1	var2	var1 - var0	var2 - var0
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>7153,8</b>	<b>7222,3</b>	<b>7274,4</b>	<b>68,5</b>	<b>120,6</b>
uvnitř zóny	7153,8	4587,3	3025,3	-2566,5	-4128,5
hranice zóny		2635,0	4249,1	2635,0	4249,1
<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>71,3</b>	<b>68,6</b>	<b>65,2</b>	<b>-2,7</b>	<b>-6,1</b>
uvnitř zóny	71,3	16,7	9,0	-54,6	-62,3
hranice zóny		51,9	56,2	51,9	56,2

Pro ekonomické vyhodnocení společenských nákladů těchto látek byly použity hodnoty vycházející z mezních nákladů na zamezení (viz následující tabulka), a to z přehledu studií provedeným Kuikem a kol. (2007). Detailní prezentace těchto hodnot byla představena ve zprávě z roku 2009.

Tabulka 11 – Hodnoty odhadu společenských nákladů změny klimatu (v EUR roku 2005)

	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
CO <sub>2</sub>	19	19	19	19	20,7	26,9	41,3	54,8
CH <sub>4</sub>	399	399	399	399	426,6	571,1	860,3	1005,8
N <sub>2</sub> O	5890	5890	5890	5890	6291,4	8429,5	10567,7	14843

Odhad externích nákladů klimatické změny pro oxid uhličitý a metan pro výchozí stav a jejich změna při realizaci obou variant nízkoemisních zón přibližuje následující tabulka. Opět jsou zde vyčísleny externí náklady pro výchozí stav (var0) a potenciální přínosy (záporné hodnoty) nebo dodatečné škody (kladné hodnoty) při realizaci nízkoemisní zóny dle varianty 1 (var1 – var0) a dle varianty 2 (var2 – var0). V případě varianty 1 se jedná o dodatečné škody pouze ve výši 4 tis. Kč, varianta 2 generuje potenciální přínosy ve výši 2,5 tis. Kč.

Tabulka 12 – Odhad externích nákladů klimatické změny pro výchozí stav a jejich změna při realizaci nízkoemisních zón (Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)

	var0	var1 - var0	var2 - var0
CO <sub>2</sub>	2 472 934	23 679	41 689
CH <sub>4</sub>	517 588	-19 600	-44 282
<b>Celkem</b>	<b>2 990 522</b>	<b>4 079</b>	<b>-2 593</b>

Odhad externích nákladů podle druhu znečišťujících látek a jejich změnu při realizaci obou variant nízkoemisních zón představuje následující tabulka. Jak je patrné, dominují dopady působené tuhými znečišťujícími látkami frakce PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>. Dopady generované ostatními škodlivinami jsou o několik řádů nižší.

Tabulka 13 – Odhad externích nákladů podle druhu znečišťující látky pro výchozí stav a jejich změna při realizaci nízkoemisních zón (Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)

Škodlivina	var0		var1 - var0		var2 - var0	
	<i>spodní odhad</i>	<i>horní odhad</i>	<i>spodní odhad</i>	<i>horní odhad</i>	<i>spodní odhad</i>	<i>horní odhad</i>
PM <sub>2,5</sub>	6 171 234 545	7 053 961 405	-182 935 285	114 945 643	-290 864 846	62 891 835
PM <sub>10coarse</sub>	1 839 744 818	2 237 453 818	-59 649 281	15 473 744	-104 248 335	-16 958 624
SO <sub>2</sub>	21 623 031	26 715 915	-98 065	63 363	-116 311	36 808
NO <sub>2</sub>	54 581 805	65 512 704	-5 442 292	-150 379	-6 383 928	-549 568
Benzen	1 103 312	1 938 757	-581 311	11 621	-643 627	-23 735
Benzo(a)pyren	745 531	1 568 047	-442 247	159 878	-475 447	151 063
Formaldehyd	634 256	1 188 939	-626 882	39 896	-669 679	8 982
Skleníkové plyny	2 990 522	2 990 522	4 079	4 079	-2 593	-2 593
<b>Celkem</b>	<b>8 092 657 821</b>	<b>9 391 330 108</b>	<b>-249 771 283</b>	<b>130 547 845</b>	<b>-403 404 766</b>	<b>45 554 168</b>

## Agregace výsledků pomocí modelového prostředí EcoSenseWeb V1.3

V této části jsou prezentovány externí náklady z realizace nízkoemisních zón, varianta 1 a 2, které byly odhadnuty využitím integrovaného softwarového modelu EcoSenseWeb V1.3. V následující tabulce jsou prezentovány odhady podle geografického rozsahu dopadů v mil. Kč za v cenách roku 2010. Jsou zde uvedeny odhady externích nákladů pro výchozí stav (var0), variantu 1 nízkoemisní zóny (var1) a variantu 2 (var2). Opět jsou vypočteny potenciální přínosy realizace obou variant, var1\_0 pro nízkoemisní zónu varianty 1 a var2\_0 pro nízkoemisní zónu varianty 2. Z tabulky je patrné, že varianta 1 generuje potenciální přínosy 37 mil. Kč a varianta 2 pak 79 mil. Kč. V těchto odhadech jasně dominuje regionální dopad, tj. potenciální přínosy na evropské úrovni. Lokální dopad je v tomto případě zanedbatelný.

Tabulka 14 – Odhad externích nákladů modelem EcoSenseWeb V1.3 podle rozsahu dopadu (mil. Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)

Rozsah dopadu	var0	var1	var2	var1_0	var2_0
<b>Lokální/regionální/hemisférický dopad (lidské zdraví, materiály, zemědělská produkce)</b>					



Lokální dopad	26,670	27,993	24,423	1,323	-2,247
Regionální dopad	475,096	446,051	408,965	-29,045	-66,131
Lokální/regionální dopad	486,436	458,231	419,465	-28,205	-66,971
Hemisférický dopad	248,947	226,057	205,183	-22,890	-43,764
Lokální/regionální/hemisférický dopad	508,072	473,029	432,753	-35,043	-75,319
<b>Ztráta biodiverzity</b>					
V důsledku acidifikace a eutrofizace	39,008	37,036	35,259	-1,972	-3,749
<b>Změna klimatu</b>					
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	2,991	2,995	2,988	0,004	-0,003
<b>Celkem</b>	<b>550,070</b>	<b>513,059</b>	<b>471,000</b>	<b>-37,011</b>	<b>-79,070</b>

V další tabulce jsou pak prezentovány externí náklady pro dané varianty podle typu dopadu a to dopady na lidské zdraví, zemědělskou produkci a budovy a materiály, ztráta biodiverzity a dopady změny klimatu. Jasně dominují dopady působené na lidské zdraví. Ostatní dopady jsou o řád, či několik řádů nižší.

**Tabulka 15 – Odhad externích nákladů modelem EcoSenseWeb V1.3 podle typu dopadu (mil. Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)**

Kategorie dopadu	var0	var1	var2	var1_0	var2_0
Lidské zdraví	482,376	451,389	412,499	-30,988	-69,878
Zemědělská produkce	21,319	17,621	16,445	-3,698	-4,874
Materiály budov	4,376	4,019	3,809	-0,357	-0,567
Ztráta biodiverzity	39,008	37,036	35,259	-1,972	-3,749
Změna klimatu	2,991	2,995	2,988	0,004	-0,003
<b>Celkem</b>	<b>550,070</b>	<b>513,059</b>	<b>471,000</b>	<b>-37,011</b>	<b>-79,070</b>

Následující tabulka pak představuje strukturu externích nákladů podle typu škodliviny. Jak je patrné, významnou úlohu hrají sekundární aerosoly (sulfáty a nitráty), které generují podstatnou část externích nákladů. Další v pořadí pak jsou dopady působené troposférickým ozónem, a následují dopady tuhých znečišťujících látek frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>. Detailní rozpis dopadů a škod z modelového prostředí EcoSenseWeb V.1.3 pro výchozí stav je prezentován v tabulce 18 této kapitoly.

**Tabulka 16 – Odhad externích nákladů modelem EcoSenseWeb V1.3 podle typu škodliviny (mil. Kč<sub>2010</sub>.rok<sup>-1</sup>)**

Škodlivina	Receptor	var0	var1	var2	var1_0	var2_0
Snížení dusíku	zemědělská produkce	-1,06	-1,01	-0,96	0,06	0,11
Troposférický ozón	zemědělská produkce	22,39	18,63	17,41	-3,76	-4,98
PM <sub>10</sub>	lidské zdraví	43,45	46,05	40,00	2,60	-3,45
PM <sub>2,5</sub>	lidské zdraví	134,42	139,13	122,15	4,71	-12,27
Sekundární aerosoly	lidské zdraví	259,35	233,62	220,80	-25,73	-38,55
Troposférický ozón	lidské zdraví	23,54	17,77	16,34	-5,78	-7,21

Tabulka 17 – Přehled funkcí koncentrace-odezva pro tuhé částice (PM10 a 2.5) a ozon (šedě funkce pro citlivostní analýzu)

Dopad na zdraví	Škodlivina	Populace vystavená riziku (věk)	Funkce koncentrace-odezva (95% CI)	jednotky
<b>Chronická úmrtnost</b>				
Snížení věku dožití	PM2.5	30+	651 (127; 1194)	YOLL za 10 µg/m <sup>3</sup> na 100 000 dospělých
<b>Dětská úmrtnost</b>				
Zvýšené riziko úmrtí	PM10	0-1	4% (2%; 7%)	za 10 µg/m <sup>3</sup>
<b>Akutní úmrtnost</b>				
Zvýšené riziko úmrtí	O <sub>3</sub> /SOMO35	všichni	0.30% (0.1%; 0.43%)	za 10 µg/m <sup>3</sup>
<b>Nemocnost</b>				
Nové případy chronické bronchitidy	PM10	27+	26.5 (-1.9; 54.1)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> , na 100,000 dospělých ve věku 27+
Nové případy chronické bronchitidy	PM2.5	27+	53.3 (-1.7; 113.4)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> , na 100,000 dospělých ve věku 27+
hospitalizace s respiračními chorobami	PM10	celá populace	7.03 (3.83;10.3)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> , na 100,000 osob
hospitalizace s chorobami srdce	PM10	celá populace	4.34 (2.17; 6.51)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> , na 100,000 osob
návštěva praktického lékaře				
astma	PM10	0-14	1.18 (0; 2.45)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dětí ve věku 0-14
	PM10	15-64	0.51(0.2; 0.82)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 15-64
	PM10	65+	0.95 (0.32;1.69)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 65+
nemoci horních cest dýchacích	PM10	0-14	4 (-0.6 ; 8)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dětí ve věku 0-14
	PM10	15-64	3.2 (1.6-5)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 15-64
	PM10	65+	4.7 (2.4-7.1)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 65+
den s omezenou aktivitou (RAD)	PM2.5	15-64	902 (792;1013)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 15-64

dny pracovní neschopnosti (WLD)	PM2.5	15-64	207 (176; 208)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 15-64
den s mírně omezenou aktivitou (MRAD)	PM2.5	18-64	577 (468; 686)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 18-64
medikace/užití bronchodilátoru	PM10	PEACE kritéria pro astma 5-14	180 (-690; 1060)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 astmatických dětí (dle PEACE kritérií)
	PM10	astmatici 20+	912 (-912; 2774)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 20+
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích	PM10	dospělí (30%)	1.3 (0.15; 2.43)	dnů s příznaky za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na dospělého s chronickými respiračními příznaky
	PM10	5-14	1.86 (0.92; 2.77)	dnů s příznaky za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na dítě ve věku 5-14
<i>Akutní respirační příznaky</i>	<i>PM10</i>	<i>celá populace</i>	<i>4650 (210; 9090)</i>	<i>dnů s příznaky za rok, za 10 µg/m<sup>3</sup> na 1000 osob</i>
hospitalizace s respiračními chorobami	O <sub>3</sub> /SOMO35	65+	12.5 (-5; 30)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 100 000 osob ve věku 65+
návštěva praktického lékaře	O <sub>3</sub> /SOMO35	0-14	3.03 (1.89; 429)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dětí ve věku 0-14
	O <sub>3</sub> /SOMO35	15-64	1.6 (1.22; 2.03)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 15-64
MRAD	O <sub>3</sub> /SOMO35	18-64	115 (44; 186)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dospělých ve věku 18-64
medikace/užití bronchodilátoru	O <sub>3</sub> /SOMO35	5-14 astma	124 (18; 227)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dětí ve věku 5-14
	O <sub>3</sub> /SOMO35	5-14 astma	310 (44; 569)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 dětí ve věku 5-14
	O <sub>3</sub> /SOMO35	20+ astma	730 (-225; 1570)	za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na 1000 astmatických dospělých ve věku 20+
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích (mimo kašle)	O <sub>3</sub> /SOMO35	5-14	0.16 (-0.43; 0.81)	dnů s příznaky za rok, za 10 µg/m <sup>3</sup> na dítě ve věku 5-14
dny s kašlem	O <sub>3</sub> /SOMO35	5-14	0.93 (-0.19; 2.22)	dnů za 10 µg/m <sup>3</sup> na dítě ve věku 5-14

YOLL – rok ztraceného života (year of life lost)

Tabulka 18 – Detailní výstup odhadu dopadů a škod z modelového prostředí EcoSenseWeb V.1.3 pro výchozí stav

Receptor	Sub-receptor	Dopad	Škodlivina	Dopad / jednotky	Hodnota / jednotky (EUR <sub>2000</sub> )	Dopad / lokální	Dopad / regionální	Dopad / lokální / regionální	Škoda / lokální (Kč <sub>2010</sub> )	Škoda / regionální (Kč <sub>2010</sub> )	Škoda / lokální / regionální (Kč <sub>2010</sub> )
<i>Depozice N na zemědělskou produkci</i>											
zem. produkce	celkem	dodatečné hnojivo	ncd	kg/rok <sup>-1</sup>	0.53		-95640.00	-95640.00		-1.06	-1.06
<i>Dopad O<sub>3</sub> na zemědělskou produkci</i>											
zem. produkce	brambory	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	11		16420.00	16420.00		3.81	3.81
zem. produkce	rýže	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	18.7		125.50	125.50		0.05	0.05
zem. produkce	cukrová řepa	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	6.1		16650.00	16650.00		2.14	2.14
zem. produkce	slunečnice	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	27.3		1738.00	1738.00		1.00	1.00
zem. produkce	tabák	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	276.5		72.31	72.31		0.42	0.42
zem. produkce	pšenice	ztráta produkce	O <sub>3</sub>	dt/rok <sup>-1</sup>	12.8		55650.00	55650.00		14.98	14.98
<i>Dopady na lidské zdraví</i>											
člověk	dospělý 20+	UB	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	1	260.6	983.60	1134.00	0.01	0.02	0.02
člověk	dospělý 27+	CB	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	200000	1.476	5.57	6.42	6.20	23.39	26.96
člověk	dospělý 15+	LRS	PM <sub>10</sub>	dny/rok <sup>-1</sup>	38	2606	9839.00	11340.00	2.08	7.85	9.05
člověk	děti 5-14	UB	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	1	32.08	121.10	139.60	0.00	0.00	0.00
člověk	děti 5-14	LRS	PM <sub>10</sub>	dny/rok <sup>-1</sup>	38	1657	6257.00	7211.00	1.32	4.99	5.75
člověk	děti 0-1	dětská úmrtnost	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	3000000	0.005442	0.02	0.02	0.34	1.29	1.49
člověk	celá populace	CHA	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	2000	0.3453	1.30	1.50	0.01	0.05	0.06
člověk	celá populace	RHA	PM <sub>10</sub>	případ/rok <sup>-1</sup>	2000	0.5593	2.11	2.43	0.02	0.09	0.10
člověk	dospělý 15-64	WLD	PM <sub>2,5</sub>	dny/rok <sup>-1</sup>	295	336.8	2600.00	2715.00	2.09	16.10	16.82
člověk	dospělý 18-64	MRAD	PM <sub>2,5</sub>	dny/rok <sup>-1</sup>	38	894.1	6902.00	7208.00	0.71	5.51	5.75
člověk	dospělý 30+	chronický YOLL	PM <sub>2,5</sub>	roky/rok <sup>-1</sup>	40000	15.76	121.70	127.10	13.24	102.21	106.74
člověk	celá populace	RAD [net]	PM <sub>2,5</sub>	dny/rok <sup>-1</sup>	130	232.1	1792.00	1871.00	0.63	4.89	5.11
člověk	dospělý 20+	UB	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	1		1162.00	1162.00		0.02	0.02

Závěrečná zpráva projektu Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky

člověk	dospělý 27+	CB	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	200000	6.58	6.58	27.64	27.64
člověk	dospělý 15+	LRS	s10	dny/rok <sup>-1</sup>	38	11620.00	11620.00	9.27	9.27
člověk	děti 5-14	UB	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	1	143.00	143.00	0.00	0.00
člověk	děti 5-14	LRS	s10	dny/rok <sup>-1</sup>	38	7390.00	7390.00	5.90	5.90
člověk	děti 0-1	dětská úmrtnost	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	3000000	0.02	0.02	1.53	1.53
člověk	celá populace	CRA	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	2000	1.54	1.54	0.06	0.06
člověk	celá populace	RHA	s10	případ/rok <sup>-1</sup>	2000	2.49	2.49	0.10	0.10
člověk	dospělý 15-64	WLD	s25	dny/rok <sup>-1</sup>	295	4339.00	4339.00	26.88	26.88
člověk	dospělý 18-64	MRAD	s25	dny/rok <sup>-1</sup>	38	11520.00	11520.00	9.19	9.19
člověk	dospělý 30+	chronický YOLL	s25	roky/rok <sup>-1</sup>	40000	203.10	203.10	170.58	170.58
člověk	celá populace	RAD [net]	s25	dny/rok <sup>-1</sup>	130	2990.00	2990.00	8.16	8.16
člověk	dospělý 18-64	MRAD	som	dny/rok <sup>-1</sup>	38	9336.00	9336.00	7.45	7.45
člověk	dospělý 20+	UB	som	případ/rok <sup>-1</sup>	1	3325.00	3325.00	0.07	0.07
člověk	dospělý 65+	RHA	som	případ/rok <sup>-1</sup>	2000	2.51	2.51	0.11	0.11
člověk	děti 5-14	kašel	som	dny/rok <sup>-1</sup>	38	13210.00	13210.00	10.54	10.54
člověk	děti 5-14	LRS - kašel	som	případ/rok <sup>-1</sup>	38	2273.00	2273.00	1.81	1.81
člověk	celá populace	akutní YOLL	som	roky/rok <sup>-1</sup>	60000	2.83	2.83	3.56	3.56

Poznámky: CB – chronická bronchitida, UB – užití bronchodilátoru, LRS - příznaky nemocí dolních cest dýchacích, RHA - hospitalizace s respiračními chorobami, CRA - hospitalizace s chorobami srdce, WLD - dny pracovní neschopnosti, YOLL - rok(y) ztraceného života, RAD - den s omezenou aktivitou, MRAD - den s mírně omezenou aktivitou

## Výpočet externích nákladů vyvolaných hlukem z dopravy

### Vymezení hodnocených fyzických dopadů

V rámci ekonomického hodnocení jsou kvantifikovány dopady expozice hluku v podobě obtěžování hlukem, rušení hlukem ve spánku a zvýšení pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu<sup>2</sup>.

#### Obtěžování hlukem

Individuální funkce expozice-odezvy pro obtěžování hlukem (annoyance) jsou převzaty z meta-analýzy (Miedema a Oudshoorn, 2001) pro obtěžování hlukem ze silniční, železniční, a letecké dopravy. Takto odhadnutý polynomický funkční vztah umožňuje předpovědět procento lidí, kteří jsou působením hluku lehce, středně nebo velmi rozmrzelí (obtěžovaní).

Procento lehce (slightly annoyed - LA), středně (annoyed - A) a silně (highly annoyed - HA) obtěžovaných ze silničního hluku lze vypočítat následovně:

$$\%LA = -6.235 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 32)^3 + 5.509 \times 10^{-2} (L_{DVN} - 32)^2 + 0.6693 (L_{DVN} - 32)$$

$$\%A = 1.795 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 37)^3 + 2.110 \times 10^{-2} (L_{DVN} - 37)^2 + 0.5353 (L_{DVN} - 37)$$

$$\%HA = 9.868 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 42)^3 - 1.436 \times 10^{-2} (L_{DVN} - 42)^2 + 0.5118 (L_{DVN} - 42)$$

Procento lehce (LA), středně (A) a silně (HA) obtěžovaných ze železničního hluku lze určit obdobným způsobem:

$$\%LA = -3.229 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 32)^3 + 4.871 \times 10^{-2} (L_{DVN} - 32)^2 + 0.1673 (L_{DVN} - 32)$$

$$\%A = 4.538 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 37)^3 + 9.482 \times 10^{-3} (L_{DVN} - 37)^2 + 0.2129 (L_{DVN} - 37)$$

$$\%HA = 7.239 \times 10^{-4} (L_{DVN} - 42)^3 - 7.851 \times 10^{-3} (L_{DVN} - 42)^2 + 0.1695 (L_{DVN} - 42)$$

Část podkladových hlukových studií byla zpracována pro hlukové indikátory 16 hodinového denního hluku ( $L_{Aeq,16h}$ ) a 8 hodinového nočního hluku ( $L_n$ ). Pro přepočítání na celodenní hlukový indikátor  $L_{dvn}$  proveden pomocí výpočtového vztahu pro indikátor  $L_{dn}$  a připočtena korekce doporučená v příloze citované meta-analýzy (Miedema a Oudshoorn, op. cit.):

$$L_{DVN} = L_{DN} + 0.2$$

#### Rušení ve spánku

Individuální funkce expozice-odezva byla převzata z meta-analýzy (Miedema a kol., 2003) pro rušení ve spánku hlukem ze silniční, železniční, a letecké dopravy. Rovněž tento odhadnutý funkční vztah

<sup>2</sup> Zevrubná rešerše a postup odvození jednotkových hodnot externích nákladů hluku pro ČR jsou obsaženy ve zprávě o řešení projektu za rok 2010, kvantifikace dopadů silničního a železničního hluku ze strategického mapování v Praze byla zpracována ve zprávě o řešení projektu za rok 2009. Uvedené zprávy jsou dostupné na [www.czp.cuni.cz/tranext](http://www.czp.cuni.cz/tranext).

umožňuje předpovídat procento lidí, kteří uvádějí, že jsou působením hluku lehce, středně či silně rušeni ve spánku.

Procento osob silně rušených ve spánku (% HSD – highly sleep disturbed) lze pro silniční hluk vypočítat jako:

$$\%HSD = 20.8 - 1.05 * L_{noc} + 0.01486 * L_{noc}^2$$

a pro železniční hluk pak následovně:

$$\%HSD = 11.3 - 0.55 * L_{noc} + 0.00759 * L_{noc}^2$$

### Kardiovaskulární nemoci

Vztah asociace mezi silničním hlukem a zvýšením pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu meta-analýzou dřívějších studií odvodil Babisch (2006, 2008) v následující podobě:

$$OR = 1.629657 - 0.000613(L_{Aeq,16h})^2 + 0.000007357(L_{Aeq,16h})^3$$

Z důvodu stanovení tohoto vztahu jako procenta pravděpodobnosti (odds ratio), je pro odhad v rámci exponované populace nezbytné znát incidenci infarktu myokardu. Tyto hodnoty byly převzaty z příslušných statistik Ústavu zdravotnických informací a statistiky (ÚZIS ČR).

Referenčním indikátorem hlukové expozice je 16 hodinová ekvivalentní denní úroveň hluku  $L_{Aeq,16h}$ , pro přepočítání z 12 hodinového indikátoru denní úrovně hluku ( $L_d$ ) a 4 hodinového indikátoru večerního hluku ( $L_v$ ) byl použit následující funkční vztah (TRL, 2006):

$$L_{Aeq,16h} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{16} \right] [12 \times 10^{L_d/10} + 4 \times 10^{L_v/10}] dB$$

### Prahové hodnoty hluku pro kvantifikaci dopadů

Prahové hodnoty představují úroveň hluku, při níž nedochází k žádným negativním dopadům. Pro obtěžování hlukem jsou to hodnoty  $L_{DvN} \geq 42$  dB pro silné obtěžování,  $L_{DvN} \geq 37$  dB pro střední obtěžování a  $L_{DvN} \geq 32$  dB pro alespoň lehké obtěžování hlukem z dopravy (Miedema a Oudshoorn, 2001). Poněkud méně jednoznačné je určení prahové hodnoty u rušení hlukem ve spánku, v meta-analýze (Miedema a Vos, 2007) je nicméně uvažováno relativně úzké rozpětí  $L_{noc}$  45 – 65 dB(A), již dříve však byly tyto funkční vztahy extrapolovány pro nižší (40-45 dB(A)) i vyšší úrovně (65-70 dB(A)) (EC WGHSEA, 2004). U dopadů v podobě pravděpodobnosti infarktu myokardu je stanoven práh  $L_{Aeq,16h} > 60$  dB(A) (Babisch a kol., 2008).

### Ekonomické hodnocení dopadů

Peněžní ocenění dopadů hluku vychází jednak z empirické studie na odvození ochoty přijmout kompenzaci za obtěžování hlukem ze silniční a železniční dopravy realizované v rámci projektu<sup>3</sup> a ocenění dalších dopadů, které v této hodnotě nejsou zahrnuty – ztráty produktivity v důsledku

<sup>3</sup> Viz podrobně ve zprávě o řešení projektu za rok 2009, dostupné na [www.czp.cuni.cz/tranext](http://www.czp.cuni.cz/tranext).

silného rušení ve spánku a celkové ztráty v důsledku dodatečných případů infarktu myokardu z expozice silničnímu hluku převyšujícímu úroveň  $L_{Aeq,16h}$  60 dB.

Pro ocenění ztráty produktivity v důsledku nespavosti vycházíme ze studie Godet-Cayré a kol. (2006), která odhadovala náklady pracovních absencí spojených s nespavostí ve Francii. Rozdíl v délce pracovní neschopnosti mezi běžnými a insomnickými zaměstnanci byl odhadnut na 3,4 dne, nicméně autoři studie upozorňují na možná úskalí přenosu této hodnoty a doporučují použít relativní podíl na produktivitě vyjádřený jako 2 % HDP na zaměstnance.

U jednoho případu infarktu myokardu jsou zahrnuty jak přímé náklady léčení – odhadnuté na 52 tis. Kč za případ – tak i ztráta produktivity – odhadovaná na 63 tis. Kč za případ – a rovněž ztrátu blahobytu v důsledku bolesti a nepohodlí, která byla nepřímo odhadnuta ve výši 52,5 tis. Kč za případ. Vedle toho je určitá část infarktů fatální, a tedy je záhodno do kvantifikace zahrnout i ztrátu blahobytu v důsledku předčasného úmrtí. Odhadnutá výše této ztráty vychází z konceptu hodnoty let ztraceného života (years of life lost – YOLLS), získaného vynásobením počtu ztracených let (YOLLS) hodnotou roku ztraceného života (value of life year - VOLY), který byl mj. pro ČR odhadnut v evropském projektu NEEDS (Desaigues a kol, 2011).

## Dopravně-technická opatření v části obce Kopřivnice

Vyhodnocení dopadů bylo zpracováno pro různé scénáře realizace dopravně-technických opatření v části obce Kopřivnice (převážně sídelní část Pod Bílou horou), s celkovým počtem 5927 obyvatel. Jednalo se o kombinaci instalace nízkohlučného povrchu nebo výstavby protihlukové stěny s omezeními rychlosti uvnitř městské zástavby. Celkem bylo posuzováno následujících 7 scénářů se 3 variantami protihlukových opatření:

Varianta se snížením rychlosti:

- 1A) Výpočet „aktuálního stavu“ – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 1B) Výpočet „aktuálního stavu“ – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.

Varianta s nízkohlučným povrchem:

- 2A) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 2B) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.
- 2C) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na všechny komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.

Varianta s protihlukovou stěnou (výšky 3m):

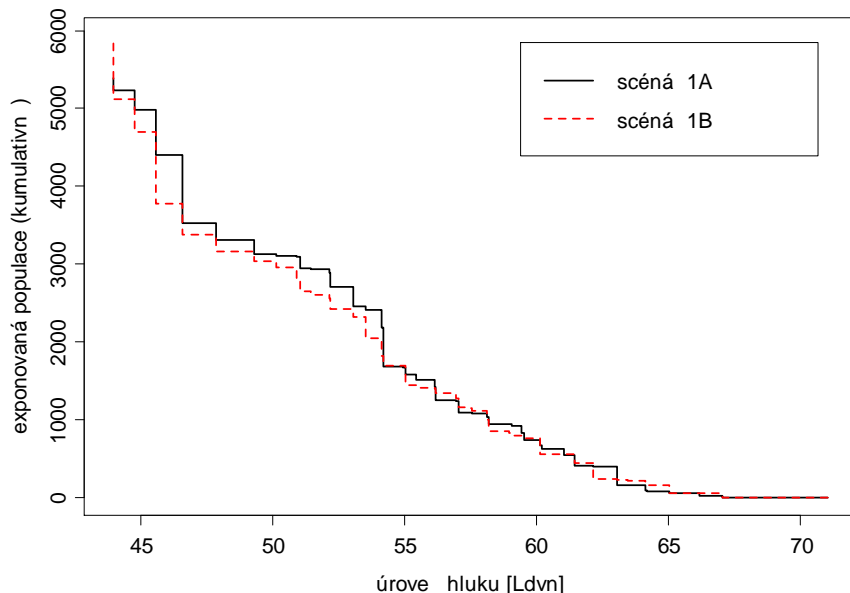
- 3A) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 3B) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.

Následující grafy ukazují vzájemné srovnání jednotlivých scénářů a variant z hlediska změny expozice obyvatel této pilotní oblasti.



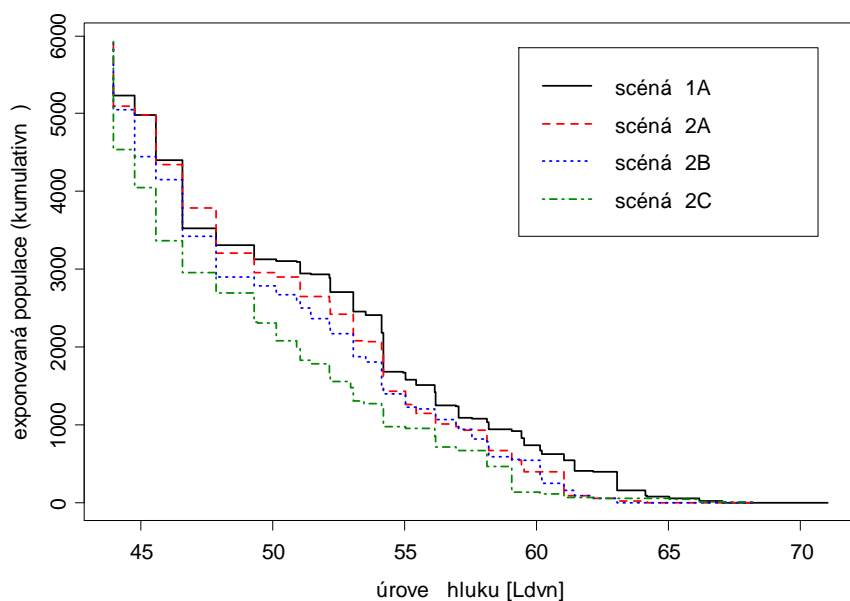
U první varianty opatření (snížení rychlosti) je zjevné, že ke snížení zátěže dochází především u nižších hlukových expozic, což odpovídá charakteru opatření, které má dopad pouze uvnitř městské zástavby, nikoli okolo páteřní komunikace s vyššími úrovněmi hlukové expozice obyvatel.

**Obrázek 6 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti celodenním hlukem – varianta snížení rychlosti**



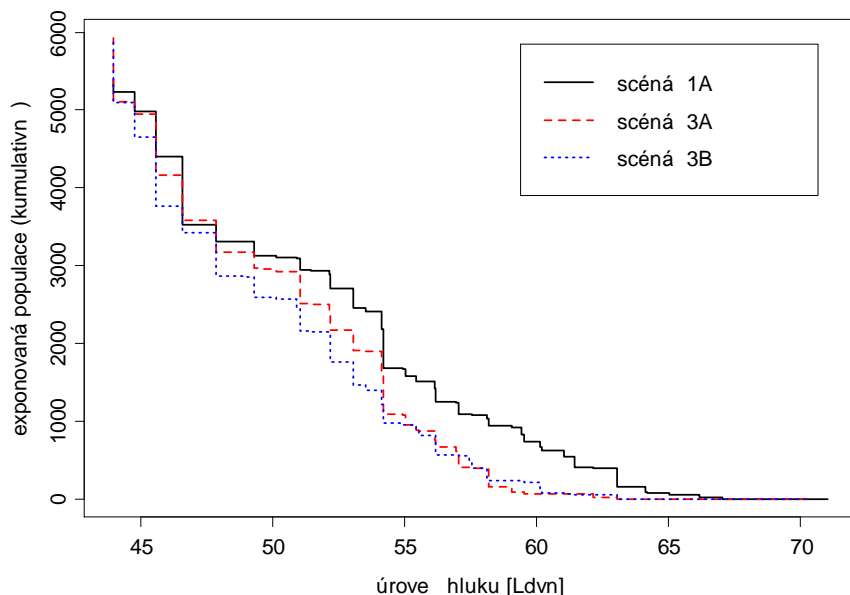
V případě scénářů u druhé varianty je pokládka nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci přínosná především pro obyvatele vystavené hluku nad 50 dB Ldvn. Pokud současně dojde i ke snížení rychlosti v uvnitř městské zástavby, pak se mírné snížení hlukové expozice projeví i v těchto nižších hlukových úrovních. K nejvýraznějšímu snížení hlukové zátěže ovšem dochází při položení nízkohlučného povrchu na všech komunikacích a to prakticky rovnoměrně pro všechny úrovně hlukové expozice.

**Obrázek 7 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti celodenním hlukem – scénáře pokládka nízkohlučného povrchu**



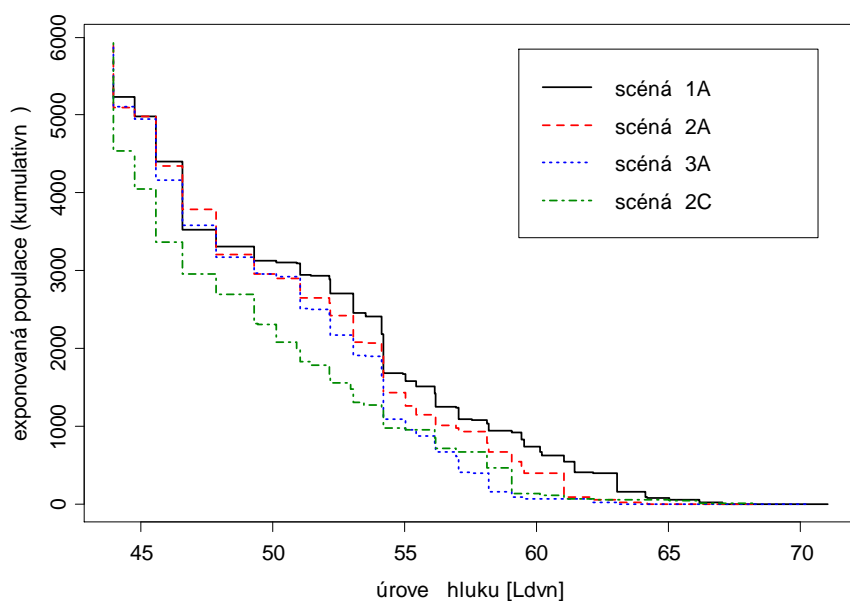
V případě scénářů varianty s protihlukovou stěnou dochází k výraznému snížení zátěže u obyvatel za stávajícího stavu vystavených hluku nad 54 dB Ldvn, výraznější snížení expozice i u nižších úrovních hluku pak opět přináší současné omezení rychlosti v městské zástavbě na 30 km/h.

**Obrázek 8 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti celodenním hlukem – scénáře instalace protihlukové stěny**



Takto lze porovnat i změny expozice mezi scénáři s nízkohlukovým povrchem a protihlukovou stěnou. Při realizaci obou opatření na páteřní komunikaci dochází k většímu poklesu hlukové zátěže u scénáře s protihlukovou stěnou. Největší celkový pokles hlukové zátěže ovšem přináší scénář s položením nízkohlukového povrchu na všech komunikacích.

**Obrázek 9 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti celodenním hlukem podle vybraných scénářů**

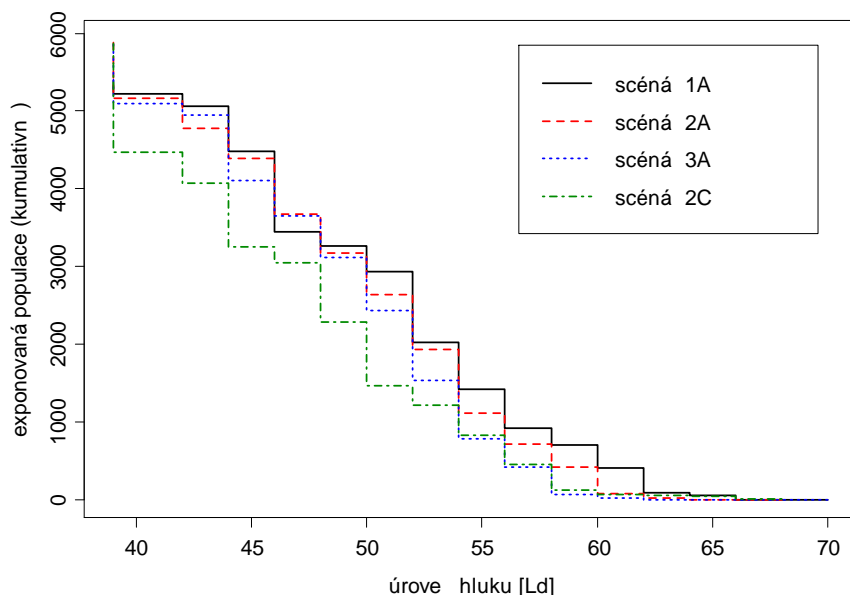


Toto srovnání (případně i se zahrnutím dodatečného omezení rychlosti v městské zástavbě), dobře ilustruje, jaký význam má ekonomické vyhodnocení přínosů těchto dopravně-technických opatření, neboť umožňuje nejen tyto přínosy vyčíslit, ale zároveň je přímo porovnat s náklady na jejich realizaci a potenciálně i zohlednit jiné vedlejší efekty (např. vliv na emise škodlivin do ovzduší).

### Dodatečné infarkty myokardu

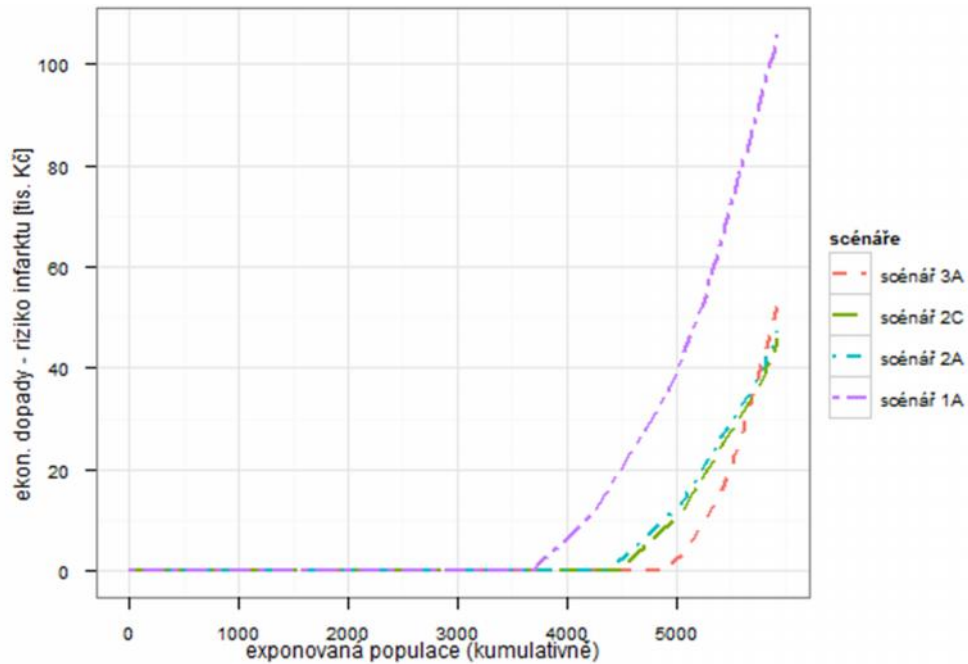
Referenčním hlukovým indikátorem pro výpočet dodatečných případů infarktu myokardu je ekvivalentní akustická hladina 16 hodinového denního hluku ( $L_{Aeq,16h}$ ). Grafické vyjádření zasažení populace je pro vybrané čtyři modelové scénáře znázorněno v následujícím grafu.

**Obrázek 10 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti denním hlukem podle vybraných scénářů**



Hodnocená modelová dopravně-technická opatření vedou k obdobnému snížení dopadů v podobě dodatečných případů infarktu přibližně na polovinu, jak ukazuje Obrázek 11. To je způsobeno především tím, že u tohoto dopadu je předpokládán práh působení 60 dB hlukového indikátoru Ld a jednotlivá opatření se liší především v účinnosti snižování úrovně expozice obyvatel v úrovních pod 60 dB hlukového indikátoru Ld.

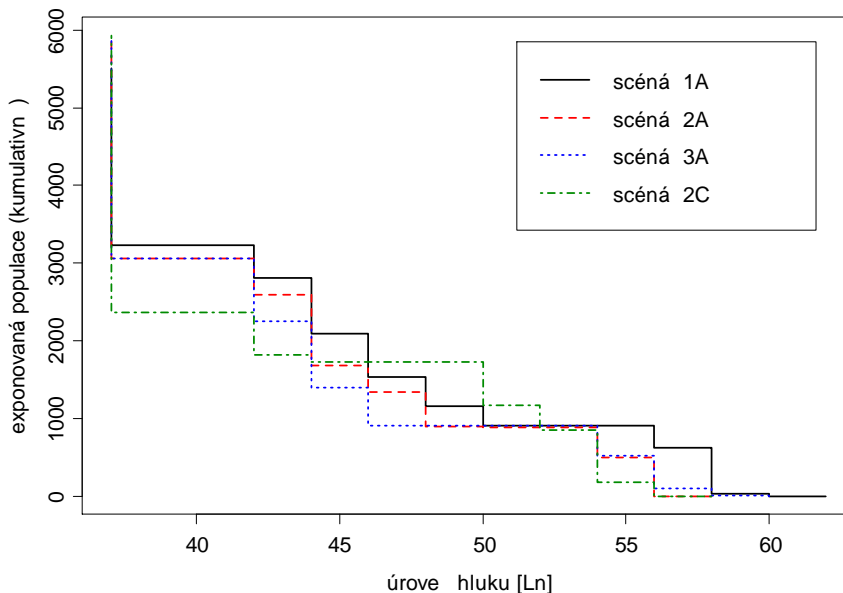
**Obrázek 11 – Srovnání ekonomických dopadů z dodatečných případů infarktu myokardu pro vybrané scénáře**



### Rušení ve spánku

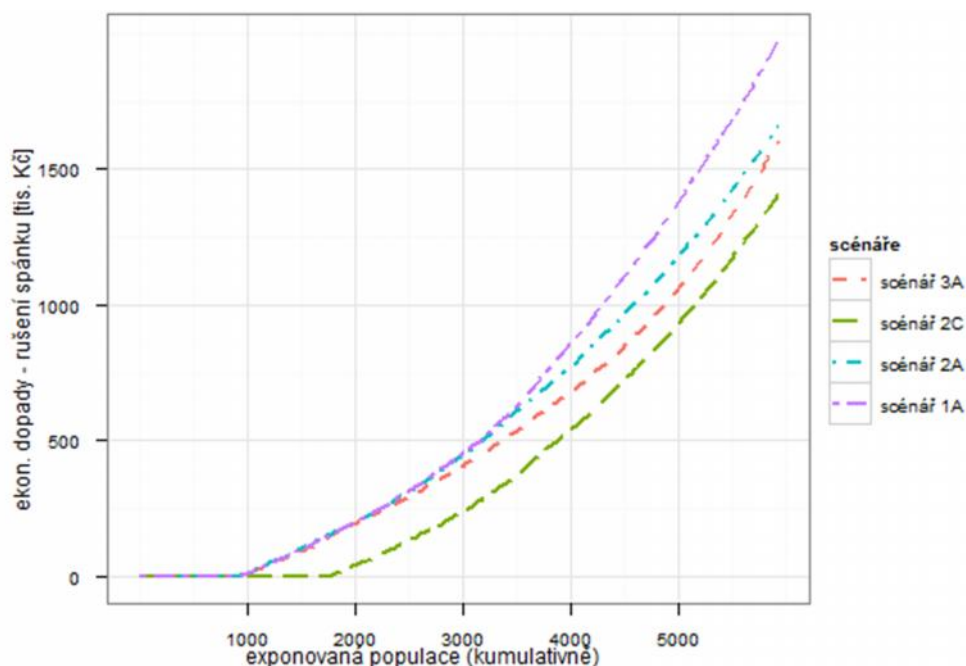
V případě oceňovaného dopadu silné rušení ve spánku je relevantním hlukovým indikátorem ekvivalentní hladina 8 hodinového nočního hluku  $L_n$ . Grafické vyjádření zasažení populace pro vybrané čtyři scénáře je opět znázorněno v grafu.

Obrázek 12 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti nočním hlukem podle vybraných scénářů



Vyhodnocení ekonomických dopadů ukazuje, že mírně nižší ekonomické dopady v důsledku silného rušení ve spánku pocházejí ze scénáře uvažujícího s instalací protihlukové stěny (ve srovnání se scénářem s nízkohlučným povrchem na páteřní komunikaci), ještě nižší dopady jsou pak spojeny se scénářem 2C, tedy nízkohlučným povrchem na celé síti komunikací.

Obrázek 13 – Srovnání ekonomických dopadů silného rušení ve spánku pro vybrané scénáře

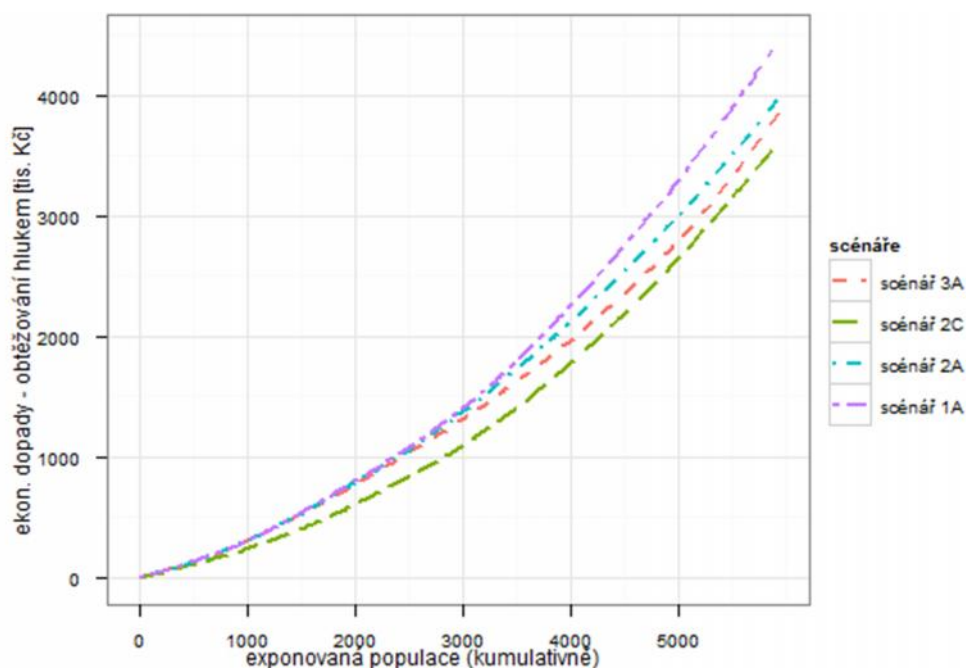


### Obtěžování hlukem

V případě oceňovaného dopadu obtěžování hlukem je relevantním hlukovým indikátorem ekvivalentní hladina 24 hodinového hluku  $L_{dn}$ . Grafické vyjádření zasažení populace pro čtyři scénáře je znázorněno v grafu výše (Obrázek 9).

Vyhodnocení ekonomických dopadů ukazuje (obdobně jako u silného rušení ve spánku), že mírně nižší ekonomické dopady pocházejí ze scénáře uvažujícího s protihlukovou stěnou než u pokládky nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci, nejnižší dopady jsou nicméně spojeny se scénářem 2C, tedy nízkohlučným povrchem na celé síti komunikací.

Obrázek 14 – Srovnání ekonomických dopadů obtěžování hlukem pro vybrané scénáře



## Celkové ekonomické dopady

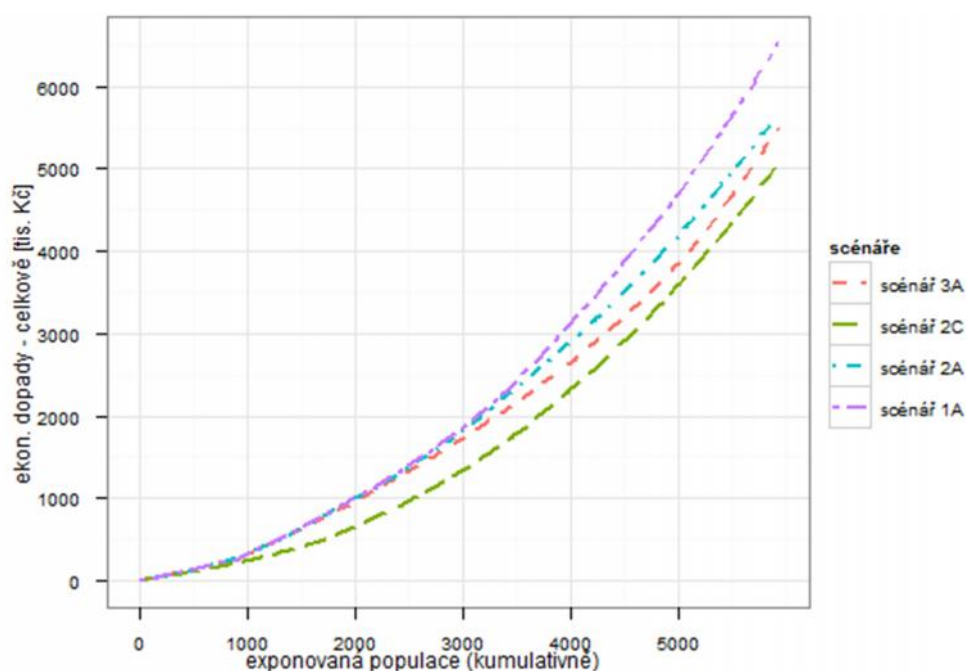
Celkové ekonomické škody expozice hluku v případovém území byly pro stávající stav (scénář 1A) odhadnuty zhruba na úrovni 6,5 mil. Kč ročně. Všechny další uvažované scénáře vedou ke snížení těchto dopadů a to od relativně nevýznamného snížení o 154 tis. Kč (cca 2,7 %) v případě samotného omezení rychlosti v městské zástavbě na 30 km/h, až po snížení o 1,4 mil. Kč (cca 22 %) při položení nízkohlučného povrchu na celé síti komunikací. Bezespору zajímavé je srovnání dvou odlišných čistě technických opatření – protihlukové stěny (scénář 3A) a pokládky nízkohlučného povrchu na hlavním tahu (scénář 2A). U protihlukové stěny jsou přínosy odhadovány v rozsahu zamezených dopadů ve výši téměř 1 mil. Kč, zatímco u pokládky nízkohlučného povrchu jsou zamezené dopady mírně nižší, 834 tis. Kč.

**Tabulka 19 - peněžní ocenění dopadů hluku ze scénářů (v Kč/rok)**

scénář	infarkt myokardu	rušení ve spánku	obtěžování	celkem	snížení dopadů (vs. scénář 1A)
1A	105 940	1 975 417	4 429 525	<b>6 510 883</b>	-
1B	105 940	1 902 443	4 347 623	<b>6 356 006</b>	<b>154 877</b>
2A	47 376	1 655 812	3 973 392	<b>5 676 580</b>	<b>834 303</b>
2B	45 671	1 567 687	3 879 437	<b>5 492 796</b>	<b>1 018 087</b>
2C	45 631	1 403 980	3 615 498	<b>5 065 109</b>	<b>1 445 774</b>
3A	52 785	1 606 248	3 860 783	<b>5 519 816</b>	<b>991 067</b>
3B	52 785	1 524 612	3 776 563	<b>5 353 960</b>	<b>1 156 923</b>

Grafické vyjádření rozložení těchto dopadů hluku pro čtyři scénáře podle kumulativní expozice obyvatel ukazuje následující graf.

**Obrázek 15 – Srovnání celkových ekonomických dopadů pro vybrané scénáře**



## Dopravně-technická opatření v části obce Vysoké Mýto

V rámci této pilotní oblasti<sup>4</sup> jsou hodnocena (vedle stávajícího stavu – varianta 0) dvě dopravně-technická opatření. Prvním z nich je výstavba obchvatu (varianta 1), druhým pak položení nízkohlučného povrchu (varianta 2). Na následujícím obrázku je představena akustická situace podél hlavní tranzitní komunikace za stávajícího stavu. V rámci modelované oblasti je dopravním hlukem zasaženo 2769 obyvatel.

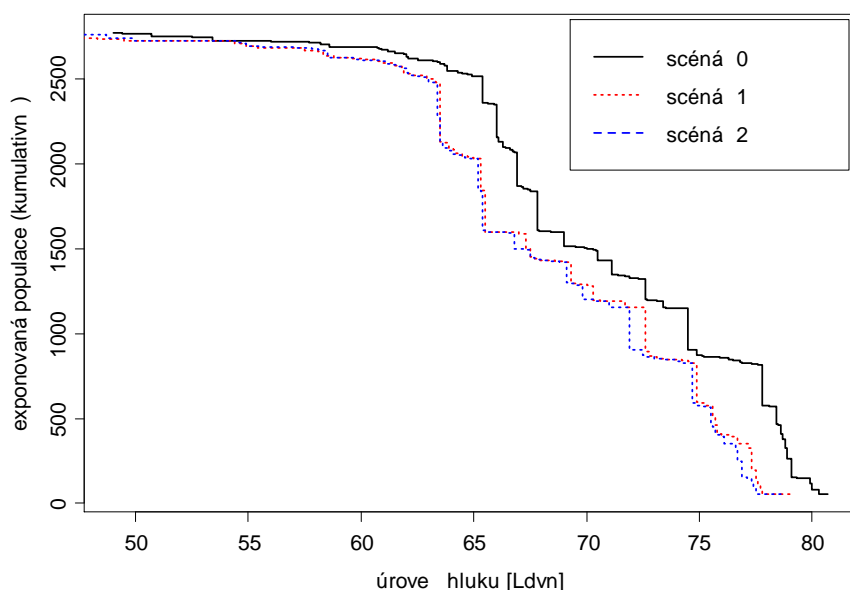
Obrázek 16 – Model akustické situace podél hlavního tahu v části Vysokého Mýta



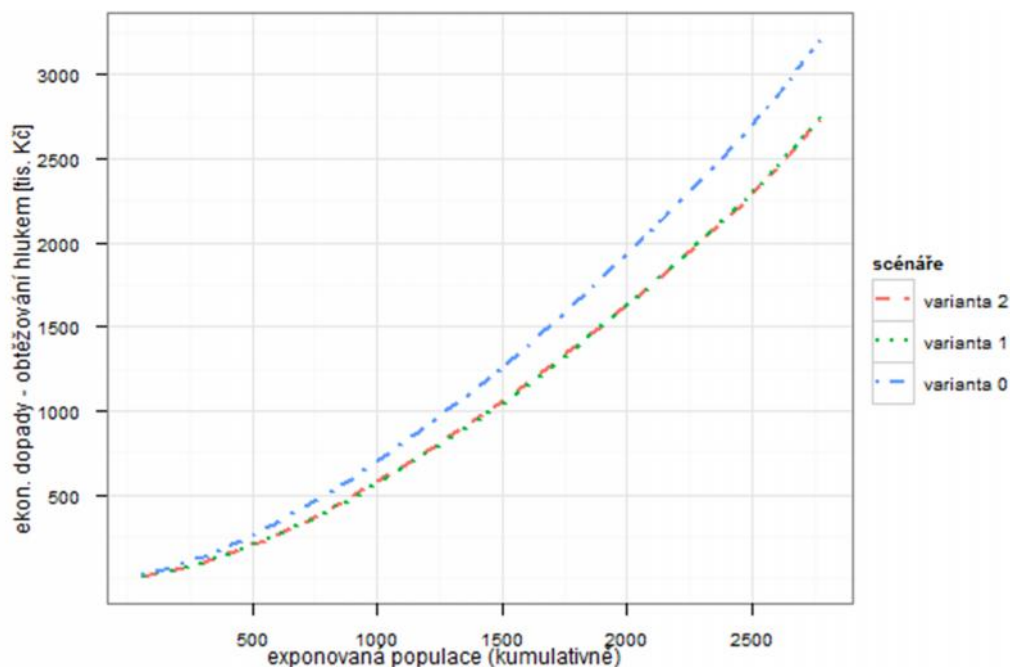
Zdroj: Centrum dopravního výzkumu

Následující graf porovnává expozici obyvatel v jednotlivých scénářích podle indikátoru celodenního hluku (Ldvn). Ze srovnání je zřejmé, že obě opatření vedou ke srovnatelnému poklesu silničního hluku, pokles u varianty s pokládkou nízkohlučného povrchu je přitom dle uvedeného indikátoru mírně vyšší.

<sup>4</sup> Podrobný popis mapování hlukové zátěže v této pilotní oblasti je obsažen ve zprávě o postupu řešení projektu za rok 2009.

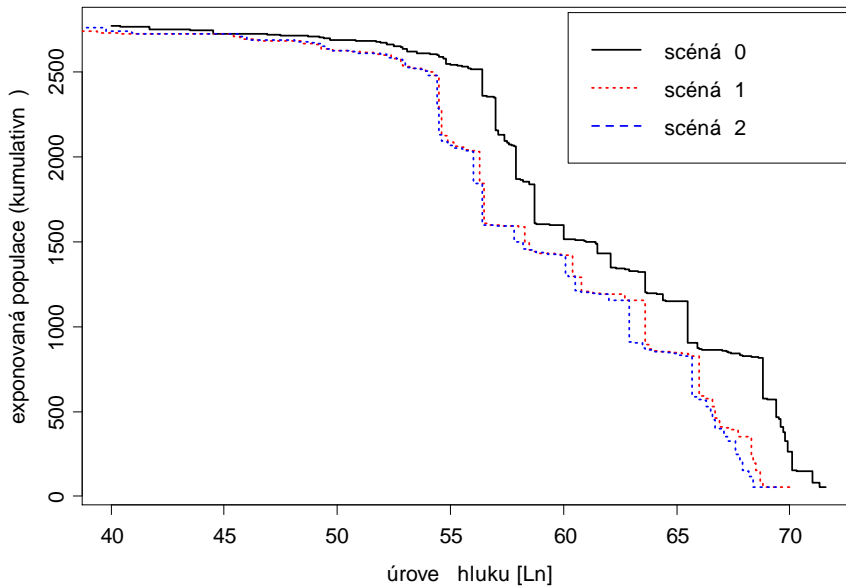
**Obrázek 17 - Srovnání zátěže populace celodenním hlukem v uvažovaných variantách protihlukových opatření**

Uvedený indikátor celodenní akustické úrovně hluku (Ldvn) je referenčním indikátorem pro výpočet jednotlivých úrovní obtěžování hlukem. Grafické vyjádření rozložení tohoto dopadu na obyvatelstvo je znázorněno v následujícím grafu. Obě uvažovaná opatření vedou k relativně výraznému poklesu externalit z obtěžování hlukem. Rozdíl mezi dopady působenými variantou 1 (obchvat) a variantou 2 (nízkohlučný povrch) je nepatrný.

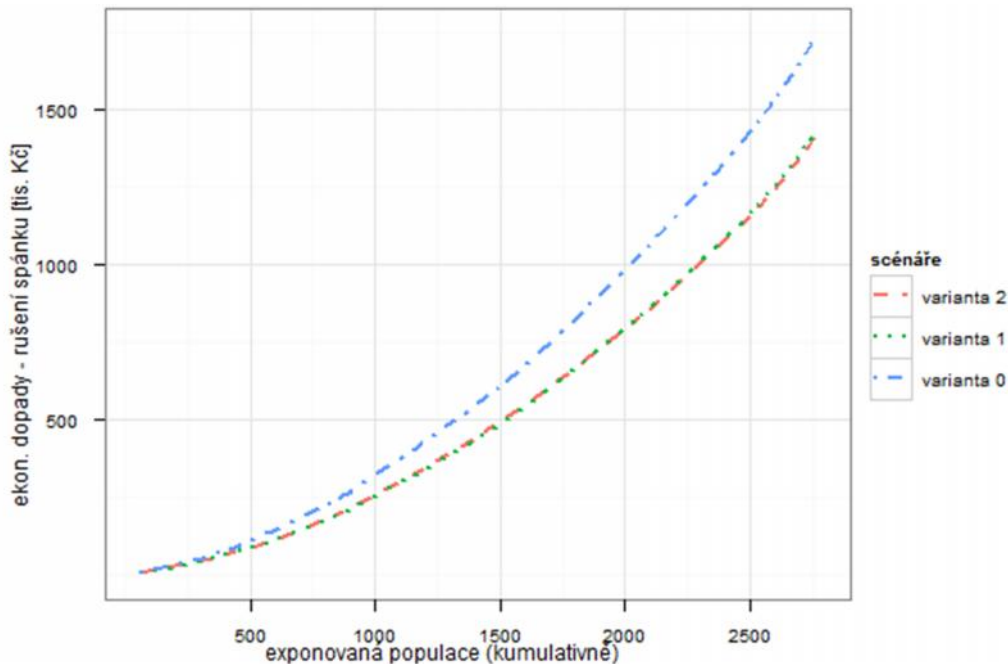
**Obrázek 18 - Srovnání ekonomických dopadů z obtěžování hlukem**

Dalším kvantifikovaným dopadem je silné rušení ve spánku, jehož referenčním indikátorem je 8 hodinová noční ekvivalentní hladina hluku (Ln). Grafické znázornění expozice obyvatel případové oblasti nočnímu hluku přibližuje Obrázek 19. Shodně s indikátorem expozice celodennímu hluku vede opatření ve variantě 2 k mírně většímu snížení hlukové zátěže obyvatelstva.

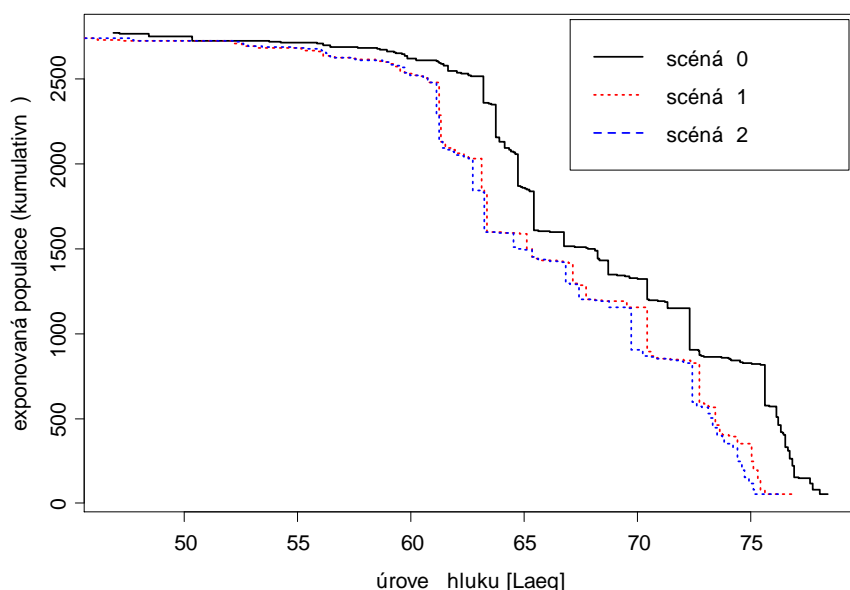


**Obrázek 19 - Srovnání zátěže populace nočním hlukem ve variantách protihlukových opatření**

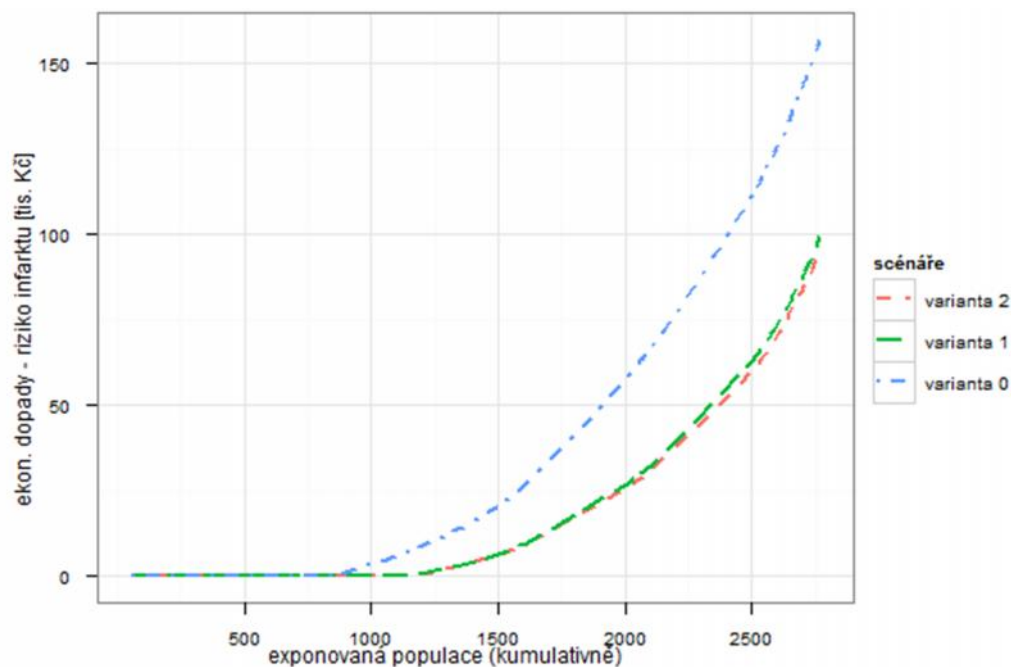
Kvantifikaci dopadů v podobě silného rušení ve spánku působeného nočním hlukem přibližuje Obrázek 20. I v tomto případě je přínos obou uvažovaných opatření významný a v ekonomickém vyjádření prakticky totožný.

**Obrázek 20 – Kvantifikace rušení spánku nočním hlukem**

Poslední z kvantifikovaných dopadů je zvýšení pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu v důsledku expozice 16 hodinovému dennímu hluku ( $L_{aeq}$ ) převyšujícímu úroveň 60 dB. Grafické znázornění expozice obyvatel případové oblasti nočnímu hluku přibližuje Obrázek 21. Tak jako v předchozích případech je opatření ve variantě 2 ve snížení expozice obyvatel mírně příznivější.

**Obrázek 21 - Srovnání zátěže populace 16 hodinovým hlukem ve variantách protihlukových opatření**

Ekonomické vyjádření zvýšení pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu ukazuje relativně značný přínos obou dopravně-technických opatření, ačkoli v absolutních hodnotách je tento dopad ve srovnání s ostatními hodnocenými dopady řádově nižší. Přínos opatření ve variantě 2 je přitom díky většímu snížení expozic nejvyšším hladinám hluku mírně vyšší.

**Obrázek 22 – Kvantifikace rizika infarktu myokardu**

### Celkové ekonomické vyčíslení dopadů hluku

Celkové dopady hluku v pilotní oblasti při stávající situaci (varianta 0) byly odhadnuty ve výši přesahující 5 mil. Kč. Obě uvažovaná variantní opatření ke snížení hluku vedou k podstatnému snížení

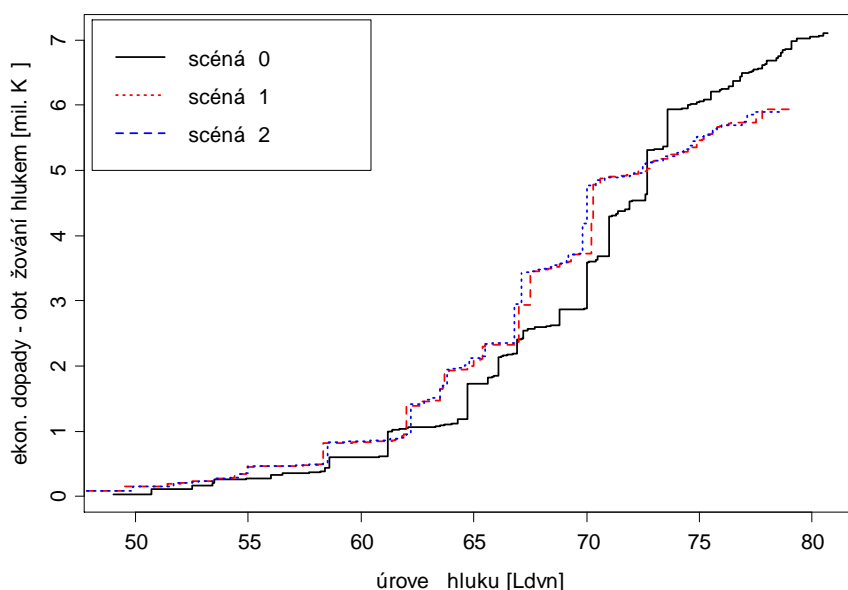
těchto dopadů. Výstavba obchvatu uvažovaná ve variantě 1 by vedla ke snížení externích nákladů působených hlukem o přibližně 16 % (819 tis. Kč), pokládka nízkohlučného povrchu uvažovaná ve variantě 2 by celkové externality hluku snížila o 17% (850 tis. Kč). Nutno přitom zdůraznit, že uvedené hodnocení se týká pouze působení hluku, přitom výstavba obchvatu by nesporně měla přínos i ve snížení lokálních koncentrací škodlivin z dopravy v hodnocené oblasti, zatímco instalace nízkohlučného povrchu takový efekt nepřináší.

**Tabulka 20 – peněžní ocenění dopadů hluku podle variant (v Kč/rok)**

varianta	infarkty	rušení ve spánku	obtěžování/rozmrzelost	celkem	přínos vs. var0
<b>var0</b>	157 265	1 739 350	3 212 374	<b>5 108 989</b>	-
<b>var1</b>	99 416	1 435 831	2 754 945	<b>4 290 192</b>	<b>818 797</b>
<b>var2</b>	95 304	1 422 742	2 740 593	<b>4 258 639</b>	<b>850 350</b>

V následujícím grafu je znázorněno rozložení kvantifikovaných přínosů pro jednotlivé varianty podle hlukového indikátoru L<sub>dvn</sub> a kumulativně vyjádřených ekonomických dopadů.

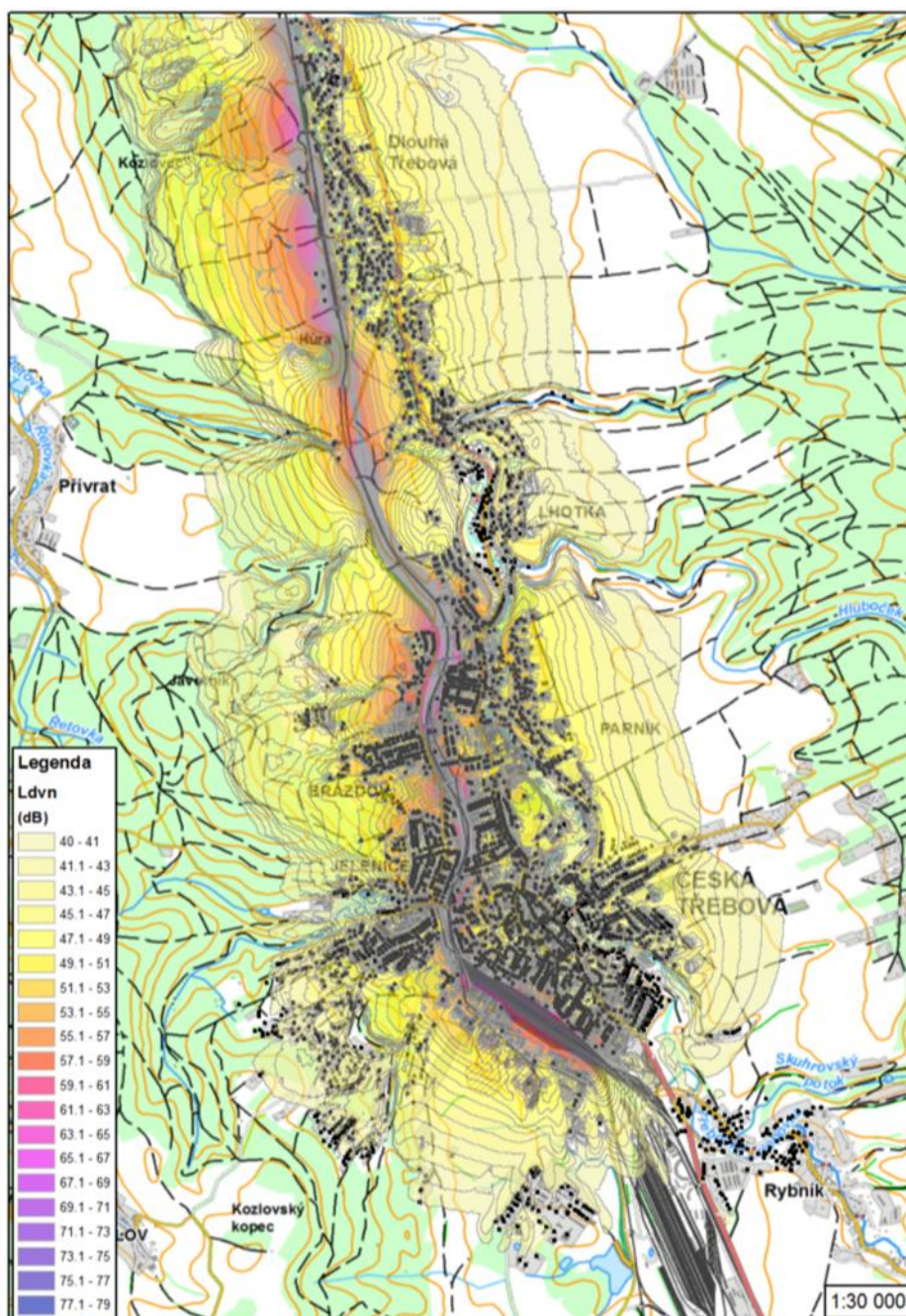
**Obrázek 23 - Srovnání celkových ekonomických dopadů pro jednotlivé varianty**



## Kvantifikace dopadů hluku z úseku železničního koridoru Dlouhá Třebová – Česká Třebová

Ekonomické dopady železničního hluku v podobě obtěžování hlukem a rušení ve spánku jsou kvantifikovány pro pilotní oblast úseku I. železničního koridoru Dlouhá Třebová – Česká Třebová (akustickou situaci v lokalitě přibližuje Obrázek 24).

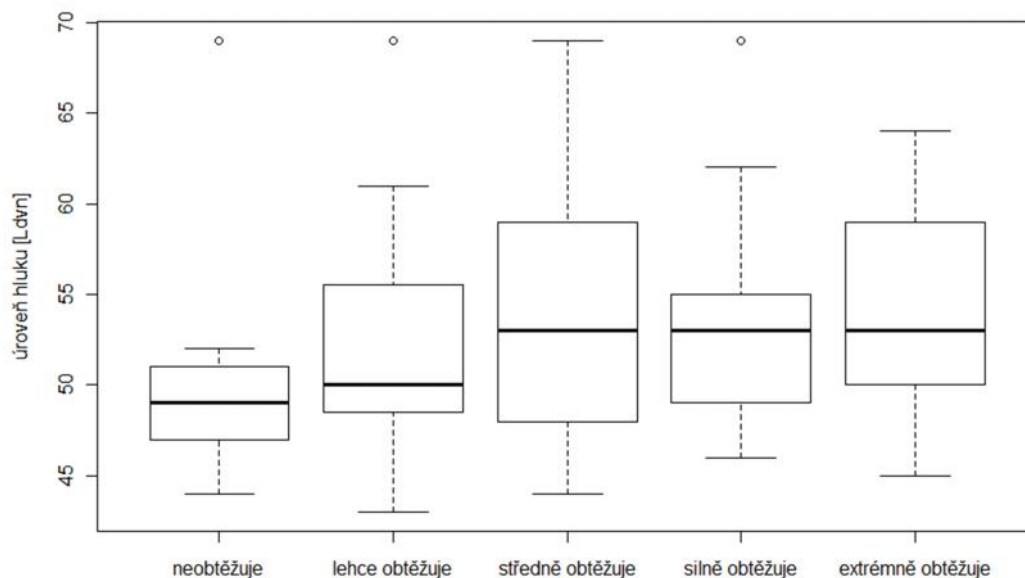
Obrázek 24 – Akustická situace podél hodnoceného úseku I. železničního koridoru



Zdroj: Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě/Národní referenční laboratoř pro měření a posuzování hluku v komunálním prostředí (hluková data), ČSÚ (adresní místa), CENIA (topografický podklad)

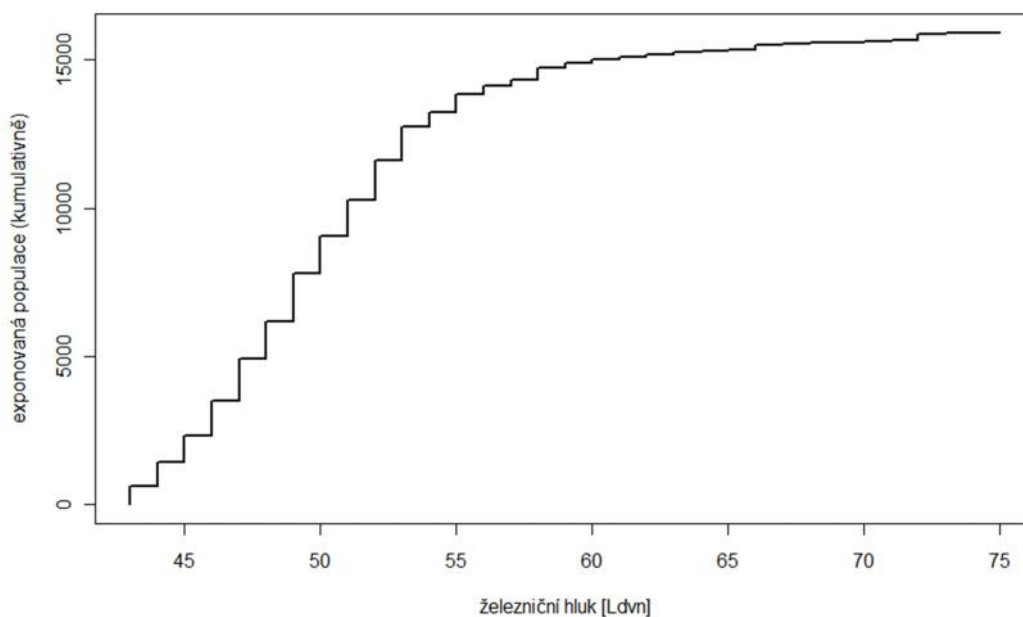
V České Třebové byl rovněž v roce 2009 realizován sběr dotazníkového šetření na ochotu přijmout kompenzaci za obtěžování hlukem. Na těchto datech lze ilustrovat vztah mezi úrovní vnějšího hluku (měřeného/modelovaného v decibelech) a subjektivně vnímanou mírou obtěžování, který je při oceňování dopadů využíván. Jak ukazuje následující graf, je asociace rostoucí míry obtěžování s růstem úrovně hluku zřetelná u prvních tří úrovní obtěžování. U dvou nejvyšších úrovní obtěžování dále neroste, je však nutné připomenout, že je tento odhad proveden na relativně malém počtu pozorování ( $n=111$ ).

**Obrázek 25 – Krabicový graf vztahu mezi modelovanou hlukovou expozicí a subjektivním hodnocením obtěžování hlukem**

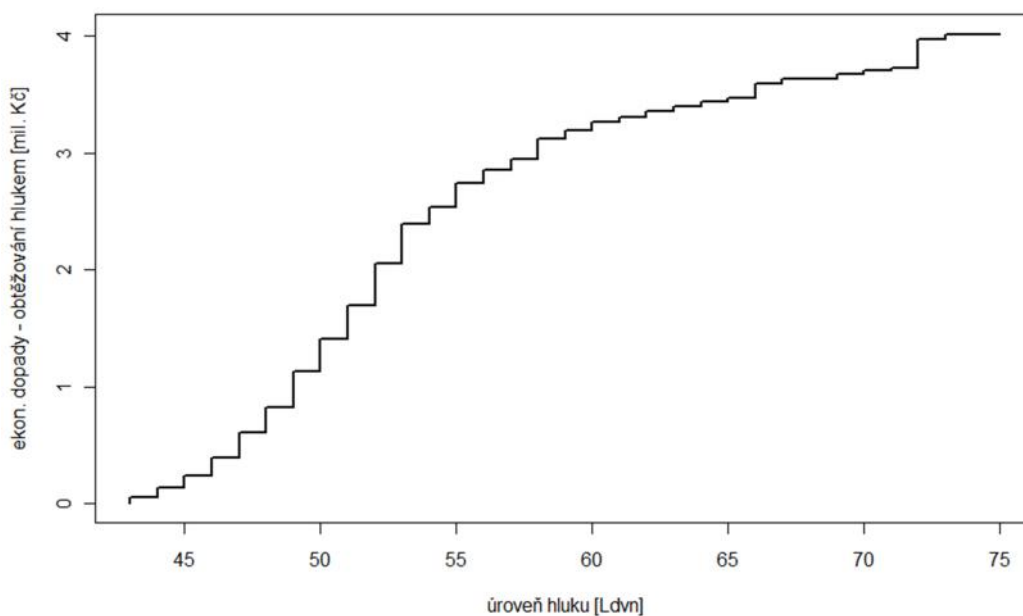


Pro kvantifikaci dopadů byla využita data ze strategického hlukového mapování realizovaného v roce 2006. Odhad celkového počtu zasažených osob byl získán přepočtem z vrstvy adresních míst Českého statistického úřadu obsahujícího počet bytů v jednotlivých budovách obce Česká Třebová a celkového počtu obyvatel. Vypočtená hodnota průměrného počtu obyvatel na byt dosáhla 2,39 obyvatel na byt (průměrná hodnota za ČR je prakticky shodná, 2,4 obyvatel na byt). Pro pilotní lokalitu pak takto odvozen počet exponovaných osob, který dosáhl čísla 15 910.

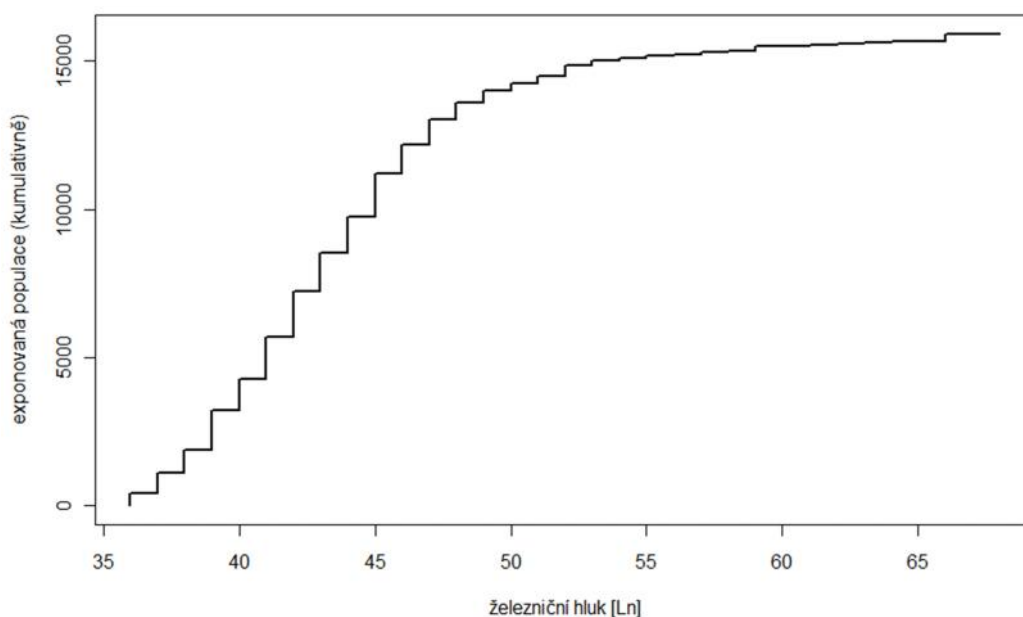
V následujícím grafu je znázorněna kumulativní zátěž obyvatel pilotní oblasti železničním hlukem vyjádřeným 24 hodinovým hlukovým indikátorem L<sub>dn</sub>.

**Obrázek 26 – expozice obyvatel železničnímu hluku (celodenní – Ldvn)**

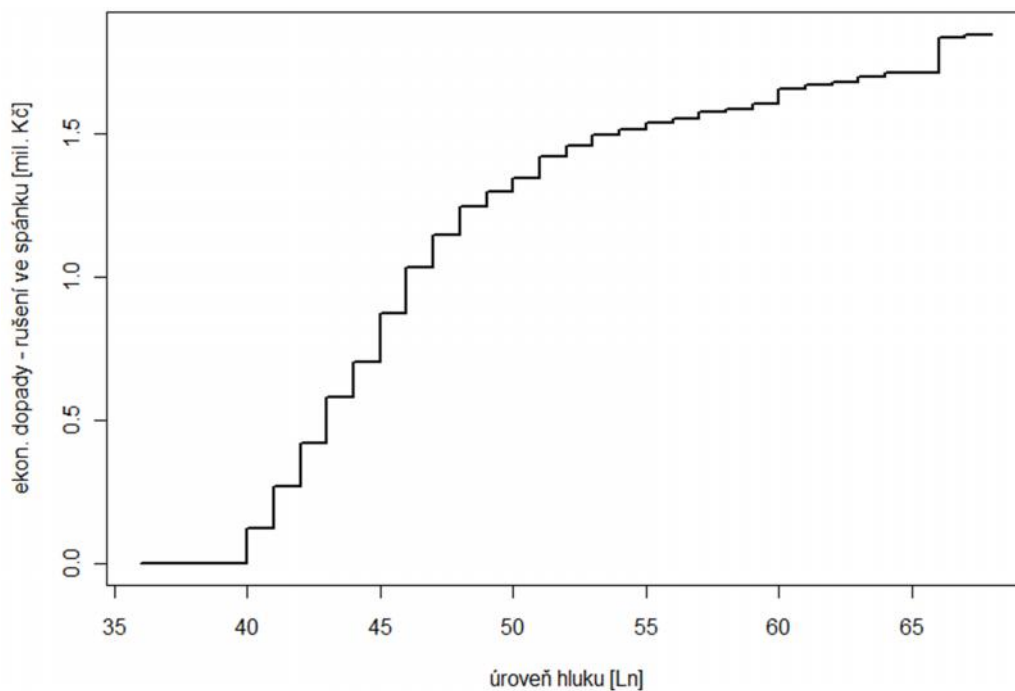
Na základě tohoto indikátoru byl pro zasaženou populaci odhadnut počet osob ve třech úrovních obtěžování hlukem – málo, středně a velmi – a těmto skupinám přiřazeno peněžní ocenění založené na zmíněné valuační studii. Grafické vyjádření rozložení ekonomických dopadů obtěžování železničním hlukem přibližuje Obrázek 27. Na celkovém dopadu v podobě obtěžování se podílí především silné obtěžování (44 %) a střední obtěžování (35 %).

**Obrázek 27 – Ekonomické dopady obtěžování železničním hlukem (v mil. Kč za rok)**

Pro kvantifikaci ekonomických dopadů v důsledku silného rušení ve spánku byla využita data o noční hlukové situaci (indikátor Ln). Kumulativní zátěž obyvatel pilotní oblasti tímto hlukem přibližuje Obrázek 28.

**Obrázek 28 - expozice obyvatel železničnímu hluku (noční – Ln)**

Ekonomické ocenění ztráty produktivity v důsledku tohoto negativního působení hluku přibližuje Obrázek 29. Poměrně významná část dopadů přitom připadá na hlukové úrovně mimo původní rozsah funkce expozice-odezva, zejména pod spodní hranicí 45 dB ale i nad horní hranicí 65 dB (Miedema a Vos, op. cit.), nicméně lze zde poukázat na dříve zmiňovanou extrapolaci pro rozmezí Ln 40-70 dB.

**Obrázek 29 - Ekonomické dopady silného rušení ve spánku železničním hlukem (v mil. Kč za rok)**

Celkové ekonomické dopady hluku ze železniční dopravy na vybraném úseku I. železničního koridoru jsou odhadovány ve výši přesahující 5,8 mil. Kč za rok a zhruba rovným dílem se na nich podílí ztráta

produktivity v důsledku silného rušení ve spánku a snížení blahobytu v důsledku silného obtěžování hlukem, obě nižší úrovně obtěžování hlukem dohromady představují cca 40 % ekonomických dopadů.

**Tabulka 21 – peněžní ocenění dopadů železničního hluku z úseku I. koridoru Dlouhá Třebová – Česká Třebová (v Kč za rok)**

<b>typ dopadu</b>	<b>ekonomické ocenění (Kč)</b>
silné rušení ve spánku	1 850 947
lehké obtěžování	896 931
střední obtěžování	1 411 173
silné obtěžování	1 716 176
<b>celkem</b>	<b>5 875 227</b>



## Výpočet externích nákladů způsobených kongescemi a nehodami

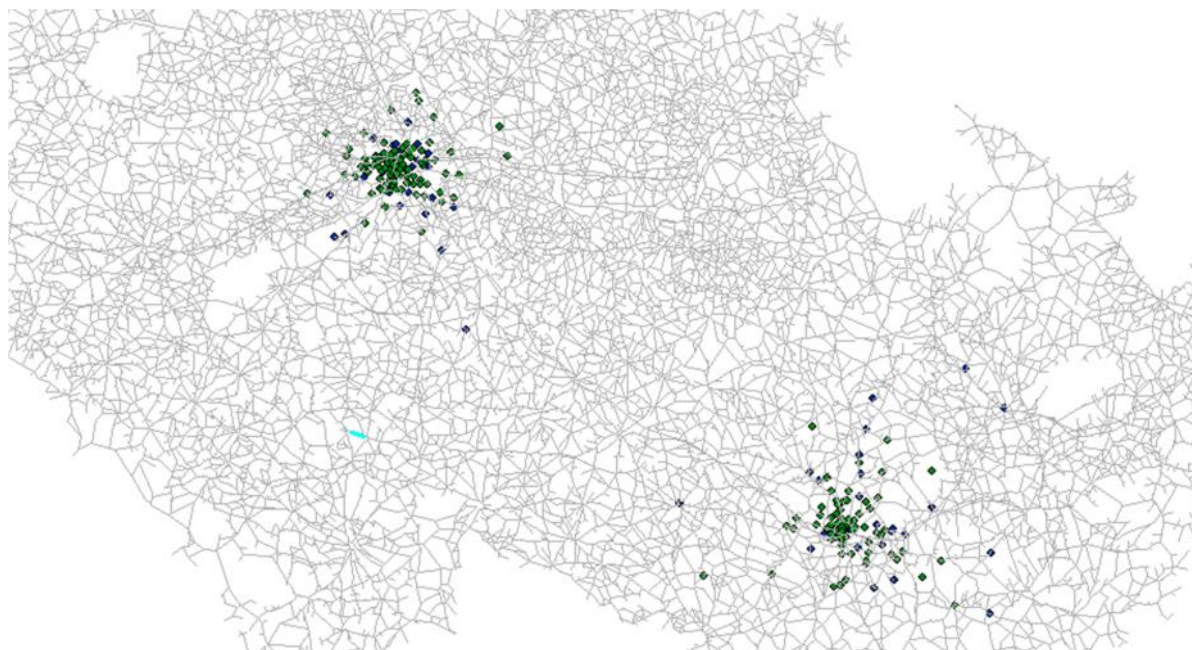
### Dotazníkové šetření na ochotu platit za změnu cestovního času

Předmětem našeho výzkumu bylo dopravního na trase Praha – Brno (resp. Brno-Praha) na populaci těchto dvou aglomerací přístupem odhalených preferencí (*revealed preferences*) a vyjádřených preferencí (*stated preferences*)<sup>5</sup>. Důvodem pro volbu této trasy byla možnost víceméně rovnocenné volby mezi hlavními pozemními dopravními módy – osobní auto, autobus a vlak na uvedené trase, tj. dálnice D1 a I. železniční koridor. Stěžejní část šetření však část dotazníku na rozhodování o hypotetické volbě cesty na téže trase pomocí přístupu vyjádřených preferencí. Pomocí přístupu projevených preferencí byly zjišťovány charakteristiky poslední uskutečněné cesty, která poté sloužila jako referenční cesta (resp. status quo) pro hypotetické scénáře výběrového experimentu.

Dále bylo také zjišťováno využití úspor cestovního času a alokace času v domácnosti a socio-demografické charakteristiky respondentů, které mohou vysvětlovat volbu dopravního prostředku, resp. hodnotu cestovního času.

Cílová populace šetření byla definována jako dospělí uživatelé D1, vlakového a autobusového spojení mezi aglomeracemi Prahy a Brna. Ze vzorku měly být v rámci rekrutace vyloučeny osoby, které pokračují za hranice jedné či druhé aglomerace. Vzhledem k absenci relevantních dat o dělbě přepravní práce při dálkových cestách byla kvóta pro účely cest (soukromé vs. pracovní) stanovena rovnocenně přes všechny uvažované dopravní módy.

Obrázek 30 – geografické zobrazení zdrojových a cílových míst dotazovaných respondentů



Dotazník měl 3 varianty výběrového experimentu, každý respondent však odpovídal pouze na dva z nich, v závislosti na dopravním módu, kterým uskutečnil svojí poslední cestu. Pro všechny tři

<sup>5</sup> Zevrubný popis těchto přístupů i různých metod je obsažen ve zprávách o postupu řešení projektu za předchozí roky.

experimenty byly podkladem vždy 3 atributy. U varianty 1a (pro respondenta, který na poslední cestě použil auto nebo autobus) to byl:

- celkový cestovní čas,
- z toho počet minut strávených v dopravní zácpě,
- náklady.

**Obrázek 31 – Výběrový experiment, varianta s časem v kongesci**

	<b>Cesta A</b>	<b>Cesta B</b>
Finanční náklady „na osobu/ na auto“:	250 Kč	350 Kč
Celkové trvání cesty:	2:30 hod	2:00 hod
Množství času v dopravní zácpě	0:30 hod	0:00 hod

U varianty 1b (pro respondenta, který na poslední cestě použil vlak) to byly atributy:

- cestovní čas,
- průměrné zpoždění,
- náklady.

**Obrázek 32 – Výběrový experiment, varianta s průměrným zpožděním**

	<b>Cesta A</b>	<b>Cesta B</b>
Finanční náklady na osobu:	250 Kč	350 Kč
Celkové trvání cesty:	2:30 hod	2:00 hod
Průměrné zpoždění	4,5 minuty	2,5 minuty

U varianty 2, která byla shodná pro všechny 3 módy, to byly následující atributy:

- průměrný cestovní čas (tento atribut se však respondentům samostatně nezobrazil)
- distribuce cestovního času
- náklady.

**Obrázek 33 – Výběrový experiment, varianta s variabilitou cestovního času**

	<b>Cesta A</b>	<b>Cesta B</b>
Finanční náklady „na osobu/ na auto“:	250 Kč	350 Kč

Možné trvání cesty:	1:45 hod	1:30 hod
	2:00 hod	1:45 hod
	2:30 hod	2:00 hod
	2:45 hod	2:15 hod
	3:00 hod	2:30 hod

Každý respondent měl učinit 8 a 8 voleb od každé varianty výběrového experimentu a na 5. místě varianty 2 kontrolní volbu s dominantní alternativou. Celkem tedy 17 voleb výběrového experimentu, přičemž pořadí, v jakém měli respondenti na obě varianty odpovídat, bylo u poloviny vzorku opačné. Pořadí variant bylo u jednotlivých respondentů náhodné.

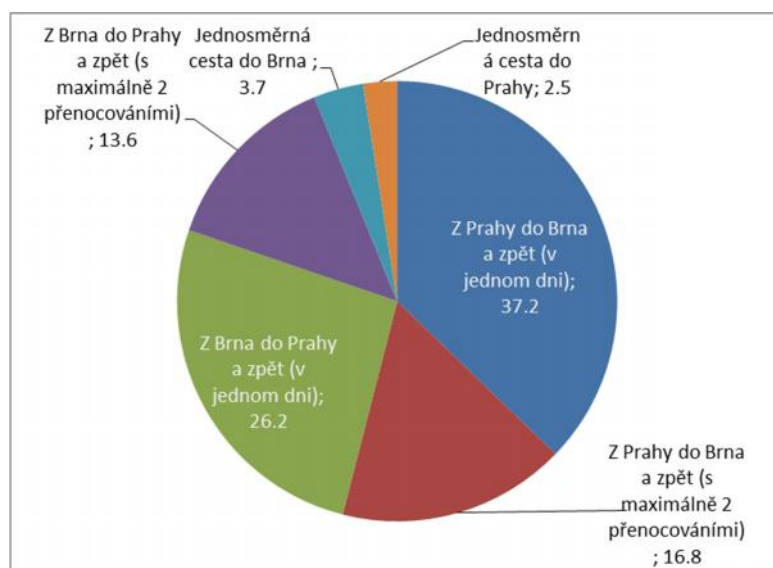
## Vyhodnocení dotazníkového šetření

V období listopadu 2010 až dubna 2011 bylo prostřednictvím tazatelské sítě spolupříjemce SC&C sesbíráno celkem 602 kompletních dotazníků. Vyplňování dotazníku bylo realizováno samotným respondentem na počítači přes webové rozhraní (computer assisted web interviewing – CAWI). Hlavní problémy představovala rekrutace respondentů starších 55 let a rovněž respondentů uskutečňujících pracovní cestu prostředkem hromadné dopravy, zejména vlakem.

### Charakteristiky poslední uskutečněné cesty

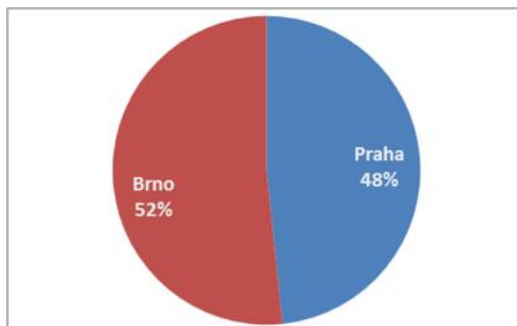
Mediánový čas potřebný k vyplnění dotazníku byl přibližně 30 minut (29,12 min), průměrný čas 41,5 hodiny je extrémně zkreslen tím, že přibližně 15 % respondentů dotazník nevyplnilo najednou (např. začali jeden den a dokončili druhý).

Obrázek 34 - Směr a trvání poslední cesty (v procentech)



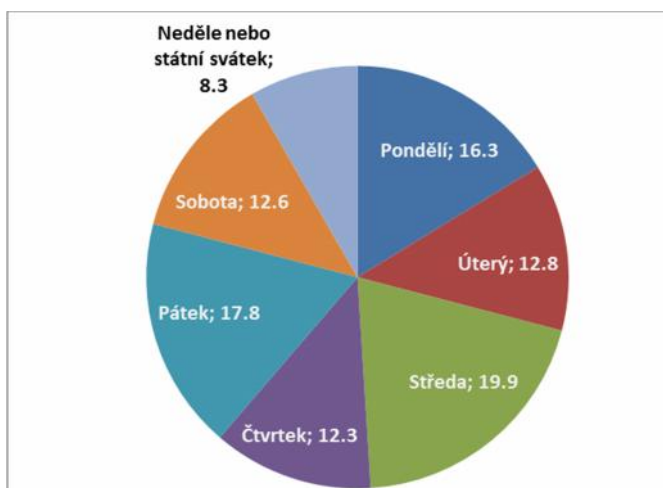
Rozdělení referenční cesty podle jejího cíle – Praha a okolí a Brno a okolí – je téměř proporcionalní.

**Obrázek 35 - Cíl cesty**



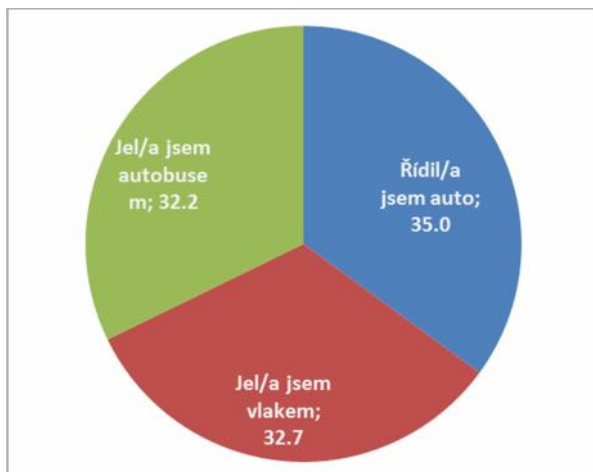
Zajímavé je rozložení těchto cest na dny v týdnu, kdy přesně polovina cest připadá na tři po sobě jdoucí dny – středu, čtvrtek a pátek.

**Obrázek 36 - Který den v týdnu se cesta uskutečnila (v procentech)**



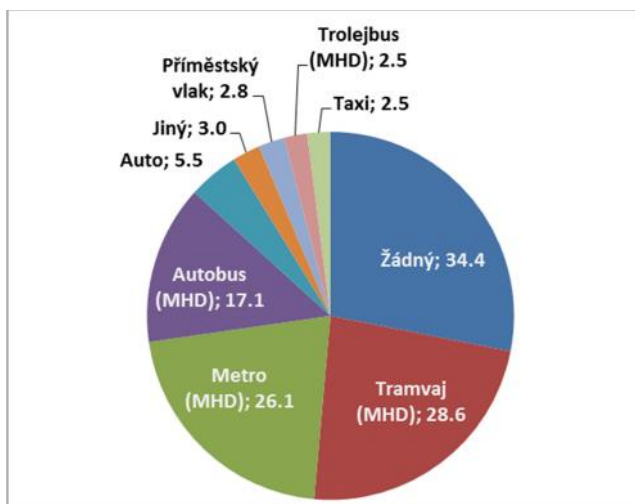
Následující graf přibližuje rozdělení podle použitého dopravního prostředku pro hlavní část cesty. Všechny tři hlavní módy jsou zastoupeny rovnoměrně, jelikož byla na podíl jednotlivých módů stanovena kvóta.

**Obrázek 37 - Dopravní prostředek pro hlavní část cesty (v procentech)**



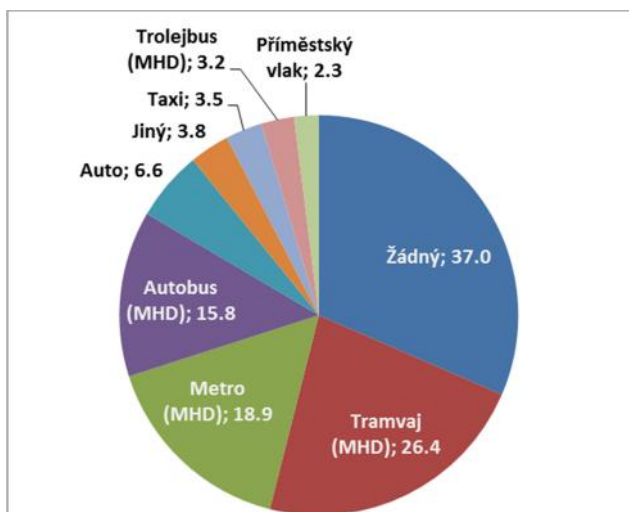
Kromě použitého dopravního prostředku pro hlavní část cesty byli respondenti dotazováni i na dopravní prostředek použitý před a po hlavní části cesty. Nejčastěji respondenti před hlavní částí nepoužili žádný jiný dopravní prostředek (34 % odpovědí) a dále se nejčastěji objevovaly páteřní městské dopravní prostředky – tramvaj (29 %) a metro (26 %).

**Obrázek 38 - Dopravní prostředek použitý před hlavní částí cesty (v procentech)**



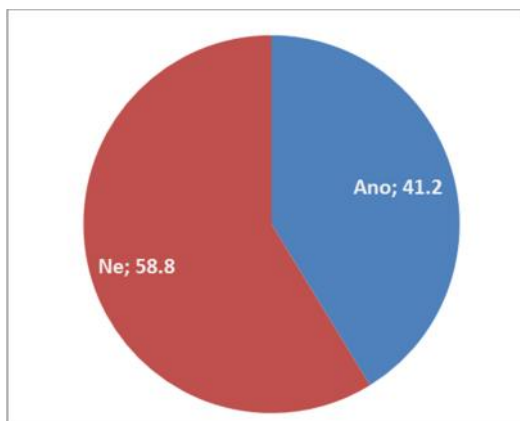
Obdobně vypadá i podíl dopravních prostředků použitých po hlavní části cesty – žádný prostředek nevyužilo 37 % respondentů, tramvaj jelo 26 % respondentů a metrem jelo 19% respondentů. V obou případech je zajímavý dosti nízký podíl příměstského vlaku, srovnatelný s využitím taxi.

**Obrázek 39 - Dopravní prostředek použitý po hlavní části cesty (v procentech)**



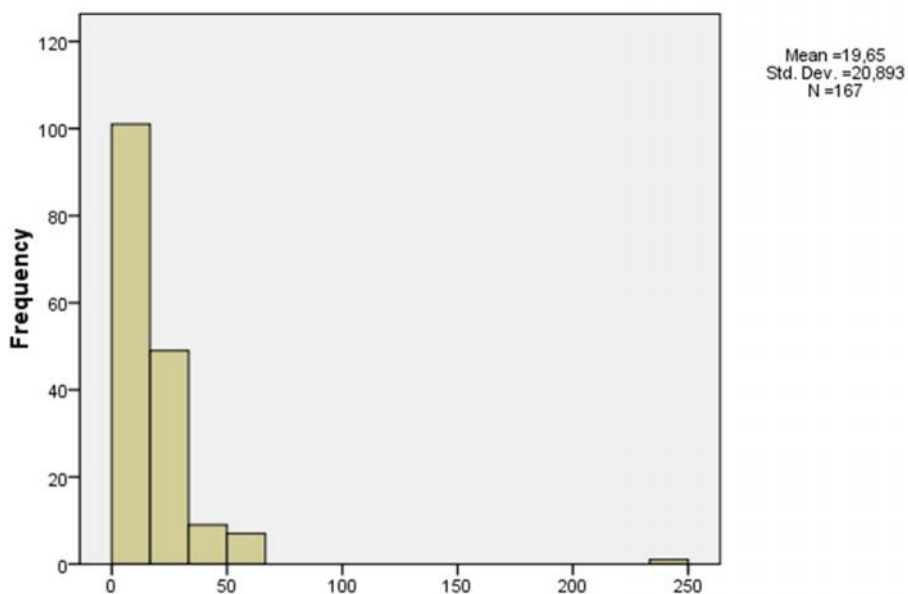
Na respondenty, kteří pro hlavní část cesty využili auto nebo autobus, směřovala otázka, zda se během cesty dostali do dopravní zácpy. Dvě pětiny respondentů (41%) se do dopravní zácpy při této cestě dostalo.

**Obrázek 40 - dopravní zácpa během cesty (pouze u módů auto a autobus; v procentech)**



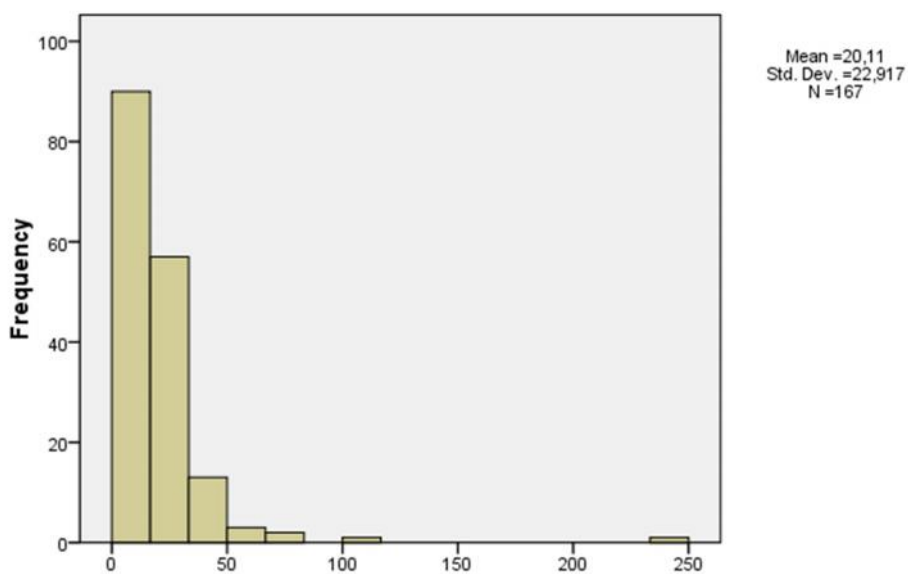
Průměrná doba strávená v zácpi byla téměř 20 minuty, tento údaj je nicméně zkreslen odlehlým pozorováním (240 min), hodnota mediánu je tak nižší, 15 minut.

**Obrázek 41 – Čas strávený v dopravní zácpi (minuty)**



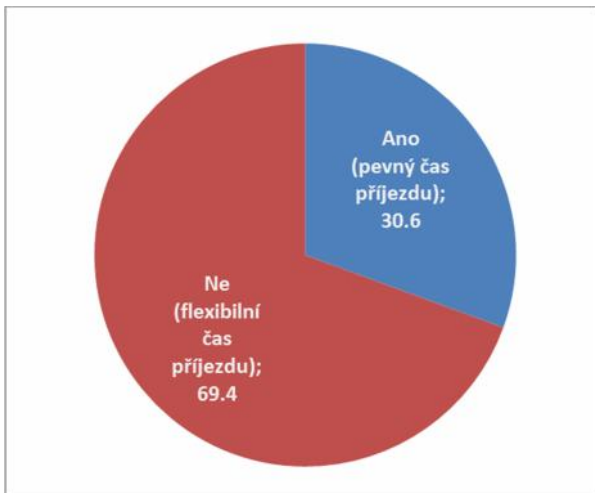
Respondentům, kteří se dostali do dopravní zácpy, tato zácpa prodloužila trvání cesty v průměru o 20 minut, medián je opět 15 minut.

**Obrázek 42 - Počet minut, o které dopravní zácpa prodloužila trvání cesty**



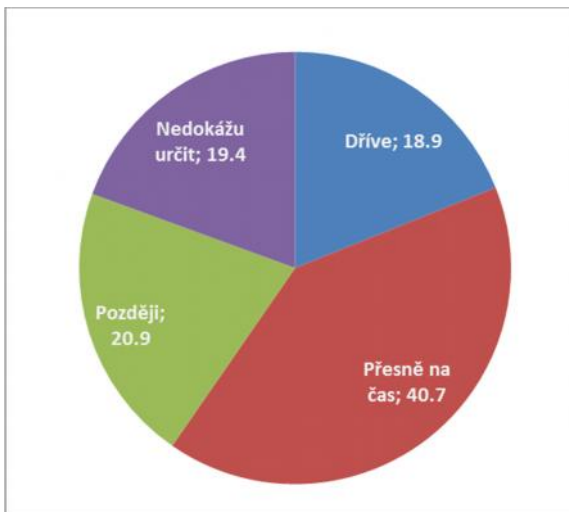
V dalších otázkách jsme se zaměřili na časové dispozice cesty. Na otázku zda měli na cílové místo dorazit v pevně stanovený čas více než 2/3 respondentů odpovědělo, že nikoli.

**Obrázek 43 – Potřeba dorazit na cílové místo včas (v procentech)**



I tak bylo přibližně 80 % respondentů schopno určit, jestli dorazili do cílového místa v plánovanou dobu.

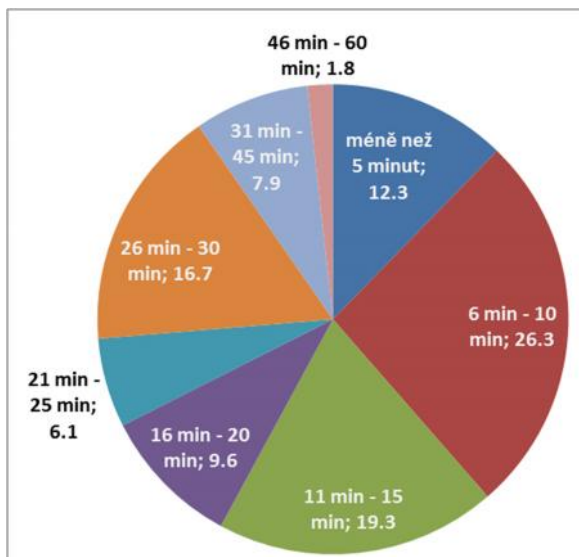
**Obrázek 44 – Příjezd oproti plánu (v procentech)**



Přibližně 19 % respondentů, kteří uvedli, že dorazili dříve, jsme se dále dotazovali, o kolik minut přijeli dříve. Téměř v polovině těchto případů byl dřívější příjezd v rozmezí 5 až 15 minut oproti očekávání.

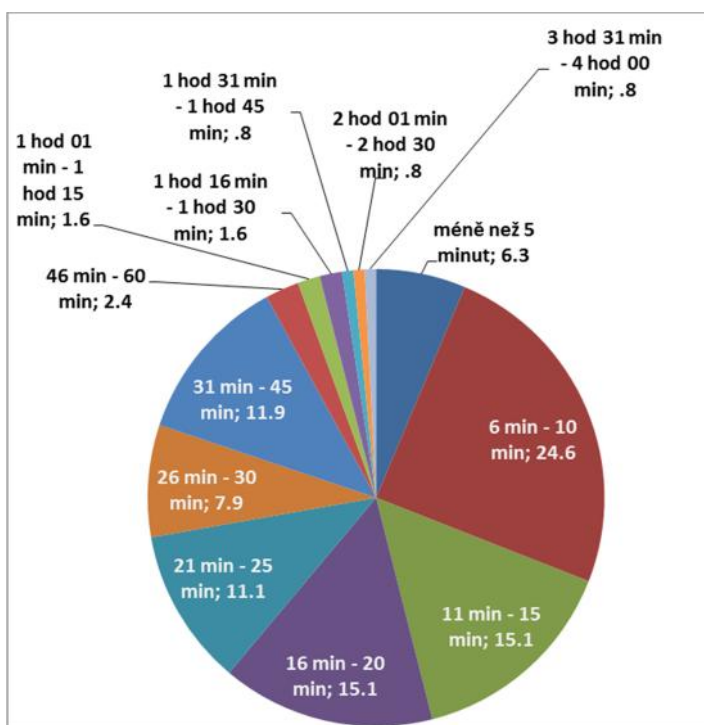
**Obrázek 45 – Rozsah dřívějšího příjezdu (v procentech)**





Obdobně jsme se respondentů, kteří uvedli, že přijeli později, než plánovali (21 % vzorku), o kolik minut se zpozdili. U třetí pětiny těchto respondentů bylo opoždění v rozsahu do 20 minut.

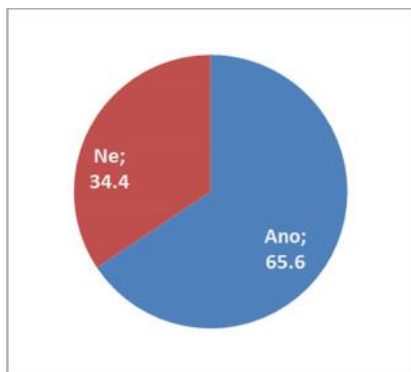
Obrázek 46 – Rozsah pozdního příjezdu (procenta dle časových intervalů zpoždění)



I přes poměrně významný počet respondentů, kteří přijeli později, než plánovali, pouze jediný respondent následně uvedl, že v důsledku zpoždění utrpěl finanční ztrátu.

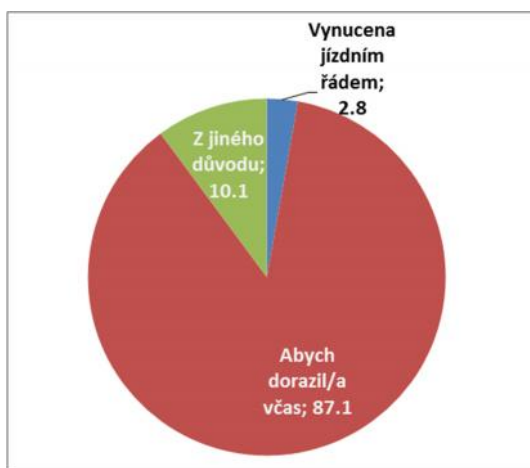
V následujících otázkách jsme se dotazovali na plánování cesty. Takřka 2/3 respondentů uvedli, že na cestu vyráželi s časovou rezervou.

Obrázek 47 – Přítomnost časové rezervy na začátku cesty (v procentech)



Tato rezerva byla v naprosté většině případů proto, aby respondent dorazil do cílového místa včas; jen v necelých 3 % případů byla vynucena jízdním řádem.

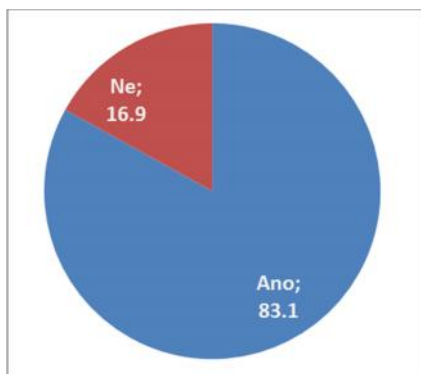
Obrázek 48 – Důvod časové rezervy (v procentech)



Většina respondentů, kteří neměli žádnou časovou rezervu, uvedla, že mohla přijet později, aniž by jim to způsobilo komplikace.

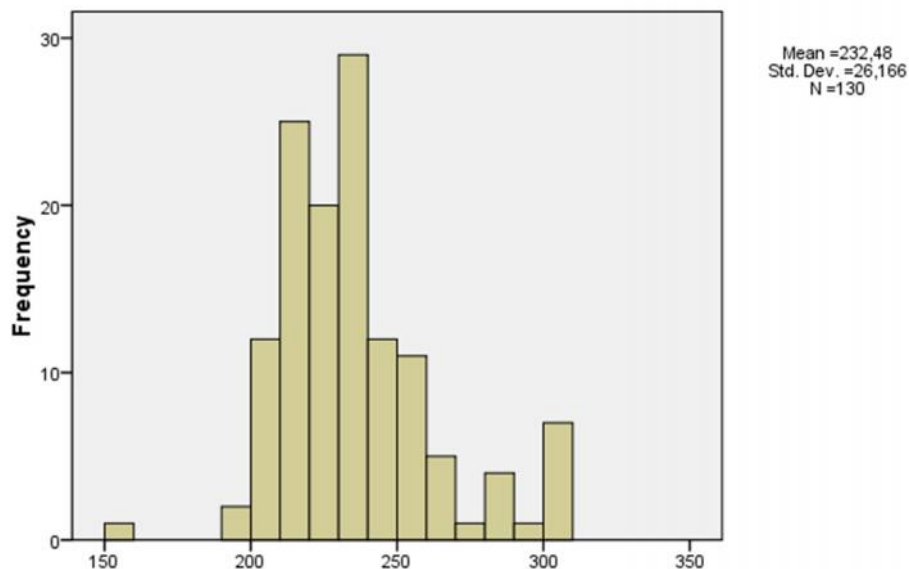
Přes 80 % respondentů při plánování cesty očekávalo možnost zpoždění, nejčastěji v rozmezí 10-30 minut, s mírně vyšším rozmezím u respondentů, kteří uskutečnili cestu autem.

Obrázek 49 – Očekávání možnosti zpoždění (v procentech)



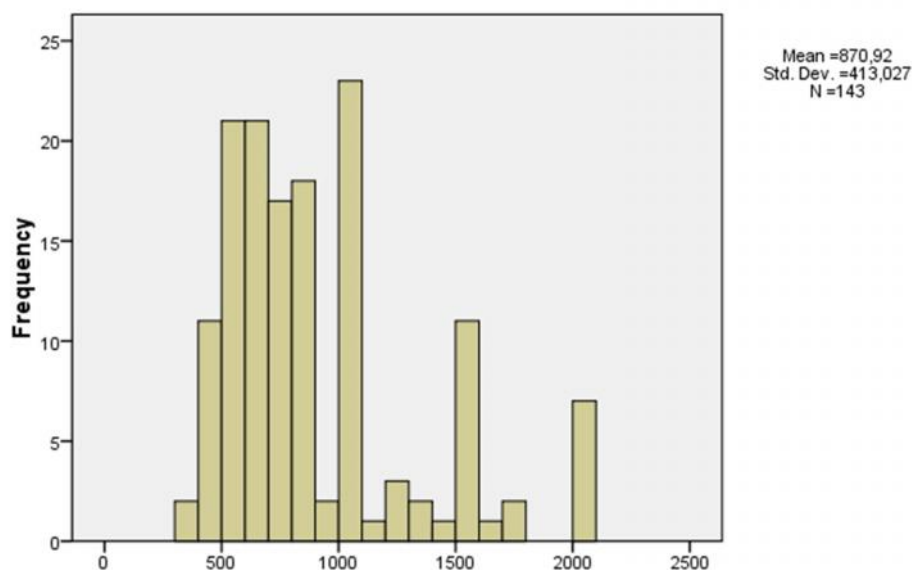
Respondentů, kteří uskutečnili poslední cestu autem, jsme se dotazovali na odhadovanou vzdálenost mezi začátečním a koncovým místem jejich cesty. Takto zjištěná průměrná vzdálenost dosahuje 232 km, avšak téměř 40 % těchto respondentů nebylo schopno tuto vzdálenost odhadnout.

Obrázek 50 - Celková délka cesty od domu k domu (v km, pouze u cest autem)



Stejně skupiny respondentů jsme se dále zeptali, jaká je jejich odhad provozních nákladů cesty (tj. nákladů na pohonné hmoty a amortizaci vozidla). Takřka 1/3 respondentů tyto náklady nedokázala odhadnout, průměrná hodnota zbývajících částí respondentů je odhadovala v průměru na přibližně 870 Kč, tj. při přepočtení na průměrnou vzdálenost ve výši 3,75 Kč/km.

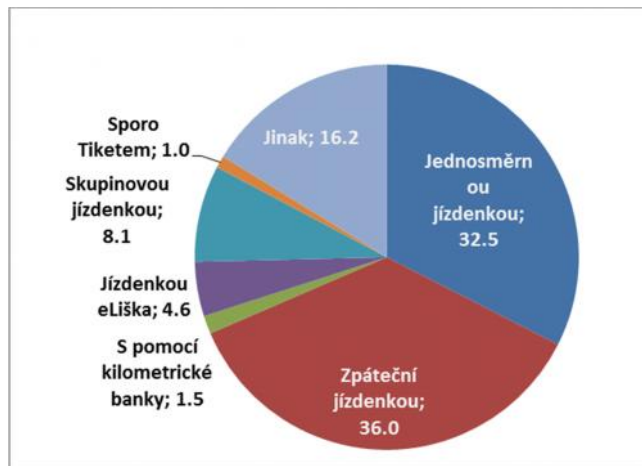
Obrázek 51 - Provozní náklady cesty (v Kč, cesta autem, pohonné hmoty a amortizace)



U respondentů cestujících vlakem jsme se dotazovali na typ použitého jízdného, resp. využití různých zvýhodnění Českých drah. Více než třetina těchto cestujících využila pro cestu zpáteční jízdenku, další

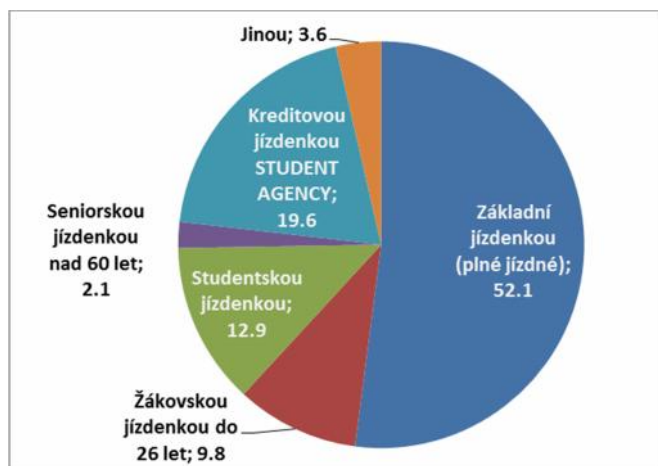
necelá třetina jednosměrnou jízdenku. Ve skupině “Jinak” jsou především zahrnuti cestující se zvýhodněnou jízdenkou ČD pro zaměstnance a jejich rodinné příslušníky (celkem 15 respondentů).

**Obrázek 52 – Jakým typem jízdného hradil respondent cestu vlakem (v procentech)**



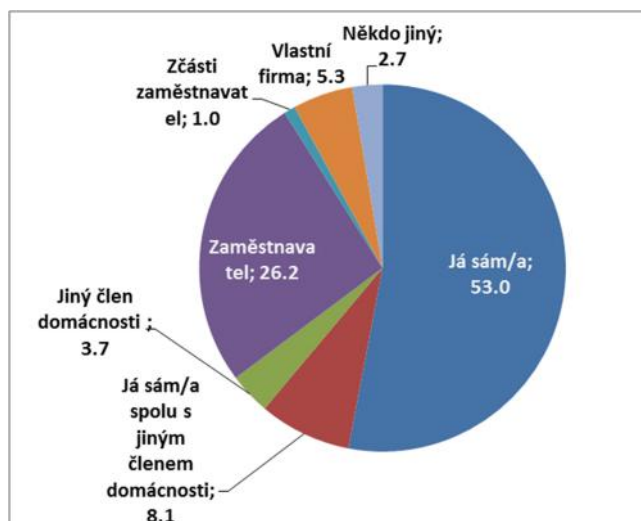
Obdobně jsme se dotazovali na typ jízdného u cestujících autobusem. Nadpoloviční většina cestujících platila základní jízdné, takřka 20 % jich pak využilo kreditovou jízdenku dopravce Student Agency.

**Obrázek 53 – Jakým typem jízdného hradil respondent cestu autobusem (v procentech)**



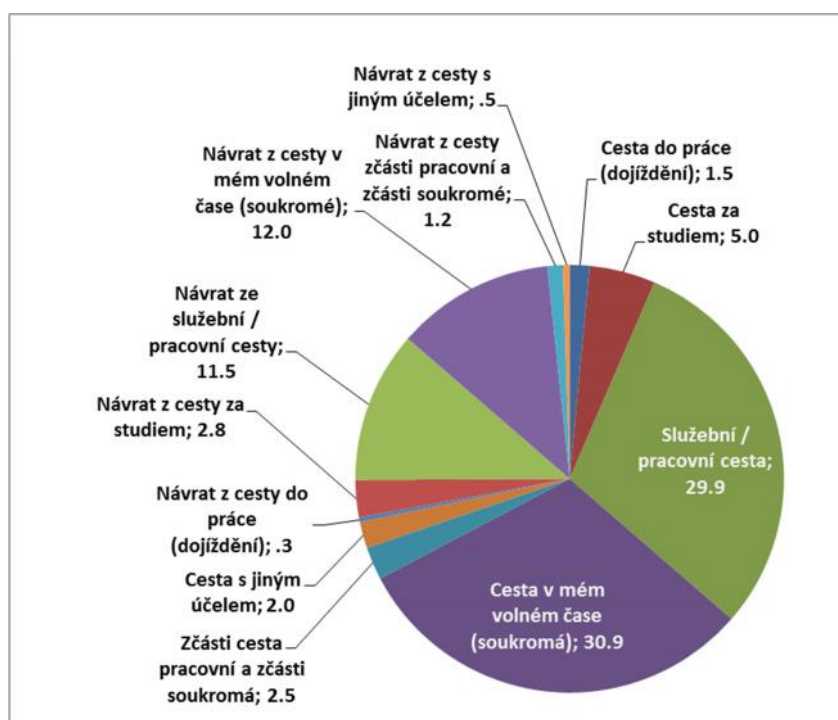
Všech respondentů se týkala otázka na to, kdo nakonec hradil náklady na cestu. Ve více než polovině případů to byl sám respondent, ve čtvrtině případů to byl zaměstnavatel.

**Obrázek 54 – Kdo hradil náklady na cestu (v procentech)**



Na otázku po účelu cesty do Prahy či Brna nejvíce respondentů odpovědělo, že se jednalo o cestu v jejich volném čase (31 %), těsně následovala služební či pracovní cesta (30 %), návraty z cest za těmito účely měly shodně okolo 12% podíl, cesty za studiem byly zastoupeny 5% podílem.

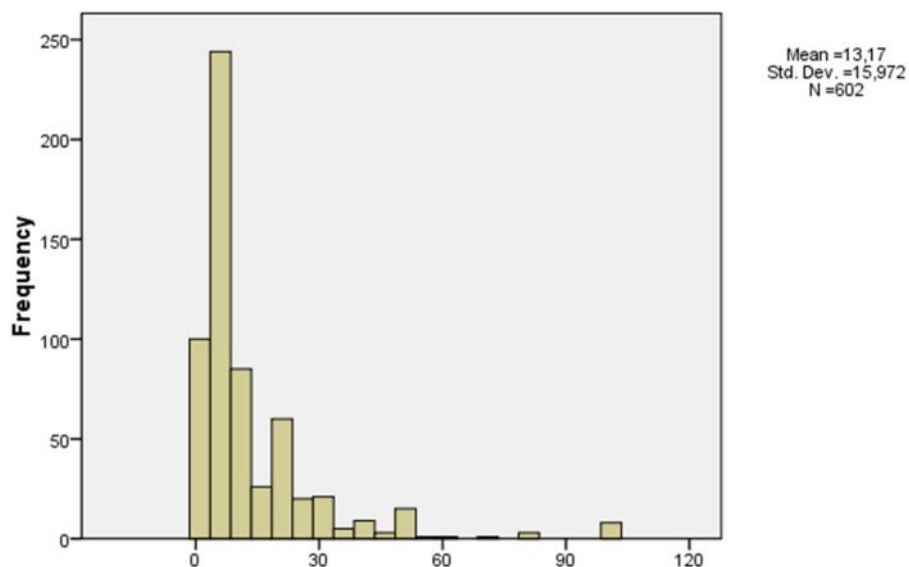
Obrázek 55 – Účel cesty do Prahy/Brna (v procentech)



Bezmála 2/3 respondentů cestovalo samo (65 %), pokud cestovali s někým dalším, pak nejčastěji s jednou další osobou. Jen 36 z těchto cest se uskutečnilo s osobou (osobami) mladší 18 let.

U otázky na frekvenci cest (počítáno jednosměrně) mezi Prahou a Brnem či naopak jsme zjistili, že respondenti za rok 2010 vykonali v průměru 13 cest, medián pak dosáhl 8 cest.

Obrázek 56 – Počet cest do Prahy/Brna realizovaný respondentem v roce 2010



### Sociodemografické charakteristiky respondentů

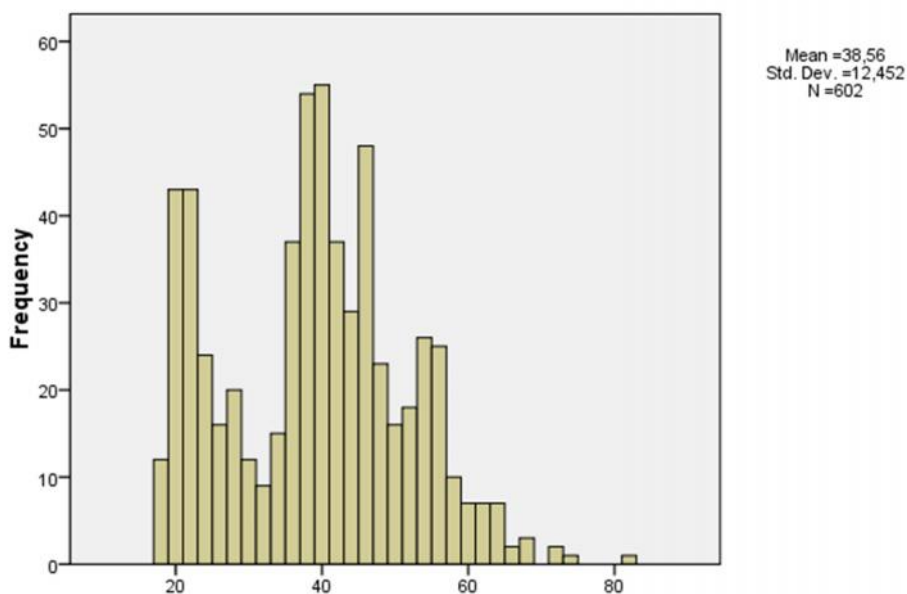
V rámci našeho vzorku byla takřka proporcionálně zastoupena obě pohlaví (50,7 % žen). Polovina respondentů uvedla jako nejvyšší dokončené vzdělání střední školu s maturitou, bezmála třetina respondentů pak vzdělání vysokoškolské.

Obrázek 57 – Nejvyšší dokončené vzdělání respondenta (v procentech)



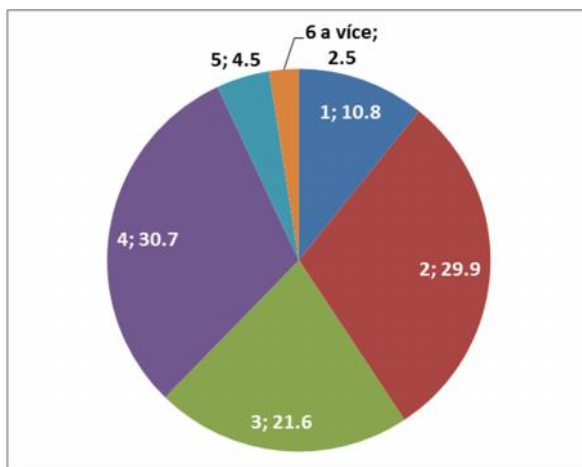
Věkové složení vzorku bylo při rekrutaci omezeno stanovením dolní hranice 18 let. Průměrný věk respondenta tak byl 38,6 roku, prakticky shodný s mediánem (39 let).

Obrázek 58 – Histogram věku respondentů



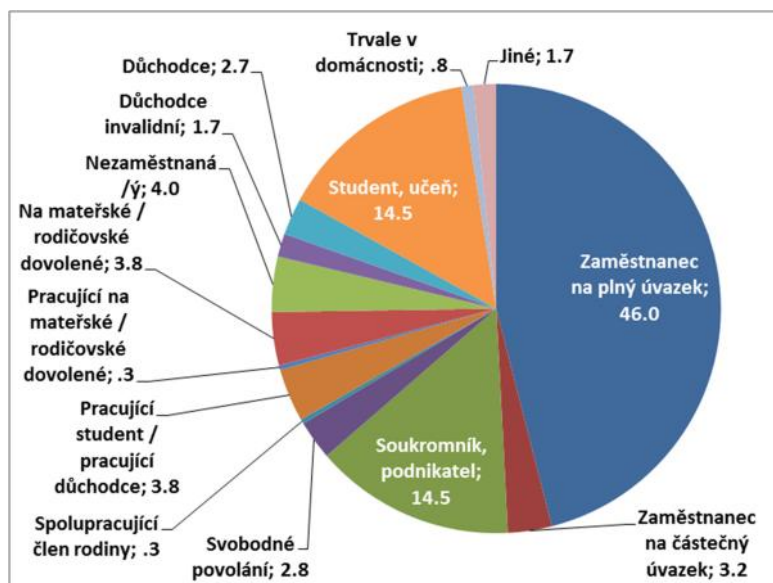
V domácnosti respondenta žijí nejčastěji čtyři (v 31 %) resp. dvě osoby (v 30 % případů). Tomu odpovídá i nejčastější typy domácnosti respondenta – pár s dětmi (33 %) a pár bez dětí (20 %).

Obrázek 59 – Počet osob v domácnosti respondenta (v procentech)



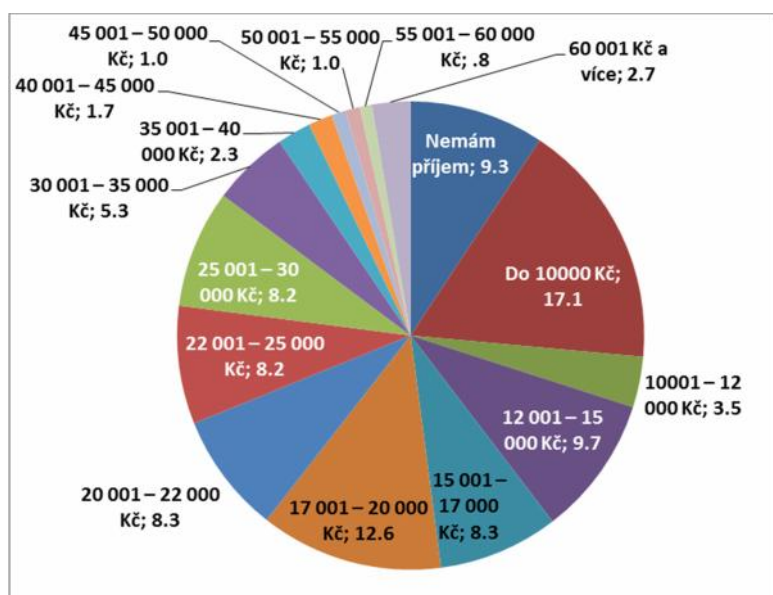
Nejčastějším ekonomickým postavením je u respondentů zaměstnání na plný úvazek (46 %), shodný podíl mají dále studenti a osoby samostatně výdělečně činné (po 14,5 %). Někteří studenti jsou však ještě zahrnuti pod kategorii pracující student/důchodce, zajímavý je i 4% podíl nezaměstnaných.

Obrázek 60 – Ekonomické postavení respondenta (v procentech)



Žádný z respondentů neodmítl uvést svůj osobní čistý měsíční příjem, což nepřímo svědčí o důvěryhodnosti dotazníku. Zhruba 9 % uvedlo, že nemají žádný vlastní příjem; přes 17 % respondentů uvedlo příjem do 10 tisíc Kč. Průměrný příjem odhadnutý ze středních hodnot nabízených příjmových pásem dosahuje 18 571 Kč.

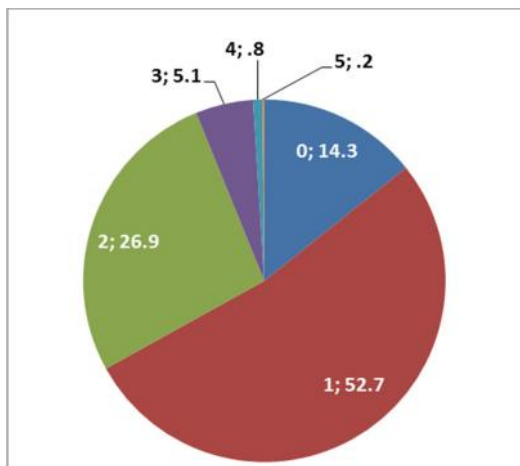
Obrázek 61 – Čistý měsíční příjem respondenta (v procentech)



Na otázku, zda vlastní řidičské oprávnění odpovědělo pozitivně 86 % respondentů. V návazné otázce jsme se potom dotazovali na počet provozuschopných automobilů v domácnosti. Více než polovina domácností (53 %) vlastní jeden provozuschopný automobil, více než čtvrtina (27 %) pak vlastní dva automobily, pouze 14 % respondentů uvedlo, že v jejich domácnosti není ani jeden provozuschopný automobil.

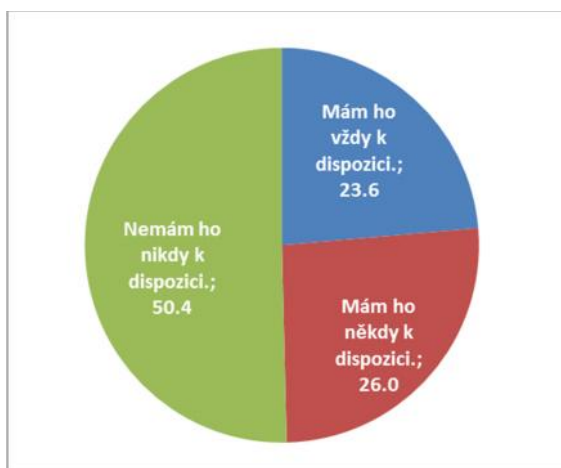
Obrázek 62 – Počet automobilů v domácnosti (v procentech)





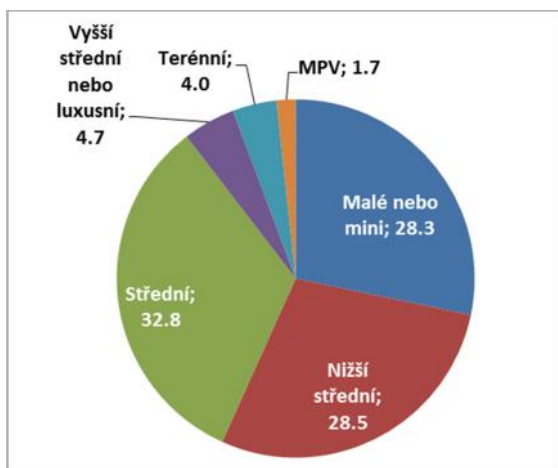
V další otázce jsme se částí respondentů, kteří jako svou ekonomickou aktivitu uvedli některou výdělečnou činnost, dotazovali na možnost využívat služební automobil. Zhruba polovina respondentů uvedla, že nemají nikdy k dispozici služební automobil. Poměr respondentů, kteří ho mají někdy a těch kteří ho mají vždy k dispozici, byl podobný, 26 % a 24 %.

**Obrázek 63 – Možnost využívat služební automobil (pouze výdělečně činní respondenti; v procentech)**



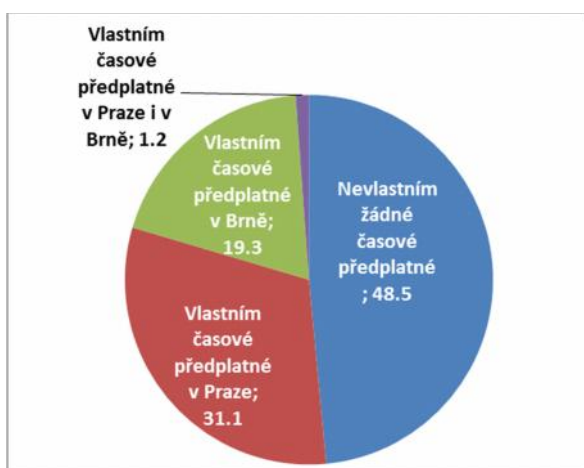
Dále jsme se 527 respondentů, kteří mají auto v domácnosti nebo jako služební, ptali, jakým typem autem cestu uskutečnili nebo by mohli uskutečnit. Téměř třetina jich uvedla vůz střední třídy (Škoda Octavia apod., 33 %), těsně následovaly kategorie nižší střední třídy (Volkswagen Golf apod., 28 %) a třída malé a mini (Škoda Fabia apod., 28 %).

**Obrázek 64 – Kategorie automobilu využitého/využitelného pro uskutečněnou cestu (v procentech)**



Všech respondentů jsme se dotazovali na vlastnictví časového předplatného na městskou hromadnou dopravu (např. měsíční, čtvrtletní, roční) v Praze, Brně či v obou městech. Necelá polovina respondentů (49 %) nevlastní předplatné na MHD ani v jednom z obou měst, necelá třetina vlastní časové předplatné v Praze (31 %) a necelá pětina v Brně (19 %). Pouze 7 respondentů (1 %) vlastní časové předplatné v obou městech.

**Obrázek 65 – Vlastnictví předplatného na městskou hromadnou dopravu (v procentech)**



## Statistická/ekonometrická analýza

### Modelování diskrétní volby

V rámci statisticko-ekonometrické analýzy byly odpovědi respondentů z části dotazníku s výběrovými experimenty zasazeny do teoretického rámce ekonomického modelu náhodného užítku (McFadden, 1974). Tento model je postaven na Lancasterově atributové teorii (Lancaster, 1966), podle níž je užitek určitého statku určen jeho atributy – obdobně je tedy při rozhodování respondentů v našem výběrovém experimentu jejich volba ovlivněna atributy té které nabízené alternativy.

Pro odhad hodnoty úspory cestovního času, hodnoty času stráveného v kongesci a ocenění variability cestovního času byl použit vždy unimodální model volby cesty (tj. odhad byl proveden zvlášť pro každý dopravní mód), neboť v omezeném počtu charakteristik voleb ve výběrovém experimentu nelze dostatečně postihnout specifika jednotlivých módů, což často znemožňuje robustní ekonometrický odhad multimodálního modelu. Nevýhodou tohoto přístupu k modelování je, že takto nelze odhadnout alternativně specifické konstanty (nazývané též konstanty odporu), které vyjadřují změnu užítku ze změny mezi jednotlivými módy.

### Výběrový experiment 1 – ocenění času v kongesci

V tomto výběrovém experimentu odpovídali respondenti, kteří vykonali referenční cestu autem nebo autobusem. Rozhodovací situace byla popsána atributy nákladů na cestu, celkovým cestovním časem a časem stráveným v kongesci (viz Obrázek 31).

Základní model nepřímého užítku pro tuto kombinaci atributů, tak jak byl navržen ve studii Small a kol. (1999), se skládá ze tří proměnných v lineárním tvaru

$$V = \beta_M M + \beta_T T + \beta_C T_C \quad (1)$$

kde  $M$  jsou cestovní náklady,  $T$  je cestovní čas,  $T_c$  je cestovní čas v kongesci a  $\beta$  jsou odhadované parametry modelu. Nejrozšířenějším přístupem k odhadu tohoto vztahu je logistická regrese (logit), rozpracovávaná od poloviny 70. let (McFadden, 1974; Ben-Akiva a Lerman, 1985; Train, 2009). S její pomocí je odhadována pravděpodobnost volby jedné ze dvou (či více) nabízených alternativ, což lze formálně vyjádřit jako

$$P(i) = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_i - V_j)}} \quad (2)$$

kde  $V_i$  a  $V_j$  je užitek při zvolení příslušné alternativy  $i$  či  $j$ , při lineárních parametrech modelu se parametr  $\mu$  normalizuje jako roven 1 (Small a Verhoef, 2007) a pravděpodobnost zvolení alternativy  $j$  je roven  $1 - P(i)$ . Nejčastěji jsou neznámé  $\beta$  odhadovány metodou maximální věrohodnosti (Ben-Akiva a Lerman, 1985) Definujeme-li proměnnou

$$y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{jestliže respondent } n \text{ zvolí alternativu } i \\ 0 & \text{jestliže respondent } n \text{ zvolí alternativu } j \end{cases} \quad (3)$$

vypadá věrohodnostní funkce (v logaritmické transformaci) následovně

$$L(\beta_1, \dots, \beta_K) = \sum_{n=1}^N (y_{in} \ln P_n(i) + y_{jn} \ln P_n(j)) \quad (4)$$

Nejatraktivnější využití mají podíly odhadnutých koeficientů, které vyjadřují mezní míru substituce; v případě koeficientů času a nákladů v nepřímé užitkové funkci je to hodnota času (value of time – VoT) a v případě koeficientů času v kongesci a nákladů hodnota času v kongesci.

$$VoT = \beta_T / \beta_M \quad (5)$$

### Výběrový experiment 2 – ocenění variability cestovního času

V tomto výběrovém experimentu odpovídali všichni respondenti dotazníkového šetření. Rozhodovací situace byla popsána atributy nákladů na cestu a 5 možnými časy trvání cesty (viz Obrázek 33). Pro modelování variability cestovního času se běžně používají dva přístupy (Small a kol. 1999) – průměrného rozptylu (mean variance) a plánování (scheduling). V tomto experimentu byl využit první z uvedených přístupů, průměrného rozptylu. Nepřímá užitková funkce tohoto modelu vypadá následovně

$$V = \beta_M M + \beta_T T + \beta_V \sigma_T \quad (6)$$

kde M jsou cestovní náklady, T je průměrný cestovní čas,  $\sigma_T$  je směrodatná odchylka cestovního času a  $\beta$  jsou odhadované parametry mezního užítku nákladů, cestovního času a jeho variability. Tak jako u prvního experimentu, byl pro odhad těchto parametrů použit logit. Největší praktický význam mají opět podíly koeficientů – času a nákladů indikující hodnotu času, resp. směrodatné odchylky cestovního času a nákladů, který ukazuje hodnotu spolehlivosti (variability) cestovního času.

### Rozšíření modelu náhodného užítku

V původním modelu náhodné volby – v našem případě logistické regresi – je veškerá nahodilost individuálního chování a jiných možných vlivů zachycena pouze v reziduu modelu užítku ( $\epsilon$ ) a všechny ostatní parametry jsou deterministické (tj. hodnota času se mění s cestovním časem, ale jinak je pro všechny stejná). Tento předpoklad se ukázal dosti omezující a další individuálně specifické determinanty (osobnostní rysy, neurčené charakteristiky cesty apod.) nejsou v modelu zohledněny.

Problém je však v tom, že nevíme, jak jsou tyto rysy a chutě rozšířeny v populaci, lze ale předpokládat jejich náhodnost, a tedy že můžou sledovat některé ze statistických rozdělení. Konkrétně individuální koeficient  $\beta_N$  se liší od populačního průměru  $\beta$  o určitou velikost, která představuje rozptýlenost těchto rysů a chutí.

Matematicky lze pravděpodobnost, že si respondent  $n$  vybere alternativu  $i$  vyjádřit jako

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta'_n x_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta'_n x_{jn}}} \quad (7)$$

kde  $\beta_n = (\beta_{1n}, \beta_{2n}, \dots, \beta_{Kn})'$ .

Statistické rozdělení absolutních hodnot těchto koeficientů se běžně předpokládá jako některé z běžně používaných rozdělení (nejčastěji normální, seříznuté normální a log-normální). Tento logistický model však nemá uzavřenou formu a vyžaduje odhad prostřednictvím simulace, což znamená výpočetně podstatně náročnější postup (Train, 2009).

## Ocenění času v kongesci

Pro variantu 1 výběrového experimentu byly nejprve odhadnuty vždy dva multinomické logistické modely pro oba zahrnuté módy – auto a autobus). První model v obou případech obsahoval jako vysvětlující pouze proměnné samotné atributy výběrového experimentu, ve druhém modelu byly přidány v interakci s náklady i další charakteristiky respondenta, resp. jeho referenční cesty.

V následující tabulce jsou představeny odhadnuté koeficienty těchto modelů. Parametry proměnných (atributů) figurujících ve výběrovém experimentu – nákladů, cestovního času a času stráveného v kongesci – mají ve všech specifikacích model předpokládané (záporné) znaménko a jsou signifikantní na 0,1% hladině významnosti. Účel cesty, příjem respondenta i frekvence cest byly shledány jako statisticky významné v segmentu cest autem, v segmentu cest autobusem to byly jen účel cesty a příjem respondenta.

Tabulka 22 – modely logistické regrese pro výběrový experiment s časem v kongesci

segment	Auto		Autobus	
	model 1	model 2	model 1	model 2
<b>náklady</b>	-0.0118***	-0.0154***	-0.0572***	-0.0573***
<b>celkový cestovní čas</b>	-0.0257***	-0.028***	-0.0612***	-0.0646***
<b>čas v kongesci</b>	-0.0457***	-0.0496***	-0.0382***	-0.0401***
<b>náklady*pracovní cesta</b>		0.0043***		0.0156**
<b>náklady*nižší příjem</b>		-0.0034*		-0.0148**
<b>náklady*cestuje často</b>		0.0029*		-0.0017
<b>log věrohodnosti</b>	-870.33	-850.03	-699.18	-680.58
<b>uprav. ...<sup>2</sup></b>	0.254	0.268	0.347	0.361
<b>p-hodnota testu poměrem věrohodnosti k modelu 1</b>	-	0.000	-	0.000

Hladiny statistické významnosti: \*\*\* 0.001, \*\* 0.01, \* 0.05

V následujícím kroku byly odhadnuty opět dvojice modelů pro oba módy, tentokrát však s využitím výše popsaného rozšířeného modelu s náhodným rozložením koeficientů; odhadnuty jsou tak vedle parametrů shodných s předcházejícími multinomickými logistickými regresemi i směrodatné odchylky náhodně distribuovaných parametrů – celkového cestovního času a času v kongesci<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Zatímco v případě modelů pro segment cest autobusem bylo využito log-normální rozdělení náhodných parametrů, což reflektuje předpoklad ekonomické teorie o pozitivní hodnotě úspory cestovního času, modely s log-normálním rozdělením u segmentů cest autem však byly při simulacích nestabilní a uváděné výsledky jsou založeny na normálním rozložení náhodných parametrů.

Odhadnuté modely vykazují o něco vyšší shodu s variabilitou dat, jak ukazují vyšší hodnoty  $\rho^2$ . Koeficienty atributů výběrového experimentu jsou opět statisticky významné a mají předpokládanou zápornou hodnotu, vedle nich jsou u obou módů signifikantními prediktory i účel cesty a příjem.

Tabulka 23 - modely logistické regrese s náhodným rozložením parametrů pro výběrový experiment s časem v kongesci

segment	Auto		Autobus	
	Model 3	Model 4	Model 3 (ln)	Model 4 (ln)
náklady	-0.0172***	-0.0215***	-0.0772***	-0.0702***
celkový cestovní čas	-0.0511***	-0.0486***	-2.6609***	-2.6266***
čas v kongesci	-0.0719***	-0.0719***	-3.5439***	-3.4882***
náklady*pracovní cesta		0.0053***		0.0161**
náklady*nižší příjem		-0.004**		-0.0206***
náklady*cestuje často		0.004**		-0.0048
$\sigma$ celkového cestovního času	0.0737***	0.064***	0.7669***	0.7291***
$\sigma$ času v kongesci	0.1246***	0.113***	-1.118***	-1.1363***
log věrohodnosti	-813.92	-797.87	-657.57	-646.13
uprav. ... <sup>2</sup>	0.2992	0.31	0.3836	0.39
p-hodnota testu poměrem věrohodnosti k modelu 3	-	0.000	-	0.000

Hlady statistické významnosti: \*\*\* 0.001, \*\* 0.01, \* 0.05

V následující tabulce jsou představeny odhadnuté hodnoty cestovního času z logistických regresních modelů s náhodně rozdělenými parametry. Zatímco u modelu, v němž figurují pouze samotné atributy, je hodnota cestovního času jediná, v případě modelu s dalšími prediktory v interakci s náklady jsou hodnoty cestovního času rozlišeny podle těchto atributů – hodnota cestovního času se tak liší podle účelu cesty (vyšší v případě pracovní cesty), výše příjmu respondenta (vyšší u respondentů s vyšším příjmem) a frekvence konání těchto cest (vyšší u respondentů, kteří cestují častěji). Obdobně to platí i pro hodnotu času stráveného v kongesci, která je – v souladu s dřívějšími studiemi – vyšší než hodnota celkového cestovního času a bude tak zohledňovat nepohodlí, které s sebou nese jízda v kongesci.

Tabulka 24 – odhadnuté hodnoty cestovního času a času stráveného v kongesci – segment cesta autem (Kč/hod)

	Hodnota cestovního času	Hodnota času stráveného v kongesci
<b>základní model</b>	179	251
<b>model s kovariáty:</b>		
nepracovní cesta, vyšší příjem, nízká frekvence cest	136	200
pracovní cesta, vyšší příjem, nízká frekvence cest	180	266
nepracovní cesta, nižší příjem, nízká frekvence cest	114	169
nepracovní cesta, vyšší příjem, vyšší frekvence cest	167	247
pracovní cesta, nižší příjem, nízká frekvence cest	144	213
pracovní cesta, vyšší příjem, vyšší frekvence cest	239	353

<b>nepracovní cesta, nižší příjem, vyšší frekvence cest</b>	135	200
<b>nepracovní cesta, nižší příjem, vyšší frekvence cest</b>	179	265

Vyšší hodnotu času v kongesci (oproti hodnotě cestovního času mimo kongesci) lze také představit jako zvýšení ocenění cestovního času, k němuž dojde, přesune-li se jedna minuta cestovního času z provozu bez kongesce do situace v kongesci. Následující Tabulka 25 ukazuje, jak takové zvýšení vnímané hodnoty při přesunu jedné minuty vypadá pro cestovní časy v rozmezí 120-200 minut.

**Tabulka 25 – Vnímané zvýšení ocenění cestovního času v důsledku přesunutí jedné minuty do podmínek dopravní kongesce**

<b>celkový cestovní čas (min)</b>	<b>zvýšení hodnoty cestovního času (Kč/min)</b>
<i>základní model</i>	
120	5.47
130	5.05
140	4.69
150	4.38
160	4.11
170	3.86
180	3.65
190	3.46
200	3.28

V případě segmentu cest autobusem není prediktor frekvence cest statisticky významný, a proto jsou hodnoty cestovního času odvozeny pouze pro dva prediktory charakterizující účel cesty a příjem respondenta. Zajímavé je v tomto případě ale i to, že hodnota času v kongesci je nižší než hodnota cestovního času. To lze pravděpodobně připsat tomu, že cestující v autobusu není vystaven stejnému nepohodlí jako řidič auta. Oceňování času v kongesci u cestujících autobusem se ovšem běžně v zahraničních studiích neobjevuje, a tedy není s čím tento výsledek porovnat.

**Tabulka 26 - odhadnuté hodnoty cestovního času a času stráveného v kongesci – segment cesta autobusem (Kč/hod)**

	<b>Hodnota cestovního času</b>	<b>Hodnota času stráveného v kongesci</b>
<b>Model 3</b>	71	47
<b>Model 4:</b>		
<b>nepracovní cesta, vyšší příjem</b>	81	50
<b>pracovní cesta, vyšší příjem</b>	105	65
<b>nepracovní cesta, nižší příjem</b>	62	38
<b>pracovní cesta, nižší příjem</b>	76	47

## Ocenění variability cestovního času

V následujících tabulkách jsou představeny odhadnuté modely z druhého výběrového experimentu zaměřeného na variabilitu cestovního času. Tak jako u prvního výběrového experimentu jsou odhadnuty nejprve vždy dvě multinomické logistické regrese, nejprve s atributy výběrového experimentu (náklady, cestovní čas, směrodatná odchylka cestovního času) a poté i s dalšími vysvětlujícími proměnnými týkajícími se respondenta a jeho referenční cesty a binární proměnnou na odpověď na výběrovou situaci s dominantní alternativou<sup>7</sup>. Zahrnuty jsou tentokrát všechny tři dopravní módy – auto, vlak a autobus.

V následující tabulce jsou představeny odhadnuté koeficienty jednotlivých modelů. Parametry proměnných (atributů) figurujících ve výběrovém experimentu – nákladů, cestovního času jeho variability – mají ve všech specifikacích model předpokládané (záporné) znaménko a jsou významné na 0,1% hladině významnosti. Účel cesty a příjem respondenta (v interakci s náklady na cestu) jsou navíc statisticky významnými prediktory u segmentu cest automobilem, v případě segmentu cest autobusem je to pouze účel cesty, u segmentu cest vlakem nemají žádné další testované prediktory statistickou významnost.

Tabulka 27 - modely logistické regrese pro výběrový experiment s variabilitou cestovního času

segment	Auto		Vlak		Autobus	
	model 5	model 6	model 5	model 6	model 5	model 6
<b>náklady</b>	-0.0074***	-0.0084***	-0.0299***	-0.0292***	-0.0334***	-0.0425***
<b>průměrný cestovní čas</b>	-0.0257***	-0.0276***	-0.0369***	-0.0371***	-0.0393***	-0.0408***
<b>sm.odch. cestovního času</b>	-0.0087***	-0.0093***	-0.0089***	-0.0089***	-0.02***	-0.0216***
<b>náklady*pracovní cesta</b>		0.003***		0.0007		0.0203***
<b>náklady*nižší příjem</b>		-0.0029**		-0.0023		-0.0017
<b>chybná dominance</b>		0.398**		0.2691		0.8227***
<b>log věrohodnosti</b>	-1104	-1084.1	-971.02	-969.21	-982.65	-952.13
<b>uprav. ...<sup>2</sup></b>	0.152	0.172	0.207	0.206	0.1856	0.2050
<b>p-hodnota testu poměrem věrohodnosti k modelu 5</b>	-	0.000	-	0.3054	-	0.000

Hladiny statistické významnosti: \*\*\* 0.001, \*\* 0.01, \* 0.05

V případě modelů logistické regrese s náhodným rozdělením parametrů – cestovního času a jeho variability – jsou opět všechny tři atributy výběrového experimentu statisticky významné a s předpokládaným směrem. Zatímco u segmentů cest autem je náhodné rozdělení log-normální, u segmentů cest vlakem a autobusem je využito normální rozdělení, neboť tyto modely poskytují mírně vyšší hodnoty  $\rho^2$ .

Účel cesty je statisticky významný prediktor u cest konaných autem a autobusem, nikoli však u cest konaných vlakem. Výše příjmu je asociována s hodnotou cestovního času u cest autem, avšak pouze na 10% hladině statistické významnosti. Binární proměnná na odpověď ve výběrové volbě

<sup>7</sup> Ve shodě s axiomem nepřesycenosti ekonomické teorie maximalizace užítu přitom předpokládáme, že respondent zvolí dominantní alternativu; binární proměnná (rovna 1 pokud respondent zvolil nedominantní alternativu) by tedy měla odhalit případné lexikografické (zjednodušující) preference.



s dominantní alternativou je statistiky významná ve všech segmentech, což může indikovat obtížnost odpovídání v tomto výběrovém experimentu.

**Tabulka 28 - modely logistické regrese s náhodným rozložením parametrů pro výběrový experiment s variabilitou cestovního času**

segment	Car		Train		Bus	
	Model 9 (ln)	Model 10 (ln)	Model 7	Model 8	Model 7	Model 8
<b>náklady</b>	-0.0126***	-0.0171***	-0.0415***	-0.0417***	-0.0492***	-0.0602***
<b>průměrný cestovní čas</b>	-3.4661***	-3.3899***	-0.0531***	-0.0541***	-0.0604***	-0.0641***
<b>sm.odch. cestovního času</b>	-5.0628***	-4.8787***	-0.015***	-0.0155***	-0.0326***	-0.0342***
<b>náklady*pracovní cesta</b>		0.0076***		0.0029		0.0275***
<b>náklady*nižší příjem</b>		-0.0017.		-0.0034		-0.0065
<b>chybná dominance</b>		0.6228***		0.4844**		1.0441***
<b><math>\sigma</math> cestovního času</b>	0.8911***	0.9362***	0.0415***	0.0422***	0.0462***	0.0443***
<b><math>\sigma</math> sm.odch. cestovního času</b>	-1.8903***	-1.7793***	0.0415***	0.0418***	0.0525***	0.0547***
<b>log věrohodnosti</b>	-997.95	-971.44	-892.3	-888.79	-877.51	-845.67
<b>uprav. ...<sup>2</sup></b>	0.232	0.250076	0.2699	0.270281	0.2708	0.291704
<b>p-hodnota testu poměrem věrohodnosti k modelu 5</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>p-hodnota testu poměrem věrohodnosti k modelu 7 (9)</b>	-	0.000	-	0.07	-	0.000

Hladiny statistické významnosti: \*\*\* 0.001, \*\* 0.01, \* 0.05, . 0.1

Následující tabulka shrnuje odhadnuté hodnoty cestovního času a jeho variability, vyjádřené jako ocenění minuty standardní odchylky cestovního času). Odhadnuté ocenění cestovního času u cest autem je takřka trojnásobné ve srovnání s oběma módy veřejné dopravy, rovněž tak hodnota variability cestovního času je podstatně vyšší u cest autem a naopak extrémně nízká u cest vlakem. Hodnota cestovního času u pracovních cest je zhruba 1,8krát vyšší než u nepracovních cest, což se relativně dobře shoduje s mnoha dřívějšími studii, které v převažující míře sledují nižší ocenění cestovního času u nepracovních cest. Variabilita cestovního času bývá též někdy vyjadřována jak o poměr spolehlivosti (reliability ratio), tj. podíl hodnoty variability cestovního času a hodnoty cestovního času. Small a Verhoef (2007) uvádějí, že se tento poměr běžně pohybuje v rozmezí 0,8 – 1,3, naše odhady se až na jedinou výjimku pohybují pod spodní hranicí, což ukazuje na relativně nižší ocenění variability oproti zahraničním studiím, lze však zmínit i dřívější studii Black a Towriss (1993), která tento poměr uvádí ve výši 0,7.

**Tabulka 29 – odhadnuté hodnoty cestovního času a variability cestovního času**

	Hodnota cestovního času (Kč/hod)	Hodnota variability cestovního času (Kč/min. std. odchylky)	Poměr spolehlivosti (reliability ratio)
<b>AUTO</b>			
<b>základní model</b>	222	3.01	0.81

<b>model s kovariáty</b>			
nepracovní cesta	184	2.17	0.71
pracovní cesta	332	3.93	0.71
<b>VLAK</b>			
<b>základní model</b>	77	0.36	0.28
<b>AUTOBUS</b>			
<b>základní model</b>	74	0.66	0.53
<b>model s kovariáty</b>			
nepracovní cesta	64	0.57	0.51
pracovní cesta	118	1.04	0.53

## Diskuse výsledků

Náklady času jsou jedním z hlavních ne-li rozhodujícím faktorem při ekonomickém hodnocení projektů dopravní infrastruktury. Úspory cestovního času, snížení času stráveného v kongesci i snížení variability cestovního času z realizace zlepšení dopravní infrastruktury budou jedním z podstatných přínosů takového opatření a budou tedy hrát rozhodující význam při posuzování ekonomické efektivity daného projektu. Je zde tedy zjevná potřeba po odpovídajících hodnotách úspory cestovního času a jeho variability.

Tato studie přitom ukazuje, že vedle samotného ocenění cestovního času je záhodno věnovat pozornost i jeho spolehlivosti, neboť jak ukazují výsledky druhého výběrového experimentu, snížení variability cestovního času bude rovněž přinášet významné ekonomické přínosy. Obdobně to platí i pro ocenění cestovního času v dopravní kongesci, která je téměř dvojnásobkem ocenění „běžného“ cestovního času, a v dopravním plánování by měla být tato „prémie“ bezpochyby zohledněna.

Vzhledem k tomu, že v ČR ve valné míře absentují data o dělbě přepravní práce jak na této trase, tak i na jiných trasách (výjimkou je dojíždka za prací zjišťovaná ČSÚ v rámci SLBD a dopravní šetření některých krajů), lze s odhadnutými výsledky počítat pro následné využití:

- 1) pokud nás bude zajímat pouze odhad hodnoty cestovního času pro uživatele různých dopravních prostředků a cestující s různým účelem, aniž bychom chtěli počítat celkovou změnu blahobytu, při konkrétních změnách atributů cest;
- 2) pokud se v budoucnu podaří získat odhad, kolik osob asi tím kterým způsobem na této trase cestuje (podíl účelů, nicméně příjem tak jako tak nebude nikdy k dispozici) – tak je podle podílů prostředků na přepravní práci možné učinit jednoduchou agregaci a vypočítat celkovou změnu blahobytu.

## Kvantifikace přínosů z úspory cestovního času při rozšíření dálnice D1 mezi Prahou a Brnem

V rámci tohoto úkolu bylo zpracováno hodnocení přínosů z časové úspory v důsledku rozšíření dálnice v celé délce úseku mezi Prahou a Brnem. Namodelované výstupy tak představují současný stav (označen jako 2010) a stav s rozšířenou dálnice D1 na 3 pruhy v každém směru v úseku Brno – Praha (označen jako stav 2012). Toto opatření se přitom nedotýká úseku mezi Chodovem a Mirošovicemi, který již v současnosti má 3 pruhy v každém směru. Cílem tohoto modelování je výpočet úspory cestovního času na uvedeném úseku v segmentu individuální automobilové dopravy a její peněžní ocenění, které bylo získáno v dotazníkovém šetření realizovaném v rámci projektu a podrobně popsané v předchozí podkapitole.

Model přepravního proudu byl zpracován na modelové síti ČR se zaměřením na oblast dálnice D1 mezi Brnem a Prahou v prostředí software EMME (Équilibre Multimodal- Multimodal Equilibrium)<sup>8</sup>. Cílem tohoto modelu byly výpočty časových prodlev (zdržení), ke kterým dochází v důsledku narůstajících kongescí a které by měly sloužit jako základ pro výpočty externích nákladů kongescí. Časové charakteristiky byly vypočítány pro všechny cesty ze zdrojových do cílových zón modelu, se zaměřením na individuální automobilovou dopravu (IAD).

Cestovní čas je počítán s pomocí tzv. funkce VDF („volume-delay“), která v sobě zahrnuje i parametr intenzit. Se zvyšujícím se objemem dopravy se dopravní proud zpomaluje, přičemž tato závislost je exponenciální. Zatěžování se opakuje (iterace výpočtu) tak dlouho až je dosaženo rovnováhy systému, tj. žádný cestující si již nemůže zlepšit cestovní čas své cesty. Funkcí VDF je v literatuře velké množství, pro tento projekt byla použita tzv. funkce BPR (Bureau of Public Road), vyvinutá v 60. letech v USA, která má následující podobu

$$t_u = t0_u \cdot \left( 1 + \gamma \cdot \left( \frac{v_{n,u}}{\text{lan}_u \cdot c_u} \right)^n \right)$$

kde

$t_u$  reálný čas průjezdu úsekem  $u$  (min)

$t0_u$  volný průjezd úsekem  $u$  (min)

$\gamma$  **proměnný parametr (pro kalibraci)**

$v_u$  objem dopravy přidělený na úsek  $u$  při  $n$ -té iteraci zatěžování

$\text{lan}_u$  počet pruhů na úseku  $u$

$c_u$  kapacita úseku  $u$  připadající na jeden jízdní pruh

$n$  **proměnný parametr (pro kalibraci)**

Výsledkem jsou dopravní intenzity na všech úsecích modelové dopravní sítě. Dále je při zatěžování počítán cestovní čas, jak na síti (čas projetí jednotlivých úseků) tak v matici (časy všech cest z jednotlivých zdrojů do cílů dopravy).

<sup>8</sup> Podrobnější popis dopravního modelu EMME byl zpracován do průběžné zprávy o řešení projektu za rok 2009.

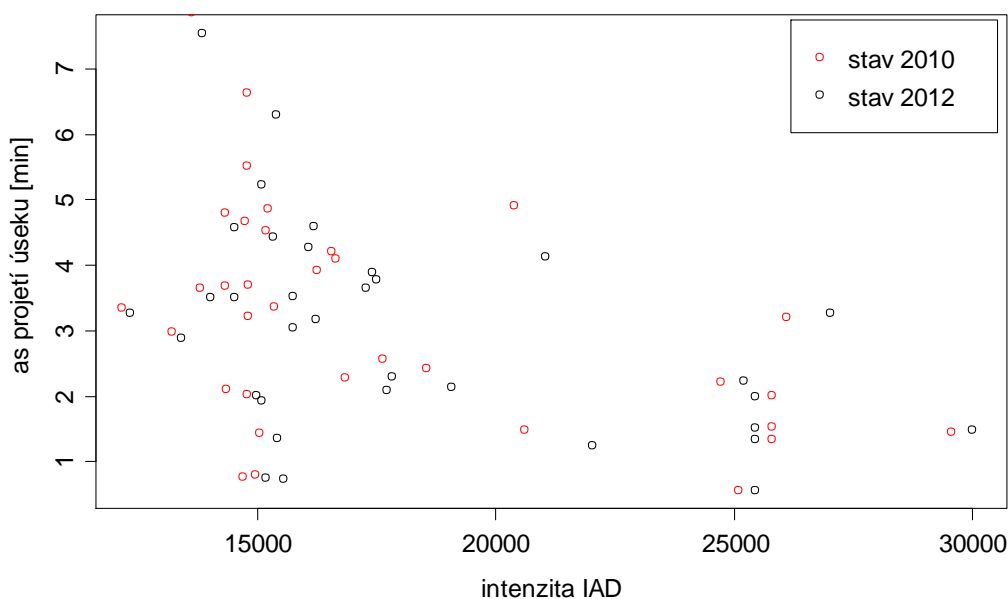
Obrázek 66 – Kartogram intenzity dopravy (stav 2012) a průměrných časů ujetí jednotlivých úseků (modře stav 2010, černě stav 2012)



Dopravní intenzity vypočtené s pomocí zatěžování modelové sítě bylo nutno kalibrovat tak aby se přibližovaly k údajům z dopravních sčítání. Cílem kalibrace je co nejvíce se přiblížit hodnotám ze sčítání. Absolutní shody dosáhnout nelze, ani to není žádoucí, neboť i hodnoty ze sčítání jsou zatíženy chybou a mění se v průběhu dne, týdne i roku. V systému EMME je možno kalibraci provádět několika způsoby: úpravou parametrů modelové sítě, úpravou funkce VDF a úpravami vlastní matice vztahů automobilové dopravy. V modelu rovněž nejsou zachyceny intra-zonální cesty, tj. cesty, jejichž počátek i konec leží v rámci jedné zóny (to se týká především nižších modelových intenzit v oblastech pražské a brněnské aglomerace).

V případě funkce VDF spočívá kalibrace ve změnách parametrů  $\gamma$  a  $n$  (vyznačeny tučně). Oba tyto parametry mají vliv na výsledný cestovní čas. Zvýšení parametru  $n$  ovlivní „náhlost“ zpomalení dopravního proudu. Parametr  $\gamma$  se pohybuje v intervalu  $< 0,1 - 1 >$ . Čím je nižší, tím je zpomalení méně výrazné a dopravní proud je plynulejší.

Obrázek 67 – dvojrozměrný bodový graf intenzit IAD a průměrného času průjezdu jednotlivých úseků



S ohledem na to, že na úseku mezi Prahou-Chodovem a Mirošovicemi nedochází k dalšímu rozšíření (3 pruhy v každém směru jsou stávající stav) a model počítá s mírným nárůstem dopravních intenzit, vykazuje tento úsek nikoli pokles cestovního času, ale jeho malý nárůst (v součtu cca o 6 sekund). Úspora času vypočtená modelem je pro oba směry prakticky shodná, bezmála 6 minut.

Tabulka 30 – vypočtené časové indikátory (v minutách)

	cestovní čas – stávající	cestovní čas - 2012	redukce cestovního času
směr Brno-Praha	108.18	102.21	-5.97
směr Praha-Brno	108.24	102.26	-5.98

Pro agregaci přínosů jsou zohledněny namodelované intenzity pro rok 2012, klíčovým parametrem pro vyhodnocení přínosů rozšíření dálnice D1 je přitom volba hodnoty cestovního času, resp. ocenění času stráveného v kongesci. Z dotazníkového šetření popsaného výše byly odvozeny hodnoty cestovního času a času stráveného v kongesci jednak pro řidiče osobního automobilu bez rozlišení účelu cesty, avšak i se zohledněním účelu cesty (pracovní vs. nepracovní cesta). Podíl pracovních a nepracovních cest byl zvolen na základě podílu těchto cest u respondentů v telefonickém screeningu v pilotním testování dotazníku v poměru 38 % cesty pracovní a 62 % cesty nepracovní. Tato hodnota je pravděpodobně zatížena značnou chybou z důvodu nízkého počtu pozorování, z téhož důvodu bylo upuštěno i od zahrnutí dalších možných charakteristik ovlivňujících hodnotu cestovního času uvedených výše (Tabulka 24). V rámci šetření nebylo bohužel možné tento podíl verifikovat, neboť na účel cesty byla stanovena kvóta tak, aby bylo získáno dostatečné množství dotazníků pro jednotlivé sub-segmenty, tak aby bylo možné model ekonometricky odhadnout. V následující tabulce jsou shrnuty hodnoty cestovního času a času stráveného v kongesci použité pro výpočet přínosů z úspory cestovního času.

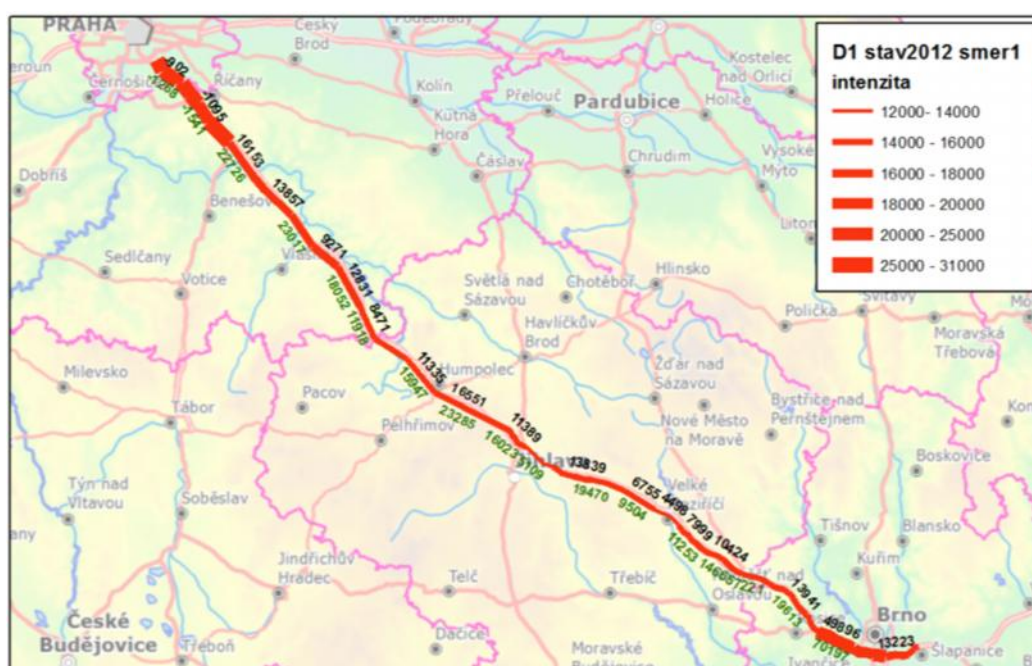
Tabulka 31 – ocenění cestovního času a času stráveného v kongesci (v Kč/minutu)

	hodnota cestovního času	hodnota času stráveného v kongesci

<b>základní model</b>	3.0	4.2
<b>rozšířený model</b>		
<i>nepracovní cesta</i>	2.33	3.39
<i>pracovní cesta</i>	3.66	5.33

Následující obrázek přibližuje kvantifikované přínosy (kladné hodnoty), resp. ztráty (záporné hodnoty), za jednotlivé úseky dálnice D1 pro směr Brno – Praha, při ocenění úspory cestovního času za modelovaný dopravní proud v roce 2012 hodnotou cestovního času ze základního modelu (černě) a hodnotou času stráveného v kongesci (zeleně).

Obrázek 68 - Kartogram intenzity dopravy (stav 2012) a kvantifikovaných úspor cestovního času (v Kč)



Absolutně nejvyšší přínosy má modelované opatření na úseku Brno-západ – Kývalka (resp. Kývalka – Brno-západ), kde jednak dochází k absolutně nejvyšší časové úspoře (cca 50 sekund) při relativně významné intenzitě dopravy (cca 21 tis. osobních vozidel v každém směru). Naopak, na úsecích mezi Prahou a Mirošovicemi vzhledem k již existujícím 3 pruhům v obou směrech nedochází k časovým úsporám, a tedy při uvažovaném mírném nárůstu intenzity dochází k malé ztrátě cestovního času (v jednotkách sekund).

V následující tabulce jsou souhrnně prezentovány odhadnuté úspory v peněžním vyjádření za hodnocený úsek a příslušné denní intenzity individuální automobilové dopravy.

Tabulka 32 – Ocenění úspory cestovního času (v Kč/denní intenzitu IAD)

	generalizovaná hodnota cestovního času	individualizovaná hodnota cestovního času	generalizovaná hodnota času v kongesci	individualizovaná hodnota času v kongesci
<b>směr Brno-Praha</b>	296 046	281 879	416 501	410 390

---

<b>směr Praha-Brno</b>	298 359	284 082	419 756	413 597
------------------------	---------	---------	---------	---------

---

Druhý sloupec ukazuje výsledky při použití ocenění časové úspory hodnotou cestovního času ze základního modelu bez dalších kovariátů („generalizovaná hodnota cestovního času“), třetí sloupec pak uvádí výsledky při rozlišení hodnoty cestovního času podle účelu cesty („individualizovaná hodnota cestovního času“). Při předpokládaném rozdělení pracovních a nepracovních cest v poměru 38:62 je odhadovaný celkový přínos cca o 5 % nižší než při použití generalizované hodnoty cestovního času. Pokud by ovšem podíl pracovních a nepracovních cest byl např. 50:50, pak celkové kvantifikované přínosy mírně převýší hodnoty vypočtené na základě generalizované hodnoty cestovního času; naopak, pokud by podíl pracovních cest klesl na 20 %, snížil se přínos bezmála o 15 %. To může mít význam zejména s ohledem na to, v kterých časových obdobích dochází k největším kongescím, neboť přínosy z omezení kongescí budou při takovémto rozlišení mít odlišné ekonomické přínosy, pokud se bude jednat o kongesce v pracovní dny nebo o víkendy.

Ještě výraznější vliv bude mít to, pokud pro ocenění přínosů použijeme místo obecné hodnoty úspory času ocenění času stráveného v kongesci (tj. platí-li předpoklad, že časová úspora z realizace hodnoceného opatření spočívá v redukci cestovního času, který odpovídá podmínkám kongesce). V takovém případě by se ocenění přínosů zvýšilo o více než 40 % ve srovnání s oceněním generalizovanou hodnotou cestovního času. Použijeme-li opět rozlišení hodnoty času v kongesci podle účelu cesty, je rozdíl poměrně nepatrný (cca 2 %), avšak při významnější změně podílu účelů cesty bude rozdíl oproti odhadu založenému na generalizované hodnotě narůstat (např. při 20% podílu pracovních cest bude celkový přínos cca o 10 % nižší.)

## Kvantifikace společenských nákladů nehod

Za externí náklady nehod jsou zpravidla považovány ty společenské náklady, které nejsou kryty pojištěním odvozeným od rizika. V tomto smyslu je úroveň externalit z nehod podmíněna nejen množstvím nehod, ale i systémem pojištění.

Dopady nehod lze klasifikovat následovně (Nellthorp et al. 1998):

- nehody se smrtelným následkem – úmrtí na následky nehody nejdéle v období 30 dnů<sup>9</sup> od nehody,
- nehody s těžkým zraněním – takový úraz, který vyžaduje hospitalizaci a má déle trvající následky, avšak oběť nehody v rozhodné době od nehody nezemře,
- nehody s lehkým zraněním – úrazy, které zpravidla nevyžadují hospitalizaci nebo v jejím případě následky rychle ustupují,
- nehody pouze s hmotnou škodou – bez dopadů na zdraví.

Převažujícím přístupem k oceňování nehod je přístup shora dolů (top-down), který vychází z celkových statistik nehodovosti a uvažuje přímé a nepřímé ekonomické náklady – náklady na léčení a rehabilitaci, administrativní náklady právního systému, ztráty produktivity atd., přičemž pro odvození externích nákladů se substrahuje ta část společenských nákladů, která je kryta pojištěním.

Pro přístup shora dolů jsou definovány 4 kroky, které však vedou k odhadu celkových a následně průměrných nákladů:

1. sběr statistických dat o nehodovosti a případné korekce o podhodnocení (zvl. u statistik silničních nehod)<sup>10</sup>
2. ocenění následků nehod (úmrtí, těžký úraz, lehký úraz, škoda na majetku) a zohlednění transferů z pojištění a případného vymáhání odškodnění;
3. výpočet celkových nákladů nehod pro specifický druh dopravy a alokace na různé typy vozidel, pro alokaci nákladů lze vycházet z odpovědnosti (zavinění) za nehodu;
4. výpočet průměrných nákladů nehod jako podílu celkových nákladů nehod pro daný typ dopravy a dopravních výkonů daného typu dopravy.

Oceňování nehod zahrnuje několik typů nákladů – přímé ekonomické náklady, nepřímé ekonomické náklady a hodnotu bezpečnosti samé. Do přímých nákladů patří současné a budoucí výdaje, mj. náklady na léčení a rehabilitace, náklady pohotovosti, bezpečnostních složek, právního systému a náklady škod na majetku. Nepřímé náklady představuje ztráta produktivity způsobená předčasným úmrtím nebo dočasnou či trvalou sníženou pracovní schopností. Konečně hodnota bezpečnosti (resp. rizika) představuje statistickou hodnotu lidského života odvozenou z individuální percepce rizika nehody a ochoty platit za jeho snížení (VRR – value of risk reduction / VPF – value of prevented fatality).

V evropských projektech UNITE a HEATCO byly odvozovány hodnoty pro různé členské státy EU, přičemž průměrná hodnota pro EU dosahuje přibližně 1,5 mil. € a pro přenos hodnot je doporučována úprava přes paritu kupní síly.

Mezi hodnotou statistického života (value of statistical life, resp. v kontextu dopravních nehod VPF) a ochotou platit za vyhnutí se těžkému a lehkému úrazu byla na základě studie Jones-Lee et al. (1995) odvozena následující relace – ochota platit za těžký úraz představuje asi 15 % hodnoty VPF, ochota platit za lehký úraz pak 1 % hodnoty VPF. Tyto relace byly využívány i v projektu UNITE, následně však

---

<sup>9</sup> Období 30 dnů představuje pragmaticky nastavenou hranici pro statistické zpracování informací o nehodách a jejich následcích.

<sup>10</sup> Korekční faktory se pro neohlášené silniční nehody podle závažnosti pro různé dopravní prostředky pohybují od 1,02 u nehod s usmrcením po 18,5 u nehod cyklistů pouze s hmotnou škodou, viz Bickel a kol. (2006).



byly revidovány v projektu HEATCO na základě studie ECMT (1998), kde pro ocenění těžkého a lehkého úrazu byly použity faktory 0,13 hodnoty VPF pro těžký a 0,01 hodnoty VPF pro lehký úraz.

#### Ekonomické hodnocení nehod v ČR

Vyčíslování ekonomických ztrát způsobených nehodovostí v silničním provozu v ČR se věnovalo především CDV. Od poloviny 90. let byla rozpracovávána metodika stanovení nákladů a ztrát z dopravní nehodovosti, později podstatně revidovaná a v zásadě vycházející z přístupu lidského kapitálu (CDV, 2004, 2006, Daňková, 2007). V kategorii přímých nákladů jsou zjišťovány přímé náklady na zdravotní péči, administrativu (policie, soudy, pojišťovny), vyšší sociální výdaje (dávky nemocenského pojištění vdovské, vdovecké, sirotčí a invalidní důchody) a hmotné škody. Mezi nepřímé náklady pak jsou zahrnuty ztráty na produkci jako podíl výše hrubého domácího produktu v běžných cenách a středního stavu počtu obyvatel v produktivním věku (muži 15-62 let a ženy 15-60 let). Náklady pro nehodu se smrtelným následkem se pohybují ve výši 10,2 mil. Kč za případ, u nehody s těžkým úrazem ve výši 3,6 mil. Kč za případ a pro nehodu s lehkým úrazem ve výši 405 tis. Kč.

V harmonizovaném návodu pro hodnocení dopravních projektů zpracovaném v projektu HEATCO byly pro ČR odvozeny následující hodnoty zahrnující hodnotu bezpečnosti a přímých a nepřímých nákladů (v cenách faktoru):

- smrtelný úraz - €<sub>2002</sub> 495 000, resp. €<sub>2002</sub> 932 000 při přepočtu paritou kupní síly,
- těžký úraz - €<sub>2002</sub> 67 100, resp. €<sub>2002</sub> 125 200 při přepočtu paritou kupní síly,
- lehký úraz - €<sub>2002</sub> 4 800, resp. €<sub>2002</sub> 9 100 při přepočtu paritou kupní síly.

V ČR byla hodnota statistického života v kontextu dopravních nehod – tj. hodnoty bezpečnosti samé (value of safety per se) – zjišťována metodou výběrového experimentu (Kutáček a Šeďa, 2004) a rovněž v projektu 6. RP EK VERHI<sup>11</sup>. Průměrná hodnota VSL v oblasti dopravních nehod byla v šetření realizovaném v projektu VERHI odhadnuta pro českou populaci ve výši 12 milionů Kč pro dospělé a 18 milionů Kč pro děti (v cenách roku 2008).

---

<sup>11</sup> Podrobná zpráva o výsledcích a rešerše zahraničních meta-analýz je obsažena v průběžné zprávě za rok 2010.

## Společenské náklady nehod na úseku dálnice D1 Praha – Brno

Tato případová studie je věnována hodnocení rizika nehod a jejich ocenění, které vychází z výše popsaného přístupu shora dolů. Pro tento modelový výpočet byl vybrán úsek dálnice D1 mezi Prahou a Brnem, mj. s ohledem na návaznost na kvantifikaci externalit z kongescí, ale také z důvodu významných intenzit dopravy na této kapacitní komunikaci.

Pro kvantifikaci rizika nehod a jejich ekonomické dopady byla použita georeferencovaná data o nehodovosti ze statistik Policie ČR, která dále zpracovalo CDV, data o intenzitách dopravy ze sčítání dopravy realizovaného v roce 2010 a hodnoty ocenění bezpečnosti a přímých a nepřímých nákladů nehod představené v předchozí kapitole.

Obecný přístup k odhadu nákladů nehod lze formálně vyjádřit jako (Bickel a kol., 2006):

$$\sum_i (r_i \times c_i \times m)$$

kde

$i$  ... jsou dopady nehod (smrtelné, těžké, lehké úrazy, materiální škody)

$r_i$  ... je riziko dopadu nehody typu  $i$  na vozo-kilometr

$c_i$  ... jsou náklady dopadu nehody typu  $i$

$m$  ... jsou dopravní výkony ve vozo-kilometrech

Vedle toho mohou (a obvykle budou) vznikat i další nepřímé dopady, jako je časová ztráta a zvýšená spotřeba paliva v důsledku kongescí, které budou nehodami zapříčiněné. Takové náklady je nicméně prakticky nemožné generalizovat (a nejsou tedy v této případové studii zahrnuty), neboť jsou výsledkem aktuální dopravní situace a dalších místních podmínek (stav vozovky, viditelnost apod.).

Další faktor, který je vhodné zohlednit při vyčíslování nákladů nehod je rozdíl mezi počtem nehod evidovaným v policejních statistikách a reálnou skutečností. Výzkumy v několika evropských zemích shrnuté v projektu HEATCO, jak ukazují, že poměr hlášených a neohlášených nehod se výrazně liší v závislosti na závažnosti následku. V následující tabulce jsou uvedeny doporučené koeficienty pro zohlednění neohlášených případů nehod.

Tabulka 33 – Doporučené průměrné evropské koeficienty pro přepočtení neohlášených silničních nehod

	smrtelný úraz	těžký úraz	lehký úraz	průměrný úraz	jen materiální škoda
<b>průměr</b>	1,02	1,5	3	2,25	6
<b>auto</b>	1,02	1,25	2	1,63	3,5
<b>motocykl/moped</b>	1,02	1,55	3,2	2,38	6,5
<b>kolo</b>	1,02	2,75	8	5,38	18,5
<b>chodec</b>	1,02	1,35	2,4	1,88	4,5

Zdroj: Bickel a kol. (2006)

Na základě dat ze sčítání dopravy a statistik nehodovosti byly vypočítány rizika jednotlivých dopadů (následků) nehod – smrtelného úrazu, těžkého úrazu, lehkého úrazu a nehody pouze s materiální škodou – vyjádřené na 1 vozo-kilometr hodnoceného úseku dálnice D1. Tyto hodnoty byly dále upraveny vynásobením doporučenými koeficienty pro zohlednění neohlášených nehod.

Tabulka 34 - riziko zdravotního dopadu / nehody na vozo-kilometr

typ dopadu / nehody	kvantifikované riziko na vkm	s korekcí o neohlášené nehody
riziko smrtelného úrazu	3,07E-09	3,14E-09
riziko těžkého úrazu	6,26E-09	7,83E-09
riziko lehkého úrazu	1,25E-07	2,50E-07
riziko nehody pouze s materiální škodou	3,74E-07	1,31E-06
riziko nehody (bez rozlišení)	4,70E-07	-

Odhadnuté riziko nehody bez rozlišení příčiny se pohybuje okolo 0,5 nehody na milion vozo-kilometrů (bez úpravy korekčním faktorem), což je ve srovnání s publikovanými zahraničními odhady velmi nízká hodnota<sup>12</sup>.

Dalším vstupem do výpočtu je ocenění jednotlivých typů dopadu nehod, tedy smrtelného úrazu, těžkého a lehkého úrazu a nehod pouze s materiálními škodami. Relativně nejméně problematickou položku představují materiální škody, jejichž přibližná výše je součástí policejních statistik o nehodách. U přímých a nepřímých nákladů nehod představuje dobré východisko výše zmíněná studie CDV (CDV, 2006) a pro odhad ocenění vnímání bezpečnosti (nemateriální újma z následků nehody) lze využít hodnotu statistického života zjištěnou pro kontext dopravy v projektu VERHI. V případě ocenění vnímání bezpečnosti u těžkého a lehkého úrazu lze – při absenci primárních hodnot ocenění nemateriální újmy – použít podíly doporučené ve studii ECMT (1998), tj. 13 % hodnoty VSL pro těžký úraz a 1 % hodnoty VSL pro lehký úraz. Ocenění jednotlivých dopadů na lidské zdraví a jeho složek je shrnuje následující Tabulka 35.

Tabulka 35 – ocenění jednotlivých složek u dopadů na zdraví v důsledku silničních nehod (v mil. Kč na případ)

	přímé a nepřímé náklady	ocenění bezpečnosti (nemateriální újma)
smrtelný úraz	10,2	12
těžký úraz	3,6	1,56
lehký úraz	0,4	0,12

V následující tabulce jsou pak představeny odhadnuté společenské náklady nehod na úseku dálnice D1 mezi Prahou a Brnem za rok 2010 ve dvou variantách – bez a se započítáním koeficientu pro neohlášené případy dopravních nehod. V prvním případě dosahují odhadované společenské náklady nehod částky 640 mil. Kč, v případě započítání neohlášených nehod pak bezmála dvojnásobku, 1,2 mld. Kč. Nejvýznamněji se na rozdílu těchto hodnot podílí náklady nehod pouze s materiálními škodami – zjevným důvodem zde je to, že tomuto typu nehod je stanoven nejvyšší korekční faktor (3,5).

Tabulka 36 – společenské náklady nehod z provozu na dálnici D1 mezi Prahou a Brnem (v mil. Kč)

počet případů	přímé a nepřímé náklady	ocenění bezpečnosti	celkem
<b>bez korekce o neohlášené případy nehod</b>			

<sup>12</sup> V projektu UNITE byla tato rizika odhadována v rozmezí 1,3 až 38 nehod na milion vozo-kilometrů (srov. Maibach a kol., 2008), v mezičase se ovšem i v ČR počet smrtelných nehod podstatně snížil.

<b>smrtelný úraz</b>	8	81,9	96,0	177,9
<b>těžký úraz</b>	18	64,7	28,1	92,8
<b>lehký úraz</b>	346	140,3	41,5	181,9
<b>materiální škody</b>	1266			187,3
<b>CELKEM</b>				<b>639,8</b>
<b>s korekcí o neohlášené případy nehod</b>				
<b>smrtelný úraz</b>	8	83,5	97,9	181,5
<b>těžký úraz</b>	23	80,9	35,1	116,0
<b>lehký úraz</b>	692	280,7	83,0	363,7
<b>materiální škody</b>	3947			539,2
<b>CELKEM</b>				<b>1200,3</b>

Dále by bylo možné přiřadit společenské náklady různým kategoriím vozidel (některé studie ukazují, že podíl nehod s účastí těžkých nákladních vozidel je výrazně vyšší než by odpovídalo jejich podílu na dopravních výkonech ve vozo-kilometrech); u přístupu shora dolů připadá v úvahu rovněž zohlednění zavinění nehody, počtu obětí nehody, či přepočtení na vozo-kilometr. V následující tabulce jsou společenské náklady nehod vyjádřeny právě v těchto jednotkách.

Tabulka 37 - společenské náklady nehod z provozu na dálnici D1 mezi Prahou a Brnem (v Kč/vkm)

	<b>bez korekce o neohlášené nehody</b>	<b>s korekcí o neohlášené nehody</b>
<b>přímé a nepřímé náklady</b>	0,171	0,355
<b>ocenění bezpečnosti</b>	0,062	0,080

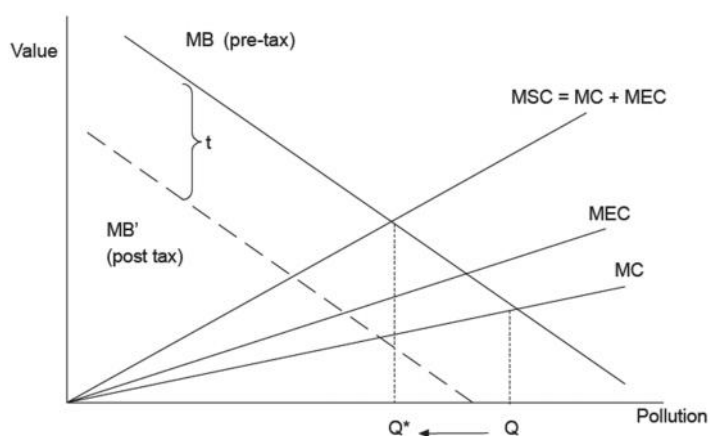
Dostí problematický krok také představuje rozlišení společenských nákladů na interní a externí. K jednoznačnému rozlišení je nezbytné podrobně analyzovat systém pojištění – tedy v první řadě pojištění odpovědnosti z provozu vozidla – a to mj. včetně návazností na vymáhání škod po vinících nehod zdravotními pojišťovnami. V několika případových studiích realizovaných v projektu UNITE byl podíl interních nákladů odhadován v rozmezí 59 až 76 % (Nash a kol., 2003).

## Využití výsledků při tvorbě politik a podpůrných nástrojů

Doprava má zásadní význam pro udržitelný rozvoj a zvláště pro jeho ekonomický pilíř. Platí pro ní, tak jako pro jiné sektory ekonomiky, že ekonomicky efektivní bude tehdy, pokud v ní budou uživatelé platit takové ceny, které odpovídají společenským nákladům. Teprve tehdy bude cena uživatelům a producentům ukazovat na vzácnost využívaných zdrojů a služeb. Pokud v současné době ceny hrazené uživateli neodpovídají nákladům, které doprava klade na společnost – tedy především environmentální externality, pak poptávka po dopravě převyšuje optimální úroveň. Cena v takovém případě neplní motivační funkci, která by část uživatelů stimulovala k volbě jiných prostředků či substitutů mobility (vč. např. homeworkingu atd.).

Mezi nástroji, které mají značný potenciál přispět k napravení tohoto neuspokojivého stavu patří tržně orientované nástroje (jako jsou výkonové zpoplatnění, daně a další poplatky), standardy (pro emise škodlivin a CO<sub>2</sub>) a dopravní plánování, vč. ovlivňování poptávky po dopravě (demand management). Fungování zpoplatnění (tzv. environmental costing), jako stěžejního nástroje pro optimalizaci dopravy na úrovni společenského optima přibližuje následující obrázek. Optimum zde představuje průsečík křivky mezních společenských nákladů (tj. sumy mezních privátních nákladů a mezních externích nákladů) a mezních společenských přínosů, kdy zahrnutí externích nákladů do ceny je zprostředkováno pigouviánskou emisní daní  $t$ .

Obrázek 69: Optimální úroveň internalizace externalit



Zdroj: Barde a kol. (2001)

Na konci března 2011 schválila Evropská komise strategický plán rozvoje společného evropského dopravního prostoru s vizí do roku 2050<sup>13</sup>. Cílem této široce pojeté strategie je zajištění konkurenčního dopravního systému, který zlepší mobilitu, odstraní hlavní překážky a úzká hrdla jak v infrastruktuře, tak i fungování jednotného trhu a snížení emisí skleníkových plynů o 60 % v porovnání s rokem 1990. Bílá kniha vyjmenovává 40 konkrétních iniciativ pro následující desetiletí, které mimo jiné zahrnuje a stanovování správných cen a daní (smart pricing and taxation). Ve vztahu k zpoplatnění užití silnic a specificky internalizaci externích nákladů, strategie navrhuje restrukturalizaci stávajících daní a poplatků, tak aby přispívaly ke konkurenceschopnosti a zároveň reflektovaly celkové náklady dopravy – jak pokud jde o infrastrukturu, tak i externality. Strategie předpokládá realizaci řady kroků v kratším (do 2016) a delším (do 2020) horizontu, včetně

<sup>13</sup> BÍLÁ KNIHA Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje - KOM(2011) 144 v konečném znění

(fáze 1)

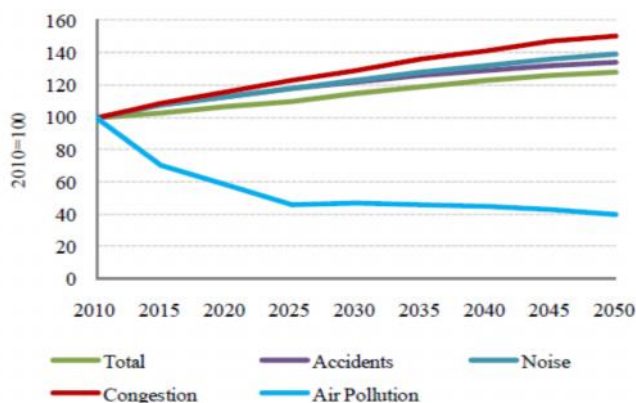
- zavedení povinného poplatku za užití infrastruktury těžkými nákladními vozidly, se společnou strukturou tarifu a nákladových položek (včetně nákladů opatření, lokálního znečištění, hluku), který by nahradil stávající uživatelské poplatky,
- vyhodnocení souladu stávajících systémů zpoplatnění s ohledem na soulad se smlouvami o EU, vypracování pokynů pro uplatnění internalizačních poplatků pro silniční vozidla, který by zahrnoval společenské náklady kongescí, CO<sub>2</sub>, lokálního znečištění, hluku a nehod,
- pokračovat v internalizaci externích nákladů u všech dopravních módů na základě společných principů,
- nastavit rámec pro výnosovou vázanost příjmů z dopravy na rozvíjení integrovaného a efektivního dopravního systému.

(fáze 2)

- pokročit k plné a povinné internalizaci externích nákladů (hluku, lokálního znečištění a kongescí) pro silniční a železniční dopravu,
- internalizovat externí náklady lokálního znečištění a hluku v přístavech a u letišť a zabývat se poplatky k internalizaci u vnitrozemských vodních cest,
- rozvíjet tržně založená opatření k dalšímu snížení emisí skleníkových plynů.

Následující obrázek přibližuje nulový scénář vývoje externalit z dopravy z vyhodnocení dopadů nové evropské dopravní politiky.

**Obrázek 70 – Vývoj externích nákladů v EU v referenčním scénáři Bílé knihy Plán jednotného evropského dopravního prostoru**



Zdroj: Impact Assessment accompanying White Paper Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, SEC(2011) 358 final

Předzvěstí této prohlubující se orientace dopravní politiky byl balíček opatření k ozelenění dopravy přijatý Evropskou komisí v červenci 2008, v širším kontextu Strategie pro realizaci internalizace externích nákladů<sup>14</sup> Jejím podstatným legislativním prvkem byl návrh novelizace směrnice 1999/62/ES o euroviněťě finálně schválený na podzim 2011<sup>15</sup>. Tato novela představuje dosti

<sup>14</sup> Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Strategy for the internalisation of external costs, COM(2008)435 final.

<sup>15</sup> Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/76/EU ze dne 27. září 2011, kterou se mění směrnice 1999/62/ES o výběru poplatků za užívání určitých pozemních komunikací těžkými nákladními vozidly.

významný krok v implementaci zmíněné strategie postupné internalizace externích; a to díky nově se otevírající možnosti zpoplatnění externích nákladů ze znečištění ovzduší a hluku (na rozdíl od původního návrhu však zcela vypadla možnost zpoplatnění kongescí). Tím se nicméně dosavadní orientace směrnice na uplatnění principu „uživatel platí“, rozšiřuje i na zásadu „znečišťovatel platí“ a zvýrazňuje se možný regulační/motivační efekt zpoplatnění užití dopravní infrastruktury. Ve směrnici jsou nicméně stanoveny maximální sazby poplatků za znečišťování ovzduší a za hluk, které ve snaze o zachování konkurenceschopnosti periferních regionů EU limitují možnost zohlednit úplný rozsah působených externích nákladů.

**Tabulka 38 – maximální vážený průměrný poplatek za externí náklady (vozidlo třídy EURO III)**

	<b>příměstské komunikace</b>	<b>meziměstské komunikace</b>
<b>znečištění ovzduší</b>	7 €/vozokm (1,7 Kč/vozokm)	6 €/vozokm (1,5 Kč/vozokm)
<b>hluk</b>		
noc	2 €/vozokm (0,5 Kč/vozokm)	0,3 €/vozokm (0,07 Kč/vozokm)
den	1,1 €/vozokm (0,3 Kč/vozokm)	0,2 €/vkm (0,05 Kč/vozokm)

Zdroj: Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/76/EU

V ČR je v současnosti otázkám internalizaci věnována spíše povšechná pozornost. V závěru roku 2011 byla vládě ČR předložena Strategie rozvoje dopravní infrastruktury v České republice. Tato strategie shrnuje východiska, cíle a hlavní úkoly v oblasti strategického plánování dopravy na národní úrovni a přípravu dvou významných strategických dokumentů - Dopravní sektorové strategie, 2. fáze (GEPARDI 2) - plánované dokončení na přelomu 2012/2013 – a Dopravní politiky ČR na roky 2014 – 2020.

V předcházejícím Generálním plánu rozvoje dopravní infrastruktury (GEPARDI; MD ČR, 2006) bylo v prioritě 1 mezi specifickými cíli stanovení optimálních priorit rozvoje dopravní infrastruktury ve střednědobém horizontu zařazeno i

- dosáhnout významných časových úspor a snížit náklady uživatelů infrastruktury zlepšením dostupnosti regionů a odstraněním úzkých míst (bod 4)
- předcházení kongescím a jiným problémům spojeným s dopravou v hustě osídlených územích (bod 5)
- systematické zvyšování efektivity využití stávající infrastruktury a snižování externí náklady způsobené dopravou (bod 8) - výrazné snížení nehodovost na silniční síti, snížení veškerých emisí a eliminace výskytu nadlimitního hluku na státní infrastruktuře a stimulace pokrok na regionální úrovni

I tak zůstalo převážně jen u proklamací, neboť jediným výraznějším úspěchem v tomto směru je významný pokles nehod se smrtelnými následky, v určité míře došlo i k realizaci protihlukových opatření v návaznosti na zpracované akční plány podle směrnice 2002/49/ES o hluku ve vnějším prostředí. U připravovaných strategií – a zejména Dopravní sektorové strategie – by tedy bylo vhodné přijmout výrazně proaktivnější postup, včetně stanovených měřitelných cílů a časového harmonogramu jednotlivých kroků. Zdokumentované metodické postupy a prezentované výsledky tohoto projektu, spolu s dalšími existujícími dostupnými (a v některých případech i pravidelně aktualizovanými) podklady (např. strategické hlukové mapy), představují solidní základ, z něhož může ministerstvo, kraje a další kompetentní úřady vycházet při formulaci a nastavení nástrojů zaměřených na internalizaci externalit z provozu.

Přitom ovšem škála možného využití výsledků zahrnuje nejen tuto internalizaci, ale také využití dosažených výsledků při analýze nákladů a přínosů investičních projektů a politik a pro vytváření

indikátorů udržitelné dopravy, benchmarking a zelené účetnictví. Rovněž analýza nákladů a přínosů investičních projektů a politik, resp. zohlednění celkové efektivity dopravních politik, projektů dopravní infrastruktury a dalších dopravních opatření představuje možné využití výsledků empirických šetření realizovaných v rámci projektu. Neutuchající diskuse o optimálním rozvoji dopravní infrastruktury se totiž neobejde bez zohlednění celkových efektů, které jsou s dopravou spojeny. Zcela jednoznačně tento požadavek formuluje hodnocení Společně dopravní politiky ve vztahu k dalšímu budování transevropské dopravní sítě TEN-T<sup>16</sup>.

Ex-ante ekonomické hodnocení dopravních projektů musí vycházet z uznávaných metod hodnocení, mezi nimiž je největší význam přikládán analýze nákladů a přínosů (cost-benefit analysis - CBA). Zpracování CBA je v současnosti vyžadováno v případě všech infrastrukturních projektů kofinancovaných z prostředků EU, včetně Komisí zpracovaného podrobného návodu<sup>17</sup>.

U většiny dopravních projektů je přitom CBA podstatně komplexnější cvičení než pouhá finanční analýza (nákladů a výnosů), neboť celá řada přínosů i nákladů má povahu veřejných či netržních statků. Společenské náklady a přínosy tak budou zahrnovat vedle změny spotřebitelského přebytku v důsledku změny generalizovaných nákladů dopravy (vnímaných spotřebiteli/uživateli – jízdné, mýtné, poplatky, pohonné hmoty, amortizace vozidla), změny přebytku producentů – jak provozovatelů dopravních prostředků, tak správců infrastruktury a doprovodných služeb, změny vládních příjmů (daně, poplatky, dotace) i změny externích nákladů. Při kvantifikaci přínosů je přitom vhodné rozlišovat přínosy pro stávající dopravu, přínosy pro dopravu převedenou z jiného módu a přínosy pro nově vzniklou (indukovanou) dopravu.

V ekonomickém hodnocení dopravních projektů hrají statky, které nejsou tržně obchodované, dosti zásadní roli. Patří mezi ně hodnota času, environmentální efekty (emise znečišťujících látek a skleníkových plynů, hluk) či ocenění zamezených smrtelných nehod. Hodnota času, resp. agregovaná časová úspora z nové infrastruktury, bývá často dominantním přínosem, např. ve Velké Británii činila v průměru okolo 80 % přínosů (Metz, 2008). V rostoucí míře se proto objevují hodnoty cestovního času rozlišené především v osobní dopravě podle dopravního prostředku a účelu cesty, podstatně méně je rozpracováno ocenění cestovního času v nákladní dopravě. Ocenění cestovního času pro nepracovní cesty je obvykle podstatně nižší než hodnota pracovních cest, přitom ale převažující většina přínosů úspory času bude prospívat nepracovním cestám. S ohledem na význam ocenění času je nezbytné rovněž zajistit konzistenci mezi oceněním použitým při odhadu poptávky a při následném ekonomickém hodnocení. U externalit z emisí hluku i znečišťujících látek má hlavní význam míra expozice obyvatel a ujetá vzdálenost, na rozdíl od skleníkových plynů, jejichž dopad je považován za globální. Externí náklady nehod se vztahují k dopravnímu módu, především u silniční dopravy jsou vyjadřovány jako průměrné náklady na vozo-kilometr nebo osobo-kilometr, případně jako křivky vztahu mezi rizikem a hustotou provozu (risk-flow curves).

---

<sup>16</sup> Steer Davies Gleave (2009) Evaluation of Common Transport Policy.

<sup>17</sup> Guide on Cost-Benefit Analysis (CBA), DG REGIO, 2008.



## Diseminace výsledků projektu

V roce 2011 byly výsledky projektu diseminovány především na závěrečné mezinárodní konferenci projektu „Externí náklady dopravy: hodnocení cestovního času a hluku z dopravy“, v odborné monografii „Externí náklady dopravy: hodnocení dopadů emisí, hluku, kongescí a nehod“ (v tisku), dále článku k oceňování hluku z dopravy do recenzovaného časopisu *Silnice Železnice* (v recenzním řízení) a na základě příspěvku na mezinárodní doktorandské konferenci byla zpracována kapitola v kolektivní monografii *Applied Environmental Economics and Econometrics: Czech Perspective* (v tisku). Výsledky projektu jsou rovněž diseminovány na webových stránkách projektu (vč. prezentací z mezinárodní konference).

## Závěrečná mezinárodní konference

V rámci dílčího cíle projektu DC007 byla 16. listopadu 2011 uspořádána mezinárodní konference *External Costs of Transport: valuation of travel time and traffic noise*. Konference byla tematicky věnována výzkumu v oceňování cestovního času v osobní dopravě a hluku z dopravy v ČR a v zahraničí a jejich využití ve společenském hodnocení dopravních politik a projektů.

Konference se konala v prostorách Národní technické knihovny v Praze za účasti více než stovky tuzemských a zahraničních dopravních expertů, zástupců státní správy, neziskových organizací a tisku<sup>18</sup>.

Nad konferencí přijal záštitu ministr dopravy Pavel Dobeš a jako zástupce ministerstva ji uvedl ing. Luděk Sosna, ředitel odboru strategie, spolu s ředitelem Centra pro otázky životního prostředí prof. Bedřichem Moldanem.

Konference byla jednodenní, všechny přednášky byly uvedeny v anglickém jazyce a simultánně tlumočeny do češtiny. Program konference sestával ze dvou tematických bloků, přičemž dopolední sekce byla věnována problematice oceňování cestovního času a odpolední oceňování hluku z dopravy.

V dopoledním bloku vystoupila jako hlavní řečnick dr. Farideh Ramjerdi, která se v norském Transportøkonomisk institutt dlouhodobě věnuje řešení metodologických problémů spojených s oceňování cestovního času. Na konferenci představila rozsáhlou národní studii na ocenění cestovního času a jeho spolehlivosti v Norsku. Ve svém příspěvku zdůraznila, že ocenění cestovního času je důležité pro ekonomické hodnocení dopravních projektů a politik, kde úspora cestovního času představuje jeden z hlavních přínosů nové infrastruktury nebo zvýšení kapacity, i pro předpovídání budoucí poptávky po dopravě.

Zásadní význam cestovního času a potřebu zohlednění jeho možné variability v dopravním plánování potvrdil i druhý řečnick dr. Pim Warffemius z Ministerstva dopravy Nizozemí, který představil dokončovanou studii na ocenění času u různých druhů místní i dálkové, osobní i nákladní dopravy.

V tomto bloku byly prezentovány také závěry dílčího cíle DC005 tohoto projektu. Výsledky oceňování času při cestování na trase Praha-Brno představil hlavní řešitel projektu dr. Vojtěch Máca. Získané výsledky ukazují, že lidé, kteří cestují autem, oceňují svojí úsporu času 2-3krát výše než lidé cestující na uvedené trase vlakem či autobusem. Čas strávený v dopravní zácpě pak řidiči oceňují zhruba dvojnásobně oproti hodnotě cestovního času ve volném provozu.

---

<sup>18</sup> Seznam účastníků konference je přiložen jako věcná příloha zprávy.

Závěrečnou přednáškou tohoto bloku bylo představení dřívější studie dopravního chování v Praze sledující rozdíl mezi oceněním času mezi lidmi cestujícími autem a hromadnou dopravou ing. Janem Kašíkem z dopravně-konzultační firmy NDCON.

Jako hlavní řečník odpoledního bloku věnovanému tématu oceňování hluku z dopravy byl do Prahy pozván opět norský řečník prof. Ståle Navrud z univerzity v Aasu, který se věnoval především problematice přenosu hodnot ze zahraničí a vyzdvihl důležitost vlastních národních oceňovacích studií.

V následující prezentaci byly opět představeny výsledky dílčího cíle DC004 tohoto projektu, a sice členem řešitelského týmu Mgr. Janem Urbanem. Ten představil studii oceňující obtěžování hlukem ze silniční a železniční dopravy v 5 českých městech. Na něj navázala prezentace ing. Patrika Siebera a ing. Jana Melichara o oceňování dopravního hluku v projektu CG712-030-520 Stínové ceny externalit v oblasti dopravy.

V posledním odpoledním příspěvku dr. Henrik Andersson z Univerzity v Toulouse představil model zpoplatnění silničního a železničního hluku, podle něhož by uživatelé platili za jimi působenou mezní hlukovou externalitu.

Konferenci uzavřela panelová diskuse k využití výsledků v praxi ekonomického hodnocení dopravních plánů a projektů.

Prezentace z konference byly umístěny na webové stránky projektu k volnému stažení. K příležitosti konání konference byla do médií zaslána tisková zpráva, kterou uvádíme v přílohách zprávy.

Účastníci konference byli po jejím skončení obesláni s žádostí o vyplnění krátkého evaluačního dotazníku. Přestože jeho návratnost byla nízká, i tak lze z odpovědí vyvodit doporučení pro uspořádání dalších obdobných akcí. Odborná úroveň byla vesměs hodnocena jako velmi dobrá, obdobně tak organizace konference. O něco méně pozitivně hodnotili účastníci užitečnost prezentovaných výsledků v praxi. Z odpovědí lze také soudit, že většina přítomných se konference účastnila na základě profesního zájmu a velmi přínosné pro ně bylo také zařazení prezentací zahraničních výzkumů.

**Obrázek 71 - Prezentace Farideh Ramjerdi**



**Obrázek 72 – Diskuse k odpolednímu bloku**



Obrázek 73 – Plénium konference



## Publikace

V návrhu projektu bylo v posledním roce řešení projektu plánováno vydání sborníku ze závěrečné konference. Po dohodě se styčným pracovníkem projektu však bylo dojednáno, že bude v rámci projektu vydána odborná kniha o ekonomickém hodnocení externalit, neboť taková publikace v ČR dosud nebyla publikována a pro odbornou veřejnost bude mít větší přínos než sborník z konference. V rámci projektu tak v celkovém nákladu 250 výtisků vychází odborná monografie Externí náklady dopravy: hodnocení dopadů emisí, hluku, kongescí a nehod.

Máca, Vojtěch a kol., Externí náklady dopravy : hodnocení dopadů emisí, hluku, kongescí a nehod. Praha : Alfa Nakladatelství, 2011, ISBN 978-80-87197-42-4.

## Literatura

- Babisch W. (2006) Transportation Noise and Cardiovascular Risk. Review and Synthesis of Epidemiological Studies, WaBoLu-Hefte 01/06, Dessau: Umweltbundesamt.
- Babisch W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health* 10:27-33.
- Barde, J. P., Braathen, N. A., & Bark, R. (2001). *Environmentally Related Taxes in OECD Countries: Issues and Strategies*. Paris: OECD.
- BEN-AKIVA, M., LERMAN, S. *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Cambridge Mass.: MIT Press, 1985.
- Bickel a kol., (2005): ExternE: Externalities of Energy, Methodological 2005 Update. European Commission, Directorate-General for Research. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2005, ISBN 92-79-00423-9.
- Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A., Fagiani, P., Hunt, A., Jong, G. D., & Laird J. (eds.). (2006). Harmonised Guidelines for Project Assessment, Deliverable 5, HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, EC 6 FP. IER, University of Stuttgart.
- BLACK, I.G., TOWRISS, J.G. *Demand effects of travel time reliability*. Dept. of Transport, 1993.
- CEMT/ECMT (1998). Efficient Transport for Europe – Policies for Internalization of External Costs. Paris.
- Crissant Y. (2011). mlogit: multinomial logit model. R package version 0.2-1. <http://CRAN.R-project.org/package=mlogit>
- Daňková A. (2007) Ekonomické ztráty způsobené nehodovostí v silničním provozu v ČR za rok 2006, Centrum dopravního výzkumu, dostupné na <http://www.cdv.cz/text/oblasti/bsp/analyzy-nehodovosti/ekonomicke-ztraty-2006.pdf>
- Desaigues, B., Ami, D., Bartczak, A., Braun Kohlová, M., Chilton, S., Czajkowski, M., Farreras, V., Hunt, A., Hutchison, M., Jeanrenaud, C., Kaderjak, P., Máca, V., Markiewicz, O., Markowska, A., Metcalf, H., Navrud, S., Nielsen, J.S., Ortiz, R., Pellegrini, S., Rabl, A., Riera, P., Ščasný, M., Stoeckel, M.-E., Szántó, R., Urban, J. (2011), Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of life year (VOLY). *Ecological Indicators*, 11(2011), 902-910.
- EC WGHSEA (2004) Position paper on dose-effect relationships for night time noise, European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects, November 2004, dostupné na <http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/positionpaper.pdf>
- Godet-Cayré, V., Pelletier-Fleury, N., Le Vaillant, M., Dinet, J., Massuel, M.-A., Léger, D. (2006). Insomnia and absenteeism at work. Who pays the cost? *Sleep*, 29(2), 179-84.
- Jones-Lee M.W., Dolan P., Loomes G. (1995) Risk-risk versus standard gamble procedures for measuring health state utilities, *Applied Economics*, 27(11), pp. 1103–1111.
- Kuik, O. (2007) "The Avoidance Costs of Greenhouse Gas Damage: A Meta-Analysis", , CASES project, WP3.
- Kutáček S., Šeďa V. (2004) Valuation of statistical life in road accidents, in: Ščasný M., Brůha J., Foltýnová H. (eds.) *Approaches to assessing the environment*, Praha: Charles University Environment Center.
- LANCASTER, K.J. A New Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, Vol. 74., 132-157, 1966.
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Van Essen, H., Boon, B., Smokers, R., Schrotten, A., et al. (2008). *Handbook on estimation of external cost in the transport sector*. Delft: CE Delft.

- MCFADDEN, D. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In: *Frontiers in econometrics*, Ed. P Zarembka, 105-142, Academic Press, 1974.
- Metz, D. (2008). The Myth of Travel Time Saving. *Transport Reviews*, 28(3), 321-336.
- Miedema H.M.E., Oudshoorn C.G.M. (2001) Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, No. 4, s. 409-416.
- Miedema H.M.E., Passchier-Vermeer W., Vos H. (2003) Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance, TNO Inro report 2002-59, Delft.
- Miedema H.M.E., Vos H. (2007). Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behav Sleep Med* 5:1-20.
- Nash, C. et al (2003), Unification of Accounts and Marginal Costs for Transport Efficiency (UNITE): <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/>.
- Nellthorp, J., Mackie, P.J. and Bristow, A.L. (1998) Measurement and Valuation of the Impacts of Transport Initiatives, Deliverable D9, EUNET Project, EU Fourth Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, UK.
- R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org/>
- SMALL, K., NOLAN, R.B., CHU, X., et al. *Valuation of travel-time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation*. Washington D.C.: National Academy Press, 1999.
- SMALL, K., VERHOEF, E.T. *The economics of urban transportation*. New York: Routledge, 2007.
- TRAIN, K. *Discrete choice methods with simulation*. 2nd ed., New York: Cambridge University Press, 2009.
- TRL (2006). Method for converting the UK road traffic noise index to the EU noise indices for road noise mapping, report for DEFRA, January 2006, dostupné na <http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/noise/research/crtn/documents/noise-crtn-update2006.pdf>

## **Příloha – Modelování hlukové zátěže v části obce Kopřivnice**

## Modelování hlukové zátěže

Modelování dopravního hluku se používá zejména pro:

- hodnocení akustické situace v okolí dopravních komunikací
- zjištění hlukové zátěže obyvatelstva
- návrh protihlukových opatření
- strategické hlukové mapování a akční plány

### Výpočetní program SoundPLAN

Program pochází od firmy Braunstein+Berndt GmbH, jeho používání pro akustické výpočty bylo schváleno Národní referenční laboratorní pro hluk v komunálním prostředí při OHS Ústí nad Orlicí v červenci 1997. Tento program umožňuje modelování posuzovaného území podle skutečnosti a výpočet izofonového pole v souladu se zadanou technologií dopravy. Po spuštění programu je v nabídce několik modulů viz. Obr. 1.



Obr. 1: SoundPLAN manager po otevření programu.

### Vstupní data

- *Geografické údaje resp. mapové podklady*
  - polohopis a výškopis
  - ortofotomapa
- *Údaje o budovách*
  - poloha budov
  - podlaží, výška budov a počet podlaží

- *Údaje o komunikacích*
  - trasy silničních komunikací a železničních tratí
  - profil komunikace, železnice
  - druh povrchu vozovky, konstrukce kolejišť
  - mosty, tunely apod.
- *Údaje o obyvatelích*
  - uvádí se počet obyvatel ve sledovaném území
  - počet obyvatel připadajících na jeden adresní bod, průměrný počet obyvatel připadajících na jeden adresní bod apod.
- *Údaje o zdrojích pr. myslového hluku*
  - umístění a parametry zdroj hluku
- *Dopravní data*
  - 24 hodinová intenzita dopravy, délka vlak, počet vzletů a přistání letadel
  - časové rozdělení intenzity na denní dobu (6 - 22 h) a noční dobu (22 - 6 h)
  - složení dopravního proudu – typ aut, vlak, letadel
  - jízdní rychlost v jednotlivých úsecích

### **Výstupní data**

Výstupy zahrnují vyhodnocení údajů poskytujících souhrnné pohledy o stavu hlukové zátěže venkovního prostoru sledovaného území z provozu pozemní dopravy a pr. myslového hluku, které lze využít jako podkladové materiály pro územní plánovací dokumentaci, nebo pro informování veřejnosti o stavu životního prostředí atd. Podle platné legislativy je jediným závazným deskriptorem pro popis stavu akustické situace v oblasti ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A (L_{Aeq})$ .

### **Výpočet ekvivalentních hladin hluku v modelovém území**

Výpočet ekvivalentních hladin hluku a zatížení obyvatelstva hlukem v určité úrovni expozice, jehož zdrojem je pouze silniční doprava v území městské zástavby, byl proveden pro následující stavy pro denní dobu:

Varianta se snížením rychlosti:

- 1A) Výpočet „aktuálního stavu“ – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 1B) Výpočet „aktuálního stavu“ – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.

Varianta s nízkohlukovým povrchem:

- 2A) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlukového povrchu na páteřní komunikaci – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 2B) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlukového povrchu na páteřní komunikaci – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.
- 2C) Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlukového povrchu na všechny komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.

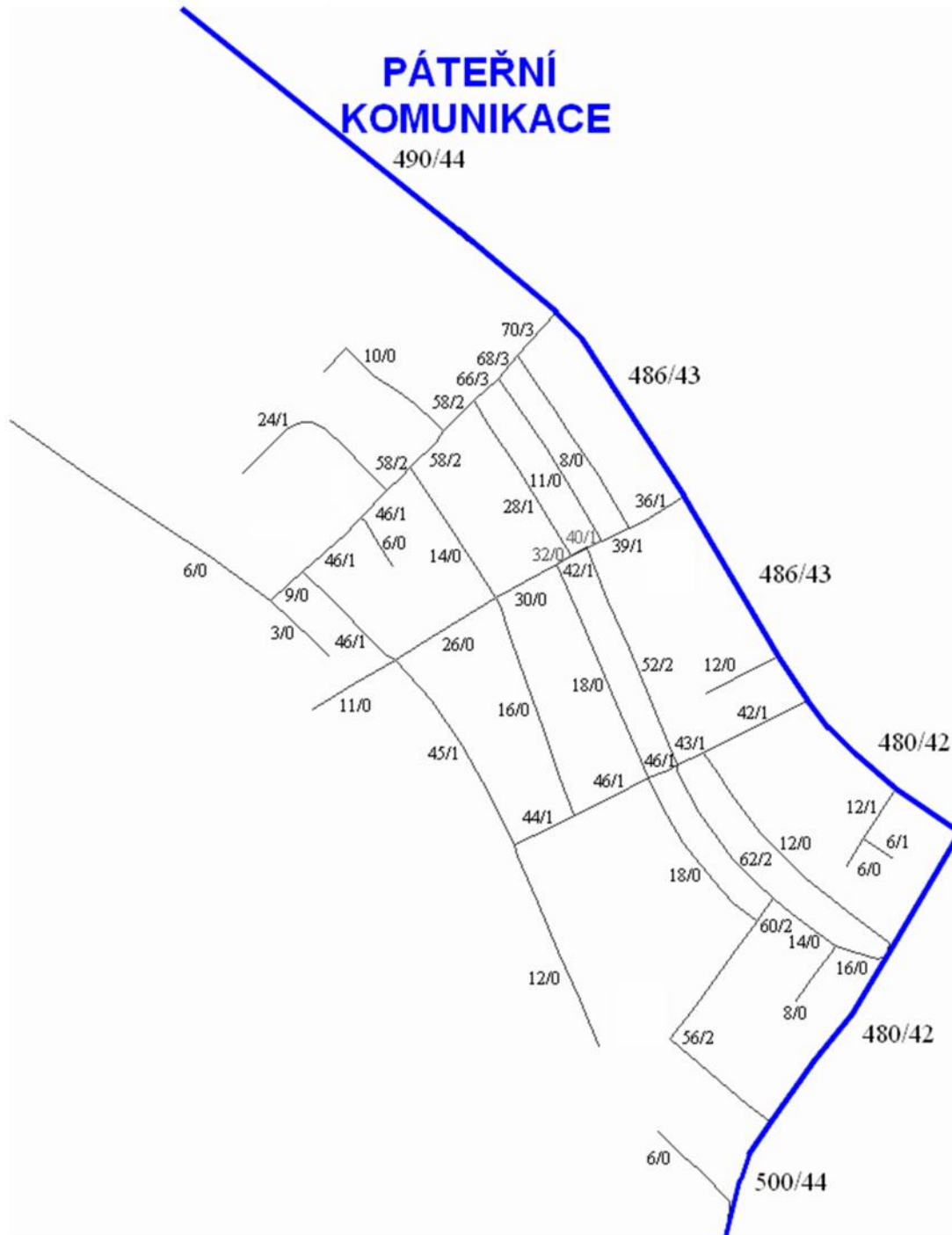
Varianta s protihlukovou stěnou (výšky 3m):

- 3A) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.



3B) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.

Pro výpočet hlukových map a celkového hlukového zatížení obyvatelstva „aktuálního stavu“ v modelové oblasti v programu SoundPlan byly použity hodinové intenzity dopravy pro den dle Obr. 2.



Obr. 2: Hodinové denní intenzity dopravy pro modelové území pro „souasný stav“.

## Přesnost výsledků výpočtu

Přesnost výsledků výpočtu je daná především přesností a kvalitou vstupních dat. Je nutné si uvědomit, že jakýkoliv výpočtový software je pouze výkonným nástrojem pro modelování akustické situace. Přesnosti výpočtů hlukových map jsou omezeny geometrickou přesností běžně dostupných mapových podkladů a dalších vstupních dat. U digitálního mapového podkladu ZABAGED 1 : 10 000 je střední polohová chyba (jedná se o střední chybu nikoliv o maximální odchylku) u bodů jednoznačně identifikovatelných v terénu (železnice, silnice, budovy aj.) odhadována na cca 5 m. Vliv dalších změn základních vstupních parametrů výpočtu na emisní hodnoty  $L_{Aeq}$  udává následující tabulka 1 [4]:

Tabulka 1: Velikost další chyby výpočtu hlukových map na základě nepřesných vstupních údajů [9].

Výpočtový vstup:	Změna na vstupu:	Změna na hodnoty $L_{Aeq}$ :
Intenzita dopravy	+/- 10%	+/- 0,4 dB
Skladba dopravního proudu	+/- 5% NA	+/- 0,5 dB
Rychlost dopravního proudu	+/- 10%	+/- 0,8 dB
Niveleta komunikace	+/- 1 % (obousměrně)	+/- 0,3 dB
Typ povrchu	Ac (F3 = 1,1)	+/- 0,4 dB

Proto, aby byl výpočtový postup, resp. použitý softwarový produkt pro výpočet hluku v území akceptovatelný, je nutné dbát na to, aby vykazoval výsledky v takové míře přesnosti, s jakou lze získat výsledky terénními měřeními [1], [2], [5]. Rozdíl hodnoty  $L_{Aeq}$  od konvenčně správné hodnoty  $L_{Aeq}$  by měl být menší než 2 dB, tj. celková nejistota výpočtového modelu +/- 2 dB. Těto hodnoty lze u schválených metodik výpočtu pro jednotlivé druhy hluku dosáhnout za předpokladu dostatečné korektnosti vstupních dat.

Pro modelování hlukové zátěže ze silniční dopravy byla použita (v souladu s vyhláškou 523/2006 Sb., směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES a Doporučením Komise 2003/613/ES) francouzská národní metodika výpočtu „NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)“, uvedená v „Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6“ a ve francouzské normě „XPS 31-133“.

## Výstupy simulace

Jednotlivé mapy, které zobrazují vyhodnocení dané varianty a situace jsou vytvořeny jako pásmové mapy, jež znázorňují přímo zatížení umístěné zástavby v dvoudecibelové škále. Výpočty hlukové zátěže venkovního prostoru a plošného grafického vyjádření hlukových emisí jsou modelovány ve 3D a zpracovány pro jednotnou výšku +3,0 m nad terénem. Plošné hlukové mapy jsou pořízeny výpočtovým rastrem 10 metrů (maximální vzdálenost dvou bodů triangulační výpočtové sítě, mezi nimiž je zobrazení aproximováno). Mapy pro jednotlivé varianty jsou v příloze 1 – 7.

Tabulka 2 udává počet zasazených obyvatel hlukem v daném pásmu pro jednotlivé modelové situace. Stanovení počtu obyvatel zasazených hlukem z dopravy v jednotlivých dvoudecibelových pásmech je pak dáno kumulativním nařazením údajů o počtu obyvatel zasazených hlukem ve všech vyhodnocovaných entitách (bytech, resp. domech). Pak lze

posuzovat zatížení dopravním hlukem i vyhodnotit vliv navrženého protihlukového opatření i jeho přínos k poklesu hlukové zátěže obyvatel.

Tabulka 2: Tabulka zasažených obyvatel hlukem ze silniční dopravy v modelovém území pro jednotlivé varianty.

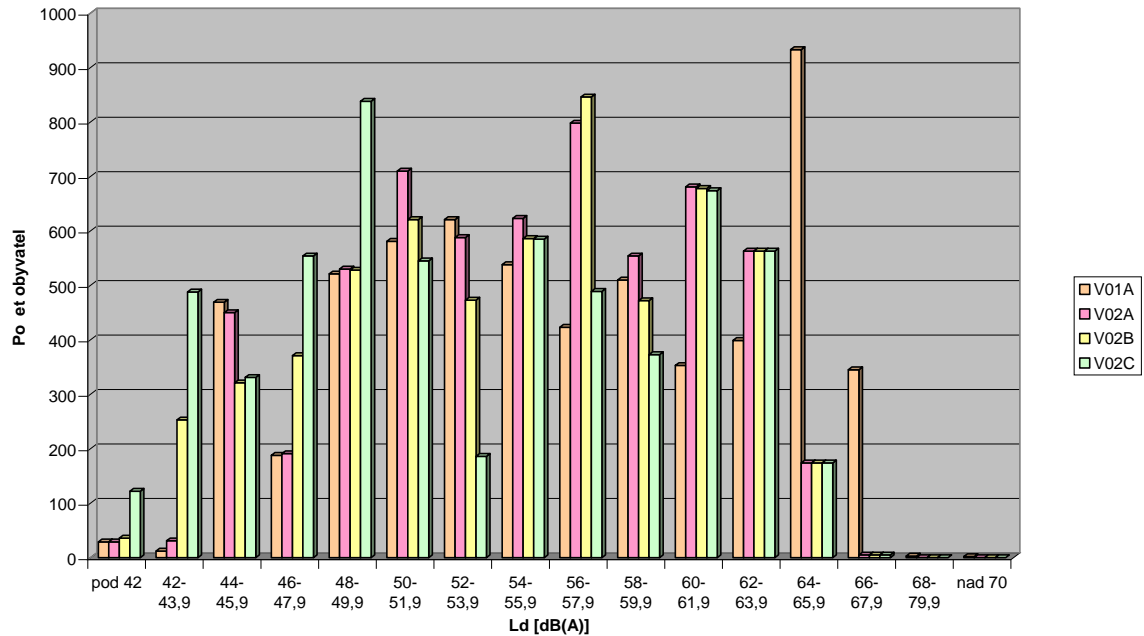
Var.	Ld [dB(A)]	pod 42	42-43,9	44-45,9	46-47,9	48-49,9	50-51,9	52-53,9	54-55,9	56-57,9	58-59,9	60-61,9	62-63,9	64-65,9	66-67,9	68-69,9	nad 70	Cel.
V01A	p. obyv.	29	12	469	188	521	581	621	538	423	510	353	399	933	345	3	2	5927
V01B	p. obyv.	36	223	351	368	505	530	470	500	473	439	350	399	933	345	3	2	5927
V02A	p. obyv.	29	31	450	191	530	710	588	623	798	554	681	563	174	5	0	0	5927
V02B	p. obyv.	36	253	321	371	528	621	473	586	846	472	678	563	174	5	0	0	5927
V02C	p. obyv.	122	488	331	554	838	545	186	585	489	373	674	563	174	5	0	0	5927
V03A	p. obyv.	29	12	474	188	528	864	839	731	690	718	21	271	332	230	0	0	5927
V03B	p. obyv.	36	236	343	368	509	816	700	694	738	636	18	271	332	230	0	0	5927

## Závěr

Snížení rychlosti z 50 km/h na 30 km/h v obytné zástavbě, pokud v okolí prochází rušná komunikace nepřinese snížení hluku v nejzatíženějších pásmech. Navíc snížení hluku tímto opatřením ve vlastní obytné zástavbě není tak efektivní, kvůli synergickým účinkům pátevní komunikace. Při pokládce nízkohlučného povrchu na pátevní komunikaci dosáhneme snížení počtu zasažených obyvatel hlukem v nejzatíženějších pásmech sástečným dopadem za první linii obytné zástavby. Při pokládce nízkohlučného povrchu na pátevní komunikaci a snížení rychlosti z 50 km/h na 30 km/h v obytné zástavbě přináší výrazný přínos po tu zasažených obyvatel hlukem do nižších pásem v celém svém rozsahu, viz Obr. 3.

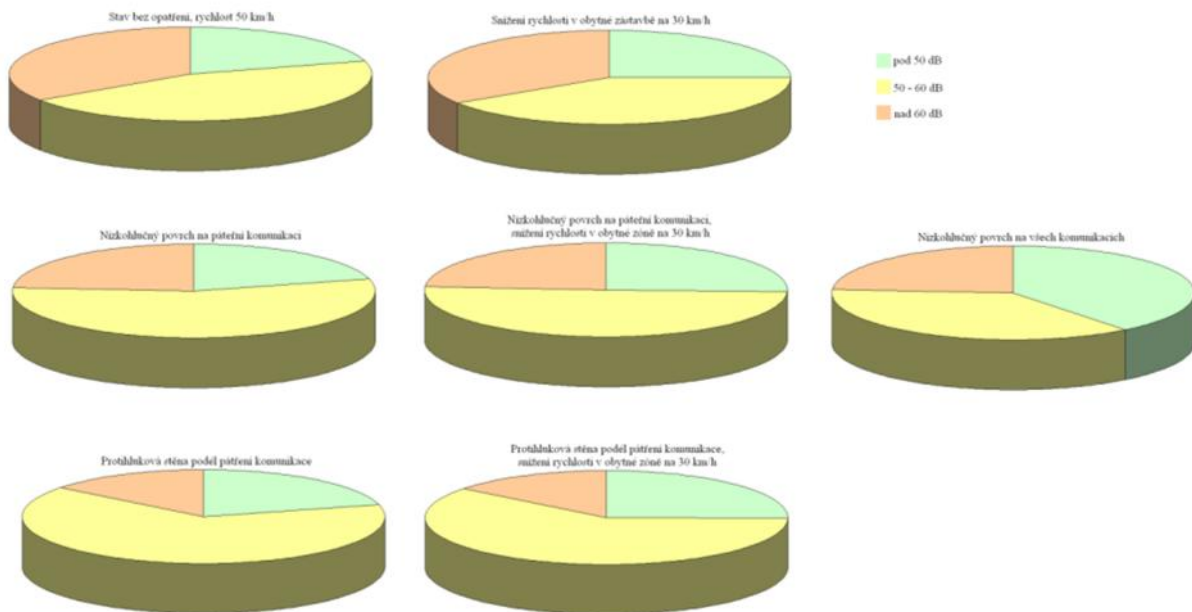
Umístění protihlukové stěny výšky 3 m v blízkosti pátevní komunikace má sástečný vliv na snížení počtu zasažených obyvatel hlukem v nejzatíženějších pásmech. Toto opatření oproti nízkohlučnému povrchu není tak účinné v nejvíce zatížených pásmech z hlediska vzdálenosti. Z pátevní komunikace vede do obytné zástavby množství odboček a protihluková stěna tak není souvislá – vzniklými mezerami se šíří hluk do obytné zástavby. Dále pak protihluková stěna výšky 3 m není schopna ochránit stavení, jež mají více podlaží, kdy toto opatření je pro vyšší patra budov naprosto neúčinné. Při agregaci dat přes více pásem, viz Obr. 4, vykazuje toto opatření vyšší účinnost, což je dáno vysokou velikostí útlumu hluku za předpokladem, že vytvoří protihluková stěna, kdy u těchto obyvatel klesá zatížení hlukem i o několik pásem.

Hlukové zatížení obyvatelstva pro jednotlivé varianty



**Obr. 3:** Zatížení obyvatelstva hlukem pro nízkohlučný povrch v kombinaci se snížením rychlosti.

Zatížení obyvatelstva hlukovou zátěží v 10 dB pásmech pro jednotlivé varianty



**Obr. 4:** Zatížení obyvatelstva hlukem pro jednotlivé varianty při agregaci do 10 dB pásmech.

## LITERATURA

- [1] SN ISO 1996-1 akustika, Popis a měření hluku prostředí, část 1: Základní veličiny a postupy. český normalizační institut, 2004.
- [2] SN ISO 1996-2 akustika, Popis, měření a posuzování hluku prostředí - část 2: Určování hladin hluku prostředí. český normalizační institut, 2009.
- [3] CHOLAVA, R., KIVÁNEK, V., JEDLIKA, J. Hluková studie město Kopřivnice - návrhová část. Studie, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2009. 91 s., 8 příl. Zadavatel: město Kopřivnice.
- [4] LÁDYŠ, L. a kol. Systémová podpora interaktivního ovlivnění vývoje hlukové situace v okolí dálnic a silnic I. třídy. Ekola group, spol. s r. o., Praha, 2006.
- [5] Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, ze dne 11. 12. 2001 vydaný pod č.j. HEM-300-11.12.01-34065.
- [6] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [7] User's Manual SoundPLAN, Braunstein + Berndt GmbH/SoundPLAN LCC, January 2008, 532 pp., Backang, Germany.
- [8] STRIEGLER, R. a kol. Metodika plošného zklidnění dopravy - TEMPO 30. Průběžná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2009, str. 110-184, Příloha 1, Vytipování lokalit pro měření, vlastní měření a vyhodnocení naměřených dat. Zadavatel: Ministerstvo dopravy.
- [9] Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví.

## PŘÍLOHA

- Příloha 1 Varianta 1A: Výpočet „aktuálního stavu“ – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- Příloha 2 Varianta 1B: Výpočet „aktuálního stavu“ – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.
- Příloha 3 Varianta 2A: Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- Příloha 4 Varianta 2B: Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.
- Příloha 5 Varianta 2C: Výpočet „aktuálního stavu“ při pokládce nízkohlučného povrchu na všechny komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- Příloha 6 Varianta 3A: Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- Příloha 7 Varianta 3B: Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.















