



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE –
CENTRUM PRO OTÁZKY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



A T E M
ATELIÉR EKOLOGICKÝCH MODELŮ, S. R. O.

METODIKA KVANTIFIKACE EXTERNALIT Z DOPRAVY

Vojtěch Máca, Jan Melichar a kol.

Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. TB0100MD020 Analýza vlivu dopravy na životní prostředí na regionální a lokální úrovni s využitím indikátorů udržitelného rozvoje programu BETA Technologické agentury ČR.

Praha, prosinec 2013

Obsah

I.	Cíl metodiky	- 4 -
II.	Vlastní popis metodiky	- 8 -
II.I.	Externí náklady z emisí do ovzduší	- 8 -
II.I.I.	Východiska	- 8 -
II.I.II.	Efekty na lidské zdraví	- 8 -
II.I.III.	Ocenění dopadů na lidské zdraví	- 15 -
II.I.IV.	Snížení úrody zemědělských plodin	- 17 -
II.I.V.	Ocenění škod na zemědělské produkci	- 18 -
II.I.VI.	Znehodnocení kovových, stavebních a nátěrových materiálů	- 19 -
II.I.I.	Dopady emisí skleníkových plynů	- 24 -
II.II.	Externí náklady hluku	- 26 -
II.II.I.	Odvození dopadů působení hluku	- 26 -
II.II.II.	Vztahy expozice-odezva	- 27 -
II.II.III.	Ocenění dopadů	- 29 -
II.II.IV.	Průměrné externí náklady hluku	- 30 -
II.III.	Externí náklady kongescí	- 32 -
II.III.I.	Ocenění cestovního času a jeho atributů	- 33 -
II.IV.	Externí náklady nehod	- 36 -
III.	Srovnání „novosti postupů“	- 40 -
IV.	Popis uplatnění certifikované metodiky	- 40 -
V.	Ekonomické aspekty	- 41 -
VI.	Seznam použité související literatury	- 41 -
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	- 44 -
VIII.	Jména oponentů	- 44 -
IX.	Seznam použitých zkratk	- 44 -
X.	Příloha	- 46 -

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vstupní data pro výpočet externích nákladů na lidské zdraví.....	- 9 -
Tabulka 2 - Funkce koncentrace-odezva pro tuhé částice (PM ₁₀ a PM _{2,5}) a ozon.....	- 11 -
Tabulka 3 – Zastoupení věkových skupin v populaci a rizikových skupin.....	- 15 -
Tabulka 4 - Jednotkové ocenění dopadů na zdraví dle studií realizovaných v ČR.....	- 16 -
Tabulka 5 – Jednotkové ocenění dopadů na zdraví dle metodiky ExternE (střední hodnoty).....	- 16 -
Tabulka 6 – Citlivostní faktor pro funkční vztah efektu přízemního ozónu.....	- 18 -
Tabulka 7 – Ceny zemědělských komodit.....	- 19 -
Tabulka 8 – Kritické hodnoty ztráty tloušťky materiálu.....	- 23 -
Tabulka 9 – Náklady údržby pro jednotlivé druhy materiálů.....	- 23 -
Tabulka 10 - Doporučené hodnoty stínových cen emisí skleníkových plynů.....	- 24 -
Tabulka 11 – Vztahy expozice-odezva pro hluk z dopravy.....	- 28 -
Tabulka 12 – Ocenění účinků hluku na zdraví (cenová úroveň roku 2012).....	- 30 -
Tabulka 13 - Externí náklady hluku (v Kč cenové úrovni 2012, na osobu exponovanou dané úrovni hluku a rok).....	- 30 -
Tabulka 14 - Doporučené oceňovací metody (dle HEATCO).....	- 33 -
Tabulka 15 - Doporučené prozatímní hodnoty ocenění cestovního času v osobní a nákladní dopravě... -	34 -
Tabulka 16 – Průměrné koeficienty pro přepočet neohlášených silničních nehod.....	- 37 -
Tabulka 17 – ocenění dopadů silničních nehod (v mil. Kč na případ).....	- 38 -

I. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je rozvinout ucelený metodický postup, vycházející z koncepčního přístupu příčinného zřetězení (*causal chain analysis*), konzistentní s ekonomikou blahobytu pro hodnocení mezních externích nákladů při ekonomickém hodnocení návrhů (dopravních) opatření jako jsou emisní limity, nízkoemisní zóny, zóny 30 a další dopravně-technická a dopravně-organizační opatření na lokální až regionální úrovni. Metodika klade velký důraz na podrobná data o lokalitách, dopravním provozu, populaci, charakteru prostředí a dalších parametrech, které ovlivňují dopad na blahobyt. Kromě tohoto primárního zaměření metodika popisuje možný postup agregace odhadů externích nákladů pro využití v hodnocení dopravních politik a koncepcí, tedy *modus operandi* na regionální až národní úrovni.

Tato metodika byla vypracována jako výstup projektu aplikovaného výzkumu programu BETA Technologické agentury ČR, jehož cílem bylo rozpracování metod pro hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí na regionální a lokální úrovni s využitím indikátorů udržitelného rozvoje, včetně kvantifikace externích nákladů dopravy. Metodika vychází ze soudobého stavu poznání a reflektuje doporučené postupy Evropské komise, obsažené zejména v manuálu *Handbook on estimation of external cost in the transport sector* (Maibach et al., 2008) a ve Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, hospodářskému a Sociálnímu výboru a Výboru regionů - Strategie pro provedení internalizace vnějších nákladů¹. Dále byly pro vypracování metodiky využívány poznatky celé řady výzkumných projektů, zejména pak projektu VaV CG712-111-520 *Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky* (TranExt), projektu 6. rámcového programu výzkumu a technologického rozvoje Evropské komise *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment* (HEATCO) a série projektů rozvíjejících metodiku ExternE.²

Rámec popisovaného metodického přístupu ke kvantifikaci externích nákladů je vymezen následovně:

- 1) vytyčení cíle,
- 2) konkretizace předmětu výzkumu a stanovení hranic systému,
- 3) vymezení relevantních efektů,
- 4) identifikace vztahu příčina-dopad,
- 5) přiřazení ekonomických kategorií užitků a nákladů a jejich ocenění,
- 6) interpretace výsledků.

Ad 1) Ekonomické hodnocení externalit zpravidla slouží potřebám veřejné politiky a veřejné správy, mezi něž patří zejména hodnocení projektů a koncepcí (typicky v analýze nákladů a přínosů, CBA), stanovení efektivních sazeb daní a poplatků (např. pro zpoplatnění užití dopravní infrastruktury), odhad nákladů škod na životním prostředí (jako součást zeleného účetnictví), nebo prioritizaci cílů v rámci jednotlivých (sektorových) politik i mezi politikami.

Ad 2) Konkretizace předmětu výzkumu zahrnuje výběr analyzovaných původců a/nebo aktivit, relevantních forem působení na životní prostředí, zdraví a další statky a související předcházející a navazující procesy (zvl. ve vztahu k analýze životního cyklu). V tomto ohledu se metodika prvořadě

¹ KOM(2008) 435 v konečném znění, vč. technické přílohy SEC(2008) 2207.

² hlavní aktualizace metodiky viz Bickel a Friedrich (2005), následná aktualizace vztahů expozice-odezva a monetárního ocenění v projektu 6. RP HEIMTSA (IOM et al. 2011, Hunt et al. 2011); další informace lze nalézt na www.externe.info.

zaměřuje na externí náklady z dopravního provozu, nikoli na externalitu existence dopravní infrastruktury samotné.

Stanovení hranic systému slouží jako rozhodovací kritérium pro vymezení původců a aktivit, efektů, dopadů a uvažovaných škod na životním prostředí. Pro vymezení hranic je důležité vymezení prostorové (lokalita, region, Evropa apod.), vymezení dané projektem, procesy nebo opatřeními, a rovněž vymezení časové (např. u dopadů způsobených změnou klimatu), datové a metodické. V tomto ohledu jsou postupy v metodice obsažené primárně použitelné na prostorové zaměření lokální, s dále uvedenými přesahy.

Ad 3) Mezi významné kategorie negativních externalit z dopravy bývají řazeny následující efekty:³

- nehody
- hluk a vibrace
- zdravotní dopady znečištění ovzduší
- poškození budov a materiálů ze znečištění ovzduší
- klimatický systém
- příroda a krajina
- kongesce
- snížení úrody zemědělských plodin
- škody na půdě
- bariérové efekty v urbánních oblastech
- náklady upstream a downstream procesů (z výroby a odstranění vozidel a dopravní infrastruktury, výroba a přeprava pohonných hmot atd.).

V metodice jsou dále rozpracovány postupy pro hodnocení externích nákladů nehod, hluku, zdravotních dopadů znečištění ovzduší, poškození budov a materiálů ze znečištění ovzduší, efektů na klimatický systém, kongescí a snížení úrody zemědělských plodin. Pro tyto kategorie externích nákladů je možné použít hodnotící rámec funkce škody (viz dále) a lze pro ně i odvodit monetární ocenění (fyzických) dopadů.⁴

Ad 4) Vymezení relevantních efektů předpokládá znalost vztahů (asociace či kauzality) mezi stavy (*states*) a relevantními dopady (*impacts*), jejich případnou agregaci a přiřazení původcům nebo aktivitám. Přes některé dosud empiricky dostatečně nevyjasněné funkční vztahy (zvláště u externalit z nehod), jsou dle současného stavu poznání preferovány tyto základní přístupy: přístup funkce škody (resp. hodnocení drah dopadu) u environmentálních externalit, modelování úspory cestovního času na bázi křivek závislosti rychlosti a provozu u kongescí a odhady vztahů mezi intenzitou provozu a nehodami pro zjištění externích nákladů nehod.

Přístup funkce škody (v oblasti hodnocení externích nákladů atmosférických emisí rovněž nazývaný přístup dráhy působení, *impact-pathway approach*, viz Obrázek 1), sleduje zřetězení od zdroje k receptoru – od zátěže (*pressure*) životního prostředí přes stav a dopad ve fyzické podobě a odtud odvozuje změnu užitků pro člověka. Přístup zdola-nahoru je vhodný pro takové případy, kdy jsou potřebné místně specifické ocenění externích nákladů. Na tomto přístupu je zpravidla postaveno i oceňování mezních externích nákladů a je konzistentní i s přístupy navrženými a použitými ve

³ Vymezení externích přínosů dopravy (pozitivních externalit) je poměrně obtížnější a mezi různými autory nepadají shoda, do jaké míry jsou různé uvažované přínosy dopravy (např. lepší dostupnost složek integrovaného záchranného systému) individualizovány, srov. Verhoef (1994).

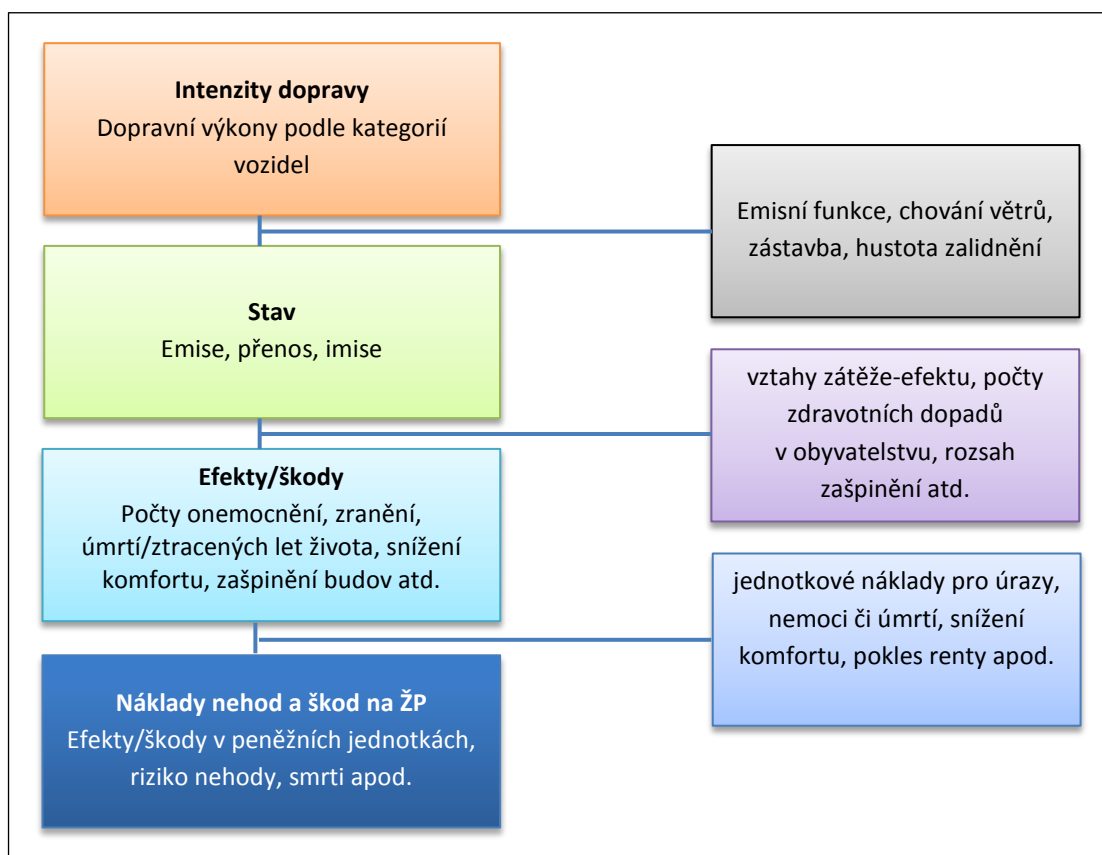
⁴ Dopadům nezahrnutým v metodice je rovněž věnována podkapitola Odborné zprávy k projektu TB0100MD020.

Strategii pro internalizaci externích nákladů i manuálu pro výpočet externích nákladů v sektoru dopravy (Maibach a kol., 2008).

Ad 5) Vyhodnocení efektů (účinků) je základem pro ocenění v podobě změny společenského užítku (tj. snížení v případě negativních externalit). Popis efektů obvykle zahrnuje jejich potenciální, resp. škodlivý účinek a prostorové a časové rozlišení.

Všem efektům, které ve svém zřetězení ovlivňují užitek společnosti (resp. jednotlivců), je přiřazena ekonomická hodnota. Tento krok představuje propojení mezi přírodovědným a/nebo technickým hodnocením (fyzické efekty) a ekonomickým hodnocením (změna užítku). Tato změna může nabývat některé z následujících podob:

- bezprostřední omezení individuálního užítku (např. negativní dopady na zdraví, zhoršení kvality života, poškození soukromých statků),
- snížení v produkci zboží a služeb (např. nižší výnosy zemědělských plodin, nižší produktivita vyvolaná zhoršením zdravotního stavu pracovníků),
- ostatní (nepřiraditelná) omezení dopadající na národní hospodářství (např. snížení hladiny spodních vod, škody na fasádách).



Obrázek 1 - Schéma přístupu funkce škody (pro hodnocení environmentálních externalit)

Další kategorií, která však nepředstavuje bezprostřední dopad na užitek je neužitná hodnota (např. existenční hodnota přírodních druhů).

Peněžní ocenění vychází z přiřazení hodnot identifikovaných v předchozích krocích mezi náklady nebo užítky. Pro oceňování je k dispozici řada oceňovacích metod, některé škody lze přitom ocenit pouze kombinací určitých metod (přitom je však potřeba vyhnout se dvojímu započtení). Měřítkem změny blahobytu jednotlivce je ochota platit (*willingness to pay*, *WTP*), resp. ochota přijmout kompenzaci (*willingness to accept*, *WTA*)⁵. Dále se používají některé normativní úpravy (např. diskontování, různé míry rizika), rozsah variability je přitom vhodné uvést v rámci citlivostní analýzy. Dopady, které nelze peněžně ocenit, by měly být popsány alespoň kvalitativně.

Ad 6) Prezentace výsledků musí dokumentovat transparentnost provedených odhadů. Je vhodné představit výsledky podle jednotlivých typů škod, různých metod oceňování, včetně uvedení, zda se jedná o náklady škod nebo náklady na zamezení (náklady příležitosti). Výsledky by přitom měly být interpretovány v kontextu stanoveného cíle a zahrnutých nejistot oceňování.

Metodicky lze rozlišit nejméně tři hlediska kvantifikace externích nákladů⁶:

- hledisko uživatelů – rozlišení externích a interních nákladů je zde provedeno z pohledu uživatele – všechny náklady, které nejsou přiřazeny těm, kteří je způsobili, jsou považovány za externí. V tomto přístupu je akcentována ekonomická efektivnost – internalizace zde má vést k efektivnímu využití dopravní sítě.
- hledisko dopravního módu (silniční, železniční atd.) – v tomto přístupu nejsou za externí považovány náklady působené jedním uživatelem ostatním uživatelům. Za externí náklady se považují pouze ty náklady, které dopadají mimo sledovaný dopravní mód a jsou nesené např. obyvateli, daňovými poplatníky nebo podniky. Tento přístup ukazuje především distribuci dopadů, tj. jaké jsou náklady těch, kteří daný mód nevyužívají, nikoli však mezi uživateli navzájem.
- hledisko druhu dopravy (např. nákladní a osobní doprava) – za externí náklady jsou v tomto přístupu považovány všechny náklady neuhrazené posuzovaným druhem dopravy (za externí náklady budou považovány např. škody způsobené nákladním vozidlem na vozidle osobním, avšak nikoli škody způsobené mezi – i různými – nákladními dopravními prostředky).⁷

Vztahy mezi uvedenými hledisky lze zobecnit následovně (co do velikosti externalit): hledisko dopravního módu \leq hledisko druhu dopravy \leq hledisko uživatele. Z hlediska jednotlivých kategorií externalit se přitom zásadní rozdíly ve zvoleném hledisku týkají prakticky pouze intrasektorových externalit, tj. nehod a kongescí.

⁵ Ochota platit (*WTP*) je nejvyšší peněžní částka, kterou je jedinec (příp. domácnost) ochoten zaplatit za určitý statek (resp. za vyhnutí se jeho zhoršení). Zaplacení takové sumy za zlepšení (nezhoršení) úrovně poskytování takového statku přinese tomuto člověku stejnou úroveň blahobytu, jako kdyby si tyto peníze ponechal, ale nedosáhl zlepšení (resp. utrpěl zhoršení). Ochota přijmout kompenzaci představuje nejmenší částku, kterou by byl jedinec ochoten přijmout jako kompenzaci za nezlepšení (nebo strpění zhoršení) poskytování určitého statku. Vyjadřuje tak situaci, kdy tomuto člověku přijetí takové částky za nezlepšení dává stejnou úroveň blahobytu jako nepřijetí částky a zlepšení úrovně poskytovaného statku.

⁶ Viz podrobněji Ecoplan (2010)

⁷ Tento pohled je vhodný pro vzájemné porovnávání jednotlivých druhů dopravy při zohlednění ekonomické efektivnosti, a je proto využíván např. při kvantifikaci externích nákladů a odpovídajících sazeb zpoplatnění těžkých nákladních vozidel ve Švýcarsku.

II. Vlastní popis metodiky

II.I. Externí náklady z emisí do ovzduší

II.I.I. Východiska

Níže popsaný metodický postup vychází z modelování disperze znečišťujících látek, vyžaduje tedy zpracování detailních rozptylových studií, které modelují atmosférickou disperzi primárních znečišťujících látek, jako jsou prachové částice, oxidy dusíku, oxid siřičitý, těkavé organické látky, těžké kovy a další škodliviny⁸.

Vstupem do imisního modelu jsou podrobné informace o jednotlivých emisních zdrojích (a o dálkovém přenosu emisí), o meteorologických podmínkách (větrné růžice) a data o referenčních bodech (souřadnice, nadmořská výška, výška nad terénem, charakter proudění). Data se liší dle typu emisního zdroje, kde se rozlišují zdroje plošné (např. křižovatky, parkoviště, seřaďovací nádraží), liniové (hl. silniční komunikace) a bodové.

Výstupem imisního modelu je hodnota koncentrace v referenčních bodech (hl. maximální krátkodobé koncentrace a průměrné roční koncentrace). V závislosti na hustotě sítě referenčních bodů a členitosti terénu je možné koncentrace referenčních bodů extrapolovat do isolinií a výsledky zobrazit jako pásma koncentrací v prostředí geografického informačního systému.

Pro jednotlivá pásma koncentrací odvozená na základě rozptylové studie pak lze výpočet fyzických dopadů obecně formalizovat jako funkci:

$$\text{pásma koncentrace} \times \text{receptor} \times \text{míra citlivosti} \times \text{CR funkce} \quad (1)$$

kde *pásma koncentrace* představuje průměrnou roční (denní) koncentraci příslušné znečišťující látky, *receptor* je četnost receptorů (populace, zemědělských plodin, fasád atd.) v prostoru vymezeném koncentračním pásmem, *míra citlivosti* je (volitelný) faktor zachycující odlišnou míru citlivosti podskupiny receptorů, *CR funkce* je odhadnutý vztah asociace mezi expozicí určitému pásmu koncentrace a odezvou v podobě negativního účinku (nemoc, snížení přírůstku plodin apod.).

Fyzické dopady jsou následně přepočteny na ekonomické škody (externí náklady) pomocí jednotkových hodnot, které byly pomocí oceňovacích metod stanoveny pro jednotlivé kategorie dopadů.

II.I.II. Efekty na lidské zdraví

Vyjdeme-li z výše popsaného přístupu funkce škod, resp. funkce dráhy působení, pak lze výpočet ekonomických dopadů znečišťující látky *i* formalizovat následovně:

⁸ Běžně používané referenční disperzní modely (dle přílohy č. 6 vyhlášky č. 330/2012 Sb. jsou to metodiky SYMOS'97 a ATEM) neumožňují modelovat sekundární polutanty (zejména troposférický ozón), kde je potřeba do modelu zahrnout i procesy chemické transformace působením vnějších činitelů v atmosféře.

$$EC_{AIRi} = \sum_j IC_i \times CRF_j \times pop \times risk_{gr} \times C_{imp,j} \quad (2)$$

kde IC_i je koncentrace (roční/denní) znečišťující látky i , CRF_j je j -tá funkce koncentrace-odezvy pro danou znečišťující látku, tj. 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), pop je ohrožená populace je věkově určená frakce populace pro specifický dopad na zdraví, $risk_{gr}$ je riziková skupina je frakce populace s vyšší citlivostí pro specifický dopad (např. astmatici) a $C_{imp,j}$ je ekonomické ocenění dopadu (odezvy) j -té funkce koncentrace odezvy.

Vstupní data pro výpočet externích nákladů na lidské zdraví, vč. doporučených zdrojů těchto dat, jsou uvedena v následující tabulce.

Tabulka 1 – Vstupní data pro výpočet externích nákladů na lidské zdraví

typ dat	doporučený zdroj
pásma koncentrací znečišťujících látek	rozptylová studie (model)
funkce koncentrace-odezvy	tato metodika (Tabulka 2)
prostorové rozložení populace	ČSÚ (obyvatelé podle základních sídelních jednotek)
věkové složení populace	ČSÚ (avšak dostupné jen po úroveň krajů) / tato metodika (Tabulka 3)
zastoupení rizikových skupin	tato metodika (Tabulka 3)
ekonomické ocenění dopadu	tato metodika (Tabulka 4, Tabulka 5)

Odvození fyzických dopadů

Dominantní pozornost ohledně dopadů znečištěného vnějšího prostředí na zdraví se v současnosti upírá k expozici prachovým částicím a ozónu (i když jsou rovněž zkoumány vlivy dalších plynných znečišťujících látek, jako jsou oxidy dusíku, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, toxické znečišťující látky, zejména těkavé organické látky, polycyklické aromatické uhlovodíky a těžké kovy). V epidemiologické praxi je nicméně, v případě dopravy především z důvodu vysoké míry korelace jednotlivých znečišťujících látek z relativně homogenního dopravního provozu, běžným přístupem pragmatický výběr jednoho polutantu jako reprezentanta komplexních směsí znečišťujících látek pro hodnocení dopadů⁹. V široké shodě odborné komunity jsou za takový indikátor znečištění, které v největší míře odpovídá negativním dopadům na zdraví venkovního znečištění ovzduší, považovány tuhé znečišťující látky (prašný aerosol, zkráceně TZL, angl. PM). Ty se nejčastěji měří (a vyjadřují) jako PM_{10} , tj. množství částic $\leq 10 \mu\text{m}^3$ vzduchu, dále se pro jemnou frakci používá indikátor $PM_{2,5}$ (jemné částice $\leq 2.5 \mu\text{m}^3$). Od efektů reprezentovaných tuhými částicemi je možné oddělit dopady expozice ozónu, vzhledem k zásadně odlišnému původu (atmosférické transformaci vlivem slunečního záření).

S ohledem na výše uvedenou epidemiologickou praxi jsou pro hodnocení externích nákladů atmosférických emisí doporučeny k použití vztahy koncentrace-odezvy pro dopady tuhých znečišťujících látek, reprezentující komplexní směsi znečišťujících látek, a dále vztahy koncentrace-

⁹ srov. např. WHO (2013).

odezvy pro ozón, které reprezentují dodatečné transformační procesy v atmosféře (a tedy i poměrně rozsáhlejší oblast působení), včetně „zprostředkování“ vlivu významných polutantů z dopravního provozu, které jsou prekurzory ozónu (zvl. NO₂ a VOC).

V následující tabulce jsou uvedeny doporučené vztahy koncentrace-odezvy pro dopady tuhých znečišťujících látek frakcí PM₁₀ a PM_{2.5} a ozónu. Vztahy koncentrace-odezvy jsou vyjádřeny jako relativní riziko, proto je ve třetím sloupci uvedena míra základní incidence/prevalence daného dopadu v (sub)populaci; dále je uvedena věková skupina a část populace, pro něž je funkční vztah vymezen. Pro některé z dopadů jsou míry incidence/prevalence doplněny o původní české údaje z veřejně dostupných statistik (čtvrtý sloupec); tyto hodnoty mohou být použity namísto výchozích hodnot uvedených ve třetím sloupci. Poslední sloupec názorně demonstruje velikost dopadu při zvýšené expozici o 10 µg/m³ příslušné znečišťující látky. Optimálním postupem pro výpočet dopadů expozice PM_{2.5} v podobě chronické úmrtnosti je výpočet pomocí úmrtnostních tabulek, který je nicméně relativně výpočetně náročný. Proto je tento postup popsán v příloze této metodiky a v tabulce je uvedena hodnota odvozená pro jednorázové (roční) snížení koncentrace PM_{2.5} o 1 µg/m³, přičemž pro citlivostní analýzu je doporučeno použít 95% interval spolehlivosti ±20 let.

U účinků na zdraví v podobě medikace/užití bronchodilatátoru, hospitalizace s respiračními chorobami (O₃) a příznaky onemocnění dolních cest dýchacích u dětí (O₃) jsou dolní meze intervalu spolehlivosti záporné, což ukazuje na statisticky nesignifikantní odhady relativního rizika na zvolené hladině statistické významnosti. I přes (zpravidla) malý podíl těchto dopadů na celkových odhadech externích nákladů atmosférických emisí, je vhodné tyto nejistoty zohlednit v citlivostní analýze.

Tabulka 2 - Funkce koncentrace-odezva pro tuhé částice (PM₁₀ a PM_{2,5}) a ozon

účinek na zdraví	relativní riziko	požadová míra četnosti účinku	regionalizace požadové míry	věková skupina	populace	funkční vztah pro dopad
PM_{2,5}						
úmrtnost (všechny příčiny)	6% (95% CI: 2%, 11%) při změně o 10 µg/m ³ PM _{2,5}	(výpočet z úmrtnostních tabulek)		dospělí 30 let a starší	obecná populace	125.5 let (95% CI: 105.5; 145.5) na 100 000 obyvatel při snížení o 1 µg/m ³ u PM _{2,5} za rok
dny s omezenou aktivitou (RAD)	4.75% (95% CI: 4.17%, 5.33%) při změně o 10 µg/m ³ PM _{2,5}	1 900 000 RAD za 100 000 osob ve věku 18-64 za rok		18-64 let	obecná populace	90 200 (95% CI: 79 200; 101 300) dodatečných RAD na zvýšení o 10 µg/m ³ u PM _{2,5} na 100 000 dospělých ve věku 18-64 (obecná populace) za rok
dny pracovní neschopnosti (WLD)	4.6% (95% CI: 3.9%, 5.3%) nárůst na 10 µg/m ³ PM _{2,5}	450 000 WLD na 100 000 osob ve věku 15-64 za rok		15-64 let	obecná populace	20 700 (95% CI: 17 600; 23 800) dodatečných WLD na zvýšení o 10 µg/m ³ u PM _{2,5} na 100 000 dospělých ve věku 15-64 v obecné populaci za rok
dny s mírně omezenou aktivitou (MRAD)	7.4% (95% CI: 6.0%, 8.8%) při změně o 10 µg/m ³ PM _{2,5}	780 000 MRAD za 100 000 zaměstnaných osob ve věku 18-64 za rok		18-64 let	obecná populace	57 700 (95% CI: 46 800, 68 600) dodatečných MRAD na zvýšení o 10 µg/m ³ u PM _{2,5} na 100 000 dospělých ve věku 18-64 (obecná populace) za rok
PM₁₀						
Dětská úmrtnost (ponovorozenecká)	4% (95% CI: 2%, 7%) při změně o 10 µg/m ³ PM ₁₀	145 ponovorozeneckých úmrtí za 100 000 živě narozených	103 úmrtí na 100 000 živých porodů	1 měsíc až 1 rok	obecná populace	5.8 (95% CI: 2.9, 10.2) ponovorozeneckých úmrtí na 10 µg/m ³ PM ₁₀ za 100 000 živě narozených, za rok

METODIKA KVANTIFIKACI EXTERNALIT Z DOPRAVY

účinek na zdraví	relativní riziko	požadová míra četnosti účinku	regionalizace požadové míry	věková skupina	populace	funkční vztah pro dopad
Nové případy chronické bronchitidy	22% (95% CI: 2%, 38%) při změně o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	390 nových případů ročně na 100 000 dospělých vystavených riziku (upraveno o remisi – podíl remise 56.2%)	274 nových případů na 100 000 obyvatel	dospělí ve věku 18 let a více	dospělí bez příznaků (90% populace)	86 (95% CI 7.8; 150) nových případů při zvýšení o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} na 100 000 dospělých ve věku 18 let a více, za rok
hospitalizace s chorobami srdce	0.6% (95% CI: 0.3%, 0.9%) při změně o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	723 akutních hospitalizací s chorobami srdce na 100 000 osob, všech věků, za rok	858 hospitalizací na 100 000 obyvatel	všechny věkové skupiny	obecná populace	4.3 (95% CI: 2.2, 6.5) dodatečných akutních hospitalizací s chorobami srdce při zvýšení o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} na 100 000 osob (všech věků) za rok
hospitalizace s respiračními chorobami	0.9% (95% CI: 0.7%, 1.0%) při změně o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	617 hospitalizací s respiračními chorobami na 100 000 osob, všech věků, za rok	1 325 hospitalizací na 100 000 obyvatel	všechny věkové skupiny	obecná populace	5.6 (95% CI: 4.3, 6.2) dodatečných akutních hospitalizací s respiračními chorobami při zvýšení o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} na 100 000 osob (všech věků) za rok
medikace/užití bronchodilatátoru u dětí	0.4% (95% CI: -1.7%, 2.6%) při změně o $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	10% průměrná denní prevalence užití bronchodilatátoru u dětí (astmatici dle PEACE kritérií)		5-14 let	děti s astmatem (14.4% dětí ve věku 5-14 v EU27 má astma)	14 600 (95% CI: -62 050; 94 900) dodatečných dní užití bronchodilatátoru při zvýšení o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} na 100 000 dětí ve věku 5-14 let s astmatem, za rok
medikace/užití bronchodilatátoru (dospělí astmatici)	0.5% (95% CI: -0.5%, 1.5%) při změně o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	požadová pravděpodobnost užití bronchodilatátoru 0.5 denního užívání u dospělých 20+		dospělí ve věku 20 let a více	dospělí s astmatem (10.2% dospělých ve věku 20+)	91 300 (95% CI: -91 300; 274 000) dodatečných dní užití bronchodilatátoru při zvýšení o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} na 100 000 dospělých ve věku 20 a více s rozvinutým astmatem, za rok

účinek na zdraví	relativní riziko	požadová míra četnosti účinku	regionalizace požadové míry	věková skupina	populace	funkční vztah pro dopad
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích vč. kašle u dětí	3.4% (95% CI: 1.7%,5.1%) při změně o 10 µg/m ³ PM ₁₀	15% průměrná denní prevalence nemocí dolních cest dýchacích (celoroční úroveň) u dětí		5-14 let	obecná populace	186 000 (95% CI: 93 100; 279 000) dodatečných dní s příznaky onemocnění dolních cest dýchacích při zvýšení o 10 µg/m ³ PM ₁₀ na 100 000 dětí ve věku 5-14, za rok
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích vč. kašle u symptomatických dospělých	1.2% (95% CI: 0.1%,2.2%) při změně o 10 µg/m ³ PM ₁₀	30% průměrná denní prevalence nemocí dolních cest dýchacích u symptomatických dospělých		dospělí	dospělí s chronickými respiračními příznaky (30% dospělých)	131 000 (95% CI: 11 000; 241 000) dodatečných dní s příznaky onemocnění dolních cest dýchacích při zvýšení o 10 µg/m ³ PM ₁₀ na 100 000 dospělých s chronickými respiračními příznaky, za rok
Ozón						
úmrtnost (všechny příčiny)	0.3% (95% CI: 0.1%,0.4%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	920 úmrtí za 100 000 populace	1 017 úmrtí na 100 000 obyvatel	všechny věkové skupiny	obecná populace	2.8 (95% CI: 0.92; 3.7) dodatečných úmrtí (nebo ztracených let) při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 osob (všech věkových skupin), za rok
hospitalizace s respiračními chorobami	0.5% (95% CI: -0.2%,1.2%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃ (8-h denní průměr)	2496 hospitalizací na 100 000 dospělých ve věku 65+	1 940 hospitalizací na 100 000 obyvatel 65+ věku	dospělí ve věku 65 let a starší	obecná populace	12.5 (95% CI: -5.0; 30.0) dodatečných akutních hospitalizací s respiračními chorobami při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 obyvatel ve věku 65+, za rok
medikace/užití bronchodilatátoru u dětí	21% (95% CI: 2.9%,39%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	40% průměrná denní prevalence užití bronchodilatátoru u astmatických dětí. 292,000 (0.8%) dnů s rizikem na 100 000 dětí (obecná populace)		5-14 let	obecná populace	24 500 (95% CI: 3 400; 45 600) dodatečných dní užití bronchodilatátoru při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 dětí ve věku 5-14 (obecná populace), za rok

účinek na zdraví	relativní riziko	požadová míra četnosti účinku	regionalizace požadové míry	věková skupina	populace	funkční vztah pro dopad
medikace/užití bronchodilatátoru u dospělých s astmatem	0.6% (95% CI: -0.2%,1.4%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	průměrná denní prevalence 32% pro užití bronchodilatátoru v letních měsících		dospělí ve věku 20 let a více	dospělí s astmatem (10.2% dospělých ve věku 20+)	70 100 (95% CI: -23 400; 164 000) dodatečných dní užití bronchodilatátoru při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 dospělých ve věku 20 a více s perzistentním astmatem, za rok
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích vyjma kašle u dětí	3.0% (95% CI: -7.9%,15%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	1.5% průměrná denní prevalence nemocí dolních cest dýchacích vyjma kašle v obecné dětské populaci (letní úroveň)		5-14 let	obecná populace	16 000 (95% CI: -43 000; 82 000) dodatečných dní s příznaky onemocnění dolních cest dýchacích (vyjma kašle) při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 dětí ve věku 5-14, za rok
dny s kašlem u dětí	4.7% (95% CI: -0.9%,11%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	5.4% průměrná denní prevalence kašle v obecné dětské populaci (letní úroveň)		5-14 let	obecná populace	93 000 (95% CI: -17 700; 217 000) dodatečných dní s kašlem při zvýšení o 10 µg/m ³ u O ₃ na 100 000 dětí ve věku 5-14, za rok
dny s mírně omezenou aktivitou (MRADs)	1.48% (95% CI: 0.57%, 2.38%) při změně o 10 µg/m ³ O ₃	780 000 MRADs na 100 000 pracujících osob ve věku 18-64, za rok		18-64 let	obecná populace	11 500 (95% CI: 4 400; 18 600) dodatečných MRADs na 10 µg/m ³ O ₃ na 100 000 dospělých ve věku 18-64 (obecná populace) za rok

Pozn.: CI – interval spolehlivosti.

Zdroj: upraveno z IOM/TNO/JRC (2011)

Zastoupení věkových skupin v populaci lze odvodit z demografických tabulek o věkovém složení populace, které pravidelně publikuje Český statistický úřad (ČSÚ). Níže jsou uvedeny relativní a absolutní podíly věkových skupin na celkové populaci ČR dle stavu v polovině roku 2012. Rozlišení věkových skupin podle pohlaví není obvykle uvažováno¹⁰.

Tabulka 3 – Zastoupení věkových skupin v populaci a rizikových skupin

věková skupina	relativní podíl	absolutní počet
celá populace	100%	10 509 286
dospělí ve věku 15-64 let	68.7%	7 224 196
dospělí ve věku 18-64 let	66.0%	6 937 026
dospělí ve věku 20 let a více	80.2%	8 432 911
dospělí ve věku 27 let a více	71.2%	7 486 771
dospělí ve věku 30 let a více	67.1%	7 051 018
dospělí ve věku 65 let a více	16.5%	1 734 367
dospělí nad 15 let	84.4%	8 867 641
děti ve věku 5-14 let	9.2%	964 564
novorozenci	1.0%	108 724
děti ve věku 0-14 let	14.8%	1 550 723
riziková skupina	relativní podíl	
děti (PEACE příznaky astma)*	14.4%	
dospělí (chronické resp. příznaky)*	30%	
astmatici*	10.2%	

zdroj: ČSÚ (data za ČR, k 1. 7. 2012), *IOM et al. (2011)

II.I.III. Ocenění dopadů na lidské zdraví

Ekonomické ocenění vychází z konceptu ochoty platit za vyhnutí se zdravotnímu dopadu, resp. za změnu délky dožití. S ohledem na netržní charakter statku „lidské zdraví“ a výrazné zapojení veřejných zdrojů prostřednictvím zdravotních a sociálních systémů se vedle samotného ocenění ztráty užítka pro jedince do celkové ekonomické hodnoty započítávají i náklady léčení a ztráta produktivity.

Tabulka 4 uvádí původní odhady ocenění dopadů pro ČR, které byly shromážděny v průběhu let 2004 – 2012 v několika empirických šetřeních realizovaných na řešitelském pracovišti. Tyto hodnoty nicméně pokrývají pouze část zdravotních účinků, pro něž uvádí Tabulka 2 výše vztahy expozice-odezva.

¹⁰ Rozlišení zdravotních dopadů podle pohlaví se (vedle kvantifikace dopadů na chronickou mortalitu popsané příloze) používá u kvantifikace dopadů expozice environmentálnímu tabákovému kouři ve vnitřním prostředí budov v souvislosti s rizikem rakoviny plic.

Tabulka 4 - Jednotkové ocenění dopadů na zdraví dle studií realizovaných v ČR

zdravotní účinek	Kč ₂₀₁₂ za případ (rok)
zvýšené riziko úmrtí - VOLY - chronické	459 000
chronická bronchitida	770 000
hospitalizace s respiračními chorobami	8 300
den s omezenou aktivitou	1 030
den s mírně omezenou aktivitou	300
akutní respirační příznaky u dětí	615
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích	435
medikace/užití bronchodilatátoru u astmatiků	830
dny s kašlem	300
dny pracovní neschopnosti	3 100

Zdroj: COŽP UK (2005), Braun Kohlová a Ščasný (2008), Máca a kol. (2011)

Pro ocenění ostatních zdravotních účinků uvádí Tabulka 5 souhrnně centrální hodnoty převzaté z poslední revize metodiky ExternE (Hunt a kol., 2011) v Euro (a rovněž v přepočtu na hodnotu v Kč cenové úrovně roku 2012). Uvedeny jsou zde hodnoty pro všechny zdravotní účinky, které uvádí Tabulka 2 – tyto hodnoty lze použít namísto hodnot, které uvádí Tabulka 4, pro citlivostní analýzu.¹¹

Tabulka 5 – Jednotkové ocenění dopadů na zdraví dle metodiky ExternE (střední hodnoty)

zdravotní účinek	EUR ₂₀₁₀ za případ (rok)	Kč ₂₀₁₂ za případ (rok)	zdroj
zvýšené riziko úmrtí (kojenci)	2 475 000	47 223 000	Holland et. al. (2005)
chronická bronchitida	60 000	1 144 800	Krupnick and Cropper (1992)
zvýšené riziko úmrtí (VOLY – chronické)	60 000	1 144 800	Alberini et. al. (2006); Desaignes et. al. (2011)
hospitalizace s respiračními chorobami	2 990	57 049	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
hospitalizace s chorobami srdce	2 990	57 049	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
dny pracovní neschopnosti	441	8 414	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
den s omezenou aktivitou	194	3 702	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
den s mírně omezenou aktivitou	57	1 088	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
akutní respirační příznaky u dětí	57	1 088	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích	57	1 088	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
dny s kašlem	57	1 088	Navrud (2001); Holland et. al. (2005)
medikace/užití bronchodilatátoru u astmatiků	80	1 526	Máca et al. (2011)

zdroj: Hunt a kol. (2011), vlastní výpočet

¹¹ Hodnoty z původních českých studií jsou oproti hodnotám převzatým z metodiky ExternE prakticky ve všech případech podstatně nižší. Jedním z možných vysvětlení je způsob přenosu hodnot z metodiky ExternE, který zohledňuje pouze rozdílnou paritu kupní síly, nikoli jiné, často kulturně podmíněné, determinanty ochoty platit.

II.I.IV. Snížení úrody zemědělských plodin

Hodnocení externích nákladů ze změny úrody zemědělských plodin působených atmosférickými emisemi z dopravy vychází z přístupu funkce škody (*impact-pathway approach, IPA*). Předmětem hodnocení jsou škody vyvolané kyselou depozicí a troposférickým ozonem. Hodnocení zahrnuje dodatečné náklady na vápnění zemědělské půdy v důsledku acidifikace. Hodnocení zemědělské komodity jsou pšenice, ječmen, oves, žito, brambory, slunečnice a cukrová řepa.

Pro výpočet externích nákladů na zemědělskou produkci jsou vyžadována následující data:

- pásma ročních koncentrací oxidu siřičitého (SO₂) a přízemního ozonu (O₃) odvozená na základě rozptylové studie;
- rozložení ohrožených zemědělských plodin – pšenice, ječmen, oves, žito, brambory, slunečnice, cukrová řepa – v posuzovaném území;
- určení výnosu jednotlivých zemědělských komodit v daném území;
- identifikace vztahů koncentrace-odezva určující vztah mezi výnosem dané plodiny a úrovní koncentrace SO₂ a O₃;
- stanovení mezinárodních cen hodnocených zemědělských plodin.

Vyjádření celkové změny externích nákladů na zemědělskou produkci lze formalizovat následovně:

$$\Delta EC_{crop} = \left(\sum_i \sum_j IC_i \times C_j \times CRF_j \times P_j \right) + (\Delta V \times P_V) - (\Delta H \times P_H) \quad (3)$$

kde ΔEC_{crop} představuje celkovou změnu externích nákladů na zemědělskou produkci, IC_i jsou roční koncentrace příslušné znečišťující látky v i -tém pásmu koncentrací, C_j je výnos hodnocené j -té plodiny, CRF_j je j -tá funkce koncentrace-odezva pro danou znečišťující látku a plodinu, P_j je mezinárodní cena j -té plodiny, ΔV je dodatečné množství vápenného hnojiva, P_V je cena za jednotku vápenného hnojiva, ΔH je množství dodatečného snížení dusíkatých hnojiv a P_H je cena za jednotku dusíkatého hnojiva.

Stanovení fyzických dopadů

Výpočet fyzických dopadů atmosférického znečištění na zemědělskou produkci je realizován na základě vztahů koncentrace-odezva pro jednotlivé znečišťující látky. Uvedené funkční vztahy jsou doporučeny metodikou ExternE (Bickel a Friedrich, 2005).

Efekty SO₂

Funkční vztah definující efekt SO₂ na změnu výnosu zemědělských plodin předpokládá, že výnos plodin roste v důsledku působení SO₂ v intervalu 0 a 6,8 ppb uvedené látky, od 6,8 výnos klesá. Níže uvedený funkční vztah je použitelný pro odhad změn výnosu pšenice, ječmene, ovsa a cukrové řepy:

$$\Delta y_j = 0.74 \cdot [SO_2] - 0.55 \cdot [SO_2]^2 \quad \text{pro } 0 < [SO_2] < 13.6 \text{ ppb} \quad (4)$$

$$\Delta y_j = 9.35 - 0.69 \cdot [SO_2] \quad \text{pro } [SO_2] > 13.6 \text{ ppb} \quad (5)$$

kde Δy_j je relativní změna výnosu j -té hodnocené plodiny a SO_2 jsou koncentrace SO₂ vyjádřené v ppb.

Efekty přízemního ozonu

Pro hodnocení efektů přízemního ozónu je předpokládán lineární vztah mezi výnosem plodiny a hodnotou expozičního indexu přízemního ozónu AOT40 (*accumulated exposure over a 40 ppb*). Vztah je definován pro růstové období zemědělských plodin a to od května do června. Relativní změna výnosu hodnocených plodin je počítána na základě následujícího funkčního vztahu, který zahrnuje parametr citlivostního faktoru pro jednotlivé plodiny:

$$\Delta y_j = 99.7 - \alpha_j \cdot AOT40 \quad (6)$$

kde Δy_j je relativní změna výnosu *j-té* hodnocené plodiny, α je citlivostní faktor pro *j-tou* plodinu, AOT40 je hodnota expozičního indexu přízemního ozónu AOT40.

Tabulka 6 – Citlivostní faktor pro funkční vztah efektu přízemního ozónu

Druh plodiny	Citlivostní faktor α
cukrová řepa, brambory	0,6
slunečnice	1,2
pšenice	1,7

zdroj: Bickel a Friedrich (2005)

Acidifikace zemědělské půdy

V souvislosti s acidifikací půdního prostředí vlivem zejména acidifikujících látek oxidu siřičitého a oxidu dusíku vyžaduje zemědělská půda dodatečné vápnění. Dodatečné vápnění zemědělských půd lze popsat následujícím funkčním vztahem:

$$\Delta V = 50 \text{ mEq/kg} \cdot A \cdot \Delta D_A \quad (7)$$

kde ΔV je dodatečné množství vápenného hnojiva v kg za rok, A je zemědělská plocha v ha, ΔD_A je roční kyselá depozice v mEq / m² / rok.

Fertilizační efekt depozice dusíku

Dusík patří mezi hlavní živiny vyživující rostliny. Depozice oxidu dusíku na zemědělskou půdu je v tomto ohledu přínosná, snižuje tak nároky na dusíkatá hnojiva používaná zemědělci. Úbytek potřeby dusíkatých hnojiv je vyjádřen funkčním vztahem:

$$\Delta H = 14.0067 \text{ g/mol} \cdot A \cdot \Delta D_N \quad (8)$$

kde ΔH je dodatečné snížení dusíkatých hnojiv v kg za rok, A je zemědělská plocha v ha, ΔD_N je roční depozice dusíku v mEq / m² / rok.

II.I.V. Ocenění škod na zemědělské produkci

V kontextu této metodiky předpokládáme, že posuzované změny jsou ve svém dopadu marginální, nebudou tedy mít vliv na změny cen zemědělských plodin a/nebo hospodářskou praxi zemědělských podniků. Hodnocení vychází z konceptu hrubé hodnoty za využití mezinárodních cen nebo cen na hranicích.

Data o mezinárodních cenách zemědělských plodin lze převzít např. od Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organisation, FAO), kde v sekci statistiky FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/>) lze nalézt mezinárodní ceny pro jednotlivé zemědělské komodity. Mezinárodní ceny pro hodnocené komodity uvádí Tabulka 6, v níž jsou porovnány mezinárodní ceny používané v metodice ExternE a průměrné roční ceny uváděné FAOSTAT.

Tabulka 7 – Ceny zemědělských komodit

zemědělská plodina	ExternE		Průměrné roční ceny dle FAOSTAT za rok 2011
	EURO/tunu (ceny 2000)	Kč/tunu (ceny 2012)	Kč/tunu (ceny 2012)
slunečnice	273	6 591	10 601
pšenice	137	3 307	4 847
brambory	113	2 728	4 269
žito	99	2 390	4 893
oves	132	3 187	3 816
ječmen	93	2 245	4 687
cukrová řepa	64	1 545	729

zdroj: Bickel a Friedrich (2005), FAOSTAT

II.I.VI. Znehodnocení kovových, stavebních a nátěrových materiálů

Hodnocení externích nákladů znehodnocení venkovních materiálů vlivem atmosférických emisí z dopravy vychází opět z přístupu funkce škody. Jedná se tedy o místně specifické ocenění externích nákladů v této kategorii dopadů. Předmětem hodnocení jsou dopady oxidu siřičitého na venkovní konstrukční, stavební a nátěrové materiály. Hodnocené jsou stavební materiály, vápenec a pískovec. Funkční vztahy znehodnocení pro pískovec jsou také použitelné pro omítku a maltu. Dalšími hodnocenými materiály jsou zinek, galvanizovaná ocel a nátěrové povlaky.

Pro výpočet externích nákladů ze znehodnocení venkovních materiálů jsou vyžadovány následující data:

- pásma ročních koncentrací oxidu siřičitého (SO₂) odvozená na základě rozptylové studie;
- rozložení ohrožených materiálů vycházející z inventarizace exponovaných materiálů (druh, objem, resp. vnější plocha materiálů) v posuzovaném území;
- určení průměrných ročních klimatologických údajů – teplota, relativní vlhkost, úhrn srážek – pro sledované území;

- identifikace vztahů znehodnocení, tj. dávka-účinek určující vztah mezi venkovní koncentrací SO₂ a úbytky, resp. korozními úbytky materiálů. Převedení funkce znehodnocení do tvaru vyjadřující četnost obnovy materiálu;
- stanovení doby životnosti jednotlivých druhů materiálů a kritických hodnot úbytku, při kterých je vyžadována oprava nebo obnova materiálu;
- stanovení jednotkových nákladů na údržbu / obnovu hodnocených materiálů.

Vyjádření celkové změny externích nákladů ze znehodnocení materiálů lze formalizovat následovně:

$$\Delta EC_{material} = \sum_i \sum_j IC_i \times M_{ij} \times [1/t]_j \times RC_j \quad (9)$$

kde $\Delta EC_{material}$ představuje celkovou změnu externích nákladů ze znehodnocení venkovních materiálů vlivem změny znečištění, IC_i je změna ročních koncentrací SO₂ v *i-tém* pásmu koncentrací, M_{ij} je plocha *j-tého* materiálu v *i-tém* pásmu koncentrací SO₂, $[1/t]_j$ je odvozená funkce četnosti obnovy *j-tého* materiálu z funkce znehodnocení, RC_j jsou jednotkové náklady na 1 m² plochy údržby, resp. obnovy *j-tého* materiálu.

Hodnocení vlivu účinků atmosférického znečištění na materiály

Hodnocení účinku atmosférického znečištění na venkovní materiály je realizováno na základě odvozených funkčních vztahů dávka-účinek. Funkce znehodnocení formalizují vztah mezi venkovní koncentrací jednotlivé znečišťující látky a úbytky, resp. korozními úbytky materiálů. Empirické funkční vztahy byly odvozeny zejména pro oxid siřičitý. Uvedené funkční vztahy pro SO₂ jsou doporučeny metodikou ExternE (Bickel a Friedrich, 2005).

Stavební materiály

Pro stavební materiály – vápenc a pískovec – jsou hodnoceny úbytky materiálu na základě následujících funkčních vztahů. Funkce znehodnocení pro vápenc je následující:

$$R = (2.7 \cdot [SO_2]^{0.48} \cdot e^{-0.018 \cdot T} + 0.019 \cdot Rain \cdot [H^+]) \cdot t^{0.96} \quad (10)$$

kde R značí úbytky vápence v μm , $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO₂ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, T je roční průměrná teplota v $^{\circ}\text{C}$, $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm, H^+ jsou koncentrace vodíkového iontu ve srážkách v mg/l, t je doba expozice v letech.

Uvedenou funkci znehodnocení lze převést do tvaru vyjadřující četnost obnovy materiálu, který je vhodný pro výpočet odpovídajících nákladů obnovy materiálu. Pro vápenc je funkce četnosti obnovy následující:

$$1/t = [(2.7 \cdot [SO_2]^{0.48} \cdot e^{-0.018 \cdot T} + 0.019 \cdot Rain \cdot [H^+])/R]^{1/0.96} \quad (11)$$

kde $1/t$ značí četnost obnovy vápence a R pak vyjadřuje kritickou hodnotu úbytku vápence v μm , při které je vyžadována obnova tohoto materiálu.

Pro degradaci pískovce platí následující funkce znehodnocení:

$$R = (2.0 \cdot [SO_2]^{0.52} \cdot e^{f(T)} + 0.028 \cdot Rain \cdot [H^+]) \cdot t^{0.91} \quad (12)$$

kde R značí úbytky pískovce v μm , $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO_2 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. $f(T)$ vyjadřuje funkci roční průměrné teploty v $^\circ\text{C}$, kdy hodnota této funkce je rovna 0, pokud T je nižší než 10°C , nebo $-0.013 \cdot (T-10)$, pokud je T vyšší než 10°C . $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm , H^+ jsou koncentrace vodíkového iontu ve srážkách v mg/l , t je doba expozice v letech.

Uvedené funkci znehodnocení odpovídá následující rovnice četnosti obnovy pískovce:

$$1/t = [(2.0 \cdot [SO_2]^{0.52} \cdot e^{f(T)} + 0.028 \cdot Rain \cdot [H^+])/R]^{1/0.91} \quad (13)$$

kde $1/t$ značí četnost obnovy pískovce a R pak vyjadřuje kritickou hodnotu úbytku pískovce v μm , při které je vyžadována obnova tohoto materiálu.

Funkční vztah znehodnocení pískovce je možné použít pro další typy kamenných materiálů jako je omítka či malta.

Zinek a galvanizovaná ocel

Pro degradaci zinku byl odvozen následující funkční vztah:

$$ML = 1.4 \cdot [SO_2]^{0.22} \cdot e^{0.018 \cdot Rh} \cdot e^{f(T)} \cdot t^{0.85} + 0.029 \cdot Rain \cdot [H^+] \cdot t \quad (14)$$

kde ML značí korozní úbytky zinku v g/m^2 , $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO_2 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Rh je roční průměrná relativní vlhkost vzduchu v $\%$. $f(T)$ vyjadřuje funkci roční průměrné teploty v $^\circ\text{C}$, kdy hodnota této funkce je rovna $0.62 \cdot (T-10)$, pokud T je nižší než 10°C , nebo $-0.021 \cdot (T-10)$, pokud je T vyšší než 10°C . $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm , H^+ jsou koncentrace vodíkového iontu ve srážkách v mg/l , t je doba expozice v letech.

Odhad funkce četnosti obnovy zinku z funkce znehodnocení je:

$$1/t_e = (0.14 \cdot [SO_2]^{0.26} \cdot e^{0.021 \cdot Rh} \cdot e^{f(T)})/R^{1.18} + (0.041 \cdot Rain \cdot [H^+])/R \quad (15)$$

kde $1/t_e$ značí četnost obnovy zinku. $f(T)$ vyjadřuje funkci roční průměrné teploty v $^\circ\text{C}$, kdy hodnota této funkce je rovna $0.73 \cdot (T-10)$, pokud T je nižší než 10°C , nebo $-0.025 \cdot (T-10)$, pokud je T vyšší než 10°C . R pak vyjadřuje kritickou hodnotu úbytku zinku v μm , při které je vyžadována obnova tohoto materiálu.

Nátěrové povlaky

Znehodnocení nátěrových povlaků na oceli a galvanizované oceli lze popsat následujícím funkčním vztahem:

$$(10 - ASTM) = (0.33 \cdot [SO_2] \cdot +0.013 \cdot Rh + f(T) + 0.0013 \cdot Rain) \cdot t^{0.41} \quad (16)$$

kde ASTM měří znehodnocení nátěru jako přilnavost nátěru podle normy ASTM D 1150-55, na stupnici od 1 do 10, kdy hodnota 10 odpovídá neexponovanému vzorku. $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO_2 v $\mu g/m^3$, Rh je roční průměrná relativní vlhkost vzduchu v %. $f(T)$ vyjadřuje funkci roční průměrné teploty v $^{\circ}C$, kdy hodnota této funkce je rovna $0.15 \cdot (T-11)$, pokud T je nižší než $11^{\circ}C$, nebo $-0.15 \cdot (T-11)$, pokud je T vyšší než $11^{\circ}C$. $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm, t je doba expozice v letech.

Funkční vztah znehodnocení nátěrů lze opět vyjádřit jako funkci četnosti obnovy nátěru při limitní hodnotě ASTM = 5:

$$1/t = [(0.33 \cdot [SO_2] \cdot +0.013 \cdot Rh + f(T) + 0.0013 \cdot Rain)/5]^{1/0.41} \quad (17)$$

kde $1/t$ značí četnost obnovy nátěru.

Pro alkydové nátěry na galvanizované oceli platí funkční vztah:

$$(10 - ASTM) = (0.0084 \cdot [SO_2] \cdot +0.015 \cdot Rh + f(T) + 0.0082 \cdot Rain) \cdot t^{0.43} \quad (18)$$

kde ASTM měří přilnavost nátěru na stupnici od 1 do 10, $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO_2 v $\mu g/m^3$, Rh je roční průměrná relativní vlhkost vzduchu v %. Vztah $f(T)$ vyjadřuje funkci roční průměrné teploty v $^{\circ}C$, kdy hodnota této funkce je rovna $0.040 \cdot (T-10)$, pokud T je nižší než $10^{\circ}C$, nebo $-0.064 \cdot (T-10)$, pokud je T vyšší než $10^{\circ}C$. $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm, t je doba expozice v letech.

Funkční vztah znehodnocení alkydových nátěrů lze vyjádřit jako funkci četnosti obnovy nátěru při limitní hodnotě ASTM = 5:

$$1/t = [(0.0084 \cdot [SO_2] \cdot +0.015 \cdot Rh + f(T) + 0.0082 \cdot Rain)/5]^{1/0.43} \quad (19)$$

kde $1/t$ značí četnost obnovy nátěru.

Pro nátěrové hmoty na bázi uhlíku byla odvozena následující funkční závislost:

$$R = 0.12 \cdot (1 - e^{-0.121 \cdot Rh/(100-Rh)}) \cdot [SO_2] + 0.0174 \cdot Rain \cdot [H^+] \quad (20)$$

kde R značí úbytek nátěrové hmoty v μm , Rh je roční průměrná relativní vlhkost vzduchu v %, $[SO_2]$ jsou průměrné roční koncentrace SO_2 v $\mu g/m^3$, $Rain$ je průměrné roční množství srážek v mm, H^+ jsou koncentrace vodíkového iontu ve srážkách v mg/l.

Funkční vztah četnosti obnovy tohoto nátěru lze z uvedené funkce znehodnocení vyjádřit následovně:

$$1/t = (0.12 \cdot (1 - e^{-0.121 \cdot Rh/(100-Rh)}) \cdot [SO_2] + 0.0174 \cdot Rain \cdot [H^+]) / R_{crit} \quad (21)$$

kde $1/t$ značí četnost obnovy nátěru, R_{crit} vyjadřuje kritickou hodnotu úbytku nátěrové hmoty v μm , při které je vyžadována obnova.

Četnosti opravy materiálů

Funkční vztahy znehodnocení pro jednotlivé typy posuzovaných materiálů, které vyjadřují úbytek materiálu, je nutné převést do tvaru vyjadřující četnost opravy nebo obnovy materiálu. Pro jednotlivé druhy materiálu metodika ExternE doporučuje kritické hodnoty úbytku, při kterých je vyžadována oprava nebo obnova materiálu. Tyto kritické hodnoty lze dosadit do odvozených funkčních vztahů pro výpočet četnosti obnovy materiálu. Doporučené kritické hodnoty uvádí Tabulka 8.

Tabulka 8 – Kritické hodnoty ztráty tloušťky materiálu

Materiál	kritické hodnoty ztráty tloušťky materiálu
přírodní kámen	4 mm
omítka	4 mm
malta	4 mm
zinek	50 μm
galvanizovaná ocel	50 μm
nátěrová hmota	50 μm

zdroj: Bickel a Friedrich (2005)

Stanovení cen údržby a obnovy materiálů

Ekonomické hodnocení znehodnocení venkovních materiálů vlivem atmosférického znečištění by ideálně mělo vycházet z konceptu WTP, resp. WTA. V případě nedostupnosti studií, které poskytují místně specifické odhady, je možné použít náklady na údržbu / obnovu posuzovaných materiálů. Jedná se o náklady na obnovu původního stavu a podmínek poškozené budovy, tj. náklady na čištění a opravy škod vzniklých znečištěním ovzduší.

Náklady na údržbu / obnovu původního stavu lze relativně jednoduše odvodit z tržních cen materiálů. Tabulka 9 uvádí doporučené náklady na údržbu pro jednotlivé druhy materiálů metodikou ExternE (Preiss a Klotz, 2008). Dále jsou zde uvedeny místně specifické hodnoty pro ČR, které byly odhadnuty v projektu VaV MŽP „Externí náklady výroby elektřiny a tepla v podmínkách ČR a metody jejich internalizace“ (COŽP UK, 2005). Hodnoty byly přepočteny pomocí indexu cen stavebních prací (ČSÚ 2013) na rok 2012.

Tabulka 9 – Náklady údržby pro jednotlivé druhy materiálů

Materiály	ExternE		Data pro ČR (expertní odhad)
	EURO/m ² (ceny 2000)	Kč/m ² (ceny 2012)	Kč/m ² (ceny 2012)
přírodní kámen	245	5 915	8 028
barvy	11	266	112
zinek	22	531	781
vápenec	245	5 915	8 028

pískovec	245	5 915	8 028
omítka/opláštění	27	652	446
malta	27	652	558
galvanizovaná ocel	cca 30 (národní odlišnosti, 14-45)	cca 724 (338-1 086)	781

zdroj: Preiss a Klotz (2008), COŽP UK (2005)

II.I.I. Dopady emisí skleníkových plynů

Změna klimatu působí řadu efektů, od změny výnosů v zemědělství a přírůstu dřevní hmoty v lesích, invaze a expanze nakažlivých chorob, nepůvodních druhů, vyšší míru úmrtnosti v důsledku extrémních teplot nebo jiných extrémních události jako jsou větrné bouře, záplavy, ekonomické a sociální efekty vyvolané migrací obyvatel, nebo v důsledku realizace adaptivních opatření (na infrastrukturu apod.).

V současnosti se pro oceňování externích nákladů změny klimatu nejčastěji používají přístupy **mezních společenských škod/externích nákladů** (*social costs of carbon*) a **přístup (mezních) nákladů na zamezení**.

Vedle odhadů vycházejících z jednoho z možných přístupů se rovněž lze setkat s odhady, které byly odvozeny zkombinováním odhadů nákladů škod a nákladů na zamezení. Takový přístup zvolili autoři britské studie Social Cost of Carbon (Watkins et al., 2005) a později byly tyto odhady převzaty i do harmonizované metodiky projektu HEATCO. Doporučené, v čase rostoucí, hodnoty (viz následující tabulka) byly odvozeny s využitím v čase klesající diskontní míry a vážení o rovnost. Shodný přístup k ocenění dopadů změny klimatu byl použit i v evropském projektu GRACE (Lindberg, 2006). Novější evidence z integrovaných modelů hodnocení se od uvedených odhadů zásadním způsobem neliší, proto tyto odhady doporučujeme pro použití při kvantifikaci externích nákladů z emisí skleníkových plynů z dopravy.

Tabulka 10 - Doporučené hodnoty stínových cen emisí skleníkových plynů

rok emise	centrální odhad	pro citlivostní analýzu		centrální odhad	pro citlivostní analýzu	
		spodní odhad	horní odhad		spodní odhad	horní odhad
jednotka	EUR ₂₀₀₂ /t _{CO₂eq}			Kč ₂₀₁₂ /t _{CO₂eq}		
2000 – 2009	22	14	51	500	320	1 160
2010 – 2019	26	16	63	590	365	1 440
2020 – 2029	32	20	81	730	450	1 850
2030 – 2039	40	26	103	910	590	2 350
2040 – 2049	55	36	131	1 255	850	2 990
2050	83	51	166	1 890	1 160	3 790

zdroj: Bickel a kol. (2006)

Pro přepočítání ostatních skleníkových plynů na CO₂ ekvivalent je doporučeno použít příslušný potenciál globálního ohřevu (GWP) – pro metan 23, pro oxid dusný 296, pro CO₂ 1. S cílem zohlednit větší potenciál skleníkového efektu emisí z letectví ve vyšších vrstvách atmosféry je rovněž doporučováno vynásobit emise CO₂ vypuštěné v těchto výškách faktorem 2.

Ve formalizované podobě pak výpočet externích nákladů emisí skleníkových plynů vypadá následovně:

$$EC_{cc} = \sum_i EF_i \times Eq_{CO_2,i} \times C_{CO_2} \quad (22)$$

kde EF_i jsou měrné emise skleníkového plynu i (v g/vkm), $Eq_{CO_2,i}$ je přepočítání na CO₂ ekvivalent (např. pomocí potenciálu globálního ohřevu a event. zohlednění emisí ve vyšších vrstvách atmosféry) a C_{CO_2} je ocenění emise skleníkového plynu (na jednotku CO_{2eq}).

II.II. Externí náklady hluku¹²

Pro odvození externích nákladů hluku jsou, na rozdíl od všech ostatních kategorií dopadů, lépe vypovídající jednotkou průměrné náklady, neboť s ohledem na logaritmické měřítko jednotky hluku – decibelu – mezní externí náklady s rostoucí intenzitou dopravy klesají. Z tohoto důvodu je tento přístup doporučen manuálem Evropské komise pro internalizaci externích nákladů (Maibach et al., 2008) a je uveden i v příloze novely Směrnice o zpoplatnění těžkých nákladních vozidel za užití dopravní infrastruktury¹³, i když diskusi o užití mezních externích nákladů zdaleka nelze považovat za ukončenou.

II.II.I. Odvození dopadů působení hluku

Schematický postup odhadu ekonomických dopadů expozice hluku z dopravy, vycházející z přístupu funkce škody, lze rozdělit do následujících logicky provázaných 5 kroků:

- 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/příspěvků zdrojů hluku v případě více zdrojů) a modelování a/nebo měření disperze hluku;
- odhad změny expozice obyvatel tomuto hluku v příslušných územních jednotkách prostřednictvím relevantních hlukových indikátorů (vyjádřených v dB);
- identifikace (odvození) funkcí expozice-odezva, vyjadřujících příčinný vztah mezi úrovní hluku (vyjádřenou příslušným hlukovým indikátorem) a zdravotními efekty a výpočet celkové úrovně, resp. změny, hlukového dopadu pomocí funkcí expozice-odezva pro stanovení počtu případů u jednotlivých dopadů (např. počet osob silně obtěžovaných hlukem);
- 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
- 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.

Hlukové indikátory

¹² Tato část metodiky vychází z Metodiky oceňování hluku z dopravy (Máca a kol. 2012), vypracované v projektu TranExt a certifikované Ministerstvem dopravy ČR pod č. j. 49/2012-520-TPV/1, je však upravená o doporučení z Autorizačního návodu SZÚ, rozšířena o letecký hluk a jsou aktualizovány hodnoty peněžního ocenění dopadů.

¹³ Viz příloha IIIa směrnice 1999/62/ES v platném znění.

Při hodnocení vlivu hluku ve venkovním prostoru se postupuje podle hodnot hluku vyjádřených v ekvivalentních hladinách akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ (tedy časově integrovaných hodnot hluku) a dalších kritérií ve vazbě na způsob využití území, druh zdroje hluku atd.¹⁴ Podle platných právních předpisů¹⁵ jsou v ČR pro hodnocení vlivu hluku z dopravy ve venkovním prostoru stanoveny hlukové indikátory časově vztahované na:

- 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).

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.

Hodnota těchto hlukových indikátorů může být zjišťována měřením nebo výpočtem. Při použití výpočtových modelů se zpravidla pro kalibraci využívají i výsledky kontrolních měření. 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.¹⁶

II.II.II. Vztahy expozice-odezva

Dlouhodobá expozice hluku je asociována s celou řadou efektů na zdraví a duševní pohodu. Škála dopadů se pohybuje od pocitovaného obtěžování, rušení spánku, narušení denních aktivit a výkonnosti až po fyziologické dopady v podobě ztráty sluchu, zvýšeného krevního tlaku nebo ischemické srdeční choroby¹⁷. Samotná expozice hluku přitom není zdaleka jediným faktorem, který určuje výsledný dopad, podílí se na něm i životní styl (zejména stres), fyzické a společenské prostředí.

Volba použitých vztahů expozice-odezva vychází ze vztahů, které byly použity pro hodnocení zdravotních rizik a zátěže chorobami z expozice hluku ve studii WHO *Burden of Disease from Environmental Noise* (Fritschi et al., 2011) a zahrnuje následující kategorie dopadů (odezvy):

¹⁴ Vyjádření vlivu hluku touto formou není dokonalé, nepříznivé účinky hluku záleží i na jeho dalších vlastnostech, jako je maximální hladina hlukových událostí, jejich frekvence v čase nebo denní době. Pro praktické použití se nicméně pragmaticky předpokládá, 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.

¹⁵ Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

¹⁶ 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.

¹⁷ V akustické epidemiologii jsou rozeznávány 4 dráhy, kterými hluk působí primární efekty: zastření zvuku (rušení řeči), pozornost (rušení soustředěnosti), buzení (rušení spánku) a afektivní/emoční (strach/rozčilení), srov. Miedema (2007)

- obtěžování hlukem (*annoyance*) – jedná se spíše o psychosociální příznak než za klinickou diagnózu 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“;
- rušení spánku - 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.
- kardiovaskulární nemoci – dlouhodobá expozice chronickému hlukovému stresu dle epidemiologických studií asociována se zvýšením rizika kardiovaskulárních chorob, konkrétně akutního infarktu myokardu a hypertenze.

V následující tabulce jsou souhrnně uvedeny funkční vztahy pro odvození podílu osob obtěžovaných hlukem ve třech úrovních (lehce, středně a silně), a pro odvození podílu osob pociťujících silné rušení spánku¹⁸ pro tři zdroje hluku z dopravy – silniční, železniční, a leteckou dopravu.

Tabulka 11 – Vztahy expozice-odezva pro hluk z dopravy

obtěžování hlukem (Miedema & Oudshoorn, 2001)		
podíl alespoň lehce obtěžovaných (<i>slightly annoyed</i> - LA):		
$LA_{sil.} = -6.235 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 32)^3 + 5.509 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 32)^2 + 0.6693 (L_{dvn} - 32)$	[%]	(23)
$LA_{žel.} = -3.229 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 32)^3 + 4.871 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 32)^2 + 0.1673 (L_{dvn} - 32)$	[%]	(24)
$LA_{let.} = -6.158 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 32)^3 + 3.410 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 32)^2 + 1.738 (L_{dvn} - 32)$	[%]	(25)
podíl alespoň středně (<i>annoyed</i> - A) obtěžovaných:		
$A_{sil.} = 1.795 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 37)^3 + 2.110 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 37)^2 + 0.5353 (L_{dvn} - 37)$	[%]	(26)
$A_{žel.} = 4.538 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 37)^3 + 9.482 \times 10^{-3} (L_{dvn} - 37)^2 + 0.2129 (L_{dvn} - 37)$	[%]	(27)
$A_{let.} = 8.588 \times 10^{-6} (L_{dvn} - 37)^3 + 1.777 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 37)^2 + 1.221 (L_{dvn} - 37)$	[%]	(28)
podíl silně obtěžovaných (<i>highly annoyed</i> - HA):		
$HA_{sil.} = 9.868 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 42)^3 - 1.436 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 42)^2 + 0.5118 (L_{dvn} - 42)$	[%]	(29)
$HA_{žel.} = 7.239 \times 10^{-4} (L_{dvn} - 42)^3 - 7.851 \times 10^{-3} (L_{dvn} - 42)^2 + 0.1695 (L_{dvn} - 42)$	[%]	(30)
$HA_{let.} = -9.199 \times 10^{-5} (L_{dvn} - 42)^3 + 3.932 \times 10^{-2} (L_{dvn} - 42)^2 + 0.2939 (L_{dvn} - 42)$	[%]	(31)
rušení spánku (Miedema, Passchier-Vermeer, & Vos, 2003)		
podíl silně rušených ve spánku (<i>highly sleep disturbed</i> - HSD):		
$HSD_{sil.} = 20.8 - 1.05 \times L_n + 0.01486 \times L_n^2$	[%]	(32)
$HSD_{žel.} = 11.3 - 0.55 \times L_n + 0.00759 \times L_n^2$	[%]	(33)
$HSD_{let.} = 18.147 - 0.956 \times L_n + 0.01482 \times L_n^2$	[%]	(34)
kardiovaskulární nemoci		

¹⁸ Vzhledem k předpokládanému sčítání účinků ve formě rušení spánku a obtěžování, a s ohledem na široce formulované otázky na obtěžování hlukem ve standardizovaném socioakustickém dotazníku, je kvantifikace dopadů rušení spánku omezena pouze na dopady silného rušení spánku (a navíc pouze jako dopady na ztrátu produktivity). Obdobný přístup používá např. Mueller-Wenk a Hofstetter (2003).

riziko infarktu myokardu u silničního hluku (Babisch, 2006, 2008)	
$OR = 1.629657 - 0.000613(L_{den,16h})^2 + 0.000007357(L_{den,16h})^3$	(35)
pravděpodobnost výskytu hypertenze u leteckého hluku (Fritschi, Brown, & Kim, 2011)	
$OR = 1.13 L_{dn}$	(36)
Odvození počtu případů lze u vztahů vyjádřených jako podíl pravděpodobnosti (OR) provést následovně:	
$PAR\% = Pe/100 \times (RR-1) / (Pe/100 \times (RR-1) + 1) \times 100$	(37)
kde:	
<i>RR</i> ... relativní riziko	
<i>P_e</i> ... procento exponované populace	
<i>PAR%</i> ... populaci odpovídající riziko	
Populační atributivní frakce (absolutní počet dotčených osob, <i>PAR</i>) se pak odvodí jako:	
$PAR = PAR\% \times N_d$	(38)
kde <i>N_d</i> je počet osob s výskytem choroby ¹⁹ .	

Prahové hodnoty hluku pro kvantifikaci dopadů

Prahové hodnoty představují úroveň hluku, při nichž 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), horní ohraničení je vymezenou hodnotou L_{dvn} 75 dB ve shodě s meta-analýzou uvedených autorů. Poněkud méně jednoznačné je určení prahové hodnoty u rušení hlukem ve spánku, v metaanalýze (Miedema a Vos, 2007) je nicméně uvažováno relativně úzké rozpětí L_n 45-65 dB. Již dříve však byly v pozičním dokumentu pracovní skupiny Evropské komise ke zdraví a socioekonomickým otázkám (EC WGHSEA, 2004) tyto funkční vztahy extrapolovány pro nižší (40-45 dB) i vyšší úrovně (65-70 dB) a v tomto rozsahu je používáno v této metodice. U dopadů v podobě pravděpodobnosti infarktu myokardu je stanoven práh $L_{Aeq,16h}$ 60 dB (Babisch, 2006) a v případě rizika hypertenze z expozice leteckému hluku je uváděn rozsah platnosti L_{dn} 47 až 67 dB (Fritschi et al., 2011).

II.II.III. Ocenění dopadů

U různých dopadů můžeme – obdobně jako u emisí znečišťujících látek – kvantifikovat některé či všechny komponenty celkové ekonomické hodnoty změny blahobytu – tj. náklady na léčení zdravotních dopadů, ztrátu produktivity, averzní výdaje, ztrátu komfortu/pohodlí, případně snížení pravděpodobnosti dožití. V případě kardiovaskulárních onemocnění (akutního infarktu myokardu) jsou do kvantifikace zahrnuty všechny složky (s výjimkou averzních 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 v případě rušení spánku pak (s ohledem na potenciální překryv se subjektivním vnímáním obtěžování hlukem) jen ztráta

¹⁹ Pro stanovení incidence akutního infarktu myokardu (AIM) doporučuje Autorizační návod SZÚ (2012) následující výpočet [na 100 000 obyvatel]:

$AIM_{inc} = [(počet\ hospitalizovaných\ na\ AIM + 0.78 * počet\ zemřelých\ na\ AIM) / počet\ obyvatel] * 100\ 000$

v podobě snížení produktivity. Ocenění rizika předčasného úmrtí v důsledku infarktu myokardu vychází z přístupu roků ztraceného života (*years of life lost – YOLL*)²⁰.

Tabulka 12 – Ocenění účinků hluku na zdraví (cenová úroveň roku 2012)

zdravotní účinek		jednotka	hodnota
obtěžování hlukem	lehké	Kč za osobu a rok	960
	střední		1 920
	silné		3 200
rušení spánku	silné	Kč za ekonomicky aktivní osobu a rok	15 150
riziko infarktu myokardu		Kč za případ	973 600
pravděpodobnost hypertenze		Kč za případ a rok	30 800

II.II.IV. Průměrné externí náklady hluku

Výpočet průměrných externích nákladů hluku lze formalizovat následovně (Maibach et al., 2008):

$$EC_{hluk\ j,m,p} = Pop_{j,m,p} * C_{dB(A)\ m,p} / (Veh * km)_{j,p} \quad (39)$$

kde EC_{hluk} jsou náklady hluku na vozo-kilometr dopravního módu m podél linie j (prostorové hledisko) za období p , Pop je populace vystavená hluku dané intenzity, $C_{dB(A)}$ je ocenění hluku (dB/osobu dle dopravního módu), $Veh * km$ je součin počtu vozidel a délky úseku.

Místně nespecifickým vstupním parametrem je v tomto případě hodnota ocenění hluku $C_{dB(A)}$, v následující tabulce jsou uvedeny hodnoty odvozené podle výše popsanych vztahů pro příslušné hlukové indikátory a dopravní módy.

Tabulka 13 - Externí náklady hluku (v Kč cenové úrovni 2012, na osobu exponovanou dané úrovni hluku a rok)

hluk dB(A)	obtěžování			rušení ve spánku			infarkt myokardu	hypertenze
ocenění	ochota přijmout kompenzaci			ztráta produktivity			mortalita a morbidita	morbidita
frakce populace	celá populace			produktivní populace*			celá populace	celá populace
hlukový indikátor	L _{DVN}			L _N			L _{D(16h)}	L _{DN}
typ hluku	silniční	železniční	letecká	silniční	železniční	letecká	silniční	letecká
40				347	219	548		
41				368	229	585		
42				393	241	627		
43	172	89	296	423	255	673		

²⁰ z dat ČSÚ o úmrtnosti podle příčin bylo odhadnout snížení pravděpodobnosti dožití u mužů o 6,9 let a u žen o 6,8 let.

METODIKA KVANTIFIKACI EXTERNALIT Z DOPRAVY

44	202	99	337	458	272	723		
45	233	116	380	496	291	778		
46	265	133	424	540	312	838		
47	298	152	470	588	336	902		6
48	332	172	517	640	362	970		13
49	368	193	565	696	390	1043		19
50	404	215	615	757	420	1121		25
51	442	239	666	823	453	1203		31
52	480	264	719	893	488	1289		37
53	520	290	772	967	526	1380		43
54	562	318	827	1046	565	1475		49
55	605	347	883	1130	607	1575		55
56	649	378	940	1218	652	1680		60
57	695	410	998	1310	698	1788		66
58	742	444	1058	1406	747	1902		71
59	791	480	1118	1508	799	2020		77
60	841	518	1179	1613	852	2142		82
61	894	557	1241	1723	908	2269	36	88
62	948	599	1304	1838	966	2400	52	93
63	1003	642	1367	1957	1026	2536	70	98
64	1061	688	1432	2080	1089	2676	90	103
65	1121	736	1497	2208	1154	2821	113	109
66	1182	785	1563	2340	1221	2970	138	114
67	1245	837	1629	2477	1291	3124	165	119
68	1311	892	1696	2618	1363	3282	195	
69	1378	948	1764	2764	1437	3445	226	
70	1448	1008	1832	2914	1514	3612	259	
71	1520	1069	1901				293	
72	1594	1133	1970				329	
73	1671	1200	2039				366	
74	1749	1269	2109				403	
75	1831	1341	2179				442	

* Podíl ekonomicky aktivních osob dosahuje zhruba 50 % celkové populace ČR.

II.III. Externí náklady kongescí

Postup kalkulace externích nákladů kongescí je v současnosti plně rozvinut především pro silniční dopravu, pro ostatní dopravní módy mají význam spíše náklady vzácnosti slotů (přístupu k dopravní cestě, terminálům atd.) a náklady zpoždění²¹. Z tohoto důvodu je v metodice uváděno pouze ocenění cestovního času pro mód silniční dopravy²².

Doporučeným východiskem kvantifikace nákladů kongesce v silniční dopravě je následujících 5 kroků (Maibach a kol., 2008):

- 1) klasifikace/inventarizace dopravní sítě (městská/mimoměstská, jedno-/víceproudá). Míra podrobnosti, i v závislosti na velikosti oblasti pro niž jsou náklady kongesce kvantifikovány, může variovat až na úroveň jednotlivých úseků komunikace;
- 2) odvození křivek závislosti rychlosti a provozu pro různé typy dopravních sítí či úseků (linií)²³;
- 3) ocenění úspory cestovního času – zpravidla se uvažuje s různou hodnotou pro různé účely cest (za prací, pracovní, volnočasové atd.), různé dopravní prostředky (osobní automobil, autobus, atd.), délku cesty a určitý stupeň kongesce (zpravidla odpovídající nárůstu času o 50-150 % oproti cestovnímu času ve volném dopravním proudu);
- 4) výpočet funkce mezních externích nákladů na základě křivek závislosti rychlosti a provozu a hodnoty cestovního času. Formalizovaný výpočet mezních externích nákladů pro daný objem dopravy Q je dán jako:

$$MEC_{cong}(Q) = \frac{VOT \times Q}{v(Q)^2} \times \frac{\delta v(Q)}{\delta Q} \quad (40)$$

kde:

MEC_{cong} ... mezní externí náklady kongesce

Q ... objem dopravy (počet vozidel za hodinu)

VOT ... hodnota času

$v(Q)$... funkce závislosti rychlosti a provozu (obvykle vypočtená pomocí modelu);

- 5) odhad elasticit poptávky a typů dopravních reakcí, které lze získat pomocí modelů a specifických charakteristik (účel cesty, hustota sítě apod.). Elasticity vypovídají o změně poptávky v závislosti na změně ceny (tedy zprostředkovaně i cestovního času). V současnosti se pro různé typy cest využívají specifické odhady hodnoty času, tím pádem v závislosti na míře kongesce se odezvy liší podle typu (účelu) cesty.

Ocenění ekonomických přínosů spojených s časovými úsporami při snížení úrovně kongescí jako součásti spotřebitelského přebytku tedy (vedle sklonu funkce závislosti rychlosti a provozu) zásadně závisí na elasticitě poptávky (často pragmaticky uvažované o velikosti 0.5)²⁴.

²¹ Srov. např. Maibach a kol. (2008:28).

²² V rámci rešerše provedené v projektu TB0100MD020 byly nicméně shromážděna i dostupná ocenění cestovního času u ostatních dopravních módů, viz odbornou zprávu projektu.

²³ V dopravně plánovacích modelech běžně používaných v ČR (např. VISUM, EMME/3 či OmniTRANS) jsou tyto vztahy obsaženy.

²⁴ Srov. Bickel a kol. (2006:79).

II.III.I. Ocenění cestovního času a jeho atributů

Oceňování (úspory) cestovního času zůstává i přes rozsáhlý výzkum a empirickou evidenci relativně kontroverzní – např. v otázkách oceňování malých časových úspor (max. jednotky minut) nebo ocenění úspory cestovního času u pracovních/služebních cest. Obecně platným východiskem v oceňování úspory cestovního času přitom je co možná nejširší použití lokálních hodnot (samozřejmě pokud splňují příslušné požadavky na metodickou kvalitu a reprezentativnost)²⁵. Teprve v případě absence těchto hodnot (resp. nemožnosti jejich použití) je doporučeno požit hodnoty odvozené z mezinárodních meta-analýz.

Tabulka 14 - Doporučené oceňovací metody (dle HEATCO)

účel cesty	minimální přístup	optimální přístup
osobní – pracovní	úspora nákladů	Hensherův vzorec
osobní – nepracovní	ochota platit (WTP)	
smluvní nákladní doprava	úspora nákladů	ochota platit (WTP)

V oceňování úspor cestovního času u pracovních cest se v literatuře dominantně využívají dva přístupy – přístup úspory nákladů (*cost savings*) a tzv. Hensherův vzorec (Hensher, 1977)²⁶. Přístup úspory nákladů vychází z předpokladu, že hodnota cestovního času u pracovních cest je rovná mezním hrubým pracovním nákladům (hrubá mzda a režie); předpokládá se přitom implicitně, že pracovní i zboží trh jsou konkurenční, využití produktivního času je nedělitelné (tj. každá minuta je oceněna stejně), veškerá časová úspora je alokována práci, cestovní čas je zcela neproduktivní a zaměstnanci jsou indiferentní mezi prací a cestováním v pracovní době. Přístup úspory nákladů je pragmatický a relativně neproblematický v případě profesionálních řidičů. Dle statistiky ČSÚ dosahovaly hodinové náklady práce v ČR v roce 2012 v průměru 238.15 Kč/hod²⁷.

Pro odvození hodnoty času v osobní dopravě mimo pracovních cest se obvykle používají odhady ochoty platit založené na projevených preferencích (*revealed preferences*) a/nebo na vyjádřených preferencích (*stated preferences*). V poslední době převažuje použití metody výběrového experimentu (*choice experiment*), která se stává víceméně standardním nástrojem přístupu vyjádřených preferencí pro empirické zjišťování ocenění času. Jak v meta-analýze studií na ocenění cestovního času v osobní

²⁵ U odhadů hodnoty času a zejména specifické hodnoty pro různé typy cest (služební, soukromé za nákupy, rekreaci atd.) se ukazují značné rozdíly mezi různými státy, které ve valné míře nejsou dány pouze rozdílnou ekonomickou úrovní (kupní silou), ale rozdílnými preferencemi uživatelů. Podobně se místně specifické ukazují i funkce závislosti rychlosti a provozu, což bývá připisováno jak různým charakteristikám konkrétní infrastruktury, tak i rozdílnému chování účastníků silničního provozu v různých zemích či městech.

²⁶ Hensherův vzorec je intuitivní formalizace užitkové funkce, která uvažuje zisk zaměstnavatele z prodeje produkovaného statku či služby a užitek zaměstnance jako aditivní komponenty pro maximalizaci blahobytu (s omezeným fondem pracovní doby), použití v praxi je nicméně problematické mj. kvůli obtížnému stanovení odpovídajících parametrů podílů úspory cestovního času věnovaného práci, resp. volnočasovým aktivitám.

²⁷ Viz sekce Úplné náklady práce, <http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/p/3112-13>. Tato hodnota dobře koresponduje s odhadem ochoty platit za úsporu času u pracovních cest odhadnutými v projektu TranExt.

dopravě ukazují Wardman a kol. (2012), jsou hodnoty cestovního času získané přístupy vyjádřených preferencí téměř vždy nižší než hodnoty získané na základě projevených preferencí.

V ČR bylo dosud provedeno pouze několik empirických šetření na ocenění cestovního času a v praxi se tak často vychází z hodnot přebíraných ze zahraničí (zvl. z projektu HEATCO, např. v tuzemských pokynech k hodnocení ekonomické efektivity dopravních staveb). Odvození doporučených hodnot ocenění času proto realizujeme kombinací existujících tuzemských odhadů a odhadů z mezinárodních meta-analýz. Přitom vycházíme z následujících zobecněných závěrů mezinárodních studií:

- hodnota úspor cestovního času u dojíždění za prací je vyšší než pro ostatní soukromé účely (dle meta-analýzy Wardmana a kol. cca o 16%);
- hodnoty úspor cestovního času jsou výrazně vyšší pro meziměstskou než pro městskou dopravu;
- hodnoty mají rostoucí tendenci se vzdáleností (elasticita vzdálenosti v rozmezí 0,14 – 0,2);
- ocenění se liší podle módu, uživatelé autobusu mají nižší hodnotu cestovního času;
- hodnoty nepracovního cestovního času z existujících studií ze zemí s tranzitivní ekonomikou jsou ve srovnání s příjmem značně vysoké (predikce z meta-analýzy Wardmana a kol. poskytují hodnoty okolo 33 % mzdy) – zde je třeba zmínit, že původní české odhady (s jedinou výjimkou dálkových volnočasových cest oceňovaných v projektu KITE²⁸) bývají významně nižší než odhady získané přenosem funkce ocenění času ze zahraničních studií.

Hodnoty ocenění cest osobním autem s jiným než pracovním účelem se pohybují v rozmezí cca 55-225 Kč/hod., u dojížděky za prací, pro niž však nejsou k dispozici původní české odhady, pak v rozmezí 100-310 Kč/hod. V případě cest autobusem jsou tyto hodnoty v rozmezí 45-160 Kč/hod. (a opět mírně vyšší hodnoty pro dojížděku, 55-190 Kč/hod., opět zde však nejsou k dispozici původní české odhady). Pro ocenění času v nákladní dopravě je při absenci původních odhadů použita hodnota 95 Kč/tunohodinu, která vychází z hodnot doporučených projektem HEATCO a využívaných v Prováděcích pokynech MD ČR pro hodnocení ekonomické efektivity projektů silničních a dálničních staveb (95.8 Kč/tunohodinu) i v recentním Hodnocení rozvoje dopravní infrastruktury Dopravní sektorové strategie 2. fáze (94.3 Kč/ tunohodinu).

Tabulka 15 - Doporučené prozatímní hodnoty ocenění cestovního času v osobní a nákladní dopravě

sektor / účel		jednotka	osobní/nákladní auto	autobus
osobní doprava	dojížděka – krátká	Kč/hod	100	60
	dojížděka – dlouhá		160	100
	ostatní cesty – krátké		90	50
	ostatní cesty – dlouhé		135	90
	pracovní cesta		238	
nákladní doprava		Kč/ tunohodinu	95	-

²⁸ KITE - A Knowledge Base for Intermodal Passenger Travel in Europe, projekt 6. RP EK, deliverable D7, dostupné z <http://www.kite-project.eu/kite/cms/>.

Tyto hodnoty je nicméně nutné chápat jako provizorní, pro získání konzistentní sady hodnot by bylo potřebné uskutečnění reprezentativního šetření dopravního chování a poptávky obyvatel, resp. firem, které však dosud v ČR nebylo realizováno.

Dále je vhodné zohlednit následující faktory:

- čas čekání a přesezení – projektem HEATCO je doporučován faktor 2.5 (tj. vyhnutí se jednotce času strávené čekáním a/nebo přesezení je ceněno 2.5krát více než shodná úspora času strávená v dopravním prostředku);
- dopady kongesce na spolehlivost a kvalitu:
 - poměr spolehlivosti (reliability ratio)²⁹ – projektem HEATCO je pro cesty autem doporučena hodnota 0.8, která velmi dobře koresponduje s odhady z projektu TranExt, pro cesty hromadnou dopravou je v HEATCO doporučena hodnota 1.4 a konečně pro silniční nákladní dopravu HEATCO doporučuje hodnotu 1.2.
 - pro veřejnou dopravu je doporučena hodnota 1.5 násobku standardní hodnoty cestovního času u cestujících, kteří jsou v přeplněném dopravním prostředku nuceni stát.

²⁹ poměr spolehlivosti je podílem hodnoty spolehlivosti cestovního času (VoR) a hodnoty cestovního času (VoT). Hodnota spolehlivosti cestovního času (VoR) je vyjádřena jako ocenění standardní odchylky cestovního času (typicky 1 minuty). Snížení variability cestovního času o 1 minutu standardní odchylky je pak oceněno hodnotou VoR.

II.IV. Externí náklady nehod

Pojem a klasifikace

Dopravní nehoda je nepředvídaná událost, na níž se podílí alespoň jeden dopravní prostředek a která vede k úmrtí, úrazu osob nebo nikoli zanedbatelné škodě na majetku. Náklady vyvolané nehodami zahrnují produkční faktory užitá při poskytování zdravotní péči, k opravě/obnově materiálních statků, k záznamu a zpracování události policií, justicí a pojišťovnami, dočasná či trvalá ztráta lidské produktivity, materiální (ušlý příjem) a nemateriální újma (psychická a duševní újma a utrpení) obětí nehod. Ve většině případů vychází výpočet z nákladů škod (resp. ekonomických cen u produkčních statků), nemateriální újma je oceněna jako ochota platit.

Za externí náklady nehod jsou považovány ty společenské náklady, které nejsou kryty pojištěním odvozeným na základě 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 dnů³⁰ 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 případě hospitalizace následky rychle ustupují,
- nehody pouze s hmotnou škodou – bez dopadů na zdraví.

Metodický postup

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

- 1) sběr statistických dat o nehodovosti a případné korekce o podhodnocení (zvl. u statistik silničních nehod);
- 2) ocenění rizika/následků nehod (úmrtí, těžký úraz, lehký úraz, škod 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.

Náklady nehod mohou být vyjádřeny v různých měrných jednotkách – náklady na nehodu, na úraz, oběť, nebo pachatele, případně na vozokilometr nebo osobokilometr. Ve formalizované podobě

³⁰ Období 30 dnů představuje pragmaticky nastavenou hranici pro statistické zpracování informací o nehodách a jejich následcích.

výpočet průměrných nákladů nehod za určitý úsek (v tomto případě vozo-kilometr) vypadá následovně (Bickel a kol., 2006):

$$C_{\text{accident}} = \sum_i (r_i \times c_i \times m) \quad (41)$$

kde

i ... jsou dopady nehod (smrtné, 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

V přístupu shora dolů obvykle nejsou zahrnuty 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 zahrnuty ani v této metodice), neboť jsou výsledkem aktuální dopravní situace a dalších místních podmínek (stav vozovky, viditelnost apod.).

Alokace nehod a jejich nákladů bývá obvykle vedena zásadou „znečišťovatel platí“, tj. následky nehody jsou připočteny té kategorii vozidel, která za nehodu odpovídá (zpravidla dle policejních statistik). Méně často se používá alokace podle toho, komu ve skutečnosti náklady v důsledku nehody vznikají (monitorovací princip).

Výše externích nákladů nehod je dále podmíněna tím, z jaké perspektivy jsou tyto náklady hodnoceny – zda z perspektivy uživatelů dopravy nebo z hlediska dopravního systému. Z hlediska uživatelů dopravy jsou to všechny náklady, které nejsou uhrazeny osobou odpovědnou za nehodu (a to bez ohledu na to, zda jsou uhrazeny obětí nehody nebo dopadají na společnost). Z hlediska dopravního systému jsou to pak pouze ty náklady, které dopadají na společnost; náklady dopadající na oběti nehod jsou považovány za interní, neboť tyto osoby jsou rovněž uživateli dopravy (tj. bez ohledu na to, zda jim je škoda uhrazena viníkem).

Další faktor, který je vhodné zohlednit při vyčíslování nákladů nehod je rozdíl mezi počtem nehod evidovaných 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 16 – Průměrné koeficienty pro přepočítání neohlášených silničních nehod

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

Zdroj: HEATCO, (Bickel a kol., 2006)

Ocenění ekonomických dopadů nehod

Oceňování nehod zahrnuje několik typů nákladů – přímé ekonomické náklady, nepřímé ekonomické náklady a hodnotu bezpečnosti samé³¹. 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 snížení toho rizika.

Převažujícím přístupem k oceňování nehod je přístup shora dolů (top-down), který vychází z celkových statistik nehodovosti a uvažuje přímé a nepřímé ekonomické náklady, přičemž pro odvození externích nákladů se odečítá ta část společenských nákladů, která je kryta pojištěním.

Společenské náklady nehod mohou zahrnovat následující položky:

- náklady na léčení,
- náklady substitute (v případě pracovní neschopnosti),
- čistá ztráta produkce,
- hodnota bezpečnosti (*value of safety per se*),
- škody na majetku,
- náklady na policii, integrovaný záchranný systém, soudy, veřejnou správu apod.

Doporučené ocenění dopadů reflektuje rozlišení jednotlivých typů dopadu nehod, tedy smrtelného úrazu, těžkého a lehkého úrazu a nehod pouze s materiálními škodami. Relativně nejméně problematickou kategorií představují dopravní nehody pouze s materiální škodou, kdy přibližná výše škody je součástí policejních statistik o nehodách (zde nicméně ve valné míře absentují data o nehodách, u nichž nedochází ke zranění a hmotná škoda nepřevyšuje 100 000 Kč), případně data pojišťoven nebo České kanceláře pojistitelů. Pro stanovení přímých a nepřímých nákladů dopravních nehod s dopady na zdraví představuje dobré východisko metodika CDV (Daňková, 2007), která při stanovení nákladů a ztrát z dopravní nehodovosti vychází z přístupu lidského kapitálu³².

Pro odhad ocenění vnímání bezpečnosti (nemateriální újma z následků nehody) je možné využít hodnotu statistického života (VSL)³³, která byla v empirickém šetření v projektu VERHI (Ščasný a Škopková, 2009) ekonometricky odhadnuta pro kontext dopravní nehody. Pro ocenění vnímání bezpečnosti u těžkého a lehkého úrazu jsou – s ohledem na absenci primárních hodnot ocenění nemateriální újmy – použity podíly doporučené ve studii CEMT/ECMT (1998), tj. pro těžký úraz 13 % hodnoty statistického života a pro lehký úraz 1 % hodnoty VSL. Doporučené hodnoty pro ocenění společenských dopadů nehod shrnuje následující tabulka.

Tabulka 17 – ocenění dopadů silničních nehod (v mil. Kč na případ)

³¹ Srov. např. Přílohu I směrnice 2009/149/ES, která v oddíle 5 vymezuje společnou metodiku výpočtu ekonomických dopadů nehod.

³² V kategorii přímých nákladů jsou zahrnuty 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).

³³ Terminologická poznámka: V oblasti oceňování zdravotních rizik se víceméně zastupitelně používají pojmy hodnota statistického života (VSL - value of statistical life), hodnota zamezeného smrtelného úrazu (VPF – value of prevented fatality, VPC – value of prevented casualty), případně širěji koncipovaná hodnota smrtelného rizika (VMR – value of mortality risk).

	přímé a nepřímé náklady	ocenění bezpečnosti (nemateriální újma)
smrtný úraz	11	12
těžký úraz	3,7	1,56
lehký úraz	0,4	0,12
pouze materiální škoda	0,12	-

Posledním krokem kvantifikace je 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 případových studiích realizovaných v projektu UNITE byl podíl interních nákladů odhadován v rozmezí 59 až 76 % (Nash a kol., 2003), ve švýcarské studii ARE je podíl externích nákladů na celkových společenských nákladech zhruba 12 % u silniční dopravy a 11 % u železniční dopravy (ARE, 2006). Při absenci detailních podkladů pro odvození podílu interních nákladů v ČR, lze jako konzervativní odhad použít horní hranici podílu externích nákladů na celkových společenských nákladech z projektu UNITE, tj. že externí náklady představují přibližně 24 % celkových společenských nákladů.

III. Srovnání „novosti postupů“

Tato metodika představuje ucelený postup ekonomického hodnocení externích nákladů, který vychází ze současného stavu poznání v oblasti hodnocení dopadů a je – pokud jde o hodnocení mezních změn – konzistentní s ekonomikou blahobytu. Metodika v široké míře využívá dostupných českých dat (včetně samotného ekonomického ocenění externích efektů) a úplným výčtem použitých datových vstupů umožňuje budoucí aktualizaci používaných hodnot. Takto ucelený postup ekonomického hodnocení externích nákladů dopravy není v současnosti v ČR dostupný.

Novost postupů – zejména ve srovnání s dílčími pokusy o kvantifikaci jednotlivých kategorií externích efektů – spočívá především v důsledném přístupu k oceňování změny blahobytu, tj. ochoty platit za vyhnutí se (resp. ochoty přijmout kompenzaci za strpění) jako hlavního měřítka působených externích efektů a rovněž v podrobném rozpracování přístupu zdola-nahoru u většiny dopadových kategorií.

IV. Popis uplatnění certifikované metodiky

Tato metodika poskytuje komplexní postup pro vyčíslení ekonomických dopadů zátěže ze silniční, železniční či letecké 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 zátěže, oproti stávajícímu stavu.

K jejímu uplatnění dojde především pro hodnocení společenských přínosů dopravních opatření (emisní zóny, zóny 30, protihlukové bariéry, nízkohlukné 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 o hluku ve vnějším prostředí, při návrhu a výběru opatření ke zlepšení kvality ovzduší pro silniční dopravu v programech zlepšování kvality ovzduší ve smyslu přílohy č. 5 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.

Metodika může být rovněž 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, pro vyhodnocení navržených územních rozsahů nízkoemisních zón dle ust. § 14 zákona č. 201/2012 Sb., a pro nastavení parametrů zpoplatnění emisí a hluku v rámci poplatku za užití dopravní cesty či infrastruktury v souladu s podmínkami stanovenými směrnicí 2011/76/EU, které je předpokládáno v Dopravní politice ČR pro období 2014-2020.

V. Ekonomické aspekty

Ekonomické přínosy metodiky spočívají zejména v poskytnutí komplexního kvantitativního rámce pro hodnocení přínosů, zejména jako součásti analýzy nákladů a přínosů. Tento hodnotící rámec umožňuje zahrnutí různorodých efektů a vyjádření jejich dopadu pomocí univerzálního denominátoru – peněz. V rámci CBA analýzy pak umožňuje výběr společensky nejpřínosnějších variant dopravních opatření, při rozsáhlém zohlednění zátěže lidského zdraví, životního prostředí i ostatních účastníků dopravy.

Potenciální přínosy společensky efektivních opatření vyčíslené pomocí metodiky se běžně budou pohybovat v řádu milionů Kč.

VI. Seznam použité související literatury

- Alberini, A., Hunt, A., & Markandya, A. (2006). Willingness to Pay to Reduce Mortality Risks: Evidence from a Three-Country Contingent Valuation Study. *Environmental & Resource Economics*, 33(2), 251–264. doi:10.1007/s10640-005-3106-2
- ARE (2006) Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004, Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.
- 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*. Dessau: Umweltbundesamt.
- Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise and Health*, 10(38), 27. doi:10.4103/1463-1741.39005
- Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A., Fagiani, P., Hunt, A., Jong, G. D., & Laird, J. (2006). *Harmonised Guidelines for Project Assessment, Deliverable 5, HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*. Stuttgart. Retrieved from <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>
- Bickel, Peter, & Friedrich, R. (2005). *ExternE : Externalities of Energy ; Methodology 2005 Update*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Braun Kohlová, M., Ščasný, M. (2008), Parental Guardianship and Altruism in Children's Morbidity Valuation: CV Surveys in the Czech Republic, in: Ščasný, M., Braun Kohlová, M. et al., *Modelling of Consumer Behaviour and Wealth Distribution*. Matfyzpress, Praha. ISBN: 978-80-7378-039-5, pp. 87-106.
- CEMT/ECMT (1998). *Efficient Transport for Europe – Policies for Internalization of External Costs*. Paris.
- COŽP UK (2005) Externí náklady výroby elektřiny a tepla v podmínkách ČR a metody jejich internalizace. Závěrečná zpráva projektu č. VaV/320/1/03 Ministerstva pro životní prostředí. Praha: Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v Praze, 15. prosince 2005.
- 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>
- De Økonomiske Råd (2011) *Economy and environment 2011*. Kodaň: De Økonomiske Råd, dostupné z http://www.dors.dk/graphics/Synkron-Library/Publikationer/Rapporter/Milj%F8_2011/Disk/Summary.pdf

- Desaigues, B., Ami, D., Bartczak, A., Braun-Kohlová, M., Chilton, S., Czajkowski, M., et al. (2011). Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Ecological Indicators*, 11(3), 902–910. doi:10.1016/j.ecolind.2010.12.006
- 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>
- Ecoplan (2010) Berechnungsmethodik und Prognose der externen Kosten des Schwerverkehrs, Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.
- Fritschi, L., Brown, L., & Kim, R. (Eds.). (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Hensher, D. A. (1977). *Value of Business Travel Time*. Pergamon Press.
- Hunt A., Navrud S., Máca V., Ščasný M. (2011) Monetary values for health end-points used in the HEIMTSA/INTARESE Common Case Study, HEIMTSA FP6 project Deliverable D 4.1.2, University of Bath.
- Hurley, F., Hunt, A., Cowie, H., Holland, M., Miller, B., Pye, S., & Watkiss, P. (2005). *Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues , in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE : Volume 2 : Health Impact Assessment February 2005*. Didcot: AEA Technology.
- IOM, VITO, & JRC. (2011). *Final report on risk functions used in the case studies. HEIMTSA FP6 project deliverable D3.1.2*. Edinburgh: IOM.
- Krupnick, A. J. A. J., & Cropper, M. L. M. L. (1992). The effect of information on health risk valuations. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(1), 29–48. doi:10.1007/BF00208785
- Lindberg G. (2006), Marginal cost case studies for road and rail transport Deliverable D 3, GRACE. Funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, November 2006.
- Máca V., Ščasný M., Hunt A., Anneboina L., Navrud S., Payre C., Stockel M.E. (2011) Presentation of unit values for health end-points: country-specific and pooled, HEIMTSA FP6 project Deliverable D 4.1.2a, Praha: Univerzita Karlova, Centrum pro otázku životního prostředí.
- Máca V., Urban J., Melichar J., Křivánek V. (2012) Metodika oceňování hluku z dopravy, Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázku životního prostředí.
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Van Essen, H., Boon, B., Smokers, R, Bak, M. (2008). *Handbook on estimation of external cost in the transport sector*. Delft: CE Delft.
- 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*, 109(4), 409–416. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240282/>
- Miedema, Henk M.E. (2007). Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies. *Journal of Social Issues*, 63(1), 41–57. doi:10.1111/j.1540-4560.2007.00495.x
- Miedema, Henk M.E., Passchier-Vermeer, W., & Vos, H. (2003). *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance*. Delft: TNO Inro.
- Mueller-Wenk, R., & Hofstetter, P. (2003). Monetisation of the health impact due to traffic noise. *Environmental Documentation*, 166(166). Retrieved from <http://www.alexandria.unisg.ch/EXPORT/PDF/publicazione/5023.pdf>
- Nash, C. a kol. (2003), Unification of Accounts and Marginal Costs for Transport Efficiency (UNITE): <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/>.
- Navrud, S. (2001). Valuing health impacts from air pollution in Europe. *Environmental and Resource Economics*, 20(4), 305–329. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/X566105N537RP1Q5.pdf>
- 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.

- Preiss, P., Klotz, V. (2008) EcoSenseWeb V1.3, User`s Manual & „Description of Updated and Extended Draft Tools for the Detailed Site-dependent Assessment of External Costs“, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart.
- SZÚ (2012) Autorizační návod k hodnocení zdravotního rizika expozice hluku, AN 15/04 verze 3, Praha: Státní zdravotní ústav.
- Ščasný M., Škopková H. (2009). Value of Statistical Life for Child and Adult by Using “Chained Approach” And Person-Trade-Offs. Report from the Survey in the Czech Republic, report D5a EC FP6 project Valuation of Environment-Related Health Impacts: Accounting for Differences across Age and Latency with a Particular Focus on Children (VERHI), Charles University in Prague.
- Verhoef, E. (1994). External effects and social costs of road transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 28(4), 273–287.
- Wardman, M., Chintakayala, P., Jong, G. de, & Ferrer, D. (2012). *European Wide Meta-Analysis of Values of Travel Time. Final report to the European Investment Bank*. Leeds.
- Watkiss P. et al. (2005) The Social Cost of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment, Final Report, London : UK Defra, 2005.
- Watkiss, P., Anthoff, D., Downing, T., Hepburn, C., Hope, C., Hunt, A., & Tol, R. S. J. (2005). *The social costs of carbon (SCC) review—methodological approaches for using SCC estimates in policy assessment. Final report to DEFRA*. Didcot: AEA Technology.
- WHO (2013) REVIHAAP – Review of evidence on health aspects of air pollution, technical report, Bonn: WHO Regional Office for Europe.

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Máca, V., & Melichar, J. (2013). Health Benefits of the Low Emission Zone Introduction in Prague City Centre. *Transactions on Transport Sciences*, 6(1). doi:10.2478/v10158-012-0030-3.

Urban, J., Máca, V. (2013). Linking Traffic Noise, Noise Annoyance and Life Satisfaction: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(5), 1895–1915. doi:10.3390/ijerph10051895

Máca V., Urban J. (2012). Oceňování hluku ze silniční a železniční dopravy, SILNICE ŽELEZNICE, 1/2012, s. 54-58.

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.

VIII. Jména oponentů

Mgr. Ing. Hana Brůhová-Foltýnová, Ph.D., Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Kolínský technologický institut, o.s.

Mgr. Jan Mertl, CENIA, česká informační agentura životního prostředí

IX. Seznam použitých zkratek

AIM – akutní infarkt myokardu
 AOT40 - kumulativní expozice ozonem překračující práh 40 ppb
 ASTM - American Society for Testing and Materials
 CBA – analýza nákladů a přínosů
 CEA – analýza nákladové efektivity
 CHOPN – chronická obstrukční plicní nemoc
 CI – interval spolehlivosti (confidence interval)
 CR(F) – funkce koncentrace-odezva
 ČSÚ – Český statistický úřad
 dB – decibel
 DFA – přístup funkce škody
 DRG – skupiny vztažené k diagnózám
 EK – Evropská komise
 ERF – funkce expozice-odezva
 FAO - Organizace pro výživu a zemědělství
 GIS – geografický informační systém
 GWP - potenciál globálního ohřevu

HA – silné obtěžování (hlukem)
HDP – hrubý domácí produkt
HSD – silné rušení spánku
IPA – hodnocení dráhy dopadu
LA – lehké obtěžování (hlukem)
LAeq,T – časově integrované ekvivalentní hladiny akustického tlaku
mEq – miliekvivalent (jednotka elektrického náboje)
MRAD – den s mírně omezenou aktivitou
MŽP – Ministerstvo životního prostředí ČR
OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
OR – podíl pravděpodobnosti
PAR – populační atributivní frakce
PM10, PM2.5 – tuhé znečišťující látky frakce $\leq 10 \mu\text{m}$, resp. $\leq 2.5 \mu\text{m}$
ppb - jedna miliardtina (z celku)
RAD – den s omezenou aktivitou
RR – relativní riziko
TZL – tuhé znečišťující látky
ÚZIS – Ústav zdravotnických statistik a informací ČR
VPF – hodnota zamezení smrtelnému úrazu (nehody)
VOLY – hodnota roku statistického života
VOT – hodnota cestovního času
VSL – hodnota statistického života
VZP – Všeobecná zdravotní pojišťovna ČR
WHO – Světová zdravotnická organizace
WLD – den s pracovní neschopností
WTA – ochota přijmout kompenzaci
WTP – ochota platit
YOLL – rok ztraceného života

X. Příloha

Kvantifikace dopadů na chronickou mortalitu - metoda úmrtnostních tabulek (Life table method)

Tento výpočetní postup využívá populační a úmrtnostní data podle pohlaví v ročním členění a odhaduje změnu očekávaného věku dožití v závislosti na změně rizika v důsledku dlouhodobé expozice – uplatní se tedy pro výpočet změny rizika úmrtí v důsledku expozice prachovým částicím frakce $PM_{2.5}$ (srov. Miller a kol., 2011). Vstupní data pro tento výpočet poskytují demografické tabulky o věkovém složení populace (s možným rozlišením dle pohlaví) v polovině příslušného roku a úmrtnostní tabulky pro daný rok, obojí publikované ČSÚ³⁴. Ve výpočtu je zohledňována skutečnost, že poslední věková skupina bývá v demografických tabulkách zpravidla neohraničená, např. 90 let a více³⁵.

Postup výpočtu je následující: je-li dána tabulka věkově specifických pravděpodobností úmrtí h_i (v ročních věkových skupinách $i=0,1,\dots$)³⁶, pak pravděpodobnosti přežití od i -tého věku do věku $i+1$ je dána

$$s_{i+1} = \frac{(2-h_i)}{(2+h_i)} \quad (42)$$

kumulativní přežití od narození do každého roku věku $k+1$ označené jako ${}_0s_{i+1}$ je součinem

$${}_0s_{i+1} = \prod_{i=0}^k s_i = \prod_{i=0}^k \frac{(2-h_i)}{(2+h_i)} \quad (43)$$

pravděpodobnost dožití $E(L)$ je z této spojitě funkce přežití vypočítána jako plocha pod funkcí

$$E(L|a) = \sum_{j=0}^A 0.5 \times ({}_0s_j + {}_0s_{j+1}) \quad (44)$$

kde ${}_0s_0 = 1$ a A je nejvyšší věk dosažený v populaci (tedy ${}_0s_{A+1} = 0$). Tento výpočet ukazuje pravděpodobnost dožití od narození, v praktickém použití na hodnocení politik jsou však běžně ovlivněny všechny věkové skupiny, je tedy třeba odhadnout dopad na všechny dotčené věkové skupiny. ${}_0s_A$ je podíl původní populace, která se dožije věku a a odhadnutá délka dožití ve věku a $E(L|a)$ je

$$E(L|a) = \frac{1}{{}_0s_a} \left\{ \sum_{j=a}^A 0.5 \times ({}_0s_j + {}_0s_{j+1}) \right\} \quad (45)$$

označíme-li jako ${}_a s_k$ podíl těch dosáhnuvších věku a , kteří přežijí do svého věku k , zjistíme že ${}_a s_k = {}_0s_k / {}_0s_a$ a předchozí vztah můžeme vyjádřit jako

$$E(L|a) = \sum_{j=a}^A 0.5 \times ({}_a s_j + {}_a s_{j+1}) \quad (46)$$

³⁴ Věkové složení obyvatel za rok 2012 - http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/publ/4003-13-r_2013, Úmrtnostní tabulky - http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/umrtnostni_tabulky.

³⁵ Existují různé alternativní přístupy k poslednímu otevřenému intervalu – někdy je uvažován jako uzavřený (tj. předpokládá se, že nikdo nepřežije 91. rok), někdy jsou odhadovány intervaly tak dlouho, až je reziduální přežití tak malé, že jej lze zanedbat (např. nad 105 let). Demografická data o populaci a úmrtnostní tabulky publikované ČSÚ v současnosti uvádějí jako poslední věkovou skupinu 100 let a více.

³⁶ pravděpodobností úmrtí h_i je podíl osob zemřelých ve věku i v daném roce a velikosti populace ve věku i .

to přitom odpovídá pouze jednoletým věkovým skupinám, nikoli otevřenému intervalu na konci. V tom případě odhadovaný příspěvek v letech života z otevřeného intervalu začínajícího ve věku a je dán jako podíl přeživších na počátku intervalu a jejich následné pravděpodobnosti úmrtí ${}_0S_A/h_A$

$$E(L) = \sum_{j=0}^{A-1} 0.5 \times ({}_0S_j + {}_0S_{j+1}) + {}_0S_A/h_A \quad (47)$$

a podmíněné dosažením věku a

$$E(L|a) = \frac{1}{{}_0S_a} \left\{ \sum_{j=a}^{A-1} 0.5 \times ({}_0S_j + {}_0S_{j+1}) + {}_0S_A/h_A \right\} \quad (48)$$

nebo

$$E(L|a) = \sum_{j=0}^{A-1} 0.5 \times ({}_aS_j + {}_aS_{j+1}) + {}_aS_A/h_A \quad (49)$$

Metodou úmrtnostních tabulek možné vypočítat změnu délky dožití – typicky při hodnocení dopadů mezi dvěma či více scénáři (variantami hodnocených opatření). Jelikož jsou příspěvky k pravděpodobnosti dožití vypočítány odděleně pro jednotlivé věkové skupiny, lze je sčítat pro jakékoli změny v pravděpodobnosti dožití vyvolané rizikem expozice znečištění mezi scénáři s a bez dopadů. Jelikož obor platnosti výše uvedeného vztahu relativního rizika chronické úmrtnosti se obvykle udává pro dospělou populaci stáří 30 let a více, je nutné umožnit ve výpočtu změnu rizika pravděpodobností dožití podle věku. Definujeme tedy proměnnou pravděpodobnosti úmrtí pro scénář s variací rizika jako

$$h'_i = k_i \times h_i \quad (50)$$

kde k_i je faktor změny rizika, v případě změny rizika u populace 30 a více let tedy $k_i = 1, i=0 \dots 29$.

Při kvantifikaci dopadů za delší časové období (např. hodnocení dopravně-technických opatření) je rovněž potřeba uvažovat s některými předpoklady – vedle uvažované doby trvání přínosů jsou to i budoucí míra porodnosti, budoucí hodnota relativního rizika, časová prodleva dosažení plného přínosu realizovaného opatření apod. U budoucí míry porodnosti a hodnoty relativního rizika se často počítá s konstantní hodnotou na současné úrovni, obdobně se často nezohledňuje možná prodleva dosažení plného efektu realizovaného opatření.