

MANAŽERSKÉ SHRNU TÍ

Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě

IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

- **Evidenční číslo projektu**

22 905, projektová karta č. 26

- **Název projektu**

Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě

- **Poskytovatel dotace**

Ministerstvo dopravy - nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12, 110 15 Praha
Odbor MD, který je gestor projektu: Odbor infrastruktury a územního plánu
Odborný garant: Ing. Marie Soukupová

- **Příjemce dotace**

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
zastoupené: Ing. Jindřichem Fričem, Ph.D., ředitelem

.....
podpis, datum

- **Odpovědný řešitel**

Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.

 20 - 11 - 2020

.....
podpis, datum

- **Řešitelský tým**

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

- Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.
- Ing. Petra Marková
- Ing. Blanka Hablovičová
- Karel Effenberger
- BSc. Petr Bíza
- Ing. Eva Havlíčková
- Mgr. Roman Ličbinský, Ph.D.

ČVUT

- doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.
- Ing. Ondřej Bret
- Bc. Ing. Lenka Lomoz, Ph.D.

AKON

- Ing. Karel Šnajdr

- **Odborní garanti projektu**

MD

- Ing. Marie Soukupová

ŘSD ČR

- Ing. Radek Kropelnický

SŽ

- Ing. Ivo Jauris
- Mgr. Bohumír Trávníček
- Ing. Lenka Vaňková / Ing. Anna Šiklová

- **Cíl projektu**

Navázání na dílčí dosažené výsledky v předcházejících letech a pokračování v identifikovaných oblastech zájmu ŘSD a SŽ v oblasti protihlukových stěn. Prohloubení znalostí a informací o současných trendech v oblasti protihlukových stěn.

- **Celková doba řešení**

10. 1. 2020 – 30. 11. 2020

- **Financování projektu**

Projekt byl financován Ministerstvem dopravy účelovou neinvestiční dotací na podporu rozvoje činnosti veřejné výzkumné instituce v resortu dopravy – Centra dopravního výzkumu, v. v. i. na základě Rozhodnutí č. j. 199/2019-710-VV/1.

1 Úvod

Tato zpráva je stručným shrnutím čtvrté části projektu „*Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě*“, která navazuje na řešení z předchozích let 2017 [1], 2018 [2] a 2019 [3].

Hluk z dopravy se v současnosti stal jedním ze závažných problémů životního prostředí, celková hlučnost prostředí neustále stoupá a negativně ovlivňuje mnoho obyvatel vyspělých států. Dle prognóz se situace do roku 2030 zlepšovat nebude vzhledem k neustálému růstu počtu obyvatelstva. Největším zdrojem hluku je potom provoz na pozemních komunikacích a železničních tratích, nejvíce jsou lidé obtěžováni hlukem ve velkých aglomeracích.

Cílem směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC [4] je snížit počet obyvatel zasažených nadměrnou hlukovou zátěží. Předmětná směrnice byla implementována do české legislativy v červenci roku 2006 formou nepřímé novely zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví [5]. K naplnění cílů Směrnice END jsou realizovány mj. protihlukové stěny (PHS). Účinek protihlukové stěny je závislý nejen na akustických vlastnostech použitých materiálů a na umístění, ale i na geometrickém tvaru stěny, délce a ukončení, úhlu sklonu šikmé nebo lomené části PHS, kombinaci odrazivých a pohltivých panelů aj. Velkou roli hraje také pozitivní psychologický efekt ozeleněné protihlukové stěny. Na vnímání hluku se podílejí akustické faktory stejně tak jako faktory neakustické, dílčí neakustické faktory (zrak, čich, aj.) jsou předmětem studie projektu v tomto roce. Rešeršní část dále rozpracovává aktuální vědecké poznatky o sonických krystalech (návaznost na kapitolu z roku 2017) a věnuje se oblasti aktivních protihlukových stěn, výrobě elektřiny z akustické energie generované podél vysokorychlostních železničních tratí (VRT). V roce 2020 byl projekt zaměřen i na problematiku měření tzv. environmentálních PHS. Byla realizována akustická měření ozeleněných PHS i vlastního pásu zeleně (volně rostoucí dřeviny, travní porost, „účelově vytvořený živý plot“) ve fázi dormance a v období vegetace. Doplnkově pro získání komplexních výsledků byla v období vegetace proměřena PHS s bloky zeleně, protihlukový val s PHS, uměle vysázený dlouhý široký pás dřevin a nízká gabionová PHS porostlá zelení.

V rámci aktivit ČVUT byla dle požadavků Správy železnic realizována lokalizace zdrojů hluku při zkušebním průjezdu lokomotivy Siemens Vectron při rychlostech dosahujících až 200 km/h na stávající konvenční koridorové trati Brno – Břeclav, významná část projektu se věnuje rozboru a vyhodnocení tohoto zkušebního průjezdu pomocí záznamů z akustické kamery včetně synchronizovaného měření lokalizace zdrojů hluku klasickou metodou. Dále bylo provedeno ověření stálosti výplně protihlukových stěn (protihlukový panel z hliníku – Typ INP 80 jednostranně pohltivý BUDAN H500 STANDARD EXPORT), od firmy INPROKOM s.r.o. Praha a kontroly vnitřní výplně pro posouzení možných změn akustických parametrů a dopadů na údržbu. Také proběhlo měření neprůzvučnosti výplně PHS na bázi montovaných panelů.

2 Postup řešení

Analytická část se v roce 2020 věnovala zpracování rešerše zaměřené na PHS na bázi sonických krystalů, která byla sestrojena ve Španělsku, kde ji nazývají otevřenou PHS [6,7]. Jedná se o duté válce uspořádané v mřížce a pevně ukotvené v základně. U otevřené PHS první generace dosažený útlum činí v průměru kolem 15 dB a má menší objem i hmotnost než běžná PHS. Dále jsou zmíněny aktivní PHS [8–11]. Aktivní kontrola hluku je založena na principu destruktivní interference, která vzniká, když se k primárnímu zvukovému signálu (např. hluk z dopravy) přidá druhý zvukový signál ze sekundárního zdroje, jehož zvuková vlna má stejnou amplitudu jako zvuková vlna primárního signálu, ale má obrácenou fázi. Vlny se spojují a navzájem se ruší. Účinnost se může pohybovat ve velmi širokém rozmezí od 1 dB po 26 dB. Zajímavostí je snaha o výrobu elektřiny z akustické energie generované podél VRT [12] či polyetylenová pěna s uzavřenými celami Stratocell Whisper® [13]. Vnímání zvuku je vícesmyslové, a tak je ve zprávě popsán vliv barvy a povrchu PHS, vliv vůně a vzhledu na vnímání hluku [14–20]. V rámci praktické části v roce 2020 bylo zrealizováno celkem 10 měření PHS na 8 různých stanovištích, z toho na 4 místech byla realizována kampaň měření ozeleněné PHS či samotně rostoucí zeleně ve dvou fázích – ve fázi dormance, tedy ve stádiu vegetačního klidu, a následně ve fázi vegetačního růstu. Na zbývajících 4 místech byla měřena samostatně zeleň nebo v kombinaci s dalším prvkem tvořící komplex PHS. V období vegetace, kdy dojde k ozelenění, byl jednoznačně prokázán vyšší akustický útlum oproti stavu dormance, tj. vlastní hustá tráva a listí přispívá ke snížení hluku, kdy spolu s estetickou, mikroklimatickou funkcí a zachytáváním prachových částic lze ozeleněné PHS hodnotit pozitivně. Na druhou stranu je nutné počítat s potřebou vyšší údržby daných PHS.

S využitím záznamů z akustické kamery bylo ČVUT realizováno akustické měření pro vysoké rychlosti vlaků na konvenční trati, kdy cílem bylo stanovit polohu dominantních zdrojů akustické energie, tedy hluku při průjezdu shodného vlaku různou rychlostí. V rámci této kampaně bylo možné prokázat, že se vliv sběrače lokomotivy na celkový hluk u rychlostí 200 km/h ještě neprojevuje. Při plánování VRT je však nutné počítat s komplexnější protihlukovou ochranou. Pro VRT nebudou dostatečné stávající PHS, které mají zabránit šíření hluku z valení kol po kolejnici, protože se zde projevuje další dominantní zdroj hluku, kdy základní výška trolejového drátu je 5,5 m. Nový dominantní vlastní zdroj hluku je mnohem výše, než stávající hluk styku kolo/kolejnice, který se snažíme eliminovat současnou výstavbou PHS. Cílem ověření stálosti výplně u PHS bylo pomocí minimální invazivní technologie posoudit stávající stav výplně protihlukového panelu s podrobným zaměřením na stav pohltivé vrstvy, tvořené deskami z minerální vlny o tloušťce 50 mm a objemové hmotnosti $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. V rámci navazujících aktivit bylo realizováno měření činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku pomocí impedanční trubice (Kundtovy trubice) metodou přenosové funkce, s využitím deterministického pseudonáhodného budícího signálu MLS a jednoho snímacího mikrofónu na železniční trati č. 090 Praha – Ústí n/L. – Děčín při plném provozu.

3 Závěr

Získané poznatky mohou přispět k naplňování evropské směrnice 2002/49/EC [4] a zákona č. 258/2000 Sb. [5]. Řešení této problematiky navazuje i na širokou oblast strategických dokumentů státu: Koncepce výzkumu, vývoje a inovací v rezortu dopravy do roku 2030 (Priorita č. 1 „Udržitelná doprava“, Priorita č. 4 „Ekonomická doprava“) [21], Strategický rámec Česká republika 2030 [22], Státní politika životního prostředí České republiky 2012–2020 [23], Politika územního rozvoje ČR [24], Doprava šetrnější k životnímu prostředí (The Greening Transport Package) [25], Dopravní politika ČR 2014–2020 s výhledem do roku 2050 [26] a právě posuzovaná Dopravní politika ČR pro léta 2021–2027 s výhledem do roku 2050 [27], Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050) [28], Strategické plány Evropské komise 2016–2020 „Mobilita a doprava“ [29] a „Životní prostředí“ a Koncepce nákladní dopravy pro období 2017–2023 s výhledem do roku 2030 [30].

PHS na bázi sonických krystalů mohou mít podobné akustické vlastnosti jako klasické. Aktivní protihlukové stěny se jeví jako dobré opatření proti hluku, prakticky se nikde nenacházejí. Ve světě jsou i nápady použít akustickou energii k výrově energie elektrické. Systém je ve fázi testování. Technologie výrobcem označovaná jako CALMA-TEC HG-C již však byla německým federálním úřadem testována pro VRT dle RiL 804.5501 [31]. V zemích EU je tak schválen systém PHS, který je určen až pro rychlosti do 300 km/h a dle výrobce dokáže u železničních tratí redukovat hluk až o 75 % oproti stavu bez použití bariéry. Barevné či grafické pojetí by se mělo měnit každých 150–300 m délky PHS z důvodu monotónní jízdy. Z různých experimentů (vizuální vjem na akustické vlastnosti) vyplývá, že lidé předpokládají nejvyšší útlum u PHS z betonu a porostlé vegetací. Nejlepších audiovizuálních výsledků dosáhla PHS porostlá vegetací. Realizovaná měření prokázala, že vlastní zeleň ve fázi dormance i vegetace má jistý protihlukový účinek, ať už samostatně, tak ve formě uměle vysázených porostů nebo konstrukcí, tak i v rámci součástí stávajících PHS jako „doplňků“. Dílčí zvýšení akustického útlumu s využitím zeleně jako dalších prvků nebo komponentů jednotlivých protihlukových clon bylo prokázáno, ovšem vzhledem k dosahovanému útlumu v úrovni cca 1–2 dB lze doporučit k využití především jako doplňku. Na základě měření akustickou kamerou lze po vyhodnocení říci, že ani při zvýšení ze 160 km/h na 200 km/h nedochází pro konvenční lokomotivy na koridorových tratích ke změně rozložení dominantních zdrojů hluku. Dominantní pro 200 km/h zůstává hluk ze styku kolo-kolejnice. Aerodynamický hluk ani hluk ze styku sběrač-trolej se prakticky neprojevuje. Provedené výsledky měření stálosti hliníkové PHS prokázaly, že v žádné sondě nebyl pomocí obrazové techniky prokázán rozpad desek z minerální vlny, tyto byly vždy kompaktní a vytvářely zřetelné přechody jednotlivých konstrukcí protihlukového panelu, nebyla zaznamenána přítomnost plísní, hub, živočichů či nadměrné vlhkosti. Porovnáme-li rozdíly činitele zvukové pohltivosti, lze konstatovat, že měření pomocí impedanční trubice lze použít pro měření degradace akustických vlastností materiálu protihlukové stěny porovnáním in-situ (v rozsahu oktávových pásem se středy od 250 Hz do 1000 Hz).

Seznam použité literatury

- [1] KŘIVÁNEK, V. a kol. *Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě. Závěrečná zpráva*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2017. s. 349. Zadavatel: MD ČR.
- [2] KŘIVÁNEK, V. a kol. *Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě. Závěrečná zpráva*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2018. s. 145. Zadavatel: MD ČR.
- [3] KŘIVÁNEK, V. a kol. *Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě. Závěrečná zpráva*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2019. s. 185. Zadavatel: MD ČR.
- [4] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí). Off J Eur Communities. 2002 Jul 18;45(L 189):12-25.
- [5] *Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. Praha, částka 74/2000.
- [6] PEIRÓ-TORRES, M.P. a kol. *Pantallas acústicas abiertas*. Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC), Madrid, 2015. ISBN 978-84-617-9655-7.
- [7] SANCHEZ-PEREZ, J.V. a kol. Acoustic barriers based on periodic arrays of scatterers. *Applied Physics Letters*. 2002, 81(27), 5240-5242. DOI: 10.1063/1.1533112. ISSN 0003-6951.
- [8] HU, S. a kol. Research on the application of active sound barriers for the transformer noise abatement. *MATEC Web of Conferences*. 2016, 44(12), 969-974. DOI: 10.1051/mateconf/20164402059. ISSN 2261-236X.
- [9] OMOTO, A., K. FUJIWARA. A study of an actively controlled noise barrier: sfsf. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1993, 94(4), 2173-2180. DOI: 10.1121/1.407488. ISSN 0001-4966.
- [10] CHEN, W. a kol. An active noise barrier with unidirectional secondary sources. *Applied Acoustics*. 2011, 72(12), 969-974. DOI: 10.1016/j.apacoust.2011.06.006. ISSN 0003682X.
- [11] BORCHI, F. a kol. Design and experimental tests of active control barriers for low-frequency stationary noise reduction in urban outdoor environment. *Applied Acoustics*. 2016, 114, 125-135. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.07.020. ISSN 0003682X.
- [12] WANG, Y. a kol. A renewable low-frequency acoustic energy harvesting noise barrier for high-speed railways using a Helmholtz resonator and a PVDF film. *Applied Energy*. 2018, 230, 52-61. ISSN 03062619.
- [13] CALMA-TEC Friendly noise. [Online] [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: <http://www.calma-tec.com/en/>.
- [14] JEDLIČKA, J. Protihlukové stěny. *CDV*. [Online] 19. 3. 2010 [cit. 2020-10-08]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-protihlukove-steny>.
- [15] BA, M., J. KANG. Effect of a fragrant tree on the perception of traffic noise. *Building and Environment*. 2019, 156, 147-155. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.022. ISSN 03601323.
- [16] JIANG, L., M. MASULLO, L. MAFFEI. Effect of odour on multisensory environmental evaluations of road traffic. *Environmental Impact Assessment Review*. 2016, 60, 126-133. DOI: 10.1016/j.eiar.2016.03.002. ISSN 01959255.

- [17] HONG, J.Y., J.Y. JEON. The effects of audio–visual factors on perceptions of environmental noise barrier performance. *Landscape and Urban Planning*. 2014, 125, 28-37. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.02.001. ISSN 01692046.
- [18] JIANG, L., J. KANG. Combined acoustical and visual performance of noise barriers in mitigating the environmental impact of motorways. *Science of The Total Environment*. 2016, 543, 52-60. ISSN 00489697.
- [19] MAFFEI, L. a kol. The influence of visual characteristics of barriers on railway noise perception. *Science of The Total Environment*. 2013, 445-446, 41-47. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.025. ISSN 00489697.
- [20] JIANG, L., J. KANG. Perceived integrated impact of visual intrusion and noise of motorways: Influential factors and impact indicators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2017, 57, 217-223. ISSN 13619209.
- [21] Koncepce výzkumu, vývoje a inovací v rezortu dopravy do roku 2030. Praha: MD, 2018. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Koncepce-VaVal-v-rezortu-dopravy-do-roku-2030/Koncepce-VaVal-v-rezortu-dopravy-do-roku-2030.pdf.aspx>.
- [22] Úřad vlády České republiky, Odbor pro udržitelný rozvoj. Strategický rámec Česká republika 2030. Praha: Polygrafie Úřadu vlády ČR, 2017. ISBN 978-80-7440-188-6. Dostupné z: <https://www.cr2030.cz/strategie/>.
- [23] Státní politika životního prostředí České republiky 2012–2020. Praha: MŽP, 2013 (aktualizace 2016). Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/statni_politika_zivotniho_prostredi/\\$FILE/SOPSPZP-Aktualizace_SPZP_2012-2020-20161123.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/statni_politika_zivotniho_prostredi/$FILE/SOPSPZP-Aktualizace_SPZP_2012-2020-20161123.pdf).
- [24] Politika územního rozvoje České republiky, ve znění Aktualizace č. 1. Praha: MMR, 2015. Dostupné z: <https://irop.mmr.cz/IROP/media/SF/Microsites/IROP/Dokumenty/Ostatn%C3%AD/Strategie/SC%203.3%20%C3%A9Azemn%C3%AD%20rozvoj/Politika-uzemniho-rozvoje-aktualizace-c-1.pdf>.
- [25] Doprava šetrnější k životnímu prostředí a internalizace vnějších nákladů, P6_TA(2009)0119. Usnesení Evropského parlamentu ze dne 11. března 2009 o dopravě šetrnější k životnímu prostředí a internalizaci vnějších nákladů (2008/2240(INI)). Úř. věst. C87, 2010, 76–79.
- [26] Dopravní politika ČR 2014–2020 s výhledem do roku 2050. Praha: MD, 2013. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Dopravni-politika-a-MFDI/Dopravni-politika-CR-pro-obdobi-2014-2020-s-vyhled/Dopravni-politika-CR-2014-%E2%80%93-2020.pdf.aspx>.
- [27] Dopravní politika ČR 2021–2027 s výhledem do roku 2050. Posuzovaná koncepce dokumentu dostupná z: <https://www.komora.cz/legislation/85-20-dopravni-politika-cr-pro-obdobi-2021-2027-s-vyhledem-do-roku-2050-t24-7-2020/>.
- [28] Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050). Praha: MD, 2015. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/ITS/Akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-syste>.
- [29] Strategic Plan 2016–2020, DG for Mobility and Transport. Ref. Ares(2017)3957294 – 08/08/2017, European Commission, 2016. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/strategic-plan-2016-2020-dg-move_amended_july_en.pdf.
- [30] Koncepce nákladní dopravy pro období 2017–2023 s výhledem do roku 2030. Praha: MD, 2017. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Koncepce-nakladni-dopravy-pro-obdobi-2017-2023-s-v/MD_Koncepce_nakladni_dopravy_w.pdf.aspx.
- [31] RIL 804.5501 – Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten – Bautechnik, Leit, Signal u. Telekommunikations-technik – DB Netz AG, 2010.