

ZMĚNA HLUČNOSTI POVRCHŮ VOZOVEK NA ÚZEMÍ ČR SLEDOVANÁ METODOU CPX

CHANGE IN ROAD SURFACE NOISE IN THE CZECH REPUBLIC MONITORED BY CPX METHOD

VÍTĚZSLAV KŘIVÁNEK, PETRA MARKOVÁ

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno

SOUHRN

S ohledem na rozdílný vývoj hlučnosti různých povrchů vozovek v čase (nejen povrchů se sníženou hlučností), vyvstává potřeba dlouhodobého monitoringu postupných změn hlučnosti jednotlivých typů povrchů vozovek. Relevantní akustická data týkající se povrchů vozovek v ČR, byť v současné chvíli jich je velmi málo, jsou velmi žádána a poptávána jak ze strany ministerstev a správců komunikací, tak i ze strany zdravotního dozoru, krajských hygienických stanic, veřejného ochránce práv aj. Tyto údaje slouží jako pomůcka pro správnou volbu krytu vozovky nebo jeho povrchovou úpravu. Článek uvádí výsledky měření provedeného v rámci projektu TAČR č. TA01030459 – Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání a dílčí poznatky z projektu TA04021486 – Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek. Článek srovnává hladiny akustického tlaku A měřené na styku pneumatika/vozovka pro různě staré typy povrchů vozovek používané na území ČR. Získané výsledky měření z terénu potvrzují, že jednotlivé povrchy v čase z akustického hlediska degradují (zvyšuje se jejich hlučnost), přičemž tato závislost záleží na typu použité ohrubné vrstvy vozovky.

Klíčová slova: hlučnost povrchu vozovky, metoda CPX

SUMMARY

With regard to different trends in noise of various road surfaces over time (not only surfaces with reduced noise), long-term monitoring of gradual changes in noise of individual road surfaces is necessary. Relevant acoustic data related to road surfaces in the Czech Republic, albeit scarce, are in demand and sought for by ministries, road administrators, health supervisors, regional public health stations, Public Defender of Rights, etc. These data are used to select correct road pavement types or surface treatment. The article describes results of measurements performed by the Technological Agency of the Czech Republic No. TA01030459 – Change of Road Surface Noisiness during Several Year Usage project and partial findings from project TA04021486 – Tools for Analysis and Assessment of Environmental Impacts of Road Surface Noise. The article compares levels of acoustic pressure A measured on the tyre/road interface for variously old road surfaces used in the Czech Republic. The obtained field measurement results confirm that individual surfaces degrade over time in terms of acoustics (their noise increases), and this dependency is based on the type of the road wearing course.

Key words: road surface noise, CPX method

Úvod

Doprava v České republice, obdobně jako i v jiných vyspělých státech, představuje významný antropogenní jev ovlivňující kvalitu životního prostředí a život člověka, a to jak z pozitivního, tak i negativního úhlu pohledu (1). Dlouhodobé působení hlukové zátěže může totiž u exponované populace způsobovat závažná civilizační onemocnění a má dopad na domácí i na volně žijící živočichy (2, 3). Ve smyslu ochrany životního prostředí před hlukem ze silniční dopravy se jako velmi důležitý poznatek jeví detailní znalost akustických charakteristik aplikovatelných technologií výstavby povrchu vozovek a jejich změny z hlediska dlouhodobého užívání (4).

V současnosti je hluk generovaný kontaktem pneumatiky s vozovkou převládajícím zdrojem hluku u osobních vozidel již od rychlosti cca 40 km/h (5). V ČR se na základě zahraničních zkušeností začíná na vybraných

úsecích uplatňovat realizace asfaltových či cementobetonových povrchů, které dle specifikace výrobců zaručují nižší emisi hluku při styku pneumatika/vozovka (6). Zároveň roste poptávka investorů o ověření generovaného hluku po rekonstrukcích ohrubné vrstvy pozemních komunikací. Dosavadní měření hluku v mimopracovním prostředí probíhají pouze bodovou metodou a jsou závislé na složení dopravního proudu v daném místě i charakteru okolí samotné komunikace (7). Tento typ měření nemůže poskytnout dostatečnou informaci o hluku generovaném přímo na komunikaci při styku pneumatiky s vozovkou a nelze zcela přesně klasifikovat jednotlivé druhy povrchů vozovek, tak jako případné změny degradace povrchu komunikace z akustického hlediska, kdy zvýšená hlučnost v okolí komunikace může být dána více faktory (jiná intenzita, složení a rychlost dopravního proudu, vlastní akustická degradace povrchu komunikace) (8–10).

Metodika hodnocení prostorového a časového vývoje hlučnosti komunikací

Realizace spolehlivých akustických měření je nezbytnou podmínkou pro korektní vyhodnocení vlivu povrchů vozovek na hluk ze silniční dopravy (11). Metoda CPX (Close-ProXimity) založená na měření hluku v malé vzdálenosti od odvalující se referenční pneumatiky, umožňuje provádění monitoringu akustických změn hlučnosti povrchů komunikací s následným porovnáním naměřených hodnot z různých míst (12). Jedná se o metodu, jež je využívána v hojné míře v zahraničí i doporučována mezinárodní pracovní skupinou CEN TC 227/WG5 (13), jelikož má minimální náročnost na okolí měřené komunikace, nezávislost na skladbě dopravního proudu (se kterým v hodnocení nepracuje), především však velkou výhodou představuje skutečnost, že umožňuje rychle, efektivně a při nižších ekonomických nákladech měřit velké množství míst i dlouhé úseky komunikací v terénu (14, 15). Jedná se o specifická technická měření (16, 17), kdy měření probíhá přímo u zdroje hlučnosti. Vlastní ISO norma je stále ve schvalovacím procesu (18), ovšem na základě zkušeností byly formou certifikované metodiky „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“ vypracovány zásady a pracovní postup, který umožňuje měření hluku vznikajícího ze styku pneumatika/vozovka (19). Metodika byla před schválením postoupena připomínkování Národní referenční laboratoři pro komunální hluk, Ředitelství silnic a dálnic i Ministerstvu dopravy, kdy cílem výsledného dokumentu je poskytnout efektivní nástroj pro možnost nezávislého ověření, hodnocení a posuzování jednotlivých typů i druhů komunikací v běžném provozu v libovolné fázi jejich životnosti.

Kromě dlouhodobého monitoringu hlučnosti všech typů povrchů vozovek a ověření míry hlukové emise (ochrana obyvatelstva před nadměrnou hlukovou zátěží), mohou být dílčím způsobem využity výsledky i pro možnost lepšího hodnocení zdravotních rizik a dopadů na obyvatelstvo z hlediska hlukové zátěže (imise), při tvorbě podkladů pro hlukové mapy a stanovení koeficientů hlučnosti jednotlivých typů komunikací (EU CNOSSOS) (20, 21).

Dále uváděné výstupy a výsledky, jež byly získány, jsou plně v souladu s certifikovanou metodikou – „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“. Diskuse nad podmínkami měření a princip metodiky byly již popsány dříve a lze je nalézt v (22, 23) proto nebudou uváděny.

Výsledky měření

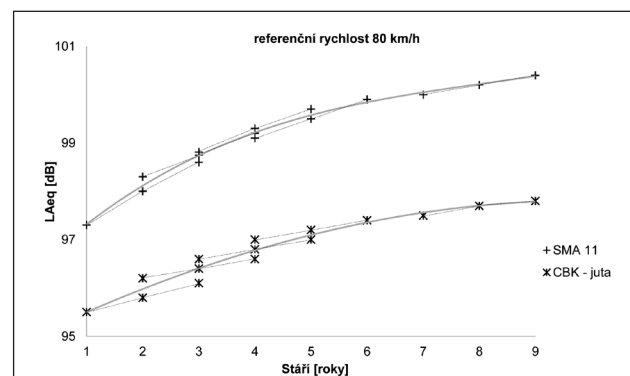
Hlavním výstupem z měření je ekvivalentní hladina akustického tlaku A styku pneumatika/vozovka L_{Aeq} [dB] korigovaná na referenční podmínky. Třetinooktávové frekvenční spektrum dle ISO 11819-2 slouží jako doplněk a lépe vyjadřuje, kde dochází ke zvýšení či naopak ke snížení hlukové emise (24, 25). Jelikož se jedná o měření hluku, který následně má vliv na lidský organismus, jsou všechna měření upravována váhovým filtrem A (26). Měření respektive analýza je prováděna v reálném čase v třetinooktávovém frekvenčním intervalu minimálně od 315 Hz do 5 kHz. Analýza je prove-

dena po nepřekrývajících se segmentech měřené komunikace, které jsou lineárně zprůměrovány v rámci celého analyzovaného úseku. Segmenty měření, kde je hlučnost prokazatelně narušována hlukem z ostatních zdrojů, musí být vyřazeny (27). Totéž platí pro dílčí segmenty, kde je rušení (zkreslení měření) způsobováno anomáliemi na vozovce (náhodná lokální porucha komunikace, znečištění komunikace, kanálové poklapy, mostní závěry aj.) či nevyhovující trasou komunikace (28). Pro změřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A styku pneumatika/vozovka je nutné aplikovat rychlostní a teplotní korekce (29).

Diskuse

Počáteční hlučnost komunikace může být ovlivněna vlastní pokládkou (technologie, preciznost, použité materiály). Vlastní rychlost nárůstu hlučnosti povrchu komunikace je různá pro jednotlivé typy použitých směsí. Vývoj změny hlučnosti komunikace v čase je ovlivňována například meteorologickými podmínkami, prováděnou údržbou, intenzitou dopravního provozu aj. (30). Pokud nedochází k výraznému porušení vozovky trhlinami, výtluky, vertikálním posunem desek cementobetonového krytu, vyjetými kolejiemi u vozovek s asfaltovým krytem aj., pak dochází z akustického hlediska k nejvýraznějšímu nárůstu první tři až čtyři roky, následně dochází k postupnému zpomalování rychlosti nárůstu hlučnosti (31). Ukázka změny hlučnosti na komunikaci D1 je uvedena na obr. 1, kde aby bylo možné naznačit dlouhodobý vývoj, je provedeno sloučení opakovaných měření v letech 2012–2014 ze všech lokalit v úseku D1 Vyškov – Hladké Životice, čímž je dosaženo delší časové křivky. (Jednotlivé měřicí úseky, jež jsou vyhodnocovány v jednotlivých letech, jsou spojeny čárkovanou čarou. Díky postupnému budování komunikace D1 se pak jednotlivé výsledky při opakovaných měřeních v čase překrývají a lze tak naznačit příslušnou závislost.)

Získané výsledky naznačují, že změny v jednotlivých letech nejsou pro běžné povrchy významné, přesto za dobu životnosti např. povrchu ACO, SMA, i jednotlivých úprav CBK dosahuje změna ekvivalentní hladiny akustického tlaku A styku pneumatika/vozovka úrovně cca 4 dB, pro komunikace bez výrazných vad. V případě množství výtluků, vyjetých kolejí, trhlin aj. může ekvivalentní hladina akustického tlaku vzrůst navíc o dalších cca 3–6 dB. Tyto závěry lze dovodit z obr. 1 a tab. 1. Z těchto výsledků je dále zřejmé, že rychlost ná-



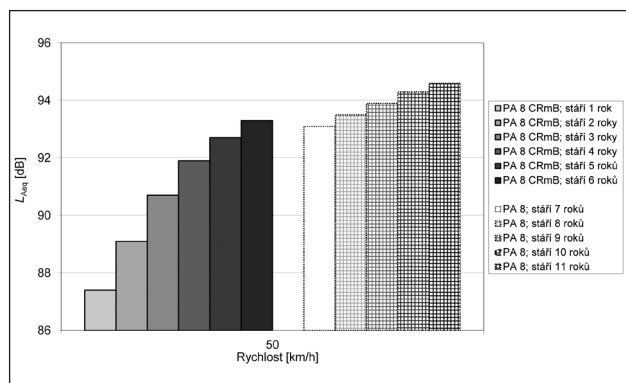
Obr. 1. Vývoj hlučnosti komunikace D1 v úseku Vyškov – Hladké Životice, asfaltová a betonová úprava povrchu při referenční rychlosti 80 km/h (19).

Tab. 1: Naměřené hodnoty L_{Aeq} pro povrchy na komunikaci D1 Praha – Brno, před a po zahájení rekonstrukce (není-li uvedeno jinak)

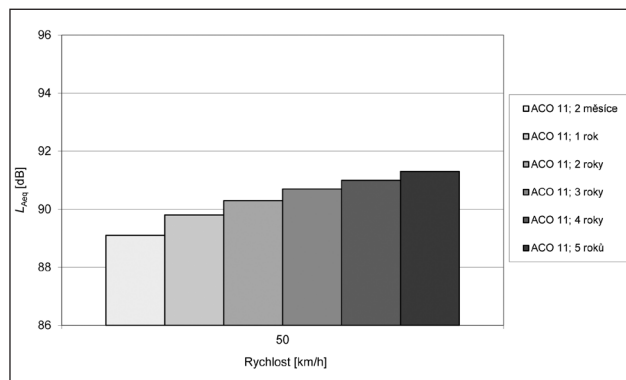
Povrch	Stáří	Hlučnost L_{Aeq} [dB]	Poznámka
SMA 11	cca 10 let	100,6–101,2	Bez výraznějších viditelných vad.
SMA 11	cca 10 let	101,5–102,5	Drobné trhliny, občasné záplaty, vyjeté koleje.
SMA 11	cca 10 let	102,5–103,5	Trhliny, záplaty, vyjeté koleje.
ACO 11	0 let	97,2–98,0	Úsek na R46.
SMA 11	0 let	97,3–98,2	
SMA LA 8	0 let	94,0–94,8	Specializovaná nízkohlučná asfaltová směs, křivka a mezerovitost neodpovídají žádné z norem řady 13108, nejbližší možné normové označení SMA LA 8.
CBK – striáž	cca 25 let	99,6–100,2	Bez výraznějších viditelných vad.
CBK – striáž	cca 25 let	102,0–103,0	Mírně posunuté desky – schůdky.
CBK – striáž	cca 25 let	103,5–104,5	Výrazně posunuté desky – schůdky, výrazné podélné i příčné trhliny.
CBK – striáž	cca 25 let	99,3–99,9	Zbroušení schůdků, vyrovnání nerovností.
CBK – vymývaný beton	0 let	96,9–97,5	Nová povrchová úprava betonu v rámci rekonstrukce D1.
CBK – juta	0 let	95,4–96,0	Nízkohlučná úprava cementobetonových krytů, úsek D1 u Ostravy.

růstu hlučnosti u cementobetonových krytů (např. striáž) je v jednotlivých letech cca poloviční oproti běžným asfaltovým krytům (např. SMA, ACO), což je dáno tím, že za dobu životnosti daného konkrétního typu povrchu se jeho hlučnost zvedne o cca 4 dB, ale životnost cementobetonových vozovek je cca nejméně dvojnásobná oproti vozovkám s asfaltovým krytem. Dalším aspektem, který z výsledků plyne i v rámci probíhající rekonstrukce D1 je, že cementobetonový kryt má nižší hlučnost styku pneumatika/vozovka než klasický asfaltový koberec mastixový a to jak po pokládce, tak i v delším časovém horizontu. Jediným okamžikem, kdy hlučnost cementobetonového krytu (striáž) je vyšší než „odpovídajícího“ asfaltového povrchu (SMA) je u starých silně poškozených komunikací, kde výrazně „schůdky“ a následné drncání (skákání) pneumatiky po vozovce cementobetonového krytu vede k výraznému zvýšení hlučnosti, ovšem při vyrovnání těchto nerovností dojde z akustického hlediska k významnému snížení hlučnosti, viz tab. 1. Ovšem pomocí specializovaných nízkohlučných asfaltových směsí lze dosáhnout i výrazného snížení hlučnosti oproti nízkohlučné variantě cementobetonového krytu (juta, která má však výrazně problematické protismykové vlastnosti). Jelikož na rychlostních komunikacích se nepohybuje zemědělská či pomalá stavební technika (silné znečišťování) a je zde možné jezdit i vyššími rychlostmi než v obci, může se u specializovaných nízkohlučných povrchů uplatnit tzv. „samočisticí efekt“, kdy pneumatika nasává ven nečistoty z pórů vozovky. Z akustického hlediska proto není rychlost degradace těchto povrchů na rychlostních komunikacích tak významná na rozdíl od komunikací v obcích, i přestože není prováděna jejich specializovaná údržba (čištění), jak ostatně naznačují i první opakovaná měření na R46.

V zastavěném území obcí, kde je nižší dovolená rychlost, popřípadě panuje čilá stavební nebo zemědělská činnost je rozdíl ve vývoji hlučnosti běžného (např. ACO) a nízkohlučného (např. PA) asfaltového povrchu významně odlišnější, viz obr. 2 a obr. 3. Opět dochází z akustického hlediska k nejvýraznějšímu nárůstu hlučnosti první tři až čtyři roky, což souvisí s postupným „zajetím“ povrchu, ovšem u nízkohlučných povrchů ještě navíc dochází k jejich zanášení – ucpávání vzducho-



Obr. 2: Vývoj hlučnosti porézního asfaltu (nízkohlučný povrch PA) v obcích při referenční rychlosti 50 km/h.

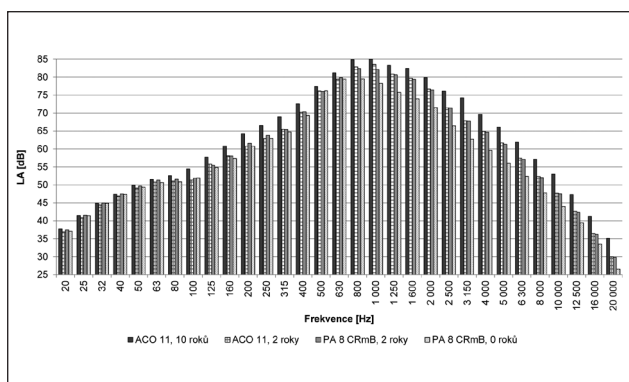


Obr. 3: Vývoj hlučnosti asfaltového betonu (běžný povrch ACO) v obcích při referenční rychlosti 50 km/h.

vých pórů, jelikož se v drtivé většině jedná o povrchy s vysokou mezerovitostí, kdy se zvuk vyšších vlnových délek dostává ve větší míře do těchto mezer, kde dochází k přeměně energie na teplo (32). Jelikož tyto povrchy nejsou ošetřovány (důkladně čištěny) (33) a při nižších rychlostech je uplatnění „samočisticího efektu“ minimální může být tento nárůst hlučnosti velmi významný a dosahovat z počátku úrovně až 2 dB za rok, viz obr. 2 levá část. V pozdějším období již nárůst hlučnosti není tak významný, jelikož se uplatňuje především akustická degradace povrchu (34), viz pravá část obr. 2 (jedná se o jiný úsek komunikace). Z výsledků na obr. 2 a obr. 3

je patrné, že běžný a nízkohlučný povrch bez pravidelné údržby mají přibližně stejnou hlučnost cca po 3 letech od jeho pokládky. Další již méně výrazný vyšší nárůst hlučnosti nízkohlučného povrchu z obr. 2 (levá část) oproti běžnému povrchu obr. 3 může být dán nižší životností specializovaného povrchu, který dříve vykazuje poruchy na vrchním krytu vozovky, zvláště pak u prvních realizovaných úseků a prvních pokusných směsí. Na území ČR v roce 2009 byly provedeny cca 2 pokusné úseky s nízkohlučnou směsí, zatímco v roce 2012 se již realizovalo cca 25 úseků při použití různých technologií. Ovšem v současné chvíli nelze mít z časového hlediska dlouhodobé porovnání těchto novějších úseků. Obdobná situace je i u cementobetonové úpravy s vymývaným betonem (obnaženým kamenivem), kde první dva krátké pokusné úseky realizované v letech 2011 a 2012 vykazují vyšší hlučnost, než nově realizované úseky v roce 2014 v rámci rekonstrukce D1. Tato skutečnost pravděpodobně souvisí s tím, že se jedná o nové specializované technologie, u nichž je nutné se „naučit“ správnou technologii výroby a postupu pokládky, která je pak následně optimalizována.

Detaily změn lze vidět v třetinoctávkovém frekvenčním spektru, viz obr. 4. Při úpravě měření váhovým filtrem A běžné povrchy (např. ACO) nejčastěji dosahují nejvyšší hlučnosti na frekvenci 1 000 Hz. Specializované nízkohlučné směsi lze z frekvenčního třetinoctávkového spektra poznat tak, že právě od vyšších frekvencí cca od 800 Hz a výše zde dochází k výraznému snížení dosahované hlučnosti. U vysoce porézních krytů, při snížení mezerovitosti (zanesení vzduchových pórů) dochází k rychlejšímu nárůstu hlučnosti těchto nízkohlučných (akustických) povrchů. Tento jev je možné vypozorovat z průběhu třetinoctávkového frekvenčního spektra, které vykazuje rychlejší nárůst hlučnosti povrchu právě ve vyšších frekvencích (35). V obr. 4 je zobrazen stejný nízkohlučný povrch (PA CRmB) po pokládce a po 2 letech od pokládky. Je zřejmé, že frekvenční spektrum nízkohlučného povrchu po dvou letech je již téměř shodné s běžným povrchem (ACO), tedy že ve



Obr. 4: Změněné třetinoctávkové frekvenční spektrum akustického tlaku A pro nízkohlučný a běžný povrch při rychlosti 50 km/h.

Zkratky udávají příslušné směsi. Asfaltové směsi: SMA – Stone Mastic Asphalt (původní označení AKMS – asfaltový koberec mastixový), LA – Lärmarm (nízkohlučný), PA – Porous Asphalt (původně AKD – asfaltový koberec drenážní), CRmB – asfalty modifikované pryžovým granulátem, AC – Asphalt Concrete (ACO – asfaltový beton pro obrusnou vrstvu, původně AB – asfaltový beton). Číslo udává maximální velikost frakce použitého kameniva ve směsi v mm. Cementobetonové směsi: CBK – cementobetonový kryt, existují různé povrchové úpravy: pomocí železných brábí (stráž), pomocí vlečené tkaniny (juta), pomocí speciálního postrůku se obnaží vrchní kamenivo (vymývaný beton).

vyšších frekvencích došlo k výraznému nárůstu hlučnosti (zanesení porézního krytu vozovky). Z analýzy třetinoctávkového frekvenčního spektra starých povrchů vozovek vyplývá, že degradaci (z hlediska akustiky) dojde k výraznějšímu zvýšení hlukové emise pro téměř všechny frekvence (minimálně od 315 Hz výše), viz obr. 4, kde jsou porovnány povrchy komunikací ze dvou různých míst.

Závěr

Získané výsledky z praxe v terénu potvrzují, že i malé změny hlučnosti povrchů vozovek lze úspěšně měřit a hodnotit specializovaným technickým měřením pomocí metody CPX na rozdíl od jiných metod (36). V současné době je již možné se opřít o závazný schválený dokument „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“, který jednoznačně identifikuje postup i způsob hodnocení výsledků technických měření hlučnosti povrchů vozovek v ČR (19).

Výsledky měření hlučnosti povrchů komunikací metodou CPX získané v terénu na území ČR odpovídají zahraničním poznatkům (37). Z akustického hlediska rozdíl mezi novým povrchem a povrchem na konci své životnosti stejného typu a druhu (bez závad) je na úrovni cca 4 dB (38), nejvyšší nárůst hlučnosti je první cca 3 roky po pokládce než se povrch „zajede“, kde u nízkohlučných povrchů v tomto časovém období v zastavěném území obcí nárůst hlučnosti může dosahovat úrovně až 1–2 dB/rok, přičemž na rychlostních komunikacích díky „samočisticímu efektu“ rychlost nárůstu hlučnosti je znatelně pomalejší a téměř odpovídá běžným asfaltovým směsím (např. SMA), která zpočátku je na úrovni cca 0,5 dB/rok (39, 40). V rámci probíhající rekonstrukce D1 je zřejmé, že nově pokládaná cementobetonová úprava s vymývaným betonem po pokládce má nižší hlučnost styku pneumatika/vozovka než asfaltový koberec mastixový, tak jako z dalších výsledků plyne, že díky vyšší životnosti cementobetonových krytů u nich postupný nárůst hlučnosti v jednotlivých letech je cca poloviční oproti asfaltovým směsím za předpokladu, že nevznikají poruchy a vady, které mají vliv na vrchní obrusnou pojízdnou vrstvu.

Detailnější, další a delší časové řady i informace o změně hlučnosti povrchů komunikací na území ČR v čase budou získávány v rámci projektu TA04021486 – Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě aktivit finančně podpořených v rámci projektu Technologické agentury ČR č. TA04021486 – Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek.

LITERATURA

1. 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. Off J Eur Communities. 2002 Jul 18;45(L 189):12-25.

2. Státní zdravotní ústav. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí: souhrnná zpráva za rok 2010. Praha: SZÚ; 2011.
3. Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku: odborná zpráva za rok 2013. In: Výsledky Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí [CD-ROM]. Praha: SZÚ; 2014.
4. Miljkovic M, Radenberg M, Gottaut C. Characterization of noise-reducing capacity of pavement by means of surface texture parameters. *J Mater Civ Eng*. 2014;26(2):240-9.
5. Sandberg U, Ejsmont JA. Tyre/road noise reference book. Kisa: Informex; 2002.
6. Li M, van Keulen W, van de Ven M, Molenaar A, Tang G. Investigation on material properties and surface characteristics related to tyre-road noise for thin layer surfacings. *Constr Build Mater*. 2014;59:62-71.
7. Potužníková D, Hellmuth T, Junek P, Fiala Z. Možnosti využití výsledků strategického hlukového mapování v hygienické praxi. *Hygiena*. 2014;59(2):74-8.
8. Neuvirt V. Technologie údržby asfaltových vozovek. *Silniční obzor*. 2014;75(7/8):179-82.
9. Morgan P, editor. Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces. FEHRL Report 2006/02. Brussels: FEHRL; 2006.
10. Rasmussen RO, Bernhard RJ, Sandberg U, Mun EP. The Little book of quieter pavements. Report no. FHWA-IF-08-004. Washington, DC: US Department of Transportation, Federal Highway Administration; 2007.
11. Mak KL, Hung WT. Statistical tyre/road noise modeling in Hong Kong on friction course. *Appl Acoust*. 2014;76:24-7.
12. Jedlička J, Křivánek V. Monitoring hluchnosti povrchu vozovek. In: *Silniční konference 2014: sborník příspěvků a katalog firem*; 22.-23. října 2014; Olomouc. Praha: Agentura VI-ACO; 2014. s. 102-6.
13. Stryk J, Šachlová Z, Nekula I, Křivánek V. Aktivita evropské normalizační skupiny CEN TC 227/WG5: Povrchové vlastnosti vozovek. *Silniční obzor*. 2013;74(12):311.
14. Wong KW, Leung AYT, Lee RYY, et al. A new methodology of measuring tyre/joint noise in Hong Kong. In: *4th International Symposium on Environmental Vibration: Prediction, Monitoring and Evaluation*; 2009 Oct 28-30; Beijing, China. Beijing: Science Press; 2009. p. 599-604.
15. Paje SE, Bueno M, Terán F, Viñuela U. Monitoring road surfaces by close proximity noise of the tire/road interaction. *J Acoust Soc Am*. 2007;122(5):2636-41.
16. ISO/DIS 11819-2. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close proximity method. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
17. ISO/TS 11819-3. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 3: Reference tyres. Under development.
18. Křivánek V a kol. Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání. Brno: Centrum dopravního výzkumu; 2013.
19. Křivánek V a kol. Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže. Brno: Centrum dopravního výzkumu; 2014.
20. Hellmuth T, Potužníková D, Bednarčík P, Fiala Z. Návrh metodiky „Stanovení rozumně dosažitelné míry protihlukových opatření“. *Hygiena*. 2014;59(1):27-31.
21. Vandasová Z, Vencálek O, Dobisík O. Dvě desetiletí monitorování hluku: vývoj hluku v městských lokalitách České republiky. *Hygiena*. 2013;58(3):100-5.
22. Křivánek V. Measurement of noise from road surface using dynamic method. *Trans Transp Sci*. 2013;6(3):117-24.
23. Křivánek V, Cholava R, Effenberger K. Měření a srovnání hluchnosti různých druhů komunikací v ČR metodou CPX. *Hygiena*. 2014;59(3):116-22.
24. Van Leeuwen H, Kok A, Reubsat J. The uncertainty of acoustical measurements on road surfaces using the CPX method. In: *36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2007 ISTANBUL*; 2007 Aug 28-31; Istanbul, Turkey. Turkish Acoustical Society; 2007. p. 4394-9.
25. Kropp W, Sabiniarz P, Brick H, Beckenbauer T. On the sound radiation of a rolling tyre. *J Sound Vibr*. 2012 Apr 9;331(8):1789-805.
26. Potužníková D, Hellmuth T, Bednarčík P, Fiala Z. Zkušenosti z hodnocení zdravotních rizik expozice hluku ze silniční dopravy. *Hygiena*. 2012;57(3):100-4.
27. Cho DS, Mun S. Study to analyze the effects of vehicles and pavement surface types on noise. *Appl Acoust*. 2008;69(9):833-43.
28. Dubois G, Cesbron J, Yin HP, Anfosso-Ledee F, Duhamel D. Statistical estimation of low frequency tyre/road noise from numerical contact forces. *Appl Acoust*. 2013;74(9):1085-93.
29. Bühlmann E, Ziegler T. Temperature effects on tyre/road noise measurements and the main reasons for their variation. In: *42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013 (INTER-NOISE 2013)*. Noise control quality of life. Vol. 1; 2013 Sep 15-18; Innsbruck, Austria. Vienna: Austrian Noise Abatement Association; 2014.
30. Descornet G, Goubert L. Noise classification of road pavements. Task 1: Technical background information. Draft report. Brussels: European Commission; 2006.
31. Sandberg U, Goubert L. PERSUADE - a European project for exceptional noise reduction by means of poroelastic road surfaces. In: *40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2011 (INTER-NOISE 2011)*; 2011 Sep 4-7; Osaka, Japan. Tokyo: Institute of Noise Control Engineering Japan & Acoustical Society of Japan; 2011. p. 673-83.
32. Ho KY, Hung WT, Ng CF, Lam YK, Leung R, Kam E. The effects of road surface and tyre deterioration on tyre/road noise emission. *Appl Acoust*. 2013;74(7):921-5.
33. Nilson RN, Westergren PE. Improved acoustical sustainability using effective cleaning equipment. In: Crocker MJ, Ivanov N, Pawelczyk M, editors. *18th International Congress on Sound and Vibration 2011 (ICSV 18)*; 2011 Jul 10-14; Rio de Janeiro, Brazil. Auburn: International Institute of Acoustics & Vibration; 2011. p. 1151-8.
34. Pigasse G, Jensen MP, Bendtsen H. Cost-benefit analysis of a poroelastic road surface. In: *Euronoise Prague 2012 Proceedings*; 2012 Jun 10-13; Prague, Czech Republic [CD-ROM]. Prague: Czech Acoustic Society; 2012.
35. Sandberg U, Goubert L, Biligiri KP, Kalman B. State-of-the-Art regarding poroelastic road surfaces. Swedish Road and Transport Research Institute, Belgian Road Research Centre; 2010.
36. Licitra G, Teti L, Cerchiai M. A modified Close Proximity method to evaluate the time trends of road pavements acoustical performances. *Appl Acoust*. 2014;76:169-79.
37. Křivánek V, Effenberger K. Comparison of noise level measurement of road surfaces in the Czech Republic using the close proximity method. *Trans Transp Sci*. 2014;7(3):109-16.
38. Winroth J, Andersson PBU, Kropp W. Importance of tread inertia and damping on the tyre/road contact stiffness. *J Sound Vibr*. 2014;333(21):5378-85.
39. Li ML, van Keulen W, Ceylan H, Van de Ven M, Molenaar A. Influence of changes in surface layer properties on tire/pavement noise. *Noise Control Eng J*. 2013;61(4):417-24.

40. Méline J, Van Hulst A, Thomas F, Karusisi N, Chaix B. Transportation noise and annoyance related to road traffic in the French RECORD study. *Int J Health Geogr.* 2013 Oct 2;12:44. doi: 10.1186/1476-072X-12-44.

Došlo do redakce: 25. 5. 2015

Přijato k tisku: 25. 8. 2015

Ing. Vítězslav Krivánek, Ph.D.

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a

636 00 Brno

E-mail: vitezslav.krivaneke@cdiv.cz