

Stanovení korekcí emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního svršku v podmínkách České republiky

Příspěvek je zaměřen na problematiku hluku ze železniční dopravy a jeho cílem je představení metodiky, která bude hlavním z výstupů projektu „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“. Metodika se zabývá stanovením korekcí emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního svršku. Úvodem příspěvku jsou zmíněny důvody vedoucí ke vzniku metodiky, za níž následuje část věnovaná způsobu zpracování naměřených dat a tvorbě matematického modelu. Stejně jako část příspěvku pak sumarizuje emisní hladiny vybraných konstrukcí v závislosti na rychlosti.

1. ÚVOD

V České republice se provádí v rámci projektových příprav modernizací a optimalizací železničních tratí výpočty hluku z provozu železniční dopravy také podle české výpočtové metodiky hluku ze železniční dopravy. Uplatňovaná česká výpočtová metodika hluku ze železniční dopravy však vznikla již v minulém století, a tak při jejím používání dochází u neupravených a nekorigovaných emisních dat k výraznému nadhodnocování hlukového zatížení okolí především modernizovaných a optimalizovaných tratí s moderní konstrukcí železničního svršku (pružné upevnění, bezстыková kolej) a provozem moderních vlakových souprav zvláště v osobní dopravě (kotoučové brzdy, ucelené jednotky). S rozvojem softwarového vybavení a pronikáním zahraničního softwaru do České republiky se pro výpočty hluku používají i zahraniční výpočtové metodiky. Jejich hlavním nedostatkem jsou emisní hodnoty, které odpovídají specifickým jednotlivých zemí (jak konstrukcí železničního svršku, tak vozovým parkem), která jsou stále velmi rozdílná v porovnání se situací v České republice.

Z výše uvedených důvodů je v České republice velmi aktuální potřeba stanovit právě s ohledem na používané konstrukce železničního svršku a na provozovaný vozový park v železniční dopravě korekce na snížení hluku mezi původní a rekonstruovanou tratí tak, aby bylo možné definovat podmínky, za jakých hodnoty emisí hluku platí. Tím je možné používat nejen českou, ale i zahraniční výpočtové metodiky tak, aby se výsledky výpočtu se co nejvíce blížily reálným podmínkám, a byla tak navrhována optimalizovaná protihluková opatření. Zjištění zmíněných reálných hodnot a návrhu vhodných korekcí se věnuje tříletý projekt „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“, který byl zahájen roku 2011 a jehož dokončení se předpokládá v letošním roce. Hlavním řešitelem je České vysoké učení technické v Praze (konkrétně pracoviště Ústav dopravních systémů na Fakultě dopravní), dalším účastníkem projektu je společnost EKOLA group, spol. s r. o. Výsledky projektu jsou představeny v tomto příspěvku a budou shrnuty v metodické příručce, jejíž vydání se intenzivně připravuje.

V rámci řešení projektu byly realizovány měřicí kampaně v reálných podmínkách železničního provozu na území České republiky – se stávajícím vozovým parkem, na existujících různých konstrukčních typech železničního svršku a jejich různém technickém stavu s ohledem na údržbu a namáhání běžným provozem. Data byla sbírána synchronně tak, aby došlo k zachycení akustických parametrů a dalších charakteristik při průjezdu každého jednotlivého vlaku vždy na dvou různých typech železničního svršku (rozdílného konstrukčního typu nebo odlišného technického stavu).

2. ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

K vyhodnocení naměřených hodnot byl sestaven matematický model závislosti hladiny zvukové expozice LAE (Sound Exposure Level – SEL) na vybraných proměnných, a to pomocí vícerozměrné regrese – nejprve lineární a poté nelineární. Lineární regrese, která je jednodušší na zpracování, posloužila jako prvotní nástroj k vytvoření základní představy o vlivech působících na vznik hlukových emisí od jedoucích vlaků a vedla k určení, které z předem definovaných proměnných jsou významné a které nikoliv. Lineární regrese však neumožňuje zjistit rozdílnou závislost hlukových emisí jednotlivých typů konstrukcí železnič-

ního svršku na rychlosti. K tomuto účelu byl využit nelineární regresní model, do něhož se zahrnuly již pouze významné proměnné.

Výstupem nelineárního modelu jsou (mimo jiné) exponenciální křivky vyjadřující faktor rychlosti pro vybrané konstrukční typy železničního svršku. Zlogaritmováním křivek lze již přímo odvodit korekci na příslušný typ železničního svršku při dané rychlosti.

Před aplikací statistické regrese byly pro analýzu zpracovávaných dat využity ještě nástroje analýzy hlavních komponent (Principal Component Analysis – PCA) a rozhodovací stromy, které posloužily k rozpoznání vazeb mezi parametry získanými měřeními.

Do **nelineárního modelu** vstupují ze zpracovávaných parametrů pouze následující:

Statisticky prokázané vlivy na vznik hlukových emisí při rychlosti vlaku do 60 km/h:

- rychlost vlaku (přímá úměrnost),
- počet vozidel vlaku (přímá úměrnost),
- podíl vozidel s kotoučovými brzdami (nepřímá úměrnost), rozdíl mezi nulovým a 100% podílem činí 4–6 dB.

Statisticky prokázané vlivy na vznik hlukových emisí při rychlosti vlaku nad 60 km/h:

- rychlost vlaku (přímá úměrnost),
- počet vozidel vlaku (přímá úměrnost),
- podíl vozidel s kotoučovými brzdami (nepřímá úměrnost), rozdíl mezi nulovým a 100% podílem činí cca 6 dB,
- podíl vozidel s jednonápravovými podvozky (nepřímá úměrnost),
- konstrukční řešení žel. svršku – nejnepříznivější z hlediska hlučnosti se jeví tuhé podkladnicové upevnění, následuje pružné podkladnicové upevnění a nejpříznivěji působí pružné bezpodkladnicové upevnění kolejnic, přičemž rozdíl mezi tuhým podkladnicovým a pružným bezpodkladnicovým upevněním činí 3–4 dB (průměr za celé spektrum rychlostí),
- druh trakce, přičemž soubor jevů souvisejících s motorovou trakcí snižuje hlučnost o cca 1 dB.

Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti je realizována exponenciální funkcí, kde rychlost a faktory trati F_T jsou v exponentu (mění tvar funkce závislosti akustického tlaku na rychlosti ve směru vodorovné osy) a faktory vlaku F_V působí na funkci multiplikativně (posunují ji ve směru svislé osy) – viz (1).

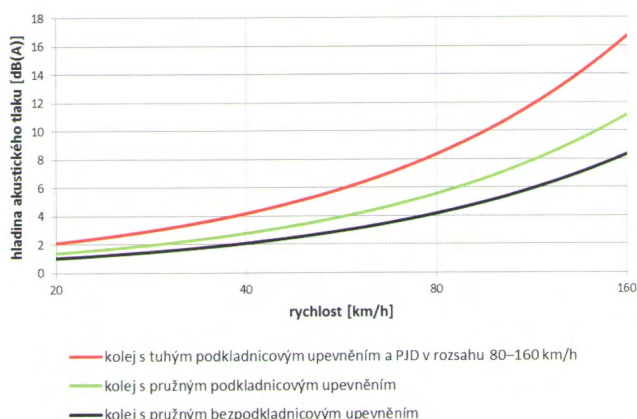
$$L_{AE} = A + 10 \cdot \log(e^{V \cdot F_T} \cdot F_V) \quad (1)$$

kde:

- L_{AE} hladina zvukové expozice (SEL) pro danou vzdálenost od osy a výšku nad temenem kolejnice [dB]
- A absolutní člen regrese [dB]
- V rychlost vlaku [km/h]
- F_V proměnné zohledňující faktory vlaku (počet vozidel, kotoučové brzdy, motorová trakce, jednonápravové podvozky) [-]
- F_T proměnné zohledňující faktor trati (konstrukční řešení žel. svršku) [-]

Proměnná znamenající motorovou trakci vyšla jako nevýznamná (95% interval spolehlivosti příslušného odhadovaného parametru přesáhl jeho hodnotu) a v rámci zpřesnění byla z modelu vypuštěna. Výsledný model popisuje 83 % proměnlivosti v datech a splňuje předpoklady na něj kladené (z matematického hlediska).

Výstupem modelu jsou exponenciální funkce zohledňující vliv rychlosti na jednotlivé konstrukční typy železničního svršku (faktory trati F_T). Dosazením $A = 0$ a $F_V = 1$ do rovnice (1) se již přímo získá závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti pro danou konstrukci, tedy její emisní charakteristika.



Obr. 1 – Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti pro jednotlivé konstrukce železničního svršku (pro pevnou jízdní dráhu byly hodnoty ověřeny v rychlostním pásmu 80–160 km/h) [autoři]

3. EMISNÍ HLADINY VYBRANÝCH KONSTRUKCÍ V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOSTI

Emisní hladiny uvedené v tabulkách 1 a 2 mají stejný charakter jako faktor rychlosti F_v v české výpočtové metodice, faktor rychlosti D_v v německé výpočtové metodice „Schall 03“ a faktor rychlosti reprezentovaný členem $b_c \cdot \log v_c$ v nizozemské výpočtové metodice „RMR 2006“.

Tab. 1 – Závislost emisní hladiny akustického tlaku L_E na rychlosti pro jednotlivé konstrukce železničního svršku ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje v [dB] [autoři]

Konstrukce železničního svršku	Emisní charakteristika
Tuhé podkladnicové upevnění a PJD*	$L_{E7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,024V})$
Pružné podkladnicové upevnění	$L_{E7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,016V})$
Pružné bezpodkladnicové upevnění	$L_{E7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,012V})$

Tab. 2 – Závislost emisní hladiny akustického tlaku L_E na rychlosti pro jednotlivé konstrukce železničního svršku ve vzdálenosti 25 m od osy koleje v [dB] [autoři]

Konstrukce železničního svršku	Emisní charakteristika
Tuhé podkladnicové upevnění a PJD*	$L_{E25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,026V})$
Pružné podkladnicové upevnění	$L_{E25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,019V})$
Pružné bezpodkladnicové upevnění	$L_{E25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,015V})$

* Emisní charakteristika pevné jízdní dráhy platí v rozsahu 80–160 km/h, nižší rychlosti nebylo možné v podmínkách ČR ověřit.

Rozdílem mezi emisními hladinami jednotlivých konstrukcí je **korekce na typ železničního svršku K_S** . Např. při rychlosti 120 km/h činí korekce na pružné bezpodkladnicové upevnění v porovnání s tuhým upevněním ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje:

$$K_S = [10 \cdot \log(e^{0,012120}) - 10 \cdot \log(e^{0,024120})] \text{ dB} = -6,3 \text{ dB}$$

Při modelování hluku pomocí vybrané metodiky se postupuje tak, že z příslušné dokumentace se zjistí faktor rychlosti a z emisní charakteristiky dané konstrukce železničního svršku se pro výpočtovou rychlost stanoví **korekce mezi modelovou a skutečnou hladinou akustického tlaku A_{KVYSL}** (modelovou hladinou akustického tlaku A vypočte hlukový model na základě zvolené metodiky a skutečná hladina vyplývá z emisních charakteristik). Tato korekce v sobě zahrnuje jak **korekci na rychlost K_V** (vyplývající z odlišného faktoru rychlosti vybrané metodiky), tak **korekci na konstrukci železničního svršku K_S** – viz (2).

$$K_{VYSL} = K_V + K_S \quad (2)$$

Vstupními parametry pro odvození korekce je výpočtová rychlost současného a výhledového stavu. Z těchto rychlostí a ze znalosti typu upevnění v současném stavu se vypočte korekce pro navržený typ upevnění ve výhledovém stavu.

V praxi často nastává případ, kdy je zadána traťová rychlost, ale ne všechny vlaky této rychlosti mohou dosahovat, což se týká především nákladních vlaků a motorových jednotek s nižší maximální provozní rychlostí. Vlaky jsou tak rozděleny do kategorií, přičemž každá kategorie má definovanou vlastní rychlost při průjezdu. Systematicky správným postupem je stanovení příslušné korekce pro každou kategorii. Ne všechny metodiky a ne každý modelovací software však dokáže korekce tímto způsobem aplikovat, a proto často dochází k případu, kdy uživatel může zadat pouze obecnou korekci bez rozlišení na jednotlivé kategorie vlaků. Pak se postupuje tak, že z počtu průjezdů vlaků každé kategorie se stanoví vážená průměrná rychlost, která nejlépe zohledňuje situaci. Pro tuto váženou průměrnou rychlost se z grafu (viz obr. 1) odečte příslušná korekce a následně zadá do modelovacího programu.

3.1. Odvození korekcí při použití české výpočtové metodiky

Základní ekvivalentní hladina akustického tlaku A ve vzdálenosti 7,5 m od osy se dle české metodiky stanoví podle vztahu (3).

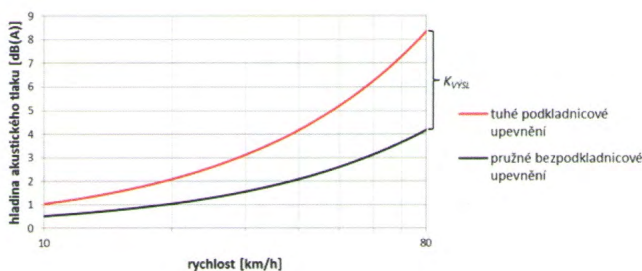
$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(140 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot m) + 40 \quad (3)$$

kde $F_5 = 0,241 \cdot e^{0,024V}$ je faktor rychlosti.

Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti je tedy možné vyjádřit výrazem (4).

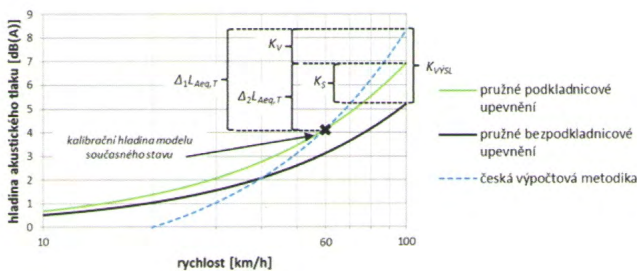
$$L_{Aeq,T}(V) = 10 \log(e^{0,024V}) \quad (4)$$

Vztah (4) odpovídá emisní charakteristice tuhého podkladnicového upevnění. Při stanovení korekce na pružné upevnění oproti upevnění tuhému podkladnicovému, kdy je současně korekce na rychlost K_V nulová, je výsledná korekce K_{VYSL} rovna přímo korekci na žel. svršek K_S – viz obr. 2.



Obr. 2 – Grafická interpretace postupu stanovení korekce na vybrané upevnění pro rychlost 80 km/h [autoři]

Kupříkladu při stanovení korekce na pružné bezpodkladnicové upevnění vs. pružné podkladnicové upevnění je již korekce na rychlost K_V nenulová, a tak výsledná korekce K_{VYSL} je rovna součtu obou dílčích korekcí – viz obr. 3.



Obr. 3: Grafická interpretace postupu stanovení korekce na vybrané upevnění pro traťový úsek s rychlostí 60 km/h v současném a 100 km/h ve výhledovém stavu [autoři]

3.2. Odvození korekcí při použití německé výpočtové metodiky „Schall 03“

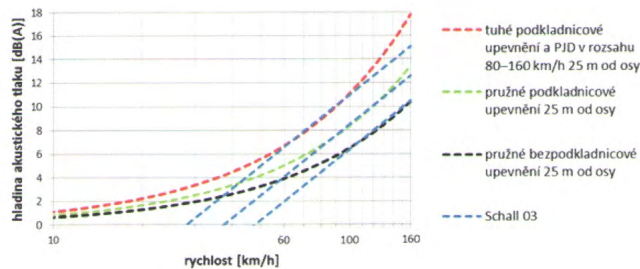
Emisní hladina akustického tlaku A ve vzdálenosti 25 m od osy koleje se dle německé metodiky „Schall 03“ stanoví podle vztahu (5).

$$L_{m,E} = 10 \log \left[\sum_i 10^{0,1(D_{FZ} + D_D + D_L + D_V + D_{Ae})} \right] + \text{korekce} \quad (5)$$

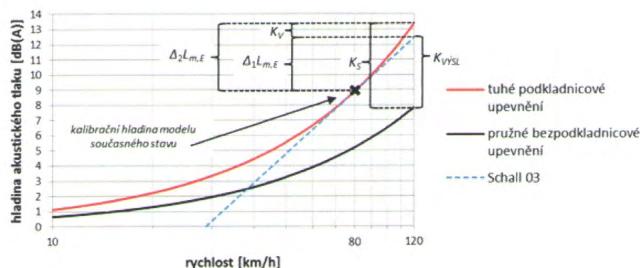
kde v hranaté závorce jsou faktory vlaku zvolených kategorií, přičemž $D_V = 20 \cdot \log(0,01 \cdot V)$ je faktor rychlosti vlaku dané katego-

rie. Závislost emisní hladiny akustického tlaku A na rychlosti je tedy možné vyjádřit vztahem (6).

$$L_{m,E}(V) = 20 \log(V) \quad (6)$$



Obr. 4 – Porovnání emisních charakteristik vybraných typů žel. svršku s faktorem rychlosti dle německé metodiky „Schall 03“ [autoři]



Obr. 5 – Grafická interpretace postupu stanovení korekce na vybrané upevnění pro traťový úsek s rychlostí 80 km/h v současném a 120 km/h ve výhledovém stavu [autoři]

Z obrázku 5 je patrné, že závislost emisní hladiny na rychlosti dle německé metodiky přibližně odpovídá charakteristice tuhého upevnění v pásmu 60–100 km/h, pružného podkladnicového v pásmu 80–140 km/h a pružného bezpodkladnicového upevnění v pásmu 100–160 km/h.

Veličina DFZ představuje faktor typu vozidla, který některé modelovací softwary umožňují uživatelsky změnit, což znamená, že ke každé kategorii vlaků lze zadat samostatnou korekci na rychlost a typ žel. svršku.

3.3. Odvození korekcí při použití nizozemské výpočtové metodiky „RMR 2006“

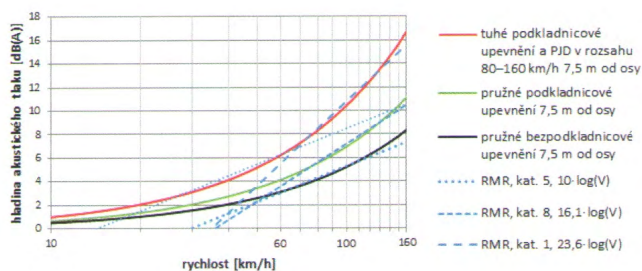
Emisní hodnota akustického tlaku A vlaku vybrané kategorie v ose koleje se dle nizozemské výpočtové metodiky „RMR 2006“ stanoví pro vlaky v režimu jízdy podle vztahu (7) a pro vlaky v režimu brzdění podle výrazu (8).

$$E_{nr,c} = a_c + b_c \cdot \log v_c + 10 \cdot \log Q_c + C_{b,c} \quad (7)$$

$$E_{r,c} = a_c + b_{r,c} \log v_c + 10 \log Q_{r,c} + C_{b,c} \quad (8)$$

kde $b_c \cdot \log v_c$ resp. $b_{r,c} \cdot \log v_c$ jsou faktory rychlosti vlaku dané kategorie, přičemž v_c je rychlost a b_c , resp. $b_{r,c}$ jsou koeficienty stanovené pro každou kategorii vlaku označenou pořadovým číslem 1–9. Závislost emisní hladiny akustického tlaku A na rychlosti je tedy možné vyjádřit vztahem (9).

$$E(V) = b_c \cdot \log(V) \quad (9)$$



Obr. 6: Porovnání emisních charakteristik vybraných typů žel. svršku s faktorem rychlosti dle nizozemské metodiky „RMR 2006“ [autoři]

Jednotlivé kategorie vlaků 2, 3, 4, 6, 7 a 9 definované v nizozemské metodice jsou si závislosti akustického tlaku na rychlosti podobné a zároveň blízké závislosti dle německé metodiky „Schall 03“. Kategorie 1 se hodí spíše pro výpočty při vyšších rychlostech na žel. svršku s tuhým upevněním, kategorie 8 naopak při nižších (do 100 km/h) u stejného typu žel. svršku. Kategorie 5 je svou závislostí výrazně odlišná a při rychlostech nad 70 km/h u tuhého upevnění již dochází ke značnému zkreslení predikované hladiny akustického tlaku od skutečné, naopak u pružného bezpodkladnicového upevnění je vhodná tato kategorie v pásmu 60–120 km/h.

Uživatel si tedy musí být plně vědom důvodů, proč kterou kategorii v modelu využívá a jaká jsou u ní omezení. Při volbě výpočtových kategorií by měl vzít v úvahu rychlosti vlaků v současném a výhledovém stavu. Při stanovení korekcí pro danou kategorii vlaku se postupuje stejně jako u německé metodiky „Schall 03“ s tím rozdílem, že se použijí emisní charakteristiky jednotlivých typů konstrukce žel. svršku ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje.

U modelovacích softwarů, které při použití metodiky „RMR 2006“ neumožňují zadat korekci pro každou kategorii zvlášť, ale umožňují zadat uživatelskou korekci alespoň pro každý odlišný úsek trati, mohou nastat dva případy:

Ve výpočtovém modelu jsou použity kategorie vlaků s podobnou závislostí emisní hladiny na rychlosti (např. kategorie 2, 3 a 4): Spočte se vážený průměr závislosti emisí na rychlosti a vážený průměr rychlostí dle počtu průjezdů každé kategorie. Na základě těchto průměrů se stanoví korekce na rychlost K_V a korekce na typ žel. svršku K_S . Výsledná korekce K_{VYSL} jako součet obou předchozích se pak zadá do modelu výhledového stavu.

Ve výpočtovém modelu jsou použity kategorie vlaků s odlišnou závislostí emisní hladiny na rychlosti (např. kategorie 2, 5 a 8): Určení

správné korekce je obtížné, především pak v situaci, kdy každá kategorie má odlišnou rychlost (což v praxi zpravidla nastává). Nejdříve se doporučuje pečlivě zvážit, zda je každá kategorie v modelu oprávněně a zda nejde nahradit jinou kategorií s méně odlišným faktorem rychlosti. Pokud po tomto kroku původní kategorie v modelu zůstanou, lze například postupovat tak, že se pro průměrnou váženou rychlost spočte pouze korekce na typ žel. svršku K_S , K_{VYSL} pak bude rovna K_S a korekce na rychlost K_V se zanedbá. Jinak lze postupovat individuálně, s využitím grafického řešení.

U modelovacích softwarů, které neumožňují ani zadání uživatelské korekce pro každý odlišný úsek trati, ale pouze obecnou korekci pro celou řešenou lokalitu, je již situace značně komplikovaná, zde by korekce měla být spočítána na vážený průměr všech rychlostí vlaků všech úseků s odlišnými traťovými rychlostmi, což je z hlediska výpočtu velmi nepraktické. Opět je nutný individuální přístup a doporučuje se využít grafické řešení. Například lze korekci na rychlost zanedbat a odhadem stanovit průměrnou rychlost K_V , na kterou se stanoví korekce na žel. svršku K_S , přičemž výsledná korekce bude $K_{VYSL} = K_S$ a tato se zadá jako obecná korekce do modelu výhledového stavu. Eventuelně lze na vybrané úseky aplikovat některé korekce na typ kolejí v rámci koeficientu $C_{b,c}$ nebo přímo upravit emisní hladiny vlaků, což však klade nemalé nároky na zkušenost a přesnost uživatele.

4. ZÁVĚR

Již několik let dochází na území ČR k modernizacím, optimalizacím a rekonstrukcím všech kategorií veřejných železničních tratí. Přestože prvořadým cílem těchto akcí je zvýšení traťové rychlosti, bezpečnosti a propustnosti a rozšíření elektrické traktace, mezi pozitivní vedlejší efekty náleží také snížení hluku a vibrací od jedoucích vlaků. Avšak doposud nebylo přesně známo a hlavně objektivizováno, jakým způsobem ovlivní změny železničního svršku emise hluku ze železniční dopravy v podmínkách ČR. Existuje všeobecné povědomí (mj. i na základě již provedených měření), že tyto emise sice budou již po prosté rekonstrukci nižší, nicméně přesnější údaje dosud nebyly k dispozici, a to především ve vztahu ke konkrétním typům použitých opatření a konstrukci žel. svršku a pro standardně používaný vozový park na českých železničních tratích. To má za následek, že v případě výhledové predikce hluku z provozu na tratích, jejichž železniční svršek má projít zásadní úpravou, může docházet, resp. dochází) buď k nadhodnocení, nebo naopak k podhodnocení akustické situace v okolí železničních tratí, a tím také k možnému předimenzování, resp. poddimenzování návrhu protihlukových opatření. To má samozřejmě i dopad do finanční náročnosti každé takovéto investiční akce.



Právě výše uvedené skutečnosti byly důvodem k podání výše uvedeného projektu a vypracování metodiky, jejíž podoba je naznačena v tomto příspěvku. Podstatné je, že navržené korekce zaváděné do výpočtu byly stanoveny na základě matematického modelu sestaveného z reálně naměřených dat. Metodika bude zdarma dostupná na internetových stránkách výzkumného projektu (<http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/>) a rovněž ji bude možné objednat v papírové podobě (informace k objednání budou opět umístěny na internetových stránkách projektu). K metodice bude pro usnadnění stanovení korekcí naprogramován software – rovněž dostupný online. Konečná verze metodiky i SW bude k dispozici nejpозději na konci ledna 2014.

Příspěvek vznikl s podporou projektu Technologické agentury České republiky č. TA01030087 – „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“. Přednesen byl na konferenci Hluk 2013, která se konala 14. 11. 2013 v Praze.

**Lukáš Týfa, Martin Jacura,
David Vašica, Kristýna Neubergová, Tomáš Javořík,
České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní,
Ústav dopravních systémů;**

**Libor Ládyš, Monika Bilíová, Aleš Matoušek,
EKOLA group, spol. s r. o.**

LITERATURA:

- [1] LIBERKO, Miloš. Hluk z dopravy – Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy, příloha 2 – Stanovení hluku ze železničního provozu. Brno: VÚVA, 1991 [cit. 2011-08-18]. ISBN 80-85124-07-6.
- [2] Meloun, Milan a Jiří Militký. Statistická analýza experimentálních dat. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- [3] Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006. [Nizozemí] 2006 [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://www.av-consulting.nl/artikelen/geluid/bijlageIV.pdf>
- [4] Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen Schall 03. Information Akustik 03. München: Deutsche Bundesbahn, 1990 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://www.schienenlaerm.de/Schall%2003/schall03_1990.pdf
- [5] THOMPSON, David. Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control. Oxford: Elsevier, 2009. ISBN 978-0-08-045147-3.
- [6] TÝFA, Lukáš et al. Projekt výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 – Průběžná zpráva za rok 2012. [Výzkumná zpráva]. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, 2013. 53 s., 1 příloha.
- [7] VAŠICA, David. Modelování hluku v železniční dopravě. Praha: 2013. Disertační práce. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. 134 s.

Determining Noise Emissions Corrections Dependent on the Railway Superstructure Construction in the Conditions of the Czech Republic
This article is focused on the topic of noise in railway transportation with the aim to introduce a method that will be the main outcome of the project "The influence of measures taken on railroad transportation infrastructure on noise decreasing and noise spreading by the running trains". The method deals with the noise emissions depending on the railway superstructure. In the beginning of the article, reasons leading to creating the method are mentioned, followed by a part devoted to the means of measured data processing and creation of a mathematic model. The crucial part of the article then summarises the emission levels related to the speed in the selected constructions.