



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE –
CENTRUM PRO OTÁZKY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

METODIKA OCEŇOVÁNÍ HLUKU Z DOPRAVY

Vojtěch Máca¹, Jan Urban¹, Jan Melichar¹, Vítězslav Křivánek²

¹ Centrum pro otázky životního prostředí UK, ² Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. CG712-111-520 *Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky (TranExt)* programu Podpora realizace udržitelného rozvoje dopravy Ministerstva dopravy ČR.

Praha, duben 2012

Obsah

0. Úvod	- 3 -
1. Cíl metodiky	- 4 -
2. Vlastní popis metodiky	- 5 -
2.1. Inventarizace a modelování hlukové zátěže a její změny	- 5 -
2.2. Hlukové indikátory a expozice obyvatel	- 6 -
2.3. Identifikace funkcí expozice-odezva	- 7 -
2.4. Ocenění dopadů	- 10 -
2.5. Agregace dopadů	- 14 -
3. Srovnání „novosti postupů“	- 17 -
4. Popis uplatnění certifikované metodiky	- 17 -
5. Ekonomické aspekty	- 17 -
6. Seznam použité související literatury	- 18 -
7. Seznam publikací, které předcházely metodice	- 20 -
8. Jména oponentů	- 20 -
9. Seznam použitých zkratk	- 20 -
10. PŘÍLOHA – Modelový příklad kvantifikace přínosů realizace protihlukových opatření v části obce Kopřivnice	- 22 -

0. Úvod

Hluk z dopravy představuje nežádoucí element ve vnějším prostředí, který ruší a obtěžuje exponované osoby a může ohrozit i jejich zdraví. V ekonomické terminologii se jedná o externalitu, tedy situaci, kdy činnost jednoho subjektu působí ztrátu (změnu) blahobytu druhému subjektu a tato ztráta (změna) blahobytu není kompenzována. Externality jsou považovány za jednu z forem tržního selhání, které zabraňuje efektivní alokaci zdrojů, neboť tržní ceny v takové situaci neodrážejí celkové společenské náklady nebo přínosy.

Kvantifikace externích nákladů (ekonomických škod) působených hlukem ze silniční a železniční dopravy umožňuje jejich kvantifikaci pomocí obecného měřítka – peněz. Peněžní ocenění má zásadní význam pro hodnocení nákladů a přínosů při posuzování dopravních projektů, vč. realizace protihlukových opatření, a rovněž při rozhodování o společensky optimálním způsobu internalizace této externality (např. pomocí výkonového zpoplatnění).

Vzhledem k povaze hluku (či přesněji jeho absence) jako statku přímo neobchodovaného na trhu, jsou pro ekonomické ocenění dopadů hluku na blahobyt běžně používány metody netržního oceňování; a to jak metody založené na odhalených preferencích (*revealed preferences*), tak metody založené na vyjádřených preferencích (*stated preferences*). Dominantní metodou přístupu projevených preferencí pro oceňování hluku je hédonický cenový model, v němž je odhad hodnoty hluku obvykle založen na regresní analýze trhu s realitami. To je zároveň i největší přednost modelu, neboť vychází z pozorování reálného trhu. Na druhou stranu je však hédonický model založen na silných předpokladech, když implicitně vychází z toho, že kupující jsou si plně vědomi nejen skutečné hlukové expozice, ale i možných negativních dopadů působených touto expozicí.

Z metod založených na přístupu vyjádřených preferencí jsou k oceňování hluku nejčastěji využívány metody podmíněného hodnocení (*contingent valuation*) a výběrového experimentu (*choice experiment*). Oproti hédonické metodě mají výhodu v tom, že umožňují posloupnost všech kroků přístupu funkce škody (viz dále) a oceňují hluk přímým dotazováním na ochotu platit (či přijmout kompenzaci) za změnu hlukové expozice (podmíněné hodnocení), případně za změnu hluku spolu se změnou dalších souvisejících charakteristik (výběrový experiment). Využití hypotetické situace v dotazování je zároveň i nevýhodou těchto metod, neboť scénář hypotetické situace může být pro respondenty málo realistický a získané výsledky mohou být zatíženy specifickými zkresleními popsány v literatuře (např. Mitchell a Carson, 1989).

Zásadní podmínkou pro objektivní oceňování dopadů hluku prostřednictvím těchto metod je prokázaná existence kauzálního vztahu expozice-odezvy mezi působením hluku a jeho škodlivým následkem. V současnosti jsou v odborné literatuře široce diskutovány vztahy mezi krátkodobým působením hluku a různými poruchami spánku (vč. motility, zvýšené srdeční aktivity, aktivity autonomních nervů a imunitního systému) a zejména mezi dlouhodobou expozicí a obtěžováním, rušením spánku, kardiovaskulárními onemocněními, mentálními onemocněními, poznávacími schopnostmi u dětí a poruchami sluchu. Z těchto kauzálních vztahů je pro potřeby monetárního ocenění dostatečně popsáno především obtěžování hlukem (z angl. *annoyance*, někdy též překládané jako rozmrzelost), rušení spánku (*sleep disturbance*) působením silničního, železničního a leteckého hluku a zvýšení pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu působením silničního hluku. Absence

dalších kvantitativně popsaných vztahů expozice-odezvy je přitom hlavním omezujícím faktorem kvantitativního hodnocení dopadů. Dále v metodice operacionalizované ekonomické hodnocení dopadů expozice hluku tedy představuje spíše spodní odhad celkového dopadu na blahobyt.

V podmínkách ČR představuje tato metodika nový ucelený postup ekonomického hodnocení dopadů expozice hluku ze silniční a železniční dopravy, jaký v současnosti není k dispozici. Přes některé dílčí aktivity v oblasti oceňování hluku (mj. CDV a SUDOP), poslední zpracování obdobně metodicky uceleného postupu spadá do začátku 80. let minulého století (Opplová, Šauer a Vlčková, 1983).

1. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je kvantifikace fyzických dopadů hluku ze silniční a železniční dopravy a ocenění ztráty blahobytu (*welfare*), kterou tyto dopady u exponované populace vyvolávají. Metodika vychází z přístupu funkce škody (*damage function approach*) a je v souladu se současným stavem poznání v oblasti hodnocení zdravotních rizik a netržních metod oceňování.

2. Vlastní popis metodiky

Ocenění externích nákladů působených hlukem z dopravy vychází z přístupu funkce škody (*damage function approach – DFA*; Navrud, 2004), který je pro účely této metodiky rozfázován do následujících pěti kroků:

1. inventarizace zdrojů a charakteristik hlukových emisí ve stávajícím stavu a stavu s realizovanými opatřeními (vedoucími ke snížení/zvýšení hluku), vyjádřená změnou v čase, místě, frekvenci, úrovni a zdrojích hluku (a složení/příspěvkem zdrojů hluku v případě více zdrojů) a modelování a/nebo měření disperze hluku;
2. odhad změny expozice obyvatel tomuto hluku v příslušných geografických oblastech prostřednictvím relevantních hlukových indikátorů (vyjádřených v dB);
3. identifikace (odvození) funkcí expozice-odezva (*exposure-response functions - ERF*), vyjadřujících příčinný vztah mezi úrovní hluku (vyjádřenou příslušným hlukovým indikátorem) a zdravotními efekty a výpočet celkové úrovně, resp. změny, hlukového dopadu pomocí funkcí dávka-odpověď pro stanovení počtu případů u jednotlivých dopadů (např. počet osob silně obtěžovaných hlukem);
4. stanovení ekonomických hodnot pro jednotlivé dopady (ocenění za případ) s využitím oceňovacích metod, výpočet ekonomických přínosů provedených opatření ke snížení hluku vynásobením ocenění jednotlivého dopadu identifikovaným množstvím daného typu dopadu (např. počet osob silně rušených ve spánku násobený průměrnou ztrátou produktivity) a
5. agregace odhadnutých ekonomických škod za všechny uvažované dopady za stávajícího stavu a za stavu s protihlukovými (či jinak relevantními) opatřeními.

Realizace všech těchto kroků umožňuje vzít v úvahu specifické parametry, jakými mohou být nelineární vztahy funkcí expozice-odezvy (případně i peněžního ocenění), různé prahové hodnoty specifických hlukových indikátorů u různých dopadů (*health endpoints*) a rovněž odlišnosti týkající se zdrojů hluku. Zároveň je nezbytné minimalizovat potenciální překryv různých dopadů a jejich ekonomického ocenění.

Vlastní příspěvek této metodiky spočívá v operacionalizaci kroků 3-5, realizace kroků 1 a 2 představuje nezbytný datový a softwarově-modelový vstup pro naplnění tohoto postupu.

2.1. Inventarizace a modelování hlukové zátěže a její změny

Základní vstupní parametry pro modelování šíření hluku z dopravy představují data o:

- zdrojích hluku – intenzitách dopravního provozu ze sčítání – zpravidla 24 hodinové intenzity dopravy, vč. časového rozdělení intenzity, složení dopravního proudu a jízdní rychlostí dopravního proudu,
- komunikacích – druh povrchu vozovky, profil komunikace, mostní objekty, tunely apod.,

- o profilu terénu, budovách a jiných stavebních či terénních překážkách, které mohou být zjištěny v rámci místního průzkumu, vč. výšky budov, výšky podlaží, počtu podlaží, polohy a popisu protihlukových stěn apod.,
- počtu obyvatel – pro následné určení počtu obyvatel žijících pod určitou hlukovou zátěží,
- opatřeních plánovaných v územních plánech (obchvat, apod.).

U železniční dopravy jsou dopravní data sledována specificky z hledisek dopravní charakteristiky, tj. druh trakce, počet, skladba (druh), délka (počet vagonů) a rychlost vlaků v příslušných úsecích, vybavení vlaků – jaké mají brzdy, mají-li protihlukové absorbéry apod., doplněné popisem svršku.

Pro zpracování vstupních dat se dominantně využívá prostředí GIS, s nímž umí přímo pracovat soudobé softwary pro modelování a výpočet hlukové zátěže. Pro modelování a výpočet hlukové zátěže jsou pro různé účely stanoveny závazné či doporučené metodické postupy.¹

2.2. Hlukové indikátory a expozice obyvatel

Při hodnocení vlivu hluku ve venkovním prostoru se postupuje podle hodnot hluku vyjádřených v ekvivalentních hladinách akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ (tedy v časově integrovaných hodnot hluku) a dalších kritérií ve vazbě na způsob využití území, druh zdroje hluku atd. Takové vyjádření vlivu hluku však není dokonalé, nepříznivé účinky hluku záleží i na jeho dalších vlastnostech, jako je maximální hladina hlukových událostí, jejich frekvence v čase nebo denní době. Převládající způsob hodnocení hluku dle ekvivalentní hladiny je však užitečný, srovnáváme-li vzájemně podobné hlukové situace. V běžné praxi se podle ekvivalentních hladin posuzuje ustálený nebo proměnný hluk jako např. hluk z dopravy, hluk z většiny průmyslových zdrojů apod. Předpokládá se, že souhrnný efekt hlukových událostí vnímaných člověkem je úměrný součtu jejich zvukové energie (princip ekvivalentní energie). Proto se stanovuje jako průměr celkové energie za určitý čas T (16 hodin, 8 hodin, 1 hodina apod.), tj. ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$, která je odvozena integrací hlukových úrovní s váhovým filtrem A , který záznam hluku přizpůsobuje citlivosti lidského sluchového orgánu.

Podle platných právních předpisů (aktuálně nařízení vlády č. 272/2011 Sb.) jsou v ČR pro hodnocení vlivu hluku z dopravy ve venkovním prostoru stanoveny hlukové indikátory časově vztažené na:

¹ Příkladem modelování hlukové zátěže jsou pravidelně zpracovávané strategické hlukové mapy podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, na které je bezprostředně navázána tvorba akčních plánů, které mají navrhovat řešení ke snížení hluku. Taková opatření mohou zahrnovat plánování dopravy, územní plánování, technická opatření u zdrojů hluku, výběr méně hlučných zdrojů i regulativní, ekonomická opatření či podněty. Pro modelování hlukové zátěže ve strategickém hlukovém mapování se na základě vyhlášky č. 523/2006 Sb., provádějící Doporučení Komise 2003/613/ES, použije francouzská národní metodika výpočtu NMPB-Routes-96 (v případě silniční dopravy) a nizozemská národní metodika výpočtu RMR1996 (v případě železniční dopravy). V současnosti probíhají práce na vytvoření jednotné evropské výpočtové metodiky CNOSSOS-EU (Common noise assessment methods in EU).

Zásady metodiky realizace akčních plánů pro dálnice a silnice I. třídy byly navrženy ve studii Ládyš a kol. (2006). Metodiku zpracování akčních plánů pro okolí hlavních silnic, hlavních železničních tratí a hlavních letišť pro Ministerstvo dopravy vypracovalo Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. (projekt VaV 1F52B/103/520 realizovaný v letech 2005-2007). Česká metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy byla zpracována a posléze aktualizována Liberkem a kol. (2005).

- denní dobu - $L_{Aeq,16h}$ = ekvivalentní hladina akustického tlaku stanovená pro celou denní dobu (délka 16 hodin, od 6 do 22 hodin),
- noční dobu - $L_{Aeq,8h}$ = ekvivalentní hladina akustického tlaku stanovená pro celou noční dobu (délka 8 hodin, od 22 do 6 hodin).

Hodnota těchto hlukových indikátorů může být zjišťována měřením nebo výpočtem. Při použití výpočtových modelů se zpravidla pro kalibraci využívají i výsledky kontrolních měření.

Pro strategické hlukové mapování jsou stanoveny průměrné roční hlukové ukazatele L_d pro denní období (délka 12 hodin, od 6 do 18 hodin), L_v pro večerní období (délka 4 hodiny, od 18 do 22 hodin), L_n pro noční období (délka 8 hodin, od 22 do 6 hodin) a L_{dvn} , který je váženým součtem penalizovaných hlukových ukazatelů za jednotlivá období dne.

Vyhodnocení počtu osob exponovaných hluku je zpravidla vztahováno k nejvíce exponované fasádě budov ve stanovené výšce a je rovněž determinováno dostupností demografických dat o počtu obyvatel.²

2.3. Identifikace funkcí expozice-odezva

Dopady environmentálního (komunitního) hluku v populaci zahrnují rozličné behaviorální a sociální odezvy, akutní a chronické fyziologické odezvy, kognitivní odezvy a klinická onemocnění. Pro některé z těchto dopadů existuje dostatečně průkazný vztah mezi expozicí a negativním dopadem, který bývá obvykle odvozen metaanalýzou většího počtu epidemiologických studií.

2.3.1. Obtěžování hlukem

Obtěžování hlukem (*annoyance*)³ je považováno spíše za psychosociální příznak než za klinickou diagnózu (health endpoint) a bývá definováno jako „pocit nelibosti spojený s působením činitele nebo podmínek, o kterých jedinec nebo skupina ví nebo se domnívá, že na ně negativně působí“ nebo jako „pocit nelibosti, nespokojenosti, nepohodlí nebo nátlaku, který se vyskytuje při interferenci hluku s přemýšlením, cítěním nebo denními aktivitami“ (cit. v WHO 2000). WHO tento parametr v nedávné době použilo pro hodnocení zdravotních rizik a zátěže chorobami z expozice hluku ve studii *Burden of Disease from Environmental Noise* (WHO, 2011).

Individuální funkce expozice-odezvy pro obtěžování hlukem jsou převzaty z metaanalýzy (Miedema a Oudshoorn, 2001) pro obtěžování hlukem ze silniční, železniční, a letecké dopravy. Takto odhadnutý

² Např. ve strategických hlukových mapách jsou dle požadavku stanoveného přílohou vyhlášky č. 523/2006 Sb. uváděny počty osob žijících ve stavbách pro bydlení, které jsou ve výšce 4 m nad zemí u nejvíce vystavené části obvodového pláště vystaveny celodennímu hluku (L_{dvn}) od 55 dB a nočnímu hluku (L_n) od 45 dB v pětidecibelových intervalech.

³ V oboru hodnocení zdravotních rizik se systematicky používá termín „obtěžování“, lze se nicméně setkat i s překladem „rozmrzelost“.

polynomický funkční vztah⁴ umožňuje předpovědět procento lidí, kteří jsou působením hluku alespoň lehce, alespoň středně nebo vysoce obtěžováni. Jde o subjektivní kritérium zjišťované dotazníkovým šetřením⁵.

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

$$LA = -6.235 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 32)^3 + 5.509 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 32)^2 + 0.6693 (L_{dvn} - 32) [\%] \quad (1)$$

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

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

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

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

$$A = 4.538 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 37)^3 + 9.482 \times 10^{-3} (L_{dvn} - 37)^2 + 0.2129 (L_{dvn} - 37) [\%] \quad (5)$$

$$HA = 7.239 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 42)^3 - 7.851 \times 10^{-3} (L_{dvn} - 42)^2 + 0.1695 (L_{dvn} - 42) [\%] \quad (6)$$

V případě, kdy jsou hlukové studie vypracovány pro hodnocení vlivu hluku ve venkovním prostoru dle platné legislativy, tj. pro hlukové indikátory 16 hodinového denního hluku ($L_{Aeq,16h}$) a 8 hodinového nočního hluku ($L_{Aeq,8h}$), lze obtěžování hlukem odvodit ze vztahů pro celodenní hluk L_{dn} , který se vypočte jako:

$$L_{dn} = 10 \lg \left[\frac{16}{24} \times 10^{L_{Aeq,16h}/10} + \frac{8}{24} \times 10^{(L_{Aeq,8h}+10)/10} \right] dB \quad (7)$$

Aproximace odvozené v citované metaanalýze pro jednotlivé úrovně obtěžování pro indikátor L_{dn} pak jsou stanoveny jako – pro silniční hluk:

$$LA = -6.188 \times 10^{-4} (L_{dn} - 32)^3 + 5.379 \times 10^{-2} (L_{dn} - 32)^2 + 0.723 (L_{dn} - 32) [\%] \quad (8)$$

$$A = 1.732 \times 10^{-4} (L_{dn} - 37)^3 + 2.079 \times 10^{-2} (L_{dn} - 37)^2 + 0.566 (L_{dn} - 37) [\%] \quad (9)$$

$$HA = 9.994 \times 10^{-4} (L_{dn} - 42)^3 - 1.523 \times 10^{-2} (L_{dn} - 42)^2 + 0.538 (L_{dn} - 42) [\%] \quad (10)$$

pro železniční hluk:

$$LA = -3.343 \times 10^{-4} (L_{dn} - 32)^3 + 4.918 \times 10^{-2} (L_{dn} - 32)^2 + 0.175 (L_{dn} - 32) [\%] \quad (11)$$

$$A = 4.552 \times 10^{-4} (L_{dn} - 37)^3 + 9.400 \times 10^{-3} (L_{dn} - 37)^2 + 0.212 (L_{dn} - 37) [\%] \quad (12)$$

$$HA = 7.158 \times 10^{-4} (L_{dn} - 42)^3 - 7.774 \times 10^{-3} (L_{dn} - 42)^2 + 0.163 (L_{dn} - 42) [\%] \quad (13)$$

⁴ V dánské studii "The 'Genlyd' Noise Annoyance Model", Dose - Response Relationships Modelled by Logistic Functions" (Delta AV 1102/07, March 2007) byla místo polynomu odvozena aproximace logaritmickou křivkou. Ta na rozdíl od polynomického vyjádření vykazuje saturaci při vysokých hodnotách příslušného deskriptoru hluku. To patrně lépe odpovídá skutečnosti, protože lze předpokládat, že od určité vysoké hladiny jsou obtěžováni resp. rušeni prakticky všichni exponovaní obyvatelé.

⁵ Pro tento účel byly zpracovány standardizované otázky a škály odpovědí, srov. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO/TS 15666 Acoustics Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. ISO, 2003. 15 p.

Pro výše vztahy je dále určen obor platnosti tzv. prahovými hodnotami. Ty představují úroveň hlukové expozice, u nichž se předpokládá, že při nich nedochází k žádným negativním dopadům. Pro obtěžování hlukem jsou to hodnoty $L_{dvn} < 42$ dB pro silné obtěžování, $L_{dvn} < 37$ dB pro střední obtěžování a $L_{dvn} < 32$ dB pro alespoň lehké obtěžování hlukem z dopravy (Miedema a Oudshoorn, 2001).

2.3.2. Rušení spánku

Odborná literatura uvádí, že snížená kvalita spánku má negativní vliv na celkovou kvalitu života, neboť snižuje i denní pohodu obyvatel. Znehodnocení kvality a snížení délky spánku působí negativně zejména v delším časovém horizontu, kdy vede k projevům únavy a snižuje úroveň bdělosti i výkonnosti.

Individuální funkce expozice-odezvy byly v polynomické podobě odvozeny v metaanalýze (Miedema a kol., 2003)⁶ pro rušení ve spánku hlukem ze silniční, železniční, a letecké dopravy. Rovněž tento funkční vztah umožňuje odhadnout procento lidí, kteří jsou hlukem lehce, středně či silně rušeni ve spánku. I zde jde o subjektivní kritérium zjišťované dotazníkovým šetřením.

Procento osob se silně rušeným spánkem (*highly sleep disturbed, HSD*) lze pro silniční hluk vypočítat jako:

$$HSD = 20.8 - 1.05 * L_n + 0.01486 * L_n^2 \quad [\%] \quad (14)$$

a pro železniční hluk pak následovně:

$$HSD = 11.3 - 0.55 * L_n + 0.00759 * L_n^2 \quad [\%] \quad (15)$$

Obor platnosti těchto vztahů pro rušení spánku je v původní metaanalýze (Miedema a kol., 2003) uvažován v relativně úzkém rozpětí L_n 45 – 65 dB. Již dříve však byly tyto funkční vztahy extrapolovány pro nižší (40-45 dB) i vyšší úrovně (65-70 dB) v pozičním dokumentu EC WGHSEA (2004) a je v této metodice rovněž v tomto širším rozsahu (40-70 dB) použit.

2.3.3. Kardiovaskulární nemoci

Vedle subjektivně deklarovaných psychosociálních efektů je dlouhodobá expozice chronickému hlukovému stresu dle epidemiologických studií objektivně asociována se zvýšením rizika kardiovaskulárních chorob. Babisch (2006, 2008) pomocí metaanalýzy dřívějších studií odvodil vztah asociace mezi silničním hlukem a zvýšením pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu:

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

⁶ V pozdější práci Miedema a Vos (2007) odvodili obdobné křivky, nikoli však v podobě polynomů, ale jako logistickou regresi.

Vzhledem ke stanovení tohoto vztahu jako procenta pravděpodobnosti (podíl pravděpodobnosti, *odds ratio*), je pro odhad v rámci exponované populace nezbytné znát incidenci infarktu myokardu.⁷

Odvození procenta přiřaditelných případů akutního infarktu myokardu (AIM) lze provést pomocí následujících vztahů (Babisch, 2006):

$$PAR\% = P_e/100 * (RR-1) / (P_e/100 * (RR-1) + 1) * 100 \quad [\%] \quad (17)$$

kde

RR ... relativní riziko

P_e ... procento exponované populace [%]

PAR% ... procento odpovídající riziko populace (procentní populační atributivní riziko) [%]

Populační atributivní frakce (absolutní počet dotčených osob, *PAR*) se pak odvodí jako:

$$PAR = PAR\% * N_d \quad (18)$$

kde *N_d* je počet osob s AIM (výskyt choroby).

Pro použití tohoto vztahu je stanoven obor platnosti $L_{Aeq,16h} > 60$ dB (Babisch a kol., 2008).

2.4. Ocenění dopadů

Dopady na blahobyt v důsledku strpění nebo odvracení negativního vlivu expozice hluku mohou zahrnovat následující komponenty:

1. náklady spojené s léčbou onemocnění v důsledku expozice hluku, včetně nákladů obětované příležitosti času stráveného léčením,
2. ušlou mzdu, resp. snížení či ztrátu produktivity (společenské hledisko),
3. obranné výdaje spojené s úsilím zabránit škodlivému působení hluku a dalším vlivům (např. obtěžování hlukem),
4. nepohodu spojenou s příznaky onemocnění a ušlou příležitost trávení volného času,
5. snížení průměrné délky života / zvýšení rizika předčasného úmrtí.

U různých dopadů můžeme kvantifikovat některé či všechny z uvedených komponent celkové ekonomické hodnoty změny blahobytu. V případě kardiovaskulárních onemocnění (akutního infarktu myokardu) tak budou do kvantifikace zahrnuty všechny složky (s výjimkou obranných výdajů, které se do značné míry s ostatními kategoriemi vzájemně vylučují), zatímco v případě obtěžování hlukem jsou zohledněny pouze dopady v podobě nepohody působené expozicí zvýšené hladině hluku a

⁷ Příslušná data v ČR shromažďuje Ústav zdravotnických statistik a informací (ÚZIS). V roce 2010 dosahovala incidence akutního infarktu myokardu (resp. počet hospitalizací) 204,6 případů na 100 000 obyvatel (ÚZIS, 2011a).

v případě rušení spánku pak (s ohledem na potenciální překryv se subjektivním vnímáním obtěžování hlukem) jen ztráta v podobě snížení produktivity.

2.4.1. Obtěžování hlukem

S ohledem na ne-klinickou povahu tohoto dopadu připadají při jeho ocenění v úvahu především obranné (averzní) výdaje a hodnota snížení pohody v důsledku expozice hluku. Oba tyto přístupy k ocenění obtěžování hlukem z dopravy byly zahrnuty v dotazníkovém šetření realizovaném v rámci projektu TranExt⁸; v této metodice je použito ocenění ztráty pohody (komfortu).

Pro účely kvantifikace dopadů hluku podle funkčního vztahu expozice a odezvy se třemi úrovněmi obtěžování je následováno doporučení studie Navruda a kol. (2006) a nejvyšší dvě kategorie obtěžování jsou sloučeny do jedné (v tomto případě máme navíc usnadněnou situaci tím, že mezi hodnotami ochoty akceptovat kompenzaci u těchto úrovní obtěžování nebyl shledán statisticky signifikantní rozdíl). Hodnoty ocenění obtěžování hlukem jsou uvedeny v následující tabulce bez ohledu na typ hluku (silniční/železniční), neboť jejich rozdílnost je již zachycena v příslušných funkcích expozice-odezvy.

Tabulka 1 – peněžní ocenění obtěžování hlukem (v Kč, cenová úroveň roku 2009)

úroveň obtěžování	za osobu a rok
lehké obtěžování	900
(střední) obtěžování	1 800
silné obtěžování	3 000

2.4.2. Rušení spánku

Složitost ocenění rušení spánku zdůrazňuje Hunt (2001), který konstatuje, že náklady na léky proti nespavosti mohou substituovat náklady, které by jinak plynuly ze ztráty produktivity. Hunt jako spodní hranici odhadu uvažuje přímé náklady na léčení, bez zohlednění nepřímých nákladů, avšak připouští, že náklady na léky jsou relativně malé v porovnání s ostatními náklady. Vhodnější alternativou tedy představuje použití odhadů nepřímých nákladů. Vzhledem k absenci původních českých výzkumů zabývajících se ztrátou produktivity v důsledku rušení spánku/nespavosti jsou s využitím metody přenosu hodnoty (*benefit transfer*) použity odhady z francouzské studie Godet-Cayré a kol. (2006) odpovídající 2% podílu HDP na zaměstnance, tj. přibližně 13,5 tis. Kč za rok.⁹

⁸ Viz podrobně Máca a Urban (2012).

⁹ Studie Godet-Cayré et al. (2006) odhaduje náklady pracovních absencí spojených s nespavostí, včetně rozdělení nákladů mezi systém zdravotního pojištění, zaměstnavatele a zaměstnance. Průměrné dodatečné náklady spojené s pracovní absencí z důvodu nespavosti byly odhadnuty na 1 472 EUR na jednoho zaměstnance a rok. Autoři studie nicméně podotýkají, že tyto výsledky nejsou přímo přenositelné a jako vhodnější vyjádření

Funkce expozice-odezvy ve studii Miedema a Vos (2007) jsou rozlišeny pro 3 úrovně rušení spánku (lehké, střední a silné), avšak studie zabývající se náklady nespavosti takové rozlišení neumožňují. Za této situace lze učinit pouze expertní úsudek, že snížení produktivity je pravděpodobně spojeno spíše s vysokou mírou rušení spánku¹⁰, což s ohledem na obvykle relativně vysoký podíl zasaženého obyvatelstva (resp. zaměstnané části populace) bude pravděpodobně spíše spodní hranice odhadu.

I přes rozsáhlou rešerši jsme nuceni konstatovat, že v současnosti neexistuje studie, která by se specificky zabývala oceněním nepohodlí spojeného s rušením ve spánku. Na druhou stranu v novějších studiích věnovaných ochotě platit za vyhnutí se obtěžování hlukem (Bjørner a kol., 2003, Navrud a kol., 2006 a obdobně i v dotazníkovém šetření realizovaném v rámci projektu TranExt) jsou otázky na ochotu platit za zbavení se obtěžování hlukem z dopravy formulovány bez ohledu na to, zda se jedná o den nebo noc. Je tedy dosti pravděpodobné, že respondenti do své ochoty platit zahrnují i nepohodlí v podobě rušení spánku, pokud jsou dopravním hlukem obtěžováni v noci. Relevanci této hypotézy potvrzují i zjištění z dotazníkového šetření realizovaného v rámci výzkumného projektu TranExt.

2.4.3. Kardiovaskulární nemoci

Náklady nemocnosti

Náklady nemocnosti zahrnují přímé náklady na léčení, ztrátu produktivity a změnu blahobytu v důsledku bolesti a utrpení. Odvození přímých nákladů na léčení vychází z úhradového mechanismu plateb za diagnózu (DRG), která se v ČR částečně uplatňuje u úhrady ústavní péče z veřejného zdravotního pojištění¹¹. Vážený průměr pak dosahuje částky 58,5 tis. Kč za případ, což přibližně odpovídá i odhadu vycházejícímu ze studie OECD¹².

Odhad ztráty produktivity je pouze přibližný, a to s ohledem na omezenou dostupnost dat¹³. Pokud uvažujeme ztrátu produktivity na zaměstnance odpovídající průměrné délce pracovní neschopnosti

nákladů absence z důvodu nespavosti navrhuje použití 2% podílu HDP na zaměstnance. V podmínkách ČR přitom 2% podíl HDP na zaměstnance představuje přibližně 13,5 tis. Kč (při výpočtu přes dny absence by ztráta produktivity dosahovala zhruba 12 tis. Kč).

¹⁰ Shodně se studií Knoblauch a Müller-Wenk (2005).

¹¹ I když zdravotní pojišťovny nezveřejňují výši úhrady za DRG, poskytla v minulosti VZP pro účely výzkumného projektu COŽP UK data z pilotního projektu DRG, které zahrnovaly náklady na léčení cca 11 tis. případů akutního infarktu myokardu (AIM). Pro přepočítání na hodnotu roku 2010 je s ohledem na specifika úhrady zdravotní péče patrně nejvhodnější použití meziročního indexu nákladů VZP pro ústavní péči v nemocnicích. Náklady v roce 2010 jsou takto odhadovány v rozmezí přibližně 57 tis. Kč pro nekomplikované a komplikované případy a 68 tis. Kč pro případy s komorbiditou.

¹² Tato studie (Moise a Jacobzone, 2003) pro nekomplikované případy uvádí odhad nákladů na případ odpovídající přibližně 15 % HDP na osobu – to je v případě ČR cca 54 tis. Kč.

¹³ Tento odhad může být založen na statistických údajích o pracovní neschopnosti (ÚZIS, 2011b). Pro rok 2010 bylo v průměru 34 případů práce neschopných z důvodů AIM na 100 tisíc osob pojištěných pro případ pracovní neschopnosti¹³ s průměrnou délkou pracovní neschopnosti 135,4 kalendářních dnů (v předchozích letech se nicméně pohybovala v rozmezí 150-160 dnů). S ohledem na to, že v roce 2010 bylo průměrně hospitalizováno s AIM 204,6 pacientů na 100 tisíc obyvatel, je možné dovodit (odhlédneme-li od možných opakovaných případů AIM nebo opakovaných pracovních neschopností), že méně než 17 % pacientů léčených na AIM bylo v době léčby v produktivním věku (ostatně průměrný věk pacientů léčených pro AIM v ČR je 68 let).

při AIM 135,4 dnů, avšak pouze v 17 % případů, pak na jeden případ AIM připadá ztráta produktivity přibližně ve výši 58 tis. Kč.

V případě ocenění ztráty užitku v důsledku infarktu myokardu, nebyla při zevrubné rešerši nalezena žádná studie, která by se specificky zabývala nepohodlím spojeným s aspektem nemocnosti (naopak existuje množství studií zabývajících se oceněním rizika úmrtí při AIM). Je proto použita zástupná hodnota ze zahraniční studie upravená metodou přenosu hodnot.¹⁴ Po převedení na českou měnu paritou kupní síly a odečtení odhadnutých nákladů léčení se tak dostáváme k částce 70 770 Kč za případ.

Předčasné úmrtí

Do kvantifikace je dále potřeba zahrnout škody vyvolané tím, že určitá část případů AIM je fatální¹⁵. Pro ocenění předčasného úmrtí je v zásadě možné požit dvě alternativní metriky. Ztrátu blahobytu v důsledku předčasného úmrtí lze ocenit buď pomocí let ztraceného života (*years of life lost – YLLs*), nebo pomocí hodnoty statistického života (*value of statistical life – VSL*), kdy se zpravidla použije jediná hodnota pro každý případ předčasného úmrtí bez ohledu na počet ztracených let života. V této metodice je zvolen přístup let ztraceného života, který je obdobně využit i v zahraničních studiích (ARE 2004, WHO 2011). Formálně lze postup výpočtu popsat jako

$$YLLs = \text{počet fatálních případů AIM} * \text{počet let ztraceného života při úmrtí na AIM} \quad (19)$$

Přístup ztracených let života předpokládá v prvním kroku odhad/stanovení počtu ztracených let života v důsledku fatálního infarktu. Ztracené roky života (*YLL*) jsou definovány jako rozdíl mezi průměrnou délkou života (*LE*) a specifickým věkem úmrtí pro danou chorobu.¹⁶

Výpočet ekonomické ztráty blahobytu v důsledku předčasného úmrtí lze vyjádřit jako

$$\text{peněžní ocenění} = YLLs * VOLY \quad (20)$$

kde *VOLY* je hodnota roku statistického života (*value of life year*)¹⁷, jenž v přepočtu na českou měnu dosahuje částky 143 tis. Kč za jeden rok ztraceného života.

¹⁴ Tuto zástupnou hodnotu odvozujeme následujícím způsobem. Vycházíme zde z patrně jediné dostupné zahraniční studie na ochotu platit za zdravotní služby při akutním infarktu myokardu (Yasunga a kol. 2006). V souladu s ekonomickou teorií přitom předpokládáme, že tato hodnota ochoty platit představuje pro respondenta jak skutečnou platbu za zdravotní péči i spotřebitelský přebytek. Protože je tato částka součástí celkové užitné hodnoty, předpokládáme, že část přesahující skutečné náklady na zdravotní péči může představovat spodní odhad ochoty platit (*willingness to pay, WTP*) za zamezení AIM. Yasunga a kol. odhadli ochotu platit za zdravotní péči při akutním infarktu myokardu na 8 928 USD (jednorázová platba).

¹⁵ Standardizovaná úmrtnost pro infarkt myokardu (AIM) v roce 2010 byla 62,9 případů na 100 000 obyvatel (ÚZIS, 2011c). Vzhledem k tomu, že úmrtí je počítáno jako jeden z důvodů propuštění z nemocničního ošetření, lze dovodit (odhlédneme-li od neznámého počtu případů infarktů myokardu, které nevyžadovaly ústavní léčbu), že přibližně 30 % případů AIM byla fatálních. Srovnávací studie v zemích OECD (Moise a Jacobzone, 2003) uvádí, že úmrtnost při AIM roste od cca 10 % u věkové kategorie 40-64 let až po 45 % u věkové kategorie 80-84 let.

¹⁶ V evropském projektu UNITE bylo odhadnuto, že v případě fatálního infarktu myokardu dochází v průměru ke ztrátě 7 let života (Hunt 2001), švýcarská studie tuto ztrátu odhaduje dokonce na 9,9 let (ARE, 2004) a z údajů o úmrtnosti na ischemické srdeční choroby v ČR (jako nadřazené skupiny nemocí) lze z dat ČSÚ vypočítat ztrátu 6,9 roku života u mužů a 6,8 u žen (v jiných zemích EU se tato ztráta pohybuje v rozmezí 6,5 a 9 let).

2.5. Agregace dopadů

2.5.1. Postup výpočtu externích nákladů hluku z dopravy

V souhrnu jsou kroky odvození peněžního ocenění dopadů hluku z dopravy následující:

- stanovení počtu osob vystavených určité hladině hluku dle příslušného indikátoru dopadu na základě hlukové mapy/studie pro stávající stav a navrhované opatření;
- úprava jednotkových hodnot (viz Tabulka 2 níže) na cenovou úroveň roku prováděného hodnocení;
- vypočtení dopadů – vynásobení počtu osob zasažených v jednotlivých hladinách příslušného hlukového indikátoru příslušným jednotkovým externím nákladem;
- vyjádření celkové změny externích nákladů hluku při realizaci opatření jako rozdílu mezi celkovými externími náklady hluku při stávajícím stavu a při realizaci uvažovaného protihlukového opatření.

2.5.2. Jednotkové dopady

S ohledem na odlišné indikátory hlukové expozice pro jednotlivé kvantifikované dopady, a tedy i v závislosti na dopravní situaci v konkrétní situaci, je ocenění expozice jednotlivým hlukovým úrovním představeno v následujících tabulkách v členění podle kvantifikovaných dopadů po 1 dB příslušného hlukového indikátoru. Obtěžování hlukem je kvantifikováno v rozsahu L_{dvn} 43 – 81 dB, kde spodní hodnota odpovídá prahu pro silné obtěžování hlukem¹⁸, rušení spánku zaměstnané frakce populace je uváděno v rozsahu L_n 40 – 70 dB, což odpovídá rozpětí doporučenému v pozičním dokumentu pracovní skupiny Evropské komise (EC WGHSEA, 2004), a konečně pro dodatečné případy infarktu myokardu je zahrnut rozsah $L_{Aeq,16h}$ 61 – 81 dB, kde spodní hranice odpovídá prahu platnosti tohoto expozičního vztahu. Ocenění dopadů hluku je uvedeno v Kč a upraveno na cenovou úroveň roku 2010.

¹⁷ Hodnota roku statistického života (*VOLY*) byla odvozena v rámci výzkumného projektu NEEDS na základě dotazníkového šetření na ochotu platit v 8 evropských zemích, včetně ČR (Desaigues a kol., 2011). Mediánová hodnota *VOLY* odvozená ze scénáře prodloužení dožití o 6 měsíců byla pro ČR odhadnuta ve výši 11 439 EUR (přepočteno paritou kupní síly), pro sloučená data za ČR, Polsko a Maďarsko pak mediánová hodnota *VOLY* dosahovala 7 955 EUR. S ohledem na uvažovanou ztrátu 7 let života, která značně převyšuje změnu délky dožití použitou ve valuační studii, a předpokládanou klesající mezní míru užítka, se budeme držet konzervativnějšího odhadu za trojici střeoevropských zemí.

¹⁸ Shodné rozpětí je použito rovněž v případové studii integrovaného zdravotně-environmentálního hodnocení hluku z městské dopravy realizované v evropském projektu HEATCO (Salomons a kol., 2010).

Tabulka 2 – ocenění dopadů podle hlukových indikátorů (v Kč/osobu/rok)

hluk (dB)	obtěžování hlukem		rušení spánku hlukem		riziko infarktu myokardu
	celá populace		zaměstnaní*		celá populace
frakce populace ocenění	ochota přijmout kompenzaci		ztráta produktivity		mortalita+morbidita
hlukový indikátor	L_{dvn}		L_n		$L_{Aeq,16h}$
typ hluku	silniční	železniční	silniční	železniční	silniční
40			308	195	
41			327	203	
42			350	214	
43	163	83	376	227	
44	191	99	407	242	
45	221	116	441	259	
46	251	133	480	278	
47	283	152	522	299	
48	315	172	569	322	
49	349	193	619	347	
50	383	215	674	374	
51	419	239	732	403	
52	455	264	794	434	
53	494	290	860	468	
54	533	318	930	503	
55	573	347	1005	540	
56	615	378	1083	580	
57	659	410	1165	621	
58	704	444	1251	665	
59	750	480	1341	710	
60	798	518	1434	758	
61	847	557	1532	807	18
62	899	599	1634	859	26
63	951	642	1740	913	35
64	1006	688	1850	968	45
65	1062	736	1963	1026	56
66	1121	785	2081	1086	69
67	1181	837	2202	1148	83
68	1243	892	2328	1212	97
69	1307	948	2457	1278	113
70	1373	1008	2591	1346	129
71	1441	1069			147
72	1512	1133			164
73	1584	1200			183
74	1659	1269			202
75	1736	1341			221
76	1815	1416			240
77	1897	1493			260
78	1981	1574			280
79	2067	1657			300
80	2156	1744			320
81	2248	1833			340

* V průměru za ČR dosahoval v roce 2010 podíl zaměstnaných osob v celkové populaci 46,6 % (data ČSÚ).

2.5.3. Úprava hodnot v čase¹⁹

Ocenění dopadů hluku je uvedeno v Kč cenové úrovni roku 2010. Obecně přitom platí, že tyto hodnoty se v čase mění v závislosti na změně reálných příjmů. Jedním z možných řešení je proto úprava těchto hodnot podle změny reálných příjmů, při zohlednění tzv. *příjmové elasticity ochoty platit/ochoty přijmout kompenzaci*. Tato elasticita se zpravidla liší podle oceňovaného statku – v případě environmentálních externalit (mezi něž se řadí i hluk z dopravy) – se často používá elasticita rovna 1 (Nellthorp a kol., 2007), případně se doporučuje citlivostní analýza s hodnotou 0,7 (Bickel a kol., 2006). Výpočet změny hodnot v čase lze provést podle následujícího vztahu:

$$WTP_x = WTP_{2010} * \eta * g_{2010 \rightarrow x} \quad (21)$$

kde

WTP_x ... ocenění v budoucím roce x

η ... příjmová elasticita ochoty platit/přijmout kompenzaci (v tomto případě je doporučená hodnota rovna 1)

$g_{2010 \rightarrow x}$... vývoj reálných příjmů na osobu v rozmezí let 2010 a x .

Vývoj reálných příjmů je však jen málokdy dostupný pro budoucí období, a tak se jako zástupná hodnota pro tento účel běžně používá predikce vývoje hrubého domácího produktu (HDP).²⁰

¹⁹ Tato úprava hodnot v čase nenahrazuje postupy používané v analýze nákladů a přínosů (CBA).

²⁰ Lze např. využít predikci některého ze státních úřadů, např. makroekonomickou prognózu vývoje HDP České národní banky, dostupnou na http://www.cnb.cz/cs/menova_politika/prognoza/index.html#HDP, makroekonomickou predikci Ministerstva financí ČR, dostupnou na http://www.mfcr.cz/cps/rde/xchg/mfcr/xsl/makro_pre.html, či predikci EUROSTATu, dostupnou na <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsieb020>.

3. Srovnání „novosti postupů“

Tato metodika představuje ucelený postup ekonomického hodnocení dopadů expozice hluku ze silniční a železniční dopravy, který v ČR v současnosti není k dispozici. Zásadním přínosem je zejména uplatnění přístupu ochoty přijmout kompenzaci za strpění hlukové zátěže, jež byl využit k ocenění obtěžování hlukem, a tak byly eliminovány problémy, s nimiž se střetávají jiné obdobné zahraniční studie při použití konceptu ochoty platit (např. Navrud a kol., 2006, v evropském projektu HEATCO).

4. Popis uplatnění certifikované metodiky

Tato metodika poskytuje komplexní postup pro vyčíslení ekonomických dopadů hlukové zátěže ze silniční a železniční dopravy. Její využití umožňuje:

- kvantitativně vyjádřit velikost škody působené hlukem z dopravy a to jak ve fyzických jednotkách, tak v penězích;
- vypočítat přínosy (fyzické/peněžní) z realizace opatření, které vedou ke změně hlukové zátěže, oproti stávajícímu stavu.

K jejímu uplatnění dojde především pro hodnocení společenských přínosů protihlukových opatření (protihlukové bariéry, nízkohlučné povrchy apod.), v postupech analýzy nákladů a přínosů (CBA) v oblasti hodnocení projektů dopravní infrastruktury. Lze jí – při vyjádření dopadů ve fyzických jednotkách – využít i pro hodnocení nákladové efektivity (CEA).

Metodika se rovněž uplatní při návrhu a výběru opatření k naplnění akčních plánů dle směrnice 2002/49/ES a potenciálně při přípravě návrhu zpoplatnění hluku v rámci poplatku za užití dopravní cesty či infrastruktury v souladu s podmínkami stanovenými směrnicí 2011/76/EU. Může být také použita pro lepší vyjádření tzv. „rozumně dosažitelné míry protihlukových opatření“ dle ustanovení § 31, odst. 1, zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů.

5. Ekonomické aspekty

Ekonomické přínosy metodiky spočívají zejména v poskytnutí kvantitativního rámce pro hodnocení nákladů a přínosů (CBA) a umožnění výběru ekonomicky nejvýhodnějších opatření pro řešení hlukové zátěže dopravy. Rozsah ekonomických dopadů hluku ze silniční dopravy i ekonomických přínosů různých protihlukových opatření byl pro vybrané pilotní lokality vyčíslen v závěrečné zprávě projektu TranExt. Jak ukazuje i modelový příklad uvedený v příloze této metodiky, budou se potenciální přínosy takových opatření vyčíslené pomocí metodiky běžně pohybovat v řádu milionů Kč.

6. Seznam použité související literatury

ARE. 2004. Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.

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.

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.

BJØRNER T.B., LUNDHEDE T., KRONBAK J. 2003. Valuation of Noise Reduction – Comparing results from hedonic pricing and contingent valuation. AKF Forlaget, Copenhagen, Denmark, 148 pp.

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.

HUNT A. 2001. Monetary valuation of noise effects, report for the FP5 project UNITE, Bath: Metroeconomica.

KNOBLAUCH A., MÜLLER-WENK R. 2005. Insomnia and noise-related sleep disturbance, in: Quantifying burden of disease from environmental noise: Second technical meeting report, WHO Regional Office Europe, Copenhagen.

LÁDYŠ L., LIBERKO M., DUŠEK P. 2006. Systémová podpora interaktivního ovlivňování vývoje situace v okolí dálnic a silnic I. třídy. Návrh zásad metodiky realizace směrnice 2002/49/ES v okolí dálnic a silnic, EKOLA group, Praha.

LIBERKO M. A KOL. 2005. Novela metodiky pro výpočet hluku silniční dopravy, in: Hluk v životním prostředí, Planeta 2/2005, Ministerstvo životního prostředí, Praha.

- 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.
- MITCHELL, R., CARSON, R. 1989. *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*. Washington D.C.: Resources for the Future.
- MOJŠE P., JACOBZONE S. 2003. OECD Study of Cross-National Differences in the Treatment, Costs and Outcomes of Ischaemic Heart Disease, OECD Health Working Papers, No. 3, OECD Publishing.
- NAVRUD S., TRÆDAL Y., HUNT A., LONGO A., GRESSMANN A., LEON C., ESPINO R., MARKOVITS-SOMOGYI, MESZAROS F. 2006. Economic values for key impacts valued in the Stated Preference surveys, Deliverable 4, HEATCO – Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, projekt 6. rámcového programu Evropské komise, IER University Stuttgart. URL: <<http://heatco.ier.uni-stuttgart.de>>.
- NAVRUD S. 2004. What is Silence Worth? Economic Valuation of Road Traffic Noise, In: Ščasný M., Melichar J. (eds.) *Lectures in Non-market Valuation Methods in the Environmental Area*, Matfyzpress, Praha.
- NELLTHORP J., BRISTOW A.L., DAY B. 2007. Introducing Willingness-to-pay for Noise Changes into Transport Appraisal: An Application of Benefit Transfer, *Transportation Reviews*, Vol. 27, No. 3, p. 327-353.
- OPPLOVÁ M., ŠAUER P., VLČKOVÁ E. 1983. Možnosti výpočtu škod vznikajících národnímu hospodářství znehodnoceným životním prostředím, studijní podklady k péči o životní prostředí, Rada pro životní prostředí při vládě ČSR, SZN, Praha.
- ÚZIS. 2011a. Hospitalizovaní v nemocnicích ČR 2010. Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, Praha.
- ÚZIS. 2011b. Ukončené případy pracovní neschopnosti pro nemoc a úraz 2010. Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, Praha.
- ÚZIS. 2011c. Zemřelí 2010. Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, Praha.
- WHO. 2000. Guidelines for community noise. (Edited by: Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, Goh KT). Geneva: World Health Organisation, Guideline Document.
- WHO. 2011. *Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe*. Bonn: WHO Regional Office for Europe.

YASUNGA H., IDE H., IMAMURA T., OHE K. 2006. Willingness to pay for health care services in common cold, retina detachment, and myocardial infarction: an internet survey in Japan, *BMC Health Services Research*, Vol. 6, No. 12.

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

MÁČA V., URBAN J. 2012. Oceňování hluku ze silniční a železniční dopravy, *SILNICE ŽELEZNICE*, 1/2012, s. 54-58.

MÁČA, V., & MELICHAR, J. 2010. External costs, internalization and optimal use of transport infrastructure. In V. Adamec & V. Jandová (Eds.), *Transport, Health and Environment, IV. Czech-Slovak Scientific Conference*. Transport Research Centre, pp. 5-12.

MÁČA, V., & URBAN, J. 2010. Willingness-to-accept compensation for road and rail noise annoyance. Proceedings of INTER-NOISE 2010. Lisbon: Sociedade Portuguesa de Acústica.

SALOMONS, E., HOUT, D. V. D., JANSSEN, S., KUGLER, U., & MÁČA, V. 2010. Method for predicting future developments of traffic noise in urban areas in Europe. Proceedings of INTER-NOISE 2010. Lisbon: Sociedade Portuguesa de Acústica.

8. Jména oponentů

Ing. Tomáš Hellmuth, CSc., Národní referenční laboratoř pro komunální hluk, Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

Doc. Ing. Petr Šauer, CSc., Vysoká škola ekonomická v Praze

9. Seznam použitých zkratk

A – obtěžování (hlukem)

AIM – akutní infarkt myokardu

CBA – analýza nákladů a přínosů

CEA – analýza nákladové efektivity

dB – decibel

DFA – přístup funkce škody

DRG – skupiny vztažené k diagnózám

ERF – funkce expozice-odezva

GIS – geografický informační systém

HA – silné obtěžování (hlukem)

HDP – hrubý domácí produkt

HSD – silné rušení spánku

LA – lehké obtěžování (hlukem)

$L_{Aeq,T}$ – časově integrované ekvivalentní hladiny akustického tlaku

OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

OR – podíl pravděpodobnosti

PAR – populační atributivní frakce

RR – relativní riziko

ÚZIS – Ústav zdravotnických statistik a informací ČR

VOLY – hodnota roku statistického života

VSL – hodnota statistického života

VZP – Všeobecná zdravotní pojišťovna ČR

WHO – Světová zdravotnická organizace

WTA – ochota přijmout kompenzaci

WTP – ochota platit

YLL – rok ztraceného života

10. PŘÍLOHA – Modelový příklad kvantifikace přínosů realizace protihlukových opatření v části obce Kopřivnice

Jako modelový příklad využití metodiky je představena kvantifikace ekonomických škod působených hlukem ze silniční dopravy v případovém území bez a s realizací protihlukových opatření. Srovnání se týká pouze přínosů v podobě snížení ekonomických škod působených hlukem na blahobytu obyvatel a nikterak nezohledňuje náklady realizace protihlukových opatření (investice, údržbu atd.).

Vyhodnocení dopadů je zpracováno pro variantní scénáře realizace dopravně-technických opatření v části obce Kopřivnice (sídelní část Pod Bílou horou), s celkovým počtem 5927 obyvatel. Jedná 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):

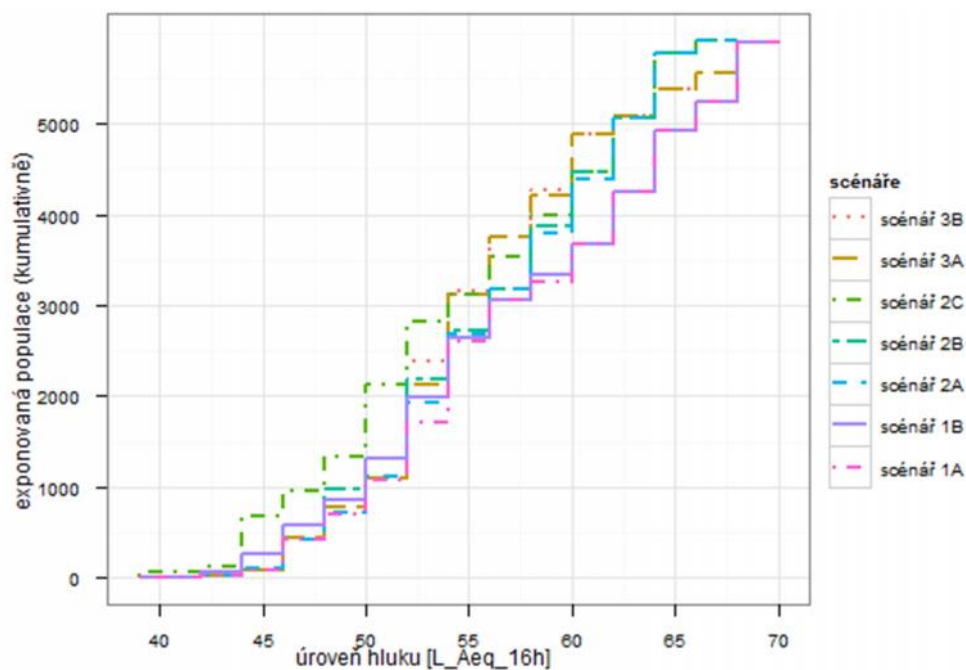
- 3A) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – všechny komunikace rychlost 50 km/h.
- 3B) Výpočet „aktuálního stavu“ s protihlukovou stěnou podél páteřní komunikace – páteřní komunikace 50 km/h, komunikace uvnitř městské zástavby rychlost 30 km/h.

Na základě vstupních dat – mapových podkladů, údajů o budovách, komunikacích, obyvatelích a dopravních dat – byly v modelovém území pomocí programu SoundPLAN vypočteny ekvivalentní hladiny hluku jako pásmové mapy, jež znázorňují přímo zatížení umístěné zástavby v dvoudecibellové škále indikátorů 16 hodinového denního hluku ($L_{Aeq,16h}$) 8 hodinového nočního hluku (L_n).

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 modelové scénáře znázorněno v následujícím grafu.

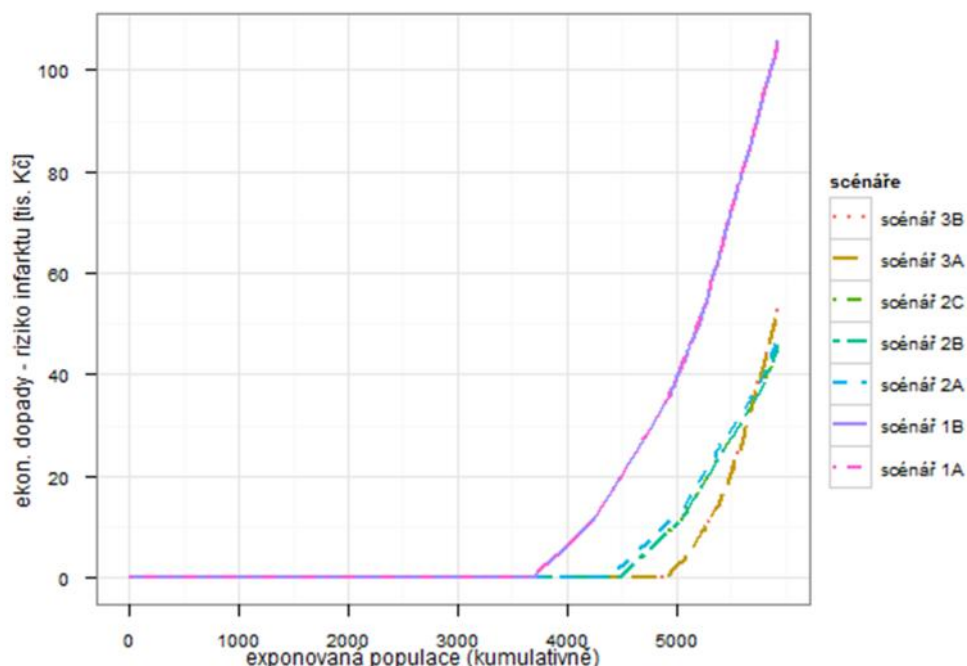
Obrázek 1 – Kumulativní zátěž populace denním hlukem v pilotní oblasti



Vysvětlení: Každý bod v grafu představuje počet obyvatel, který je vystaven úrovni hluku vynesené na ose x nebo nižší. Nejvíce je hluku vystavena populace ve scénáři 1A (křivka probíhající nejvíce napravo), ostatní scénáře v různé míře představují zlepšení (tj. posun křivky doleva) u některých (či všech) úrovní hluku, a tedy eliminaci expozic u nejvyšších úrovní hluku (scénáře 2A, 2B a 2C).

V následujícím grafu jsou představeny odhadnuté ekonomické dopady případů infarktu myokardu u jednotlivých scénářů. Na vodorovné ose kumulativní součet populace modelového území a na svislé ose ekonomické dopady. Hodnocená modelová dopravně-technická opatření vedou k velmi podobnému snížení dopadů – přibližně na polovinu – jak ukazuje Obrázek 2. To je způsobeno především tím, že u tohoto dopadu je předpokládán práh působení 60 dB hlukového indikátoru $L_{Aeq,16h}$ a jednotlivá opatření se liší především v účinnosti snižování úrovně expozice obyvatel v úrovních pod 60 dB hlukového indikátoru $L_{Aeq,16h}$.

Obrázek 2 – Srovnání ekonomických dopadů z dodatečných případů infarktu myokardu

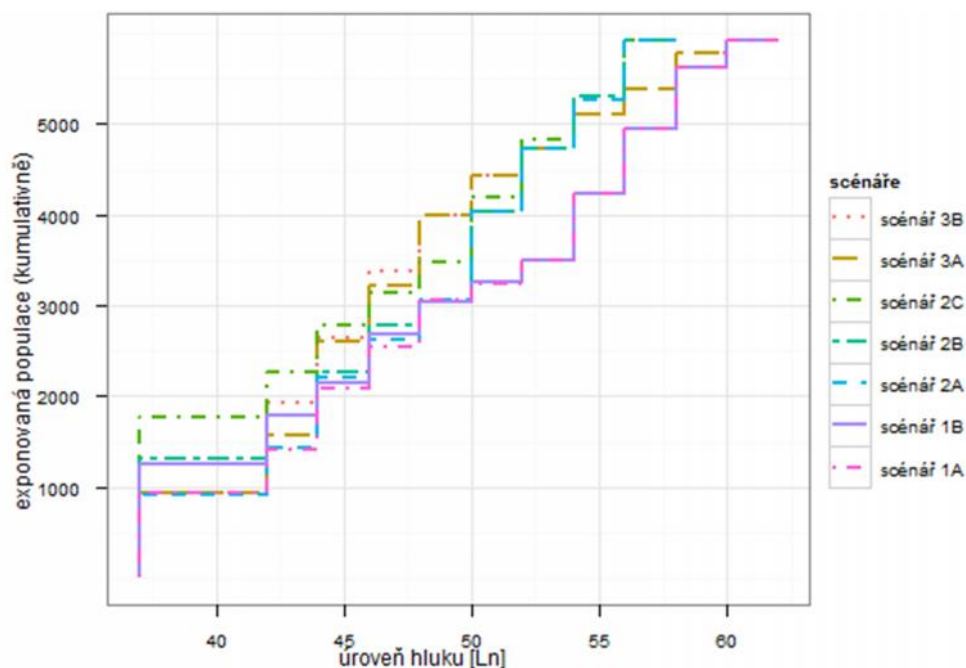


Vysvětlení: Na vertikální ose jsou vyneseny kumulativně ekonomické škody v důsledku zvýšení pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu a na horizontální ose je exponovaná populace (kumulativně). Vzhledem k spodní hranici definičního oboru platnosti funkce expozice-odezva se odhadnuté ekonomické dopady týkají pouze menší části populace, která je vystavena hluku $L_{Aeq,16h} > 60$ dB, např. pro scénář 1A se to týká 2 244 osob. Tato část populace se navíc v dalších scénářích dále zmenšuje (což představuje posun křivek doprava). Celková ekonomická škoda je dána součinem počtu osob vystavených nadlimitním hladinám hluku a peněžně oceněným dopadem pro dané nadlimitní hladiny hluku. Nejvyšší ekonomické škody jsou vyvolány současným stavem (scénář 1A, shodně i scénář 1B), v ostatních scénářích se úroveň celkových působených škod snižuje (posun po vertikální ose). Zároveň graf ukazuje rozložení ekonomických škod v dotčené populaci (posun a sklon křivek).

Rušení spánku

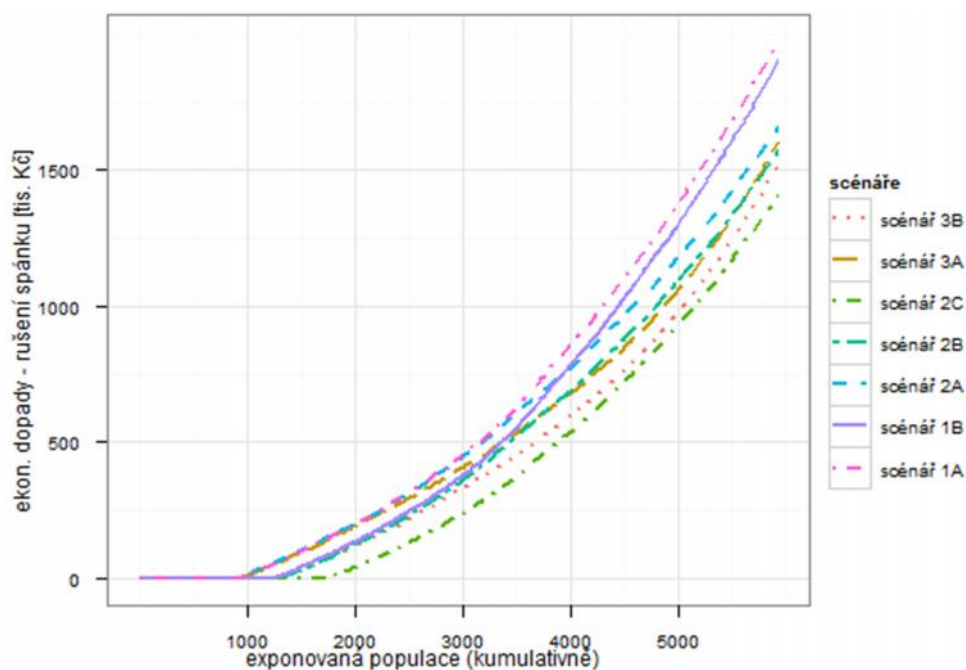
V případě oceňovaného dopadu silné rušení spánku je relevantním hlukovým indikátorem ekvivalentní hladina 8 hodinového nočního hluku L_n . Grafické vyjádření zasažení populace pro jednotlivé scénáře je opět znázorněno v grafu.

Obrázek 3 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti nočním hlukem podle jednotlivých scénářů



Velikost ekonomických dopadů v podobě rušení ve spánku v modelové oblasti se podle scénářů pohybuje v rozmezí 1,4 až 2 mil. Kč. Srovnání scénářů navzájem ukazuje, že mírně nižší ekonomické dopady v podobě silného rušení 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.

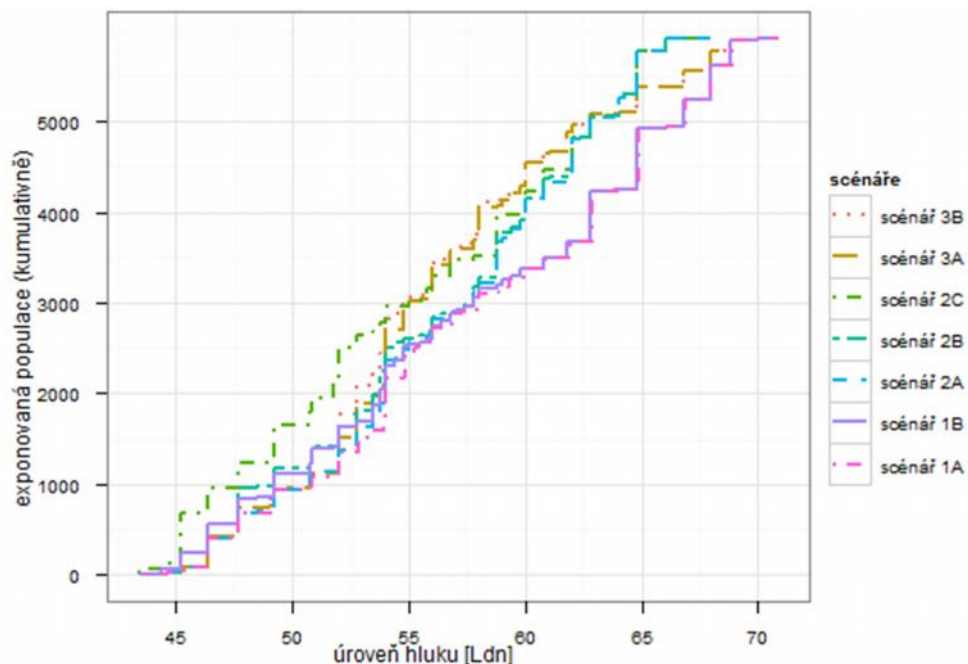
Obrázek 4 – Srovnání ekonomických dopadů silného rušení spánku pro jednotlivé scénáře



Obtěžování hlukem

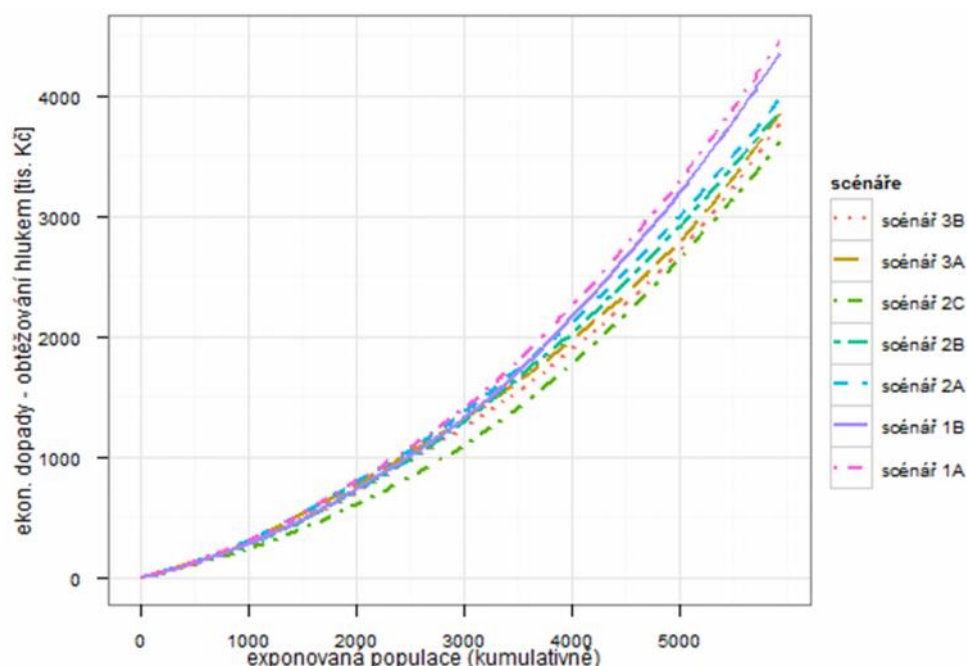
V případě oceňovaného dopadu obtěžování hlukem je relevantním hlukovým indikátorem ekvivalentní hladina 24 hodinového hluku L_{dn} . Grafické vyjádření zasažení populace pro hodnocené scénáře je znázorněno v následujícím grafu.

Obrázek 5 – Srovnání zátěže populace v pilotní oblasti celodenním hlukem



Kvantifikované ekonomické dopady se pohybují v rozmezí 3,6 a 4,4 mil. Kč. Nejnižší dopady jsou spojeny se scénářem 2C, tedy nízkohlučným povrchem na celé síti komunikací; ze srovnání variant 2B (položení nízkohlučného povrchu na páteřní komunikaci) a 3B (protihluková stěna) pocházejí mírně nižší ekonomické dopady ze scénáře uvažujícího s protihlukovou stěnou.

Obrázek 6 – Srovnání ekonomických dopadů obtěžování celodenním hlukem podle jednotlivých scénářů



Celkové ekonomické dopady

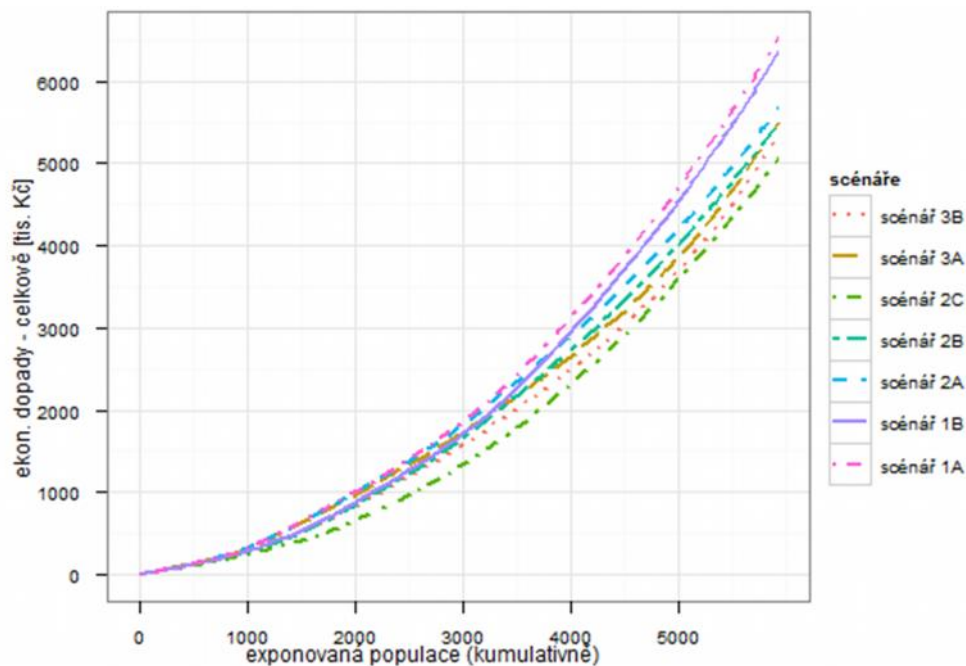
Celkové ekonomické škody expozice hluku v případovém území byly pro stávající stav (scénář 1A) odhadnuty zhruba na úrovni 6,5 mil. Kč ročně. Všechny další uvažované scénáře vedou ke snížení těchto dopadů a to od relativně nevýznamného snížení o 154 tis. Kč (cca 2,7 %) v případě samotného omezení rychlosti 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. Bezsporně 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 bezmála 1 mil. Kč, zatímco pokládka nízkohlučného povrchu zamezuje dopadům pouze v rozsahu cca 834 tis. Kč.

Tabulka 3 - Peněžní ocenění dopadů hluku ze scénářů (v Kč/rok)

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

Porovnání celkových dopadů ilustruje následující graf (Obrázek 7), kde je na vodorovné ose kumulativní součet exponované populace a na svislé ose jsou celkové ekonomické dopady. Z tohoto srovnání, které je normalizováno na počet obyvatel modelované oblasti, je jasně patrné, že největší snížení dopadů by přinesla opatření ze scénáře 2C, následované scénáři 3B, 2B a 3A.

Obrázek 7 – Ekonomické škody vyjádřené kumulativně na zasažené populaci



Uvedené srovnání se ovšem týká pouze strany přínosů a nikterak nezohledňuje náklady realizace protihlukových opatření (investice, údržba, životnost atd.). V kontextu hodnocení nákladů a přínosů (CBA) se tedy jedná pouze o kvantifikaci jedné hodnocené kategorie, pro realizaci kompletního hodnocení musí být vyčíslena i kategorie nákladů a tyto následně porovnávány.