

Jaroslav Smutný¹, Vladimír Tomandl², Luboš Pazdera³, Ivan Vukušič⁴, Eva Krautová⁵

Posouzení účinnosti nízké protihlukové clony BRENS BARRIER

Klíčová slova: *Ekvivalentní trvalá vážená hladina akustického tlaku A, hladina jednorázové expozice hluku, Fourierova transformace, třetinooktávová analýza hluku, nízká protihluková clona*

Úvod

Nadměrný hluk i vibrace patří k nepříjemným formám ovlivňování životního prostředí. Doprava, jako zdroj hluku, patří v tomto ohledu mezi nejvýznamnější činitele. Značný podíl na dané situaci má kolejová doprava. Kromě pohonných jednotek, které představují dominantní zdroj hluku od kolejové dopravy při rychlostech do cca 40 km·h⁻¹, přistupuje další význačný zdroj hluku vznikající na styku kola a kolejnice - tzv. hluk valení. Při rychlostech nad cca 250 km·h⁻¹ je výraznou složkou hluku tzv. hluk aerodynamický. V závislosti na lokálním charakteru a uspořádání dopravní infrastruktury se v kolejové dopravě vyskytují také další složky hluku. V obloucích malého poloměru je to tzv. hluk kvílivý, při průjezdu přes

¹ Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D. je absolventem Fakulty elektrotechnické VUT v Brně. Od roku 1990 je zaměstnán na Fakultě stavební VUT v Brně. V roce 2009 byl jmenován profesorem pro obor Konstrukce a dopravní stavby. Je členem významných profesních společností, např. České akustické společnosti, České asociace pro geoinformace a společnosti sdružující aktivní uživatele časově frekvenčních metod signálové analýzy Time & frequency user club National Physical Laboratory. Je odborníkem v oblasti měřících metod a techniky, dále v problematice hluku a vibrací od dopravy. Zabývá se také problematikou aplikace umělé inteligence, dopravní telematiky a GIS. V rámci svého zaměření spolupracuje s průmyslovými podniky působícími v oblasti silniční a železniční dopravy.

² Ing. Vladimír Tomandl je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně, kde od roku 2008 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, a.s., kde na pracovišti v Brně zastává funkci specialisty pro železniční infrastrukturu.

³ Prof. Ing. Luboš Pazdera, CSc. je profesorem v oboru Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství na Vysokém učení technickém (VUT) v Brně. Absolvoval obor Regulační, přístrojová a automatizační technika na VUT v Brně. Od roku 1988 je zaměstnán na Stavební fakultě VUT v Brně. Je členem České společnosti pro nedestruktivní testování. Je akademickým pracovníkem na Ústavu fyziky Fakulty stavební VUT v Brně. V rámci svého zaměření spolupracuje s průmyslovými podniky působícími v oblasti výroby železničních dvojkolí a železničních pražců.

⁴ Ing. Ivan Vukušič je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně, kde od roku 2007 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, a.s., kde na pracovišti v Brně zastává funkci specialisty pro železniční infrastrukturu.

⁵ Ing. Eva Krautová je absolventkou oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně. Od roku 2013 působí jako konzultantka pro zajištění interoperability železniční infrastruktury.

výhybky, kolejnicové styky nebo kolejová křížení hluk impaktní (narázový), na elektrifikovaných tratích hluk vznikající na styku sběrače s trakčním vedením, aj.

V zájmu omezení šíření hluku se uplatňují četná ochranná opatření. Snížení vlivu hluku na okolí je možno provést buď omezením či odstraněním zdroje hluku nebo zvýšením akustického odporu prostředí, ve kterém se akustické vlny šíří. Některá opatření se již v provozu dobře osvědčila, jiná se zkoušejí, upravují a vylepšují. Je třeba podotknout, že omezení nebo snížení hlukových emisí je neúčinnější u zdroje. Pro návrh, následnou výrobu a aplikaci ochranných opatření, která omezí zdroje hluku a jeho šíření do okolí, je důležité určení jak hlavních zdrojů hluku, tak i cest, kudy se šíří. Zásadního významu zde nabývá reálné a správné měření veličin charakterizujících hluk, jejich analýza a případné modelování. Nutnost souladu těchto tří oblastí je zřetelná. Protihluková opatření lze rozdělit dle oblasti použití na [1]:

- Protihluková opatření aplikovaná na vozidla

Do této kategorie patří zejména protihlukové absorbéry různého principu, případně stínící kryty a vhodným způsobem optimalizované tvary kola. Účinnost těchto opatření je různá, obecně lze říci, že se hodnota útlumu hluku pohybuje od cca 2 dB do 8 dB. Záleží na konstrukci provedení, použitých materiálech, provozních podmínkách apod. Je třeba poznamenat, že vyšších hodnot útlumu se dosahuje zejména v oblasti kvilivého hluku. Tento jev je typický, jak již bylo uvedeno výše, pro oblouky malých poloměrů, tramvajové smyčky apod.

- Protihluková opatření aplikovaná na trať

Tady je možné zařadit zejména kolejnicové akustické absorbéry (bokovnice), kolejnicové podložky či různé systémy kolejnicových mazníků. V literatuře se uvádí útlum hluku v rozmezí od 2 dB do 5 dB.

- Protihluková opatření aplikovaná mezi příjemcem hlukové expozice a tratí

Do této oblasti patří především různá stavební opatření. Mezi nejčastěji používanými lze jmenovat různé typy protihlukových stěn nebo individuální protihluková opatření na exponovaných objektech, tj. např. výměna oken apod. Účinnost těchto opatření je relativně vysoká, jedná se však většinou o finančně náročná díla. Dosažitelné snížení hladiny akustického tlaku silně závisí na výškové poloze zástavby, kterou chceme chránit, ve vztahu ke koleji. Může se tedy pohybovat v poměrně velkém rozsahu, od 6 dB do cca 15 dB. Protihlukové bariéry se umisťují do vzdálenosti 4 m až 4,5 m od osy přilehlé koleje. Jejich výška se běžně pohybuje od 2 m do 4 m. Vyšší bariéry jsou z důvodů bezpečnosti provozu na trati i jejich estetickému dopadu na okolí nežádoucí. K velmi zajímavým opatřením snižujícím úroveň hluku v okolí tratí patří tzv. nízké protihlukové stěny, jinak také nazývané jako nízké protihlukové clony.

1. Nízké protihlukové clony na železnici

Se zaváděním moderních železničních vozidel postupně dochází k výškovému poklesu dominantních složek hluku. Hluk valení u těchto vozidel převažuje nad

hlukem pohonných jednotek. Z některých měření a analýz vyplývá, že 80 % akustické energie od kolejové dopravy je emitováno do okolí do výšky 1 m nad temenem kolejnice. Nízké protihlukové clony (NPC) jsou postaveny souběžně s tratí do výšky cca 0,5 m až 1 m nad temenem kolejnice a relativně velmi blízko koleje. Právě ona blízkost ke zdroji hluku způsobuje, že NPC se svojí efektivitou dají přibližně srovnat s klasickými protihlukovými stěnami (PHS).

Napříč Evropou dochází v současnosti k testování několika typů NPC. Jmenujme například bezzákladovou pryžovou konstrukci Asamer zkoušenou v Rakousku, vláknobetonovou stěnu s pryžovou pohltivou vrstvou Zbloc ze Švédska, či sklopnou stěnu z hliníkových segmentů Soundim testovanou v Norsku a ve Finsku [2]. Nejvíce zkušeností s použitím NPC mají zřejmě v Německu, kde bylo ke konci roku 2012 odzkoušeno osm konstrukcí různých systémů a výšek v sedmi odlišných lokalitách [3]. Ve Francii a Nizozemí je problematika NPC ve fázi teoretických příprav. Švýcaři se dalšího výzkumu zřekli s odvoláním na níže uvedená úskalí.

Instalace clon může totiž u některých systémů vyvolat problémy s odvodněním stavby. V zimních měsících mohou navíc nastat potíže se sněhovými návěsemi, kdy NPC zastává funkci zásněžky. Na tratích s přepravou zásilek s překročenou ložnou mírou je nutné počítat se zvětšením projektované vzdálenosti konstrukce clony od osy přilehlé koleje. To může negativně ovlivnit účinnost NPC. Omezené je také použití na vícekolejných tratích a ve stanicích. Clona vzhledem ke svojí výšce nemá na hlukovou zátěž v odlehlých kolejích prakticky žádný efekt, jak bylo prokázáno experimenty v Německu. A umístění NPC mezi koleje vyžaduje velkou osovou vzdálenost kolejí a výrazně navyšuje náklady na její provedení. Instalace NPC rovněž zvyšuje riziko střetu drážních pracovníků vykonávajících údržbu s projíždějícím vlakem. Přítomnost clony může negativně ovlivnit také některé údržbové úkony, jako například ojedinělou výměnu pražce.

Oproti klasickým stěnám s sebou NPC však přinášejí několik podstatných výhod, které výše uvedený soupis možných úskalí dokáží překonat. Asi nejvýznamnější je skutečnost, že NPC se mnohem snáze začleňují do krajiny podél tratě. Současně také vytvářejí vyšší komfort cestování vlakem a podstatně méně komplikují případné záchranné práce na trati. V neposlední řadě také snižují pořizovací náklady stavby, vyjma ojedinělých případů, jakým je například již zmíněná problematická instalace mezi kolejemi.

V České republice se první aplikace NPC datuje do roku 2012, kdy došlo v rámci rekonstrukce železniční zastávky Štáhlavy k osazení nového typu nástupištní hrany H130 s předsazenou pryžovou tvárnici. V druhé polovině roku 2013 pak byly v traťových úsecích Praha-Smíchov – Praha-Hlubočepy, resp. Tetčice – Střelice umístěny NPC systému BRENS BARRIER. Jedná se o prefabrikované dílce z litého vláknobetonu. Strana přilehlá ke koleji je opatřena pohltivou vrstvou z pojeného syntetického recyklátu s povrchovou pryžovou úpravou [4]. Tato vrstva část dopadající akustické energie přeměňuje na teplo. Speciální profil dílce navíc omezuje odraz zvukových vln na opačnou stranu koleje. Mezi kolejí a vnitřní částí clony je vytvořen „prostor pro přežití“, byť tato možnost není legislativně definována. Tvarovka je opatřena nouzovou výstupní plochou pro případ mimořádné události na trati, resp. pracovní stezkou pro zaměstnance vykonávající práci v kolejí, viz obr. 1.

Literatura [2] uvádí útlum hluku prostřednictvím NPC v rozmezí od 4 dB do 14 dB. Vlastní hodnota útlumu pak silně závisí na konstrukčním systému NPC, vzdálenosti NPC od zdroje hluku, na výšce NPC a také na výšce, ve které byla osazena měřící čidla.



Obr. 1 Protihluková clona BRENS BARRIER (zdroj: autoři)

2. Metodika měření a vyhodnocení zkoušky

Základním cílem experimentu bylo posouzení efektivity NPC systému BRENS BARRIER. To bylo provedeno jednak měřeními in situ a jednak pomocí výpočtového modelu. Současně bylo kladeno za cíl ověřit, zda NPC přispěla ke splnění hygienických limitů daných platnou legislativou.

2.1 Experimentální měření in situ

Pro účely terénních měření byl vybrán mezistaniční úsek jednokolejné trati č. 240 ležící za brněnským zhlavím železniční stanice Tetčice. Měřicí profil byl situován do staničení km 6,130. Trať má v těchto místech následující parametry:

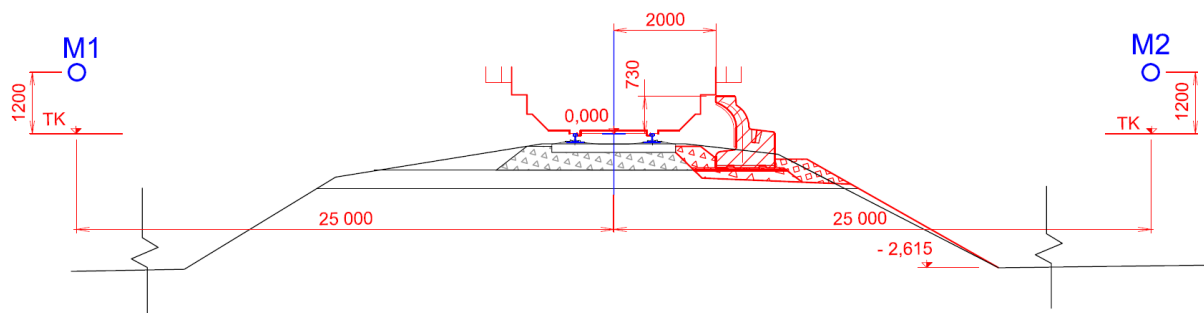
- směrově přímá, podélný sklon + 9,0 ‰
- traťová rychlost $V = 80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
- stávající železniční svršek soustavy S 49 s tuhým upevněním K

Vpravo od trati je v km 6,075 až km 6,391 zřízena NPC systému BRENS BARRIER. Výška clony je 730 mm nad temenem kolejnice. Vzdálenost horní hrany stěny (tzv. kritický bod překážky) od osy přilehlé koleje je kvůli provozované dopravě s překročenou ložnou mírou zvětšena na 2,0 m. Jinak bývá pro clonu této výšky spíše obvyklá hodnota 1,73 m. V každém případě je nezbytné důsledně dodržovat provozní odchylky prostorové polohy koleje, neboť rezerva mezi průjezdným

průřezem a konstrukcí NPC je velmi malá. Úložná plocha NPC spočívá na stávajícím náspu výšky cca 2,0 m nad okolním rovinným terénem.

Měřicí profil byl osazen dvěma hlukovými mikrofony B&K 4189. Mikrofony byly umístěny jednak na straně koleje bez protihlukového opatření – mikrofón M1, a jednak na straně s NPC – mikrofón M2. Poloha byla volena do proluky mezi budovami, aby byl vliv okolních odrazivých ploch co nejvíce omezen. Vodorovná vzdálenost obou mikrofónů od osy koleje byla v případě prvního měření 25,0 m. Tato vzdálenost korespondovala s vybranými zahraničními zkouškami [2]. Současně se jednalo o vzdálenost uliční čáry vpravo trati od zdroje hluku. Obě hluková čidla byla výškově osazena 1,2 m nad temeno kolejnice, což odpovídá předchozím měřením [5]. Mikrofón M1 byl tak ve výšce 3,5 m nad terénem, mikrofón M2 pak ve výšce 3,6 m nad terénem. Tato výška je v souladu s požadavkem ČSN ISO 1996-2 [6] na určování hladin hlukových ukazatelů v obydlených oblastech s vícepodlažní zástavbou. Uspořádání měřicího stanoviště je zřejmé z obr. 2.

KM 6,130



Obr. 2 Příčný řez tratí v místě měřicího profilu (zdroj: autoři)

První měření se uskutečnilo dne 3. 7. 2014. Na trati byly viditelně označeny hranice úseku, uvnitř kterého se předpokládá akustický vliv kolejové dopravy vůči oběma čidlům. V okamžiku příjezdu drážního vozidla k jedné z hranic byl spuštěn na měřické aparatuře záznam. Ten byl zastaven po opuštění druhé značené hranice. Měření se týkalo vlaků v obou směrech. Po dobu experimentu byly každou hodinu zaznamenávány meteorologické údaje a teplota kolejnicových pásů. Podotkněme, že klimatické podmínky bylo možné považovat za stabilní a vhodné pro uskutečnění akustického měření. Průběh experimentu je patrný z tab. 1 a z tab. 2. Data byla zaznamenávána prostřednictvím multianalizátoru Pulse Type 3050-A-060 Brüel & Kjær a ukládána do notebooku. K měření a hodnocení byl použit software Pulse 7700, 7701 a 7705 od společnosti Brüel & Kjær.

Pořadové číslo	Čas	Loko přední	Počet vozů	Rychlost [km·h ⁻¹]	Pozn.
01	12:53	842	1	56	Os 4835
02	13:03	854	1	59	Os 4812
03	13:47	750	5	18-35	R 662; odjezd od vjezdového návěstidla
04	13:49	842	1	51	Os 4811
05	14:04	854	2	60	Os 4814
06	14:16	750	5	80	R 663
07	14:31	854	2	70	Os 4832
08	14:50	842	0	62	Os 4837
09	15:06	754	3	72	Os 4834
10	15:28	842	1	62	Os 4836
11	15:40	750	5	78	R 666
12	15:52	854	2	43	Os 4813
13	16:06	750	4	51	Os 4816
14	16:07	842	1	54	Os 4839

Tab. 1 Tabulka zaznamenaných vozidel (zdroj: autoři)

Čas	Počasí	Teplota vzduchu [°C]	Teplota kolejnice [°C]		Vlhkost [%]	Atm. tlak [hPa]	Vítr (max.) [m·s ⁻¹]
			Levý pás	Pravý pás			
13:00	Jasno	33	43	43	20	1020	2,5
14:00	Polojasno	37	40	41	20	1021	0,5
15:00	Jasno	27	36	37	22	1021	0,6
16:00	Jasno	27	41	43	23	1021	0,7

Tab. 2 Klimatické podmínky (zdroj: autoři)

2.2 Zvolený matematický aparát

Akustické měření je možné z hlediska použitých matematických postupů rozdělit na dvě hlavní oblasti – časovou a frekvenční. V časové oblasti byla za hlavní deskriptor hluku vybrána tzv. hladina jednorázové expozice hluku *SEL* [dB(A)]. *SEL* je hladina hluku jednotlivé události vážená filtrem A, měřená po časový interval *T* a normalizovaná na *T*₀ odpovídající jedné vteřině. *SEL* je dána vztahem [7]:

$$SEL = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \cdot \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1),$$

kde *T*₀ je referenční časový interval [s], *T* je časový interval měření po který probíhá výpočet [s], *p*_A(*t*) je okamžitý vážený akustický tlak A [Pa] a *p*₀ je referenční hodnota akustického tlaku 2·10⁻⁵ Pa [8]. Hlavní výhoda *SEL* spočívá v měření pouze

vybraných průjezdů reprezentativních typů vlaků a následném dopočítání ekvivalentní hladiny hluku pro zvolený časový interval.

Na základě znalosti grafikonu vlakové dopravy byl proveden výpočet ekvivalentní vážené hladiny akustického tlaku A pro denní a noční dobu $L_{Aeq,T}$ [dB(A)]:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n n_i \cdot 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right] \quad (2),$$

kde T je počet vteřin [s] vztaženého období (57 600 s pro denní dobu a 28 800 s pro noční dobu), n_i je počet průjezdů i -tého typu vlaku za sledované období T a SEL_i je expozice hluku při průjezdu i -tého vlaku.

Základním nástrojem vyhodnocení ve frekvenční oblasti byla třetinooktávová analýza průměrných vážených hladin akustického tlaku v pásmech o středních frekvencích 100 Hz až 12,5 kHz. Za tímto účelem byly nejprve určeny hodnoty TO [Pa] v jednotlivých třetinooktávových pásmech ze vztahu:

$$TO = \sqrt{\frac{1}{f_h - f_d} \cdot \int_{f_d}^{f_h} AS^2(f) \cdot df} \quad (3),$$

kde f_h je horní hranice frekvenčního pásma [Hz], f_d je dolní hranice frekvenčního pásma [Hz] a $AS(f)$ je frekvenční amplitudové spektrum [Pa] získané pomocí algoritmu rychlé Fourierovy transformace FFT . Následně byl proveden přepočítání na hledané hladiny akustického tlaku L_{pA} [dB(A)].

2.3 Tvorba výpočtového modelu

Souběžně s měřením byl pro účely pozdějších analýz, jež nebylo možné provádět experimentálně, sestaven akustický model. K modelování byl použit program SoundPlan výrobce Braunstein+Berndt GmbH. Digitální model terénu byl vytvořen prostřednictvím datové sady ZABAGED zakoupené přes Geoportál Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Na základě místního šetření a internetového mapového prostředí bylo provedeno zadání jednotlivým geosouborů, mezi které patří liniové stavby, pozemní objekty či ostatní prvky situace, včetně NPC. Zdroj hluku byl definován na základě znalosti grafikonu vlakové dopravy, typu a vozové skladbě jednotlivých vlaků. Pro výpočet byl zvolen model Schall 03. Výsledky modelování byly kalibrovány prostřednictvím údajů získaných z měření in situ. Konečným výstupem jsou hlukové řezy a hlukové mapy, které nám poskytují prostorové informace o vlivu NPC na šíření hluku ze železniční dopravy. Podrobnější popis dané problematiky je však nad rámec tohoto příspěvku.

3. Interpretace výsledků

Na základě získaných hladin jednorázové expozice hluku SEL je zřejmé, že účinnost NPC se pro vztažnou vzdálenost 25,0 m pohybuje v rozmezí 3 dB

až 8 dB, viz tab. 3. Velikost *SEL* přímo úměrně souvisí s rychlostí jízdy kolejového vozidla a s jeho typem. V případě účinnosti NPC, tedy rozdílu mezi expozicemi hluku na straně bez protihlukového opatření a na straně s NPC, toto nelze ze získaných dat tak jednoznačně určit. Nízká efektivita NPC u vlaku č. 03 je způsobena vlivem akcelerace, tedy dominancí hluku motoru a přenosové soustavy nad hlukem valivým. Jako neoptimálnější provozovanou soupravu lze hodnotit motorový vůz řady 842 vybavený kotoučovými brzdami s přípojným vozem Bdtm se špalíkovými brzdami. U těchto souprav byly téměř bez výjimky a nezávisle na jízdních rychlostech naměřeny nejnižší jednorázové expozice hluku *SEL*. Současně zde byla zjištěna nejvyšší efektivita NPC. Vliv sklonových poměrů trati nelze z výsledků měření stanovit, i když je možné určitou závislost logicky předpokládat. Vliv NPC na výsledky získané na straně bez protihlukových opatření lze na základě uskutečněných experimentů zanedbat [9]. Zvýšení ekvivalentní hladiny akustického tlaku se pohybuje kolem hodnoty 0,5 dB. Takto nízké hodnoty je z praktického hlediska možné označit za chybu měření.

Pořadové číslo – vlak; rychlost	SEL [dB(A)]		Rozdíl v SEL [dB(A)]
	Mikrofon M1; vzd. 25 m; bez opatření	Mikrofon M2; vzd. 25 m; NPC	
01 - Os 4835; V = 56 km·h ⁻¹	88	81	7
02 - Os 4812; V = 59 km·h ⁻¹	86	80	6
03 - R 662; V = 18-35 km·h ⁻¹	88	85	3
04 - Os 4811; V = 51 km·h ⁻¹	88	81	7
05 - Os 4814; V = 60 km·h ⁻¹	89	83	6
06 - R 663; V = 80 km·h ⁻¹	96	90	6
07 - Os 4832; V = 70 km·h ⁻¹	91	85	6
08 - Os 4837; V = 62 km·h ⁻¹	86	80	6
09 - Os 4834; V = 72 km·h ⁻¹	88	83	5
10 - Os 4836; V = 62 km·h ⁻¹	90	82	8
11 - R 666; V = 78 km·h ⁻¹	95	90	5
12 - Os 4813; V = 43 km·h ⁻¹	90	85	5
13 - Os 4816; V = 51 km·h ⁻¹	89	84	5
14 - Os 4839; V = 54 km·h ⁻¹	88	82	6

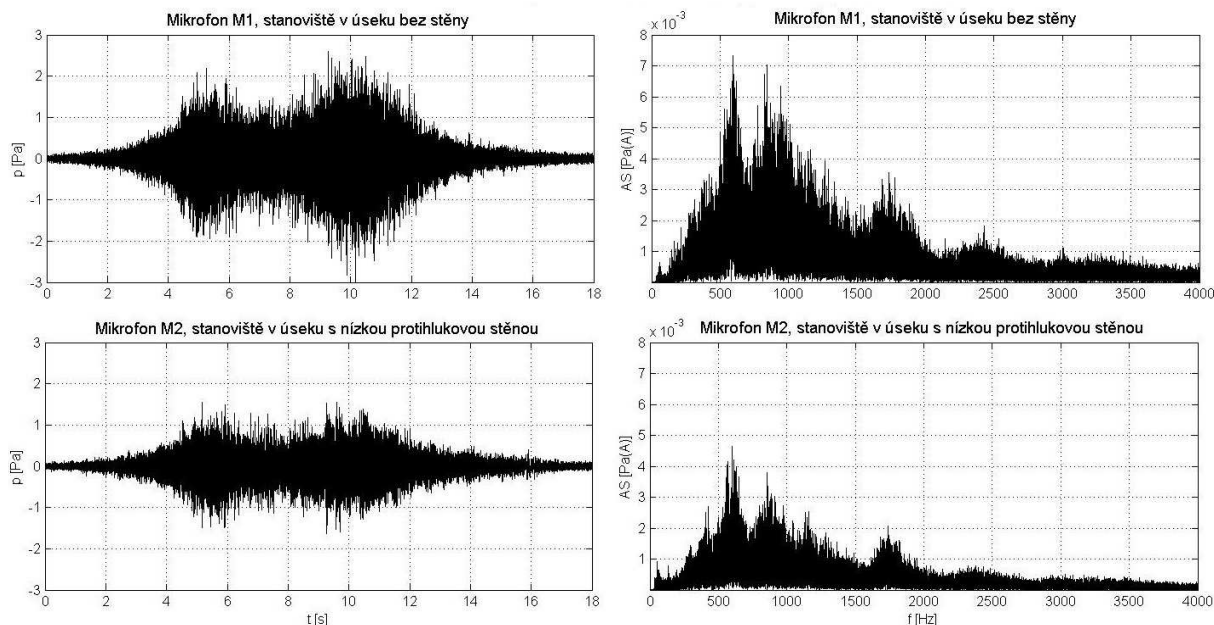
Tab. 3 Hodnoty jednorázové expozice hluku *SEL* (zdroj: autoři)

Z vypočtených ekvivalentních vážených hladin akustického tlaku vyplývá, že po aplikaci NPC jsou v předmětném úseku trati prokazatelně dodrženy hygienické limity pro chráněný venkovní prostor staveb v ochranném pásmu dráhy jak pro denní, tak i pro noční dobu. Podotkněme, že bylo pro účely měření uvažováno volné zvukové pole ve smyslu normy ČSN ISO 1996-2. Hodnoty uvedené v tab. 4 nejsou proto nijak korigovány. Toto opatření je z hlediska interpretace výsledků na stranu bezpečnou. Rozšířená nejistota měření [10] nepřekračuje hodnoty dané rozdílem hygienického limitu dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [11] a maximální hodnoty vypočtené ekvivalentní vážené hladiny akustického tlaku.

Časový interval T	$L_{Aeq,T}$ [dB(A)]		Hygienický limit [dB(A)] [11]
	Mikrofon M1; vzd. 25 m; bez opatření	Mikrofon M2; vzd. 25 m; NPC	
Pracovní den, 6 až 22 hod. (den)	60	55	60
Víkend, 6 až 22 hod. (den)	60	55	
Pracovní den, 22 až 6 hod. (noc)	49	43	55
Víkend, 22 až 6 hod. (noc)	48	42	

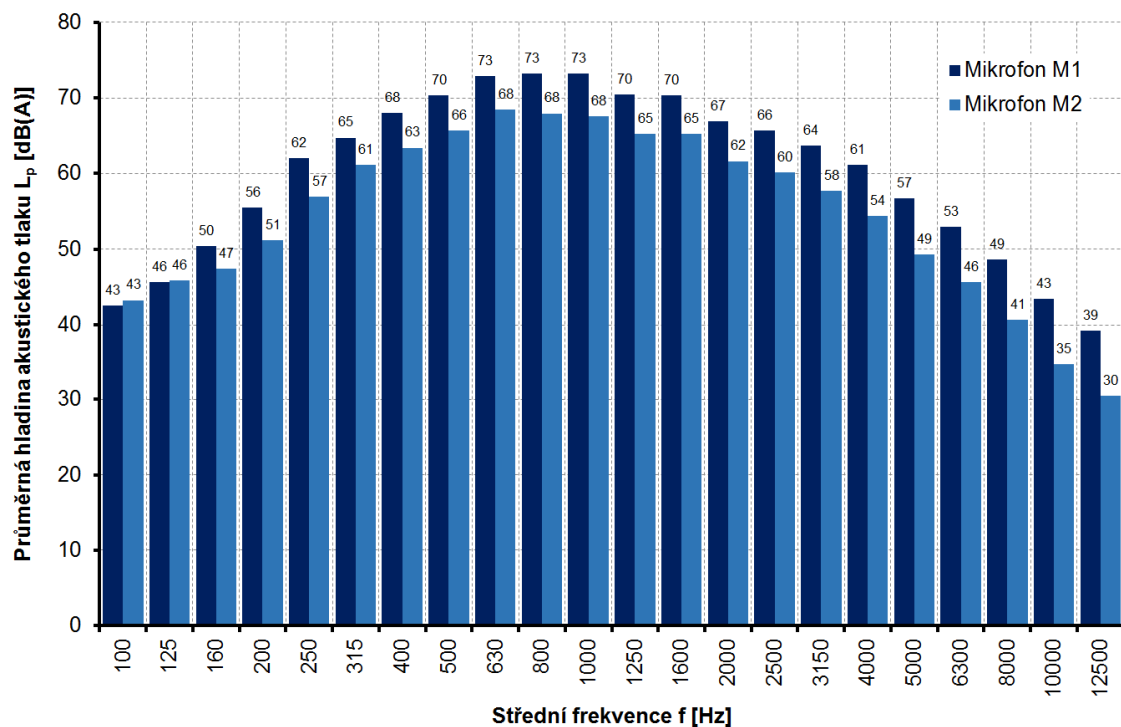
Tab. 4 Ekvivalentní vážené hladiny akustického tlaku (zdroj: autoři)

Pro názornou ukázkou rychlé Fourierovy transformace *FFT* z časové do frekvenční oblasti byl vybrán rychlík R 663, který projížděl sledovaným úsekem maximální traťovou rychlostí. U této soupravy byly navíc zjištěny nejvyšší hodnoty jednorázové expozice hluku *SEL*. V levé části grafu 1 jsou zachyceny časové průběhy akustického tlaku při průjezdu rychlíku měřícím úsekem. Z grafů lze vyčíst globální maxima přibližně 3,0 dB v čase $t = 10$ s pro stranu koleje bez protihlukových opatření a přibližně 1,5 dB v čase $t = 9,5$ s na straně koleje s NPC. Tato maxima nesouvisí s hnacím vozidlem. Pravděpodobně se jedná o jev indikující imperfekce na pojižděné hraně kolo-kolejnice, což potvrzují též dominantní amplitudy ve frekvenčním spektru 500 Hz až 650 Hz (pravá strana grafu 1). Dalšími výraznými oblastmi jsou pásma kmitočtů 800 Hz až 1,0 kHz, resp. 1,6 kHz až 1,8 kHz. Z *FFT* spekter je zřejmý útlum vlivem instalace NPC. Tento útlum je dobře patrný napříč celým frekvenčním pásmem 100 Hz až 4,0 kHz. Podrobnější informace o dané problematice nám poskytne třetinooktávová analýza, která je základem spektrální analýzy hluku.

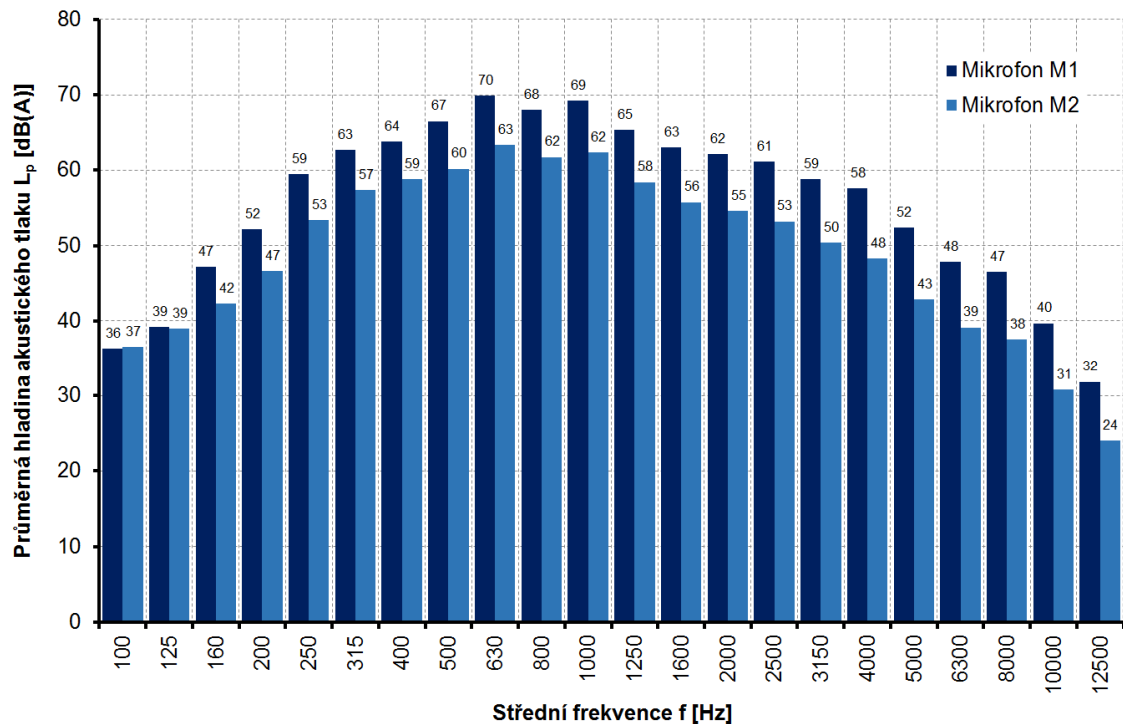

 Graf 1 Rychlík č. 06, R 663, $V = 80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; časový průběh akustického tlaku (vlevo); frekvenční vážené amplitudové spektrum A (vpravo) (zdroj: autoři)

V rámci třetinoctávové analýzy byly vyhodnoceny pouze vybrané vlaky, srovnatelné na základě jízdní rychlosti a vozové skladby. Výsledky byly dále rozčleněny na dvě základní skupiny. První skupinu tvoří klasické vozové soupravy, druhou pak motorové osobní vlaky. Zprůměrováním výsledků každé skupiny byl vytvořen graf 2, resp. graf 3. Tmavě modrou barvou jsou reprezentovány průměrné vážené hladiny akustického tlaku A v jednotlivých třetinoctávových pásmech na straně koleje bez NPC. Světle modrá barva pak představuje totožný indikátor hluku, tentokrát však na straně koleje s NPC. Z výsledků je zřejmé, že v nejlépe slyšitelném pásmu lidského ucha 500 Hz až 4,0 kHz NPC výrazně redukuje hladinu akustického tlaku. V případě souprav s klasickými vozy taženými diesellovou lokomotivou se jedná o pokles o 4 dB(A) až 7 dB(A). U motorových osobních vlaků je rozdíl ještě markantnější, tj. 6 dB(A) až 10 dB(A). V tento okamžik je vhodné poznamenat, že zatímco rozdíl hladin akustického tlaku 3 dB je nejmenší změnou, kterou je lidský sluch schopen zachytit, zvýšení hladiny akustického tlaku o 6 dB již představuje zdvojnásobení akustického tlaku. K dosažení dvojnásobně silného subjektivního sluchového vjemu je zapotřebí nárůst hladiny akustického tlaku o 10 dB. Také v pásmu frekvencí nad 4,0 kHz dochází vlivem instalace NPC k zásadnímu poklesu průměrných hladin akustického tlaku. U vlaků klasické vozové skladby je to v průměru o 8 dB(A), u motorových osobních vlaků v průměru o 9 dB(A). V kmitočtové oblasti pod 500 Hz již není efektivita NPC tolik významná. V případě první skupiny vlaků dochází ke snížení hladiny akustického tlaku přibližně o 4 dB(A), v případě druhé skupiny pak o 5 dB(A).

Kmitočty pod 100 Hz nebyly hodnoceny. Z hlediska negativních účinků hluku na lidský organismus nepředstavují zásadní problém. Velmi nízké frekvence také často bývají citlivé na nepřesnosti vznikající vlivem zpracování surového signálu.



Graf 2 Klasické vozové soupravy, charakteristická rychlost $V = 77 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; třetinoctávová analýza průměrných vážených hladin akustického tlaku (zdroj: autoři)



Graf 3 Motorové osobní vlaky, charakteristická rychlost $V = 57 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; třetinooktávová analýza průměrných vážených hladin akustického tlaku (zdroj: autoři)

Závěr

Závěrem lze konstatovat, že zvolené metody měření a zpracování dat jsou pro uvedený typ zkoušky vhodné. Kolektiv autorů se domnívá, že osazení mikrofonů po obou stranách koleje s sebou přineslo spíše výhody, než negativa. Přínosem je bezesporu fakt, že při tomto uspořádání je možné měřit kolej s NPC i bez ní v jeden okamžik. To znamená při stejném dopravním zatížení, při stejných kvalitativních podmínkách na trati, v totožném počasí, apod. Nevýhodou tohoto uspořádání může být skutečnost, že neměříme hlukové deskriptory ve stejném bodě. Může tím docházet k chybám vlivem šíření nestejným prostředím. Vhodným výběrem měřicího stanoviště však lze tento nedostatek omezit na minimum, např. výběrem volného zvukového pole. Měření efektivity NPC po obou stranách trati současně je také prakticky jedinou vhodnou metodou v případě, kdy není možné provést měření před a po implementaci protihlukového opatření.

Uskutečněná měření prokázala dobrou efektivitu NPC z pohledu snižování hlukových emisí. Získané výsledky potvrzují, uvažíme-li odlišnou vzdálenost mikrofonů od zdroje hluku, závěry uvedené v rámci předchozích experimentů [5]. Ekvivalentní váženou hladinu akustického tlaku pro denní i noční dobu se instalací NPC podařilo ve sledované rovině 1,2 m nad temenem kolejnice snížit minimálně o 5 dB(A) až 6 dB(A). To plně koresponduje se zkušenostmi dalších států EU [2]. Je vhodné připomenout, že kritický bod NPC umístěné v mezistaničním úseku Střelice – Tetčice je kvůli provozované dopravě s překročenou ložnou mírou odsunut na vzdálenost 2,0 m od osy koleje. Při obvyklé vzdálenosti 1,73 m od osy koleje by se proto účinnost konstrukce NPC s největší pravděpodobností zvýšila. Pozitivní

dopad NPC byl ověřen také na základě místního šetření. Subjektivní vnímání železničního hluku se u všech dotázaných obyvatel dotčeného území zlepšilo. Také z estetického hlediska zanechala NPC dobrý dojem.

Bude-li součinností projektantů, výrobce a provozovatele dráhy nalezen způsob, jakým odstranit všechna bezpečnostní rizika uvedená v kapitole 2 tohoto příspěvku, může aplikace NPC přinést zajímavou alternativu k jiným standardně používaným protihlukovým opatřením. Její přednosti je možné ocenit především u jednokolejných tratí v náspu všude tam, kde se nepředpokládá časté rozjíždění vlakových souprav, ani návěst pískejte. Vyniká zejména možnost snadnějšího začlenění NPC do krajiny, než je tomu v případě PHS. S uvážením charakteristického šíření hluku z železniční dopravy do okolí lze předpokládat, že účinnost takto zřízené NPC se vlastnostem PHS vyrovná. Pro každý konkrétní případ bude ovšem nezbytné zohlednit několik parametrů. Jmenujme např. výšku náspu, charakter okolního terénu a zástavby, či traťovou rychlost. Ta by ve vztahu k bezpečnosti, údržbě trati a s ohledem na aerodynamické účinky železniční dopravy neměla překračovat $V_{\max} = 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Použití NPC u více kolejných tratí se nedoporučuje. Její účinnost je totiž vzhledem ke zdroji hluku v odlehle koleji velmi omezená a budování NPC mezi kolejemi by vyvolalo řadu bezpečnostních, technických a provozních problémů. Ani z finančního hlediska by toto provedení nebylo rentabilní. Z pohledu provozované dopravy bude NPC nejvíce účinná u moderních jednotek, kde hluk z valení převládá nad hlukem z hnací jednotky, resp. nad hlukem z přenosových systémů. Pozitivní výsledky lze rovněž očekávat u velmi dlouhých souprav tvořených klasickými vozy taženými lokomotivou. V našem případě se jako nejoptimálnější jevila souprava sestávající z motorového vozu řady 842 a přípojného vozu Bdtn.

Poděkování

Autoři příspěvku touto cestou děkují společnosti ŽPSV, a.s., Uherský Ostroh, jmenovitě panu Janu Eisenreichovi, za poskytnutí výkresové dokumentace k cloně BRENS BARRIER.

Publikovaných výsledků bylo dosaženo za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR), číslo projektu TE01020168 Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI).

Literatura

- [1] J. SMUTNÝ, L. PAZDERA: *Snižování hluku u železničních vlakových souprav*. Akustika. Studio D – Akustika. České Budějovice. 2008.
- [2] E. SCOSSA-ROMANO, J. OERTLI: *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers. A report on the state of the art*. Schweizerische Bundesbahnen SBB. Bern. Říjen 2012.
- [3] Deutsche Bahn AG Konzern. *Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg – Schlussbericht*. Červen 2012.
- [4] J. EISENREICH: *Nízké protihlukové clony BRENS BARRIER – alternativní řešení hluku z kolejové dopravy v zastavěných aglomeracích*. Vědeckotechnický sborník Českých drah č. 33/2012.
- [5] J. HLAVÁČEK: *Efektivita nízké protihlukové BRENS BARRIER na trati Brno – Jihlava v km 6,075-6,391*. Technická zpráva projektu NOVIBRAIL. Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Praha. 2013.
- [6] Česká technická norma ČSN ISO 1996-2. *Akustika - Popis, měření a posuzování hluku prostředí - Část 2: Určování hladin hluku prostředí*. Srpen 2009.
- [7] J. HLAVÁČEK: *Metodika pro měření akustických parametrů kolejových vozidel podle TSI, subsystém „Kolejová vozidla – hluk“*. Technická zpráva o řešení etapy I. úkolu „Databáze hlukových zdrojů na železnici“. Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Praha. 2006.
- [8] Česká technická norma ČSN ISO 1996-1. *Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení*. Srpen 2004.
- [9] J. HLAVÁČEK: *Efektivita nízké protihlukové BRENS BARRIER na trati Praha – Rudná v km 3,524-3,738*. Technická zpráva projektu NOVIBRAIL. Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Praha. 2013.
- [10] Metodický návod HEM-300-11.12.01-34065, *pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí*. Ministerstvo zdravotnictví. Praha. Prosinec 2001.
- [11] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. Srpen 2011.

Praha, říjen 2014

Lektorovali: Ing. Jan Hlaváček
VUZ, a.s.

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
ČVUT