

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

100. AKUSTICKÝ SEMINÁŘ

19.–21. října 2021

Znojmo



Redakce sborníku:

Marek Brothánek, Radka Svobodová

Sborník 100. akustického semináře

Redakce sborníku: Ing. Marek Brothánek, Ph.D.
Mgr. Radka Svobodová

Vytištěno pro potřeby 100. akustického semináře,
konaného ve dnech 19.–21. října 2021 ve Znojmě pod záštitou ministra zdravotnictví
České republiky.

Příspěvky otištěné ve sborníku nebyly redakčně upravovány.

Copyright © České vysoké učení technické v Praze, 2021

ISBN 978-80-01-06888-5

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta elektrotechnická

Kontaktní adresa: Ondřej Jiříček, Technická 2, 166 27 Praha 6

 +420 22 435 2310

Náklad 200 výtisků, počet stran 104, pořadí vydání 1.

Tisk: ACAN, Družstevní 11, 252 06 Davle-Sloup

Obsah

František Blažek Implementace parametrického reproduktoru	7
Ondřej Bret Praktické využití akustické kamery pro sledování kolejových konstrukcí na tramvajových tratích	13
Stanislav Bříza Porovnání hlukové legislativy a praxe mezi ČR a UK	21
Pavel Junek Strategické hlukové mapy na (ro)zcestí	31
Miroslava Kozlová, Ondřej Jiříček, Marek Brothánek Pre-test pro hodnocení kvality zvuku čerpacích palivových jednotek	37
Vítězslav Křivánek, Petra Marková, Jan Machanec, Dana Potužníková Data pro ekonomické srovnání akustického vývoje nízkohlučného a běžného povrchu pozemní komunikace	43
Lenka Lomoz, Karel Šnajdr Problematika ověřování akustických vlastností PHS v terénu	51
Samuel Maduda, Roman Čmejla Korelace spektrálních momentů diadochokinetických úloh a věku dětí	61
Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth, Pavel Junek, Jiří Michal, Martin Hill Možnosti hodnocení neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku	65
Markéta Stanovská Vliv expozice hluku z volnočasových aktivit na kvalitu sluchu u mladé populace	71
Jan G. Švec Dozimetrie hlasu	79

Jan Vimr, Roman Čmejla	
Odhad tempa řeči u českých dětí pomocí fonémového rozpoznávače	83
Karel Vokurka	
Experimentální studium šíření kulových rázových vln ve vodě	87
Ladislav Zuzjak, Oldřich Tureček	
Měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů v automobilech	95

Seznam sponzorů

LB-acoustics Messgeräte GmbH

AVETON s.r.o.

KNAUF CEILING Solutions – Armstrong Building Products Czech Republic, s.r.o.

OWA – Odenwald Faserplattenwerk GmbH

Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. – Divize Rigips

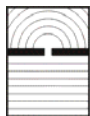
Saint-Gobain Ecophon AB

Rockphon – akustické stropní podhledy a stěnové systémy

Ekola Group, spol. s r. o.

SVMTech s.r.o.

Organizátoři semináře děkují všem sponzorům za podporu.



Implementace parametrického reproduktoru

František Blažek

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

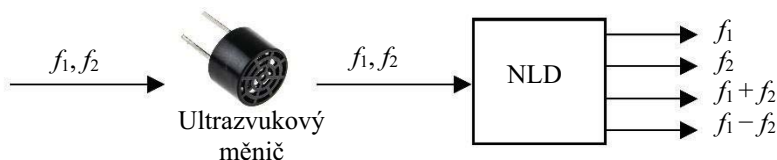
blazefra@fel.cvut.cz

Abstract Parametric Array Loudspeaker transmits ultrasonic waves and creates Parametric Acoustic Array (PAA) in the audible range due to the nonlinear interactions of primary ultrasonic waves in air. In this paper, basic principles are described and experimental DSP-based Parametric Acoustic Loudspeaker using Modified Amplitude Modulation is introduced.

1 ÚVOD

Vlivem nelineární interakce dvou primárních ultrazvukových vln ve vzduchu vznikají součtové a rozdílové sekundární vlny, které se následně šíří nezávisle na primárních vlnách. V oblasti parametrických reproduktorů využíváme zejména vln rozdílových, které jsou typicky ve slyšitelném pásmu. Díky tomuto principu je možné dosáhnout vysoké směrovosti výsledného zvuku při zachování kompaktních rozměrů záříče, směrovost je navíc u parametrických reproduktorů méně frekvenčně závislá než u reproduktorů konvenčních [1].

Teoretický základ položil v roce 1963 Peter J. Westervelt [2], který popsal vznik parametrického akustického pole (PAA), následně H. O. Berkta v roce 1965 uvedl další popis chování rozdílových vln. V roce 1983 publikoval M. Yoneyama článek s praktickou realizací a měřením parametrického měniče [3]. Tematikou se dále zabýval F. J. Pompei ve své disertační práci v roce 2002 [1].



Obrázek 1. Princip autodemodulace

2 PRINCIP A NÁVRH

2.1 Berktagovo řešení ve vzdáleném poli

Berktagovo řešení popisuje chování sekundárních demodulovaných vln ve vzdáleném poli. Při vyjádření primárních vln podle:

$$P_1(t) = P_1 E(t) \sin(\omega_c t), \quad (1)$$

kde P_1 je amplituda akustického tlaku primární vlny, $E(t)$ je obálková funkce signálu a ω_c je úhlová frekvence nosné vlny. Akustický tlak sekundární vlny se vyjádří jako:

$$p_2 = \frac{\beta P_0^2 a^2}{16 \rho_0 c_0^4 \alpha z} \frac{\partial^2}{\partial t^2} E^2(\tau), \quad (2)$$

kde β je koeficient nelinearity, ρ_0 je hustota vzduchu, c_0 je rychlost zvuku, z je vzdálenost od zdroje zvuku, α je koeficient absorpce primárních vln a τ je retardovaný čas [4].

Amplituda sekundárních vln je úměrná druhé derivaci mocniny obálkové funkce, což vede ke generaci zkreslení zejména při použití konvenčních modulačních technik.

2.2 Modulační techniky

U parametrických reproduktorů se nejčastěji setkáváme s různými variacemi amplitudové modulace, i když byly publikovány i experimenty implementující frekvenční modulaci [5].

Nejjednodušší technikou je amplitudová modulace s oběma postranními pásmy (DSB-AM), která ovšem vykazuje vysoké hodnoty harmonického (THD) i intermodulačního (IMD) zkreslení. Jako řešení vysokého THD se nabízí amplitudová modulace s jedním postranním pásmem (SSB-AM), neřeší ovšem setrvávající problém vysokého IMD. Z Berktagova řešení se přímo nabízí, aby technika zpracování signálu obsahovala operaci druhé odmocniny (SRAM), což představil v roce 1984 T. Kamakura [6]. Pro přesnou reprodukci odmocniny signálu je ovšem potřeba nekonečná šířka pásma [7]. V roce 2009 publikovali E.-L. Tan a W.-S. Gan techniku modifikované amplitudové modulace (MAM), která je variantou kvadrurní amplitudové modulace (QAM) s odmocninou figurující v ortogonální nosné [8]. Nicméně i tato modulační technika vyžaduje nekonečnou šířku pásma, proto se přistupuje k aproximaci řešení pomocí Taylorovy řady [7].

Výše uvedené techniky předpokládají platnost Berktagova řešení, které je paraxiálním řešením Westerveltovy rovnice ve vzdáleném poli za určitých podmínek, zejména že akustický tlak primárních vln není dostatečně vysoký na to, aby se formovaly rázové vlny [8]. Pro analytické řešení za podmínky vyššího Gol'dbergova čísla je vhodnější použít Merklingerovo řešení [9].

3 IMPLEMENTACE V DSP

Vzhledem k dostupnosti a jednoduchosti implementace prvních experimentů byl vybrán obvod digitálního signálového procesoru (DSP) ADAU1701 od Analog Devices [10], který disponuje analogovými vstupy i výstupy, vzorkovací frekvencí převodníků 192 kHz a rychlostí 50 MIPS. K programování DSP se využívá k tomu určeného softwaru SigmaStudio [11]. Signál z výstupu DSP je zesílen zesilovačem pracujícím ve třídě D, TPA3221 od Texas Instruments [12], který pracuje na spínací frekvenci 600 kHz. Celý systém je umístěn na společné desce plošných spojů a výstup je připojen k paralelní kombinaci 121 ks měničů Fbele FBULS1007PT [13].

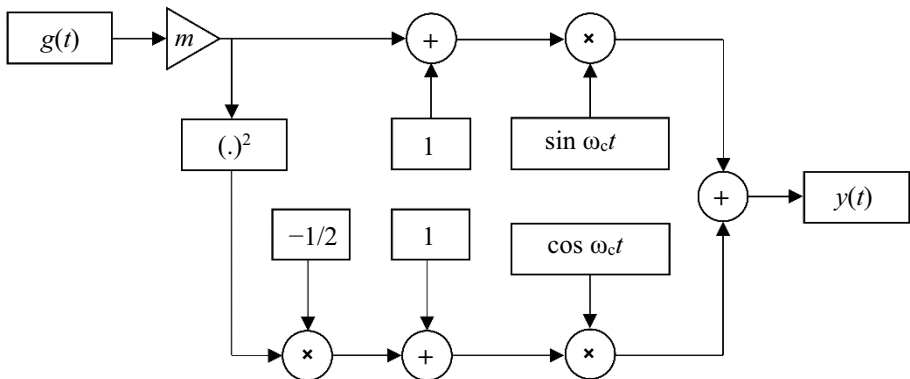
Pro ukázkou implementace modulační techniky byla vybrána modulace MAM, pro vstupní signál $g(t) = \cos(\omega t)$ platí:

$$P_1(t) = P_1 \{ [1 + m g(t)] \sin(\omega_c t) + \sqrt{1 + m g(t)} \cos(\omega_c t) \}, \quad (3)$$

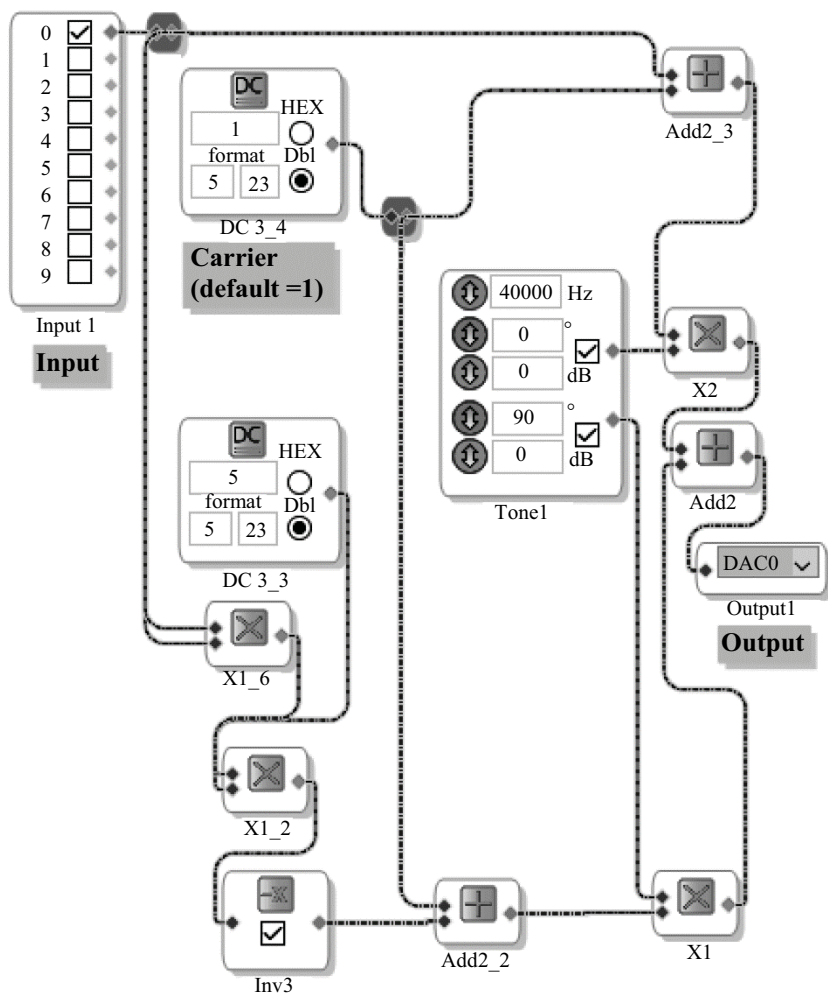
kde m je index modulace. Po aplikaci Taylorova rozvoje 1. řádu získáme funkci:

$$P_1(t) = P_1 \{ [1 + m g(t)] \sin(\omega_c t) + \left[1 - \frac{1}{2} m^2 g^2(t) \right] \cos(\omega_c t) \}. \quad (4)$$

Blokové schéma MAM1 má tedy podobu, kterou jsme již schopni implementovat v blokovém prostředí programu SigmaStudio. Simulace byla dále provedena v prostředí Matlab.



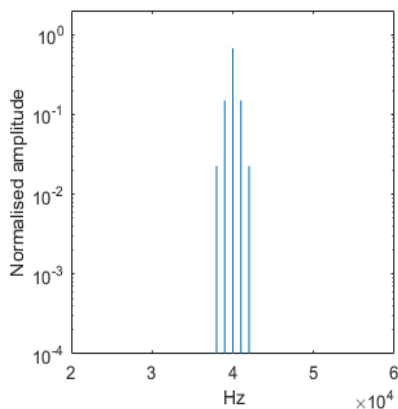
Obrázek 2. Blokový diagram MAM1



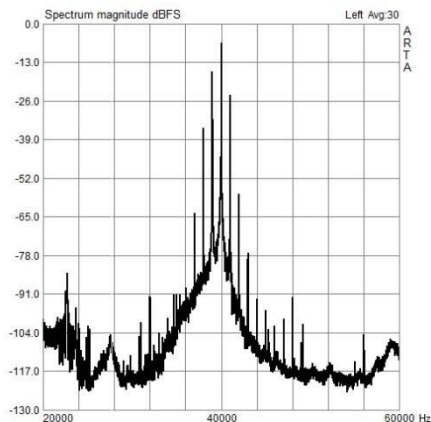
Obrázek 3. Implementace MAMI v SigmaStudio

4 MĚŘENÍ

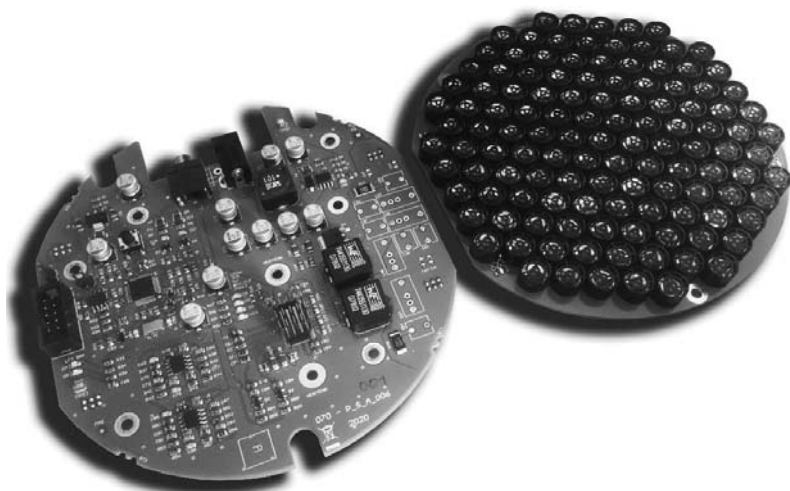
Měření bylo provedeno v laboratoři pomocí software ARTA, mikrofonu Beyer-dynamic MM1 a zvukové karty Steinberg UR22. Níže znázorněná spektra zobrazují 1kHz signál modulovaný technikou MAM1 s nosnou frekvencí 40 kHz.



Obrázek 4. *Simulace spektra*



Obrázek 5. *Spektrum akustického signálu*



Obrázek 6. *Prototyp parametrického akustického měniče*

5 ZÁVĚR

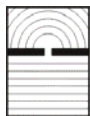
V příspěvku byl představen nový prototyp parametrického ultrazvukového měniče s modulátorem na bázi DSP. Byla popsána topologie modulátoru a jeho implementace v programovém prostředí SigmaStudio. Naměřený výsledek odpovídá teoretickému předpokladu, obsahuje ovšem lineární i nelineární zkreslení. To mohlo být způsobeno zkreslením přímo v obvodu DSP, ale i lineárním zkreslením měřicí aparatury v ultrazvukovém frekvenčním pásmu.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl podpořen projektem 2020–2022, SGS20/167/OHK3/3T/13.

REFERENCE

- [1] Pompei, F. J.: *Sound from ultrasound: The parametric array as an audible sound source*, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [2] Westerwelt, P. J.: Parametric Acoustic Array, *The Journal of the Acoustical Society of America* 35 (535), 1963.
- [3] Yoneyama, M., et al.: The audio spotlight: An application of nonlinear interaction of sound waves to a new type of loudspeaker design, *The Journal of the Acoustical Society of America* 73 (1532), 1983.
- [4] Berktaý, H. O.: Parametric amplification by the use of acoustic non-linearities and some possible applications, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 2, Issue 4, 1965.
- [5] Hatano, Y. et al.: Compensation for Nonlinear Distortion of the Frequency Modulation-Based Parametric Array Loudspeaker, *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, Volume 25, Issue 8, 2017.
- [6] Kamakura, T., et al.: Developments of Parametric Loudspeaker for Practical Use, 10th International Symposium on Nonlinear Acoustics, 1984.
- [7] Tan, E.-L., et al.: On preprocessing techniques for bandlimited parametric loudspeakers, *Applied Acoustics*, Volume 71, Issue 5, 2010.
- [8] Merklinger, H. M.: Improved efficiency in the parametric transmitting array, *The Journal of the Acoustical Society of America* 58 (784), 1975.
- [9] Shi, Ch., et al.: Effect of the ultrasonic emitter on the distortion performance of the parametric array loudspeaker, *Applied Acoustics*, Volume 112, 2016.
- [10] Datasheet: ADAU1701. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADAU1701.pdf>
- [11] Software: SigmaStudio. Dostupné z: <https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio>
- [12] Datasheet: TPA3221. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa3221.pdf>
- [13] Datasheet: Fbele FBULS1007PT. Dostupné z: <http://www.fbeletech.com/product/0-160.html>



Praktické využití akustické kamery pro sledování kolejových konstrukcí na tramvajových tratích

Ondřej Bret

Fakulta stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ondrej.bret@fsv.cvut.cz, ondrej.bret@gmail.com

Abstract The paper describes experiments aimed at determining the sources of noise passing through the track structure of the tram line. The experiment was performed using acoustic camera. The measurement was performed at the track structure (denomination “R04”) at the turn of the tram line in Prague-Braník, located on the Vyton – Modrany district line and at the track structure on the crossroads Rasin’s waterfront – Svobodova street (near Vyton stop). The aim of the experiment was to verify the hypothesis that the noise load of wheels through the weld in front of the shallow crossing is comparatively problematic to noise emitted from crossing.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Hluková zátěž emitovaná při průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce (tj. přes „tramvajové křižovatky“) se s rostoucím důrazem na kvalitu života a životní prostředí ve městech stává jedním z klíčových hledisek při sledování a vyhodnocování kolejových konstrukcí a jejich vlivu, resp. vlivu tramvajových tratí obecně, na své okolí. Hluk emitovaný provozem je nežádoucím doprovodným jevem (nejen) tramvajového provozu, a často se také stává omezující překážkou zejména pro rozvoj a plánování tramvajových tratí nových, ale i možným limitujícím prvkem pro provoz tratí stávajících. Limitován pak s ohledem na současné legislativní nastavení limitů hluku [1] může být například počet spojů, a to nejen v noční době. V této souvislosti je tak třeba brát zřetel nejen na mezikřižovatkové úseky, které jsou sice s ohledem na podíl jejich délky výrazně převažující, avšak s ohledem na jejich charakter a možná protihluková opatření často méně konfliktní, ale zejména na kolejové konstrukce, které mohou být v důsledku významně problematičtějším zdrojem hluku.

Odlišnosti „širé“ tratě a kolejové konstrukce najdeme od rychlosti průjezdu přes vznik rázů doprovázejících přejezd kol přes přerušenou jízdní dráhu (v místě křížení kolejnic) až po odlišné spektrum vydávané pohony (zrychlení, konstantní jízda, výběh, brzdění). Projevují se tak zde zcela jiné dominantní složky vznikajícího hluku

– u kolejových konstrukcí s mělkými srdcovkami, kterých se následující text týká, zejména právě nárazy kol na hroty srdcovek, související „kastanětování podvozků“ (jev popsany např. v [2]) a další.

1.1 Vymezení a vysvětlení některých pojmů

Pro bližší pochopení problematiky je nutné vymezit (vysvětlit) některé užívané pojmy. *Kolejovou konstrukcí* je obecně chápána konstrukce kolejového svršku umožňující přejezdy kolejových vozidel mezi kolejemi, úrovnňové křížení kolejí nebo konstrukce plnící jinou funkci, kterou nemůže plnit kolej běžné konstrukce. Jedná se především o výhybky, výhybkové konstrukce a kolejové křižovatky, ale i o splítkové výhybky a kolejové splítky, kolejová dilatační zařízení a výkolejky [3]. *Srdcovkou* se rozumí místo vzájemného překřížení kolejnicových pásů v kolejové konstrukci. *Srdcovkou s mělkým žlábkem* pak srdcovka, která je navržena tak, že se kolo pohybuje po okolku, nikoli po jízdni ploše (tj. hloubka žlábků je menší než výška okolku).

Výzkum, jehož některé výstupy popisuje tento příspěvek, se zaměřuje právě na kolejové konstrukce tramvajových tratí s mělkou srdcovkou, které jsou lokalizovány v síti Dopravního podniku hlavního města Prahy.

Již zde v úvodu je nutné zdůraznit, že na průjezd kolejových vozidel (v tomto případě tramvají) má zásadní vliv i charakter a provedení vozů a jejich kol, jejich šířka a obecně celá historie a kontext vývoje provedení a návrhu srdcovek pro tramvajové tratě. Detailní rozbor této problematiky však přesahuje možnosti tohoto příspěvku – další informace lze však nalézt v související literatuře (např. [3–6] nebo [7]).

V tramvajových provozech můžeme obecně nalézt dvě základní cesty koncepce užívání kol a konstrukce kolejových konstrukcí (bližší popsáno např. v [7]).

Obecně lze říci, že využívání širších tramvajových kol (například Ostrava, šířka kol až 120 mm) s sebou nese výhody v podobě klidnějšího a plynulejšího (tedy zpravidla i tiššího) průjezdu tramvaje přes srdcovku a přináší možnosti využívání hlubokých srdcovek i pro křížení vyšších úhlů. Toto řešení je však spojeno s vyššími náklady na pořízení a údržbu, nároky na bezprostřední okolí temene kolejnice (dlažební kostky nebo jiný povrch vozovky vyčnívající nad úroveň TK) a může ovlivňovat i jízdni parametry tramvaje.

Využívání „užších“ tramvajových kol (například Praha, kola 86 mm), ve spojení s hlubokými srdcovkami, je podmíněno dostatečně ostrým úhlem, aby i užší kolo mohlo překlenout přerušenou pojížděnou plochu. V ostatních případech je nutné využívat křížení s mělkou srdcovkou. Výhodou takového řešení (užití užších kol) jsou sice nižší nároky na údržbu kol a jejich profilu nebo nepatrně lepší jízdni parametry tramvaje, jako nevýhoda však vystupuje nutnost překonávání srdcovek po okolku, s tím spojené dynamické rázy při přechodu na rozjezdový hrot, vyšší opotřebení srdcovek a v neposlední řadě i vyšší emise hluku při přejezdu přes kolejovou konstrukci.

Pro úplnost je vhodné dodat, že jako dostatečná šířka styčné plochy kola a kolejnice/srdcovky se uvažuje cca 20 mm, z čehož vyplývá limitní úhel pro využití

hluboké srdcovky v sítích s úzkým kolem už cca 18°, naopak v sítích s širším kolem je možné hlukové srdcovky využívat až do úhlu cca 23°, popřípadě i větších [3, 7].

2 ŘEŠENÝ PROBLÉM

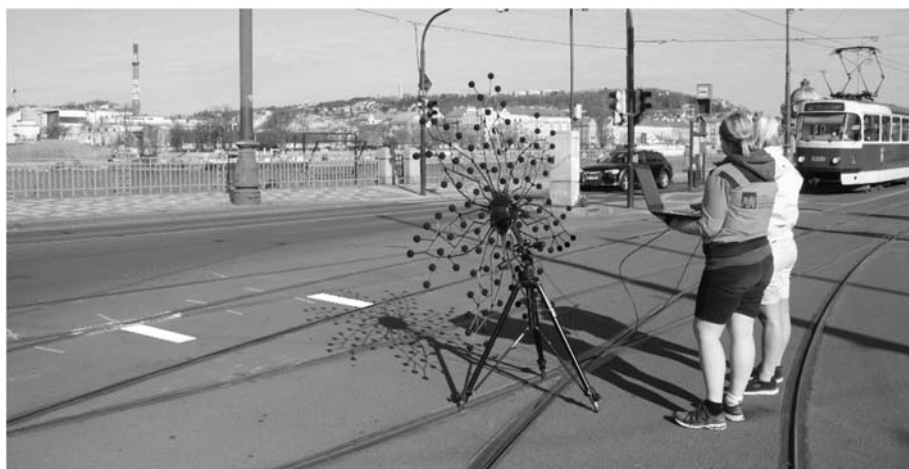
V kolejové síti Dopravního podniku hl. m. Prahy (dále také jen „DPP“) se s ohledem na používanou šířku kol v současnosti používají ve většině srdcovky s mělkým žlábkem. Srdcovka s mělkým žlábkem má v novém stavu hloubku žlábků 14 mm (která vychází z výšky okolků používaných tramvajových kol). Okolní žlábkové, resp. náběžné, kolejnice, mají hloubku žlábků 39 mm. Pozvolný přechod hloubky žlábků z míst, která kolo pojíždí standardně po jízdni ploše („po temeni kolejnice“), do míst, kde se kolo pohybuje po okolku, je umístěn právě do náběžné kolejnice (slangově tzv. „klepeto“), která je umístěna před mělkou srdcovkou. Délka náběžných kolejnic je v současnosti zpravidla 1500 mm.

Při obhlídkách a měřeních na lokalitách sledovaných při řešení projektu TAČR TJ04000257 „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí“ bylo subjektivně zhodnoceno, že na některých kolejových konstrukcích emituje svar náběžné kolejnice umístěný před srdcovkou významný příspěvek k celkovému hluku z průjezdu přes kolejovou konstrukci (subjektivně srovnatelný s průjezdem kola přes hrot srdcovky). Byla tak vyslovena hypotéza, že z pohledu hlukové zátěže okolí z provozu kolejového křížení je svar náběžné kolejnice srovnatelně problematický s průjezdem kol přes rozjezdový hrot. Pro ověření této hypotézy byla navržena série měření pomocí tzv. akustické kamery.

3 MĚŘENÍ NA LOKALITÁCH „BRANÍK“ A „VÝTOŇ“

Pro ověření výše uvedené hypotézy byla realizována ve dnech 3. a 13. listopadu 2020 dvojice měření v lokalitě „R04 Braník“ a jedno měření dne 25. dubna 2021 v lokalitě Výtoň.

Akustická kamera byla umístěna do vzdálenosti 3,0 m od sledovaného kolejnicového pásu (v lokalitě Braník pravý kolejnicový pás odbočující koleje ve směru Nádraží Braník, resp. v lokalitě Výtoň levý kolejnicový pás přímé koleje ve směru Podolí), vždy ve výšce 1,5 m. Poloha akustické kamery byla zvolena tak, aby byla na výsledných záznamech dobře patrná jak poloha svaru náběžné kolejnice, tak sledovaná srdcovka. Kamera byla umístěna do polohy uprostřed mezi sledovanými body. Pro snadnější zpracování i zobrazení výsledků byla poloha svaru náběžné kolejnice i střed srdcovky zvýrazněny na vozovku. Toto zdůraznění sledovaných bodů je patrné jak na fotografii z měření (Obrázek 1), tak na samotných výstupech z akustické kamery.



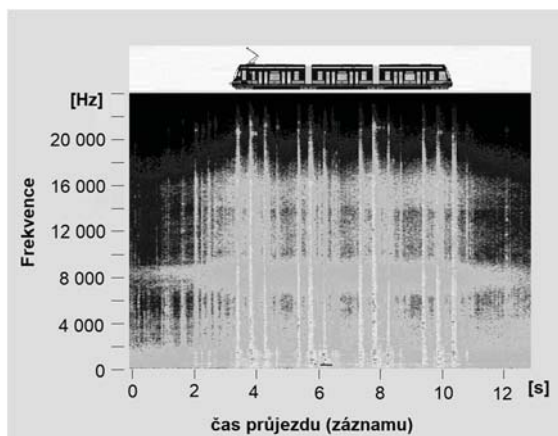
Obrázek 1. Pohled na měření akustickou kamerou v lokalitě Výtoň

V rámci měření byly prováděny náměry spojů jedoucí do odbočné větve (lokalita Braník) a spojů jedoucí v hlavní přímé větvi výhybky (lokalita Výtoň). Sledovány byly tramvajové vozy T3R.P, KT8D5RN2.P, 14T a 15T.

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na obrázku 2 je zobrazen časový záznam akustické energie podle frekvencí při průjezdu tramvaje měřicím profilem – tzv. „akustický otisk“ průjezdu. Vybraný záznam zobrazující průjezd tramvaje typu 15T přes kolejovou konstrukci Výtoň velmi dobře prezentuje výsledky provedených měření.

Ze záznamu je patrné, že nejvyšší podíl akustické energie je emitován na frekvencích cca 300–1200 Hz (v plnobarevném provedení červené oblasti). Další významné zdroje hluku jsou patrné v pásmu okolo střední frekvence 8 kHz, které souvisí s hlukem z pohonů. Zesílení



Obrázek 2. Akustický otisk průjezdu tramvaje přes sledovanou srdcovku

signálu je patrné i na následující harmonické frekvenci a je viditelné jako pás na frekvenci 8 kHz, ale patrné je i okolo frekvence 16 kHz. Tyto zdroje však nebyly předmětem řešení problematiky.

Za povšimnutí stojí průběh akustické energie od průjezdu jednotlivých podvozků. Průjezd prvního podvozku je patrný v čase okolo 4. sekundy, druhý podvozek v čase okolo 6. sec. a tak dále. Je zřetelné, že průjezd každého podvozku přes kolejovou konstrukci má vždy tři významné vrcholy emitované energie: 1) průjezd první nápravy přes svar, 2) průjezd první nápravy přes srdcovku a zároveň druhé nápravy podvozku přes svar a 3) průjezd druhé nápravy přes srdcovku. Tento výsledek tak potvrzuje vyslovenou hypotézu.

Kumulace emise akustické energie průjezdu první nápravy přes srdcovku a druhé přes svar náběžné kolejnice je způsobena podobnou vzdáleností náprav (dle typu 1800–1900 mm, pro vůz 15T právě 1900 mm) a vzdáleností svaru od středu srdcovky (zde 2,0 m). Obdobných výsledků bylo dosaženo i v lokalitě Braník, které zde nejsou znovu uvedeny, ale lze je dohledat v dříve publikovaném textu [7] (který je dostupný i online).

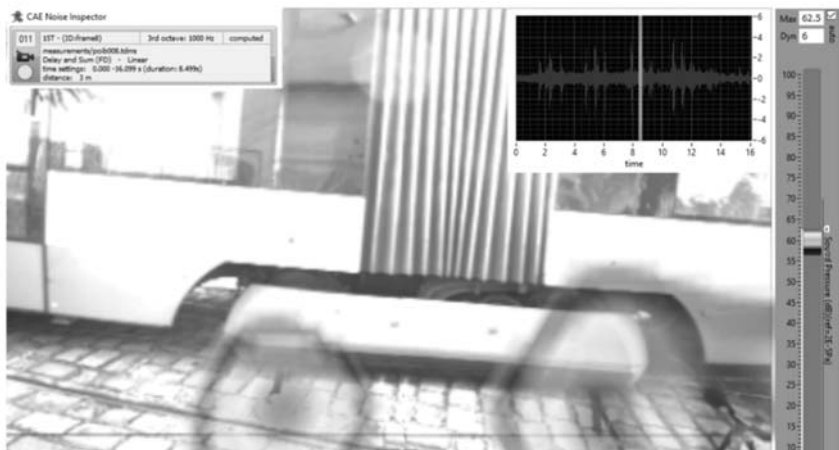
V rámci postprocessingu byla dále prováděna detailní analýza průjezdů se zaměřením na konkrétní frekvenční pásma a pro jednotlivé typy tramvajových vozů. Hodnocení se zaměřilo na nejvýznamnější složku emitované energie – tedy složky do frekvence 1 kHz. Uvedeny jsou dva reprezentativní výsledky hodnocení formou jednotlivých snímků – jeden z lokality Braník, druhý z lokality Výtoň. Oba vybrané reprezentativní případy byly zvoleny shodně jako průjezd vozidla typu 15T.

Obrázek 3 zachycuje průjezd vozu 15T přes výhybku v lokalitě Braník. Hodnocení proběhlo algoritmem DELAYandSUM s dynamickou škálou zobrazování 6 dB.

Výpočet proběhl pro pásmo frekvencí s rozsahem frekvencí se středem 1/3oktávového pásma 1000 Hz.

Výstup na obrázku 4, který zachycuje průjezd vozu 15T přes výhybku v lokalitě Výtoň, byl hodnocen algoritmem EVOB, s dynamickou škálou zobrazování 6 dB. Výpočet proběhl pro pásmo frekvencí s rozsahem frekvencí se středem 1/3oktávového pásma 315 Hz.

Na obou snímcích (obrázky 3 a 4) je tak velmi dobře patrné, že při průjezdu vozu přes kolejovou konstrukci skutečně vznikají dvě ohniska akustické energie – hluku – a že místo svaru náběžné kolejnice je se srdcovkou srovnatelným zdrojem. Na základě i těchto výstupů tak lze znovu, stejně jako na základě časového záznamu průběhu akustické energie, potvrdit vyslovenou hypotézu.



Obrázek 3. Průjezd vozu 15T přes svar náběžné kolejnice a srdcovku – Braník



Obrázek 4. Průjezd vozu 15T přes svar náběžné kolejnice a srdcovku – Výtoň

5 ZÁVĚR

Měření akustickou kamerou prokázalo, že svar náběžné a žlábkové kolejnice, který je umístěný před srdcovkou, může být významným zdrojem emitované hlukové zátěže při průjezdu tramvajových vozů přes kolejovou konstrukci. Jako problematický se také jeví fakt, že při průjezdu tramvajových vozů přes kolejovou konstrukci dochází k přejezdu přes svar náběžné kolejnice prakticky v totožný okamžik, ve který druhá náprava podvozku překonává střed srdcovky. Tím dochází ke kumulaci hlukových dějů a nárůstu emise hluku do okolí. Je nutné zdůraznit, že tento problém se netýká všech kolejových křižovatek, ale jedná se o specifický problém, který může na některých kolejových konstrukcích vzniknout za specifických podmínek (zpravidla montáž při krátkodobých výlukách atp.).

S ohledem na vzdálenost náprav v tramvajových podvozcích (1900 mm, resp. 1880 mm dle typu tramvaje) a s ohledem na délku v současnosti používané náběžné kolejnice (1500 mm), která se v součtu s délkou poloviny bloku srdcovky blíží právě vzdálenosti náprav, je možným řešením nastalé situace prodloužení náběžné kolejnice. To by zajistilo odsunutí svaru do jiné vzdálenosti od středu srdcovky, čímž by došlo k (časovému) oddělení obou hlukových událostí a v důsledku tak i k poklesu emise hluku.

Změna délky náběžné kolejnice z 1500 mm napomůže zajistit, že nebude docházet k současnému přejezdu podvozku jednou nápravou přes střed srdcovky a druhou nápravou přes svar náběžné kolejnice. Zvětšení délky náběžné kolejnice je však limitováno možnostmi přepravy celého svařence (srdcovka + náběžné kolejnice) z místa dílenské výroby na stavbu, a její optimalizace tak bude předmětem dalšího výzkumu.

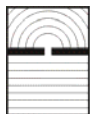
PODĚKOVÁNÍ

Měření publikovaná v tomto příspěvku byla realizována za podpory projektu TAČR Zéta reg. č. TJ04000257 „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“.

Zvláštní poděkování patří Dopravnímu podniku hlavního města Prahy, a. s., a všem jeho organizačním složkám a zaměstnancům, kteří umožňují provádět měření a spolupracují na nich.

REFERENCE

- [1] Nařízení vlády 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů. Česká republika, Sbírka zákonů. Dostupné i online například z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>
- [2] BRET, Ondřej. Akustické sledování podvozku tramvaje 15T při průjezdu přes kolejové konstrukce. In: *Akustika*, vol. 33, září 2019. ISSN: 1801-9064.
- [3] KŘEČKOVÁ, Magdalena. Monitoring vybraných tramvajových srdcovek. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Bakalářská práce. 2020
- [4] ŠUROVSKÝ, Jan. Vztah kolo-kolejnice u tramvají. DP-kontakt. Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2009/1, ISSN 1212-6349.
- [5] ZELENKA, Jaromír a Martin KOHOUT. Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu. Plzeň: 46. zasedání odborné skupiny tramvajové tratě, Sdružení dopravních podniků ČR
- [6] PENC, Miroslav. Projekt Kolo-kolejnice. DP-kontakt. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2010/4, ISSN 1212-6349.
- [7] BRET, Ondřej. Akustická analýza průjezdu tramvají přes kolejovou konstrukci odbočení se srdcovkou s mělkým žlábkem. Konference Juniorstav, Brno, 28. 1. 2021. Sborník příspěvků Juniorstav 2021. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. ISBN: 978-80-86433-75-2. Dostupné i online <https://juniorstav.fce.vutbr.cz/cs/ke-stazeni/>



Porovnání hlukové legislativy a praxe mezi ČR a UK

Stanislav Bríza

Dr.Decibel s.r.o.

Družstevní ohoz 1717/5a, 140 00 Praha 4

briza@drdecibel.cz

Abstract The paper compares noise regulation and acoustic consultancy practice in The Czech Republic and The United Kingdom. Whilst domestic legislation is known as rather confusing, outdated or completely lacking, British law and practise is more detailed, clear and certainly worth looking at. The paper sums up the basic legal principles, professional body organisations and differences between the two countries.

1 ÚVOD

Autor článku měl příležitost v Británii akustiku vystudovat a následně pracovat jako akustik-konzultant, proto si dovoluje nabídnout subjektivní pohled na přístup Británie a České republiky k hlukové problematice. V první řadě je nutné podotknout, že při srovnávání je třeba pamatovat na odlišný kontext a historii obou zemí. V případě ČR zejména komunistickou minulost a rychlý přerod do divokého kapitalismu, obecný trend „švejkovitosti“ a snahu „přečhytračit systém“. V Británii naopak převládá smysl pro poctivost, smysluplnost a praktičnost.

2 PROFESNÍ ORGANIZACE

Prvním velkým rozdílem mezi oběma zeměmi je počet a rozsah činnosti profesních organizací. V ČR se jedná především o Českou akustickou společnost (ČsAS), okrajově lze uvažovat o české pobočce AES – Audio Engineering Society, případně o ČKAIT, která bohužel nemá specifickou sekci pro akustiku, nicméně hluková problematika bývá řešena v rámci oboru Techniky prostředí staveb.

V Británii jsou kromě tamní pobočky AES významné především tři organizace – IOA, ANC a UKAN+. První uvedená je zkratkou názvu The Institute of Acoustics a mohla by být volně přirovnána k ČsAS. Její rozsáhlá činnost zahrnuje pravidelné profesní setkávání různých odborných skupin, a to na měsíční bázi, dříve osobně podle jednotlivých poboček (Londýn, Midlands atd.), nyní on-line. IOA se prezentuje pomocí detailní a dobře vypadající webové stránky, na které nabízí vlastní krátké

kurzy v oboru měření hluku, kariérní web s nabídkou volných pracovních pozic nebo propagaci akustiky zacílenou na studenty, měsíčně také zasilá informační newsletter s plánovanými akcemi a novinkami z oboru. Na webu IOA je možné stáhnout celou řadu odborných publikací, návodů nebo jejich vlastního bulletinu. V neposlední řadě je možné vyhledat jakéhokoliv člena IOA a ověřit jeho status, neboť každý nový člen musí být zvolen a musí doložit příslušnou kvalifikaci a odbornost.

Zatímco IOA sdružuje akustiky v té největší šíři, organizace ANC je určena pouze pro akustiky konzultanty (přesněji řečeno laboratoře), jak napovídá její název The Association of Noise Consultants. V ČR nemá tato organizace bohužel žádný ekvivalent. ANC lze považovat za jistého garanta „služeb akustika“, neboť podmínkou pro přijetí je nejen plné členství v IOA, ale další přísná kritéria, která zajišťují vysokou profesní, ale i etickou úroveň práce. Podobně jako IOA i ANC vydává vlastní publikace, organizuje pravidelná setkání a školení svých členů. Její pracovní pokyny se výslovně zaměřují na problematiku stavební akustiky, studií a měření pro úřední účely. ANC dokonce vytvořila vlastní systém měření stavební akustiky, který alternativou k akreditovanému měření UKAS (obdobu ČIA akreditace v ČR), a tento systém je všeobecně uznáván a respektován. Jeho nespornou výhodou je prakticky minimální možnost „ohýbání“ výsledků, neboť veškerá měření získaná data jsou schraňována a ověřována v centrální databázi.

Poslední jmenovaná organizace UKAN+ je zaměřená spíše na akademickou sféru a výzkum, byť v převážné míře aplikovaný a s přesahem do praxe a průmyslu.

3 HLUK Z POHLEDU HYGIENICKÝCH NOREM

Británie podobně jako ČR a další země vychází při stanovování určujících hlukových ukazatelů z doporučení Světové zdravotnické organizace WHO[1].

3.1 Hlukové limity v ČR

Základní normou hlukové problematiky v ČR je zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví [2], a prováděcí předpis nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [3]. Hlukové limity jsou obecně závazné pro celou ČR, tj. stejné limity platí univerzálně pro centrum velké aglomerace, klidnou odlehlou obec v národním parku nebo industriální periferii. Posuzování limitů je striktní a nedodržení příslušného limitu být o 0,1 dB je považováno za nevyhovující stav a naopak. Subjektivita při posuzování hlukové situace je tak sice teoreticky vyloučena, avšak prakticky záleží na přístupu konkrétních pracovníků OOVZ (Orgán ochrany veřejného zdraví). Z praxe vyplývá, že mezi jednotlivými regiony jsou v požadavcích OOVZ značné rozdíly.

Zvláštností české hlukové legislativy je stále přetrvávající institut Staré hlukové zátěže (SHZ), který historicky legislativně „vyřešil“ nadlimitní dopravní hluk v centru měst. Toto opatření umožňuje aplikovat vyšší hlukové limity na staré dopravní stavby, pokud jsou splněny specifické požadavky NV č. 272/2011 Sb. Prokazování těchto podmínek je relativně komplikované, netransparentní a vychází z dat z roku 2000,

kteřá často nebývají k dispozici. V praxi prokazování SHZ připomíná spíše přesné výpočty s velmi nepřesnými čísly.

Ne nepodobně je na tom také problematika hluku ze stavební činnosti, kterou česká legislativa popisuje jen na úrovni požadovaných hlukových limitů, zatímco konkrétní metodika nebo norma zcela chybí. Stávající situace sice umožňuje vypořádat se se stavebním hlukem formálně „na papíře“ akustické studie, avšak často se jedná o pouhé teoretické výpočty značně odtržené od reality. Hlukové limity jsou stanoveny jako víceméně nereálné a mají málo co společného se skutečným stavem během výstavby.

3.2 Hlukové limity ve Velké Británii

Na úvod je vhodné předeslat, že obecný přístup k hlukové problematice je z hlediska ochrany veřejného zdraví v Británii zcela odlišný od ČR. V první řadě je decentralizovaný, a to až na úroveň místních samospráv nebo městských částí – např. jenom v Londýně se nachází 33 částí a každá z nich má odlišné požadavky. Druhý významný rozdíl je posuzování hlukové situace s vyšší mírou subjektivity pomocí deskriptorů SOAEL, LOAEL a NOAL, které vycházejí z hodnocení WHO a jsou vysvětleny v tabulce 1. Třetí významný rozdíl je posuzování s přihlédnutím ke stávající hlukové situaci definované pomocí hluku pozadí, byť je možné hlukové limity stanovit i absolutně, případně oba přístupy kombinovat

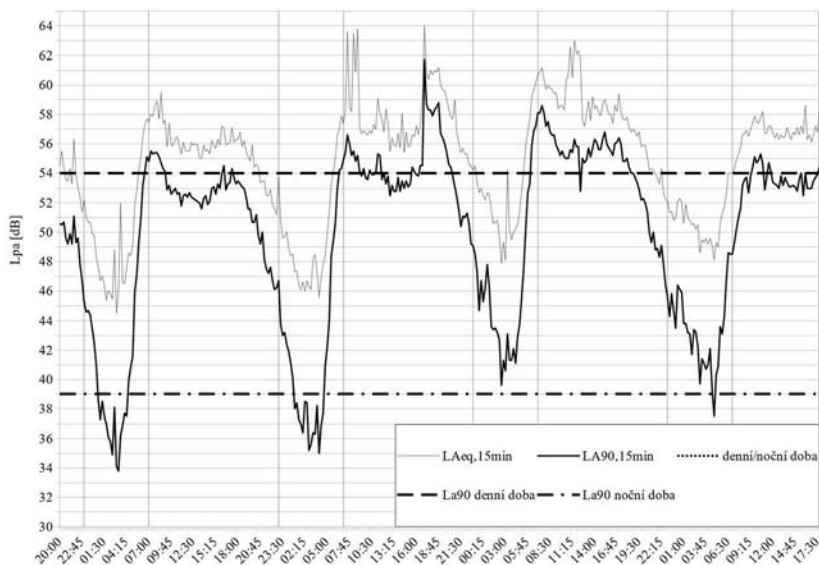
hodnocení	Slovní popis
SOAEL	výrazně negativní vliv na zdraví a kvalitu života – nepřípustné
LOAEL	může být pozorován negativní vliv na zdraví a kvalitu života – aplikovat vhodná opatření
NOEL	dopady na zdraví a kvalitu života nedetekovatelné – bez opatření

Tabulka 1. *Hodnocení zdrojů hluku podle WHO*

Hlukovou problematiku z hlediska ochrany zdraví a plánování staveb v Británii definují dva základní dokumenty Noise Policy Statement for England (NPSE) [4] a National Planning Policy Framework (NPPF) [5], které však obsahují pouze rámcovou strategii a dlouhodobou vizi s důrazem na podporu všeobecného zdraví a kvality života, ale také s přihlédnutím k přiměřenosti a proveditelnosti, k sociálním dopadům, podpoře průmyslu a ekonomiky v kontextu udržitelného rozvoje. Konkrétní požadavky, limity, postupy a metodiky jsou uvedeny v odkazovaných dokumentech a normách BS, které budou představeny v následujících kapitolách.

3.2.1 BS 4142:2014 [6]

Touto normou se řídí posuzování stacionárních zdrojů hluku ve venkovním prostředí. Její typickou aplikací je umísťování nových jednotek chlazení, tepelných čerpadel nebo prvků VZT vůči okolnímu chráněnému prostoru.



Obrázek 1. Typický průběh měření hluku a stanovení hluku pozadí L_{A90}

Princip posuzování podle této normy spočívá nejdříve ve stanovení reprezentativního hluku pozadí v řešené lokalitě, vyjádřeného procentní hladinou L_{A90} , ke kterému se následně vztahují hodnoty nového zdroje hluku. Měření hluku pozadí se zpravidla provádí během několika dní a vyhodnocuje se zvlášť pro denní a noční dobu (07–23h / 23–07h). Stanovení určujících hodnot hluku pozadí L_{A90} se v praxi provádí v ČR těžko představitelnou subjektivní metodou, kdy se průběh hodnot $L_{A90,15min}$ prokládá horizontální přímkou, na základě které akustik stanovuje odpovídající reprezentativní hodnotu hluku pozadí, a to zaokrouhlenou na celá čísla, viz typický příklad na obr. 1. Pro nový zdroj hluku se stanoví specifická hodnota $L_{Aeq,T}$ v místě chráněného prostoru, typicky 1 m před oknem obytné místnosti. Při vyhodnocování se posuzuje interval 1 h v denní době a 15 minut v noční době. Hodnotící hladina se ze specifického hluku stanoví přičtením korekcí podle charakteru zdroje hluku, BS4142:2014 pracuje s „penalizacemi“ za tonalitu 0–6 dB, impulzivitu 0–9 dB a přerušovaný zdroj 0–3 dB. Tato hodnotící hladina se následně porovná s hlukem pozadí L_{A90} , přičemž jejich výsledný rozdíl rozhodne o míře rušivosti nového zdroje, viz tabulka 1 a 2.

specifický hluk zdroje v chráněném místě	$L_{Aeq,15min}(dB)$	40
korekce na impulzivitu	(dB)	0
korekce na tonální složku	(dB)	2
korekce na přerušovaný zdroj	(dB)	3
hodnoticí hladina	$L_{Aeq,15min}(dB)$	45
rozíl mezi hlukem pozadí a hodnoticí hladinou	rozíl Δ (dB)	6
hodnocení podle BS 4142:2014		
v závislosti na kontextu indikace SOAEL	rozíl Δ (dB)	10
v závislosti na kontextu indikace LOAEL	rozíl Δ (dB)	5
v závislosti na kontextu indikace NOEL	rozíl Δ (dB)	< 0

Tabulka 2. *Typické posouzení nového zdroje podle BS 4142:2014*

3.2.2 BS 8233:2014 [7]

Norma slouží jako návod pro hodnocení zvukové izolace pro budovy a pokrývá problematiku, které by v ČR odpovídalo posuzování hluku ve venkovním chráněném prostoru stavby, návrh zvukové izolace obvodového pláště a vnitřních konstrukcí až po hodnocení hluku ve vnitřním chráněném prostoru stavby.

Norma nepracuje s konkrétními hlukovými limity ve venkovním prostoru ani termíny nad/pod limitní hlukové zátěží, které by v případě ČR paušálně rozhodovalo o nutnosti nuceného větrání. Britská norma pouze stanovuje hlukové limity pro různé druhy vnitřního prostoru s tím, že obálka budovy musí mít takové parametry, aby byly tyto hodnoty dodrženy. To má za následek mnohem přesnější posuzování, které vychází ze skutečných hodnot hluku před fasádou, typicky stanovených v oktavových pásmech. Podobně i požadovaná zvuková izolace obvodového pláště či jeho výplně se standardně předepisuje v oktavových pásmech. Pokud není prostor větrán nuceně, zpravidla se uvažují okna otevřená „na větračku“ a k nim korespondující širokopásmová hodnota zvukové izolace takto pootevřeného okna řádově 10 dB (může se lišit podle konkrétního typu a provedení). Pokud je použito větracích šěrbin nebo systému VZT, uvažují se skutečné hodnoty zvukové izolace. Návrh obálky budovy z hlediska zvukoizolačních vlastností tak bývá relativně přesný, což je výhodné i z hlediska šetření nákladů na výstavbu. V Británii je rozšířená konstrukce obálky ze systémů suché výstavby a navržená zvuková izolace je málokdy předimenzovaná jako v případě ČR, kde stále převládají cihelné bloky, v lepším případě keramické. Norma dále specifikuje hodnocení hluku ve vnitřních prostorách pomocí parametru NR (noise rating), který bývá v praxi používán velmi často, a to zejména pro hodnocení hluku od TZB. Tématu stavební akustiky se budu více věnovat v příslušné kapitole dále.

3.2.3 BS 5228-1:2009+A1:2014 [8]

Rozsáhlá norma o 166 stranách poskytuje podrobný návod na posuzování hluku během výstavby, který zahrnuje příklad výpočtů šíření hluku na staveništi, rozsáhlou databázi stavebních strojů a mechanismů s příslušnými hlukovými parametry, a to včetně hodnot v oktavových pásmech. Předkládá i způsoby vhodného útlumu hlučných technologií pomocí akustických zástěn či krytů včetně jejich výpočetního návrhu a řešení.

V příloze E norma definuje konkrétní hlukové limity pro hluk ze stavební činnosti a jejich prakticky využívaná forma představuje maximální hodnoty L_{Aeq} ve vzdálenosti 1 m před okny chráněných místností, viz tabulka 3.

dny v týdnu	doba	doba průměrování T (hod.)	hlukový limit $L_{Aeq,T}$ (dB)
pondělí–pátek	07–08	1	70
	08–18	10	75
	18–19	1	70
	19–22	3	65
	22–07	1	55
sobota	07–08	1	70
	08–13	5	75
	13–14	1	70
	14–22	3	65
	22–07	1	55
neděle a svátky	07–21	1	65
	21–07	1	55

Tabulka 3. Přehled limitů pro hluk z výstavby

Samotný legislativní proces upravuje dokument „Control of Pollution Act 1974“ [9] (zkráceně CoPA), respektive sekce 60 a 61. Stavitel má lhůtu nejméně 28 dní před začátkem stavební činnosti, aby příslušné samosprávě dodal akustickou studii hluku z výstavby podle výše uvedené normy tak, aby s předstihem prokázal splnění podmínky „sekce 61“ a normy BS 5228-1. To znamená přehled projektu organizace výstavby, stanovení nejvíce dotčených objektů a jejich hlukové posouzení. Pokud stavitel toto posouzení nedodá, nebo pokud není akustická studie dodržována, místní samospráva může postupovat podle „sekce 60“, která může konkrétně znamenat omezení nebo i zastavení stavební činnosti, případně jiné závažné sankce. Na závěr je vhodné dodat, že v drtivé většině případů staveb střední a větší velikosti je staveniště hlukově monitorováno a vyhodnocováno minimálně s týdenní četností.

4 STAVEBNÍ AKUSTIKA A TECHNICKÉ POŽADAVKY NA STAVBY

4.1 Technické požadavky na stavby v ČR

Základní normou je Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby [12], odkazující na ČSN 73 0532, ČSN 73 0527 a další normy. V prvním případě se jedná o požadavky na zvukovou izolaci budov, která je definována deskriptory R'_w ,

$D_{nT,w}$ a $L'_{nT,w}$, orientační přehled pro byty je v tabulce 4. Doby dozvuku T jsou v ČSN 73 0527 definovány v oktavových pásmech s povoleným rozsahem hodnot vůči optimální době dozvuku T_0 . Splnění požadavků bývá ze strany OOV striktně vyžadováno na všech kmitočtech a příliš nízké hodnoty dob dozvuku bývají paradoxně považovány za nevyhovující.

4.2 Technické požadavky na stavby v UK

Teoretické požadavky a pojednání o stavební a prostorové akustice upravuje již představená BS 8233:2014, která však neobsahuje konkrétní směrodatné hodnoty. Ty jsou uvedeny v navazujících dokumentech jako ADE pro bytové objekty nebo BB93 pro školní objekty.

4.2.1 Approved Document E – ADE [13]

Dokument s poměrně zvláštním názvem je součástí velkého balíku projekčních návodů „Approved documents“, které mají označení A až R a pokrývají kompletní stavební problematiku od statiky (A), požární bezpečnosti (B), větrání (J) nebo zmíněnou akustiku (E). Zkráceně ADE je skutečně detailním manuálem stavební akustiky, obsahuje podrobný výčet nejpoužívanějších stavebních konstrukcí, jejich popis a konkrétní praktická doporučení pro realizaci a rychlý návrh. Mimo jiné obsahuje také závazné požadavky na zvukovou izolaci mezi byty a rezidenčními domy. Kročejová neprůzvučnost je shodně jako v ČR hodnocena pomocí $L'_{nT,w}$, avšak požadavky na vzduchovou neprůzvučnost jsou vyjádřeny jako $D_{nT,w} + C_{tr}$. To je např. ve shodě i s požadavky BREEAM, který sice není závazný, avšak je pro nové stavby často vyžadován. V odborné literatuře převládá názor, že parametr $D_{nT,w} + C_{tr}$ lépe koresponduje se subjektivně vnímanou zvukovou izolací ve skutečné budově než $R'w$. Pro lehké konstrukce platí, že hodnota $R'w$ bývá až o 10 dB vyšší než hodnota $D_{nT,w}$, pro těžké konstrukce bývá tento rozdíl 5–7 dB. Faktor přizpůsobení spektru C_{tr} uvažuje nízkofrekvenční spektrum zdroje hluku a bývá 2 až 6 dB pro těžké, respektive lehké konstrukce. V porovnání s ČSN jsou tak britské požadavky na vzduchovou neprůzvučnost srovnatelné. Požadavky na kročejovou neprůzvučnost jsou však výrazně nižší než v ČSN, viz tabulka 4. V Británii není ani dnes běžné do bytových domů instalovat plovoucí podlahu, kročejová izolace se zpravidla omezuje pouze na tenké tlumicí vrstvy pod finální pochozí vrstvu.

ADE v neposlední řadě předepisuje povinné měření stavební akustiky před dokončením, a to minimálně jeden set pro každých 10 bytů. Jeden set zahrnuje dvě horizontální dělicí příčky, a dvě stropní konstrukce – pro každou měření $L'_{nT,w}$ a $D_{nT,w} + C_{tr}$, tj. Celkem 6 hodnot. Tato měření se realizují před dokončením budovy, a proto se nazývají PCT, pre-completion tests.

		vzduchová neprůzvučnost		kročejová neprůzvučnost	
	konstrukce	ADE $D_{nT,w} + C_{tr}$ (dB)	ČSN 73 0532 R'_w (dB)	ADE $L'_{nT,w}$ (dB)	ČSN 73 0532 $L'_{nT,w}$ (dB)
mezi novými byty	stěna	43	53		
	strop	45	54	62	53
mezi staršími byty	stěna	43	52		
	strop	43	52	64	58

Tabulka 4. Přehled vybraných požadavků na stavební akustiku bytů

4.2.2 BB93 [14]

Akustika školních objektů je z převážné části řešena v dokumentu BB93, který obsahuje podrobné požadavky na zvukovou izolaci pro různé konfigurace místností, hlukové limity pro hluk od TZB, tak i požadavky na dobu dozvuku. Ty jsou stanoveny širokopásmovým parametrem T_{mf} , který představuje aritmetický průměr z oktavových pásem 500, 1000 a 2000 Hz. Stanovené jsou maximální doby dozvuku, které se rozlišují pro nově projektovanou budovu a rekonstrukci, pro školy a první stupeň ZŠ tyto požadavky činí 0,6 s pro nové projekty a 0,8 s pro rekonstrukce. Pro druhý stupeň jsou požadavky mírnější, a to 0,8 s, respektive 1,0 s pro rekonstrukce.

4.2.3 Robust Details[15]

Povinné PCT měření zvukové izolace před dokončením není povinné, pokud stavebník použije „robustní skladbu“, tj. schválenou konstrukci, která je uvedena v dokumentu „Robust Details“. Ten na svých 550 stranách nabízí opravdu bohatý výčet konstrukcí všech běžných typů – zděných, suchou výstavbu, dřevěné stropy, betonové konstrukce, žb prefabrikáty, podhledy, plovoucí podlahy, napojení konstrukcí a různé vzájemné kombinace. Při použití těchto akusticky předimenzovaných konstrukcí není stavitel povinen dokládat PCT měření.

5 ZÁVĚR

Rozdíly britské praxe oproti postupům a požadavkům v ČR jsou poměrně výrazné a spočívají zejména v úrovni celkové propracovanosti legislativy, norem a metodických návodů. Ty ve velké míře zohledňují širší kontext problematiky a přihlížejí k faktorům jako přiměřenost, účelnost a praktická realizovatelnost. Navzdory detailním postupům britská legislativa v odůvodněných případech nelpí na stanovování hlukových deskriptorů s přesností na desetiny dB, ale upřednostňuje více subjektivní a odborný vhled akustika. Typicky určující ukazatele hodnot hluku pozadí, posuzování nových zdrojů nebo hluku z výstavby se zaokrouhlují na celá čísla. Při posuzování nových zdrojů je důraz kladen na proces plánování, před dokončením se zpravidla vyžaduje pouze měření stavební akustiky.

Na druhou stranu, britský přístup bez absolutních hlukových limitů, které jsou nahrazeny relativní změnou vůči stávajícím hlukovým poměrům v řešeném území,

skrývá riziko poměrně snadného ovlivnění výsledků a princip salámové metody, kdy přidáný zdroj hluku vytváří vyšší hluk pozadí pro další zdroj v budoucnosti.

Dále se domnívám, že legislativa ČR precizněji pokrývá problematiku vlastního měření a systém práce s nejistotou měření. ČSN předepisuje výrazně přísnější požadavky na kročejovou izolaci a je i výrazně přísnější při posuzování dopravního hluku. Ostatně Česká republika je zemí hlukových zástěn, zatímco v Británii včetně hektického Londýna jsou zástěny používány jen ve výjimečných případech.

REFERENCE

- [1] WHO: *Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)*, https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf, citováno 23. září 2021.
- [2] zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů
- [3] nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů
- [4] Noise Policy Statement for England (NPSE), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69533/pb13750-noise-policy.pdf, citováno 23. září 2021.
- [5] National Planning Policy Framework (NPPF), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1005759/NPPF_July_2021.pdf, citováno 23. září 2021.
- [6] BS 4142:2014, Methods for rating and assessing industrial and commercial sound
- [7] BS 8233:2014, Guidance on sound insulation and noise reduction for buildings
- [8] BS 5228-1:2009+A1:2014, Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Noise
- [9] Control of Pollution Act 1974 (UK), <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/40/part/III/data.pdf>, citováno 23. září 2021.
- [10] ČSN 73 0532: Akustika. Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Požadavky
- [11] ČSN 73 0527: Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní a školní účely. Prostory pro veřejné účely. Administrativní pracovny
- [12] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- [13] Approved Document E – ADE, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/468870/ADE_LOCKED.pdf, citováno 23. září 2021.
- [14] BB93: acoustic design of schools – performance standards https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/400784/BB93_February_2015.pdf, citováno 23. září 2021.
- [15] Robust Details <https://secure.robustdetails.com/Dashboard/OnlineHandbook>, citováno 23. září 2021.



Strategické hlukové mapy na (ro)zcestí

Pavel Junek

Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, NRL pro komunální hluk, Tvardkova 1191,
56201 Ústí nad Orlicí

pavel.junek@zuova.cz

Abstract Next year, it will be 20 years since the European Commission issued Directive 2002/49/EC on the assessment and management of environmental noise. Its purpose is to map the biggest sources of noise in the Member States and then reduce the noise from these sources to an acceptable level. The Czech Republic has completed three rounds of this process and is preparing the 4th round, which is to be completed in 2022. Has the noise in the Czech Republic been reduced in these almost 20 years? In 2015, a common European methodology for calculating noise (CNOSSOS-EU) was adopted. 4th round of mapping should be calculated according to this methodology, which should allow comparison of results across Europe. The EC, in cooperation with the EEA, is preparing a new unified system for reporting results. This will make it possible to share numerical results and maps. Noise in Europe should therefore be mapped uniformly. Based on strategic noise maps, noise action plans are created, where the responsible organizations suggest how to reduce noise in the most exposed places. How good are the proposed measures? Is there really a reduction of noise pollution? How can we further use the potential of strategic noise mapping?

1 DVACET LET HLUKOVÉHO MAPOVÁNÍ

Příští rok to bude 20 let od vydání směrnice č. 2002/49/ES, o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí [1]. Jejím smyslem je opakované mapování největších zdrojů hluku v členských státech a následné postupné snižování hluku z těchto zdrojů na přijatelnou úroveň. Česká republika má za sebou tři kola tohoto procesu a pracuje na 4. kole, které má být dokončeno v roce 2022. Podařilo se hluk v Česku za těchto téměř 20 let snížit? Jak je na tom ČR v porovnání s jinými státy Evropy?

Proces strategického hlukového mapování probíhá v pětiletých cyklech a skládá se ze dvou částí. První je tvorba strategických hlukových map (dále SHM), které výpočtem určí taková místa (dále hot-spots), kde žije nejvíce osob, zatížených největším hlukem. Pro tato místa pak vznikají akční plány snižování hluku (dále AP), ve kterých se popisují největší hlukové problémy v daném území. Dále se v AP

navrhují opatření ke snížení hluku, vyhodnocuje se jejich ekonomika a efektivnost. AP jsou také předmětem diskuzí s veřejností, kde tato má možnost navržená opatření ovlivnit.

Výsledky SHM i AP se reportují Evropské komisi prostřednictvím systému EIONET Evropské agentury životního prostředí (dále EEA). Nově od roku 2022 se budou data reportovat také v souladu se směrnicí o prostorových datech INSPIRE [2].

2 STRATEGICKÉ HLUKOVÉ MAPY

Za tvorbu strategických hlukových map je v ČR odpovědné Ministerstvo zdravotnictví. To pověřilo jejich tvorbou Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě.

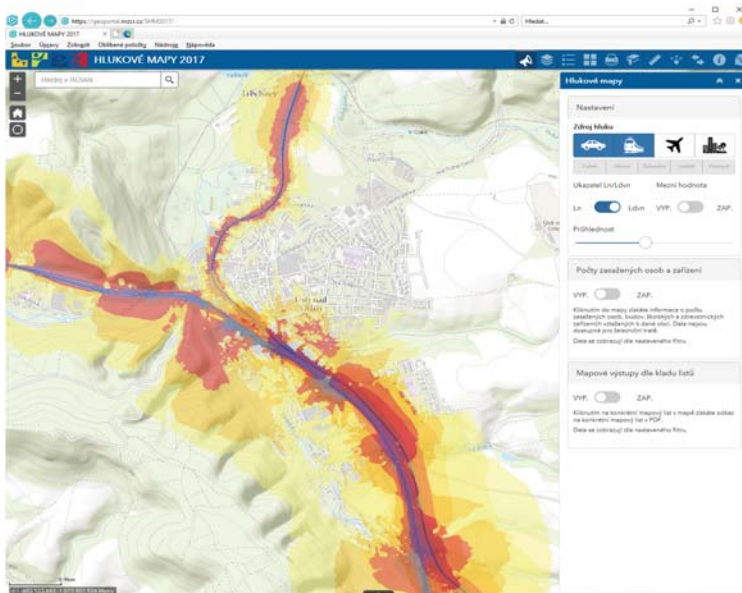
SHM jsou výpočtem získané údaje o hluku v okolí hlavních silnic, železnic, letišť a v aglomeracích. Celý proces tvorby map začíná pořízením odpovídajících vstupních dat pro hlukový model. Jedná se například o údaje o intenzitě a složení dopravy, o komunikacích a železničních tratích, o umístění budov pro bydlení, škol a nemocnic, o počtu obyvatel, kteří v těchto domech žijí, o terénu, ve kterém se hluk šíří. Tyto informace je často komplikované získat (nejsou včas k dispozici nebo nejsou vůbec dostupné, je potřeba je dále upravit, vybrat nejpresnější z nepřesných). Získaná data je dále potřeba připravit v podobě vstupních parametrů výpočtových modelů. Následují výpočty hluku, které v předchozích kolech SHM probíhaly podle doporučených metodik. Problémem bylo, že každý stát mohl využít své vlastní metodiky výpočtu, a porovnání údajů o hluku v jednotlivých členských státech tak mělo jen omezenou vypovídající hodnotu. Od 4. kola SHM, které bude dokončeno v roce 2022, se používá jednotná metodika výpočtu hluku CNOSSOS-EU.

2.1 Metodika CNOSSOS-EU

Na vzniku této jednotné výpočtové metodiky pracovala řada odborníků a odborných skupin jak profesních organizací, tak členských států EU, během let 2010–2014. Základem byly starší projekty Harmonoise a Imagine a také nejvíce používané výpočtové metodiky členských států. V roce 2015 byla vydána novela přílohy č. II směrnice END [3], která obsahuje popis této nové metodiky výpočtu. Členské státy dostaly určitý čas, aby tyto požadavky implementovaly do svých legislativ. Česká republika tuto změnu zajistila novelou vyhlášky č. 315/2018 Sb., o strategickém hlukovém mapování [4].

2.2 Prezentace výsledků

Po dokončení výpočtů SHM je potřeba zajistit prezentaci výsledků veřejnosti. Ministerstvo zdravotnictví ve spolupráci s NRL pro komunální hluk a externím dodavatelem připravilo veřejnou webovou mapovou aplikaci, ve které je možné přehledně zobrazit výsledky SHM v mapě. Ukázka této aplikace je na obrázku 1.



Obrázek 1. Ukázka mapové aplikace

Aplikace je veřejná a dostupná na adrese <https://geoportal.mzcr.cz/SHM2017/>. Výsledky jsou dále prezentovány na serveru Ministerstva zdravotnictví v podobě tabulek. Podrobné výsledky SHM jsou předávány také zpracovatelům AP.

3 AKČNÍ PLÁNY SNIŽOVÁNÍ HLUKU

Akční plány snižování hluku pořizuje Ministerstvo dopravy, krajské úřady a Magistrát hlavního města Prahy, kteří si vytvoření akčních plánů většinou zadávají u externích dodavatelů. Ministerstvo zdravotnictví vytvořilo jednotnou metodiku pro tvorbu AP, podle které tvůrci postupují, dostupnou na adrese <https://www.mzcr.cz/akcni-plany/>.

Součástí AP je vymezení oblastí (hot-spots), pro které je AP vytvořen. To se děje na základě hodnocení škodlivých účinků hluku na populaci podle přílohy III směrnice [5]. Pro tato místa je v AP uváděn souhrn výsledků SHM, popis všech již realizovaných protihlukových opatření, a opatření, která se chystají pořizovatelé AP přijmout v dalších 5 letech. Každý pořizovatel AP by měl mít také jasně definovanou strategii ochrany obyvatelstva před hlukem z dlouhodobého hlediska. U všech opatření je potřeba odhadnout náklady a vyhodnotit jejich efektivnost.

Navržená opatření musí být konzultována s veřejností a veřejnost má právo se k těmto opatřením vyjádřit.

Zde narážíme na určitý problém AP. Jsou známá jednotlivá možná opatření a jejich vliv na hluk (o kolik dB se hluk může snížit po přijetí konkrétního opatření) spolu s jejich ekonomickým vyhodnocením [6]. Navržená opatření však musí být v souladu s ostatní hlukovou legislativou ČR. Co když se ale hlukové limity splnit nedají? Bylo by dobré alespoň takové snížení hluku, aby byla dosažena jeho rozumná úroveň, která je ještě ekonomicky přijatelná. Zpracovatelé AP ale raději problematické lokality z návrhu opatření vyloučí a do AP zařadí méně problematické lokality. To by mělo být částečně vyřešeno ve 4. kole AP.

4 TICHÉ OBLASTI

Součástí celého procesu strategického hlukového mapování je také vymezení tichých oblastí. To má sloužit k tomu, aby v tichých místech, která dosud nejsou zatížena hlukem, bylo zachováno ticho. Tiché oblasti se dají identifikovat v aglomeraci nebo ve volné krajině. Jejich smyslem má být to, aby lidé mohli uniknout z hlukem exponovaných míst do míst určité relaxace a akustické pohody. Tato místa by měla být snadno dosažitelná (např. MHD) a mělo by být zamezeno tomu, aby byl v budoucnu do těchto míst přidán jakýkoli další zdroj hluku. Například aby v sousedství městského parku nebyl vytvořen zábavní park, aby přes souvislou oblast zeleně nebyl veden nový průtah komunikace městem apod.

Tichým oblastem dosud není v České republice věnována náležitá pozornost.

5 ZÁVĚR

V procesu strategického hlukového mapování se ocitáme v České republice na rozcestí. Máme poměrně jednoznačně definované nástroje na výpočet hluku a pro stanovení jeho vlivu na zdraví osob. Kde jsou však úskalí?

Nová metodika výpočtu hluku CNOSSOS-EU vyžaduje poměrně přesná a kvalitní vstupní data. Tato data často nejsou dostupná. ČR nemá například jednotnou datovou vrstvu budov, ve které by byly zaneseny všechny objekty, byl určen způsob jejich využití a jejich další vlastnosti (výška). Údaje o počtech osob v domech jsou přebírány ze sčítání lidí, domů a bytů, které provádí Český statistický úřad každých 10 let. Lidé se dnes ale častěji stěhují a přesouvají z místa na místo. Metodika vyžaduje řadu podrobných technických údajů (např. o železničních vagónech a způsobu jejich brzdění), které však nikdo neeviduje. Pro výpočet tak bude potřeba použít určité aproximace a zjednodušení.

Metodika CNOSSOS-EU je závazná pro tvorbu SHM. Pro akustické studie lze použít jakoukoli metodiku výpočtu. Bylo by užitečné metodiku CNOSSOS-EU vyhlásit jako jednotnou výpočtovou metodiku v České republice nebo alespoň jako

etalon pro akustické výpočty a výrazně tak snížit rozptyl vypočítaných hodnot v různých kvalitních akustických studiích.

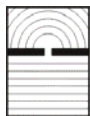
Aby docházelo ke snižování hluku na základě tvorby AP, měly by AP být závazné. Dále by měl být uplatňován princip, že každé opatření na snížení hluku z dopravy je dobré. AP by tak měly mít daleko větší význam v oblasti snižování hlukové zátěže obyvatelstva.

Hluková legislativa by měla být v této oblasti změněna. Celý proces hlukového mapování by měl být více integrován do hlukové legislativy České republiky. Smyslem hlukové legislativy by mělo být kromě dodržování určitých pevných limitů hluku také nastavení procesů vedoucích ke snížení hlukové zátěže obyvatel na rozumně dosažitelnou míru. Nelze stále řešit nadměrný hluk udělováním výjimek a tvářit se, že problémy s hlukem jsou vyřešeny.

Jsme na (ro)zcestí, nebo na scestí? Vydáme se s novými výpočty hlukových map a v tvorbě akčních plánů po moderní evropské dálnici, nebo vjedeme do slepé lokální ulice? Rozhodnutí je jen na nás.

REFERENCE

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí, Evropská komise, 2002
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES o zřízení Infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (INSPIRE), Evropská komise, 2007
- [3] Směrnice Komise (EU) 2015/996 ze dne 19. května 2015 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, Evropská komise, 2015
- [4] Vyhláška 315/2018 Sb., o strategickém hlukovém mapování, Ministerstvo zdravotnictví, 2018
- [5] Směrnice Komise (EU) 2020/367, kterou se mění příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, pokud jde o stanovení metod hodnocení škodlivých účinků hluku ve venkovním prostředí, Evropská komise, 2020
- [6] https://epanet.eea.europa.eu/reports-letters/reports-and-letters/ig-noise_cost-and-benefits-of-noise-abatement.pdf/view, IGNA, 2018



Pre-test pro hodnocení kvality zvuku čerpacích palivových jednotek

Miroslava Kozlová, Ondřej Jiříček a Marek Brothánek

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

Miroslava.Kozlova@cz.bosch.com

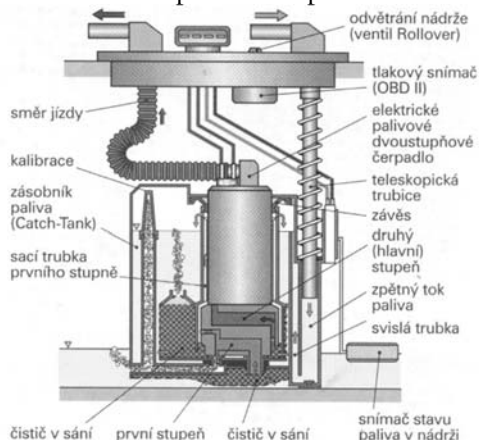
Abstract This article is focused on the psychoacoustic evaluation of the sound produced by the fuel supply modules – common automotive products installed in the fuel tanks of automobiles with combustion engines, producing typical sound. It contains evaluation of several psychoacoustic metrics and description of the performed pre-test as a first part of more complex psychoacoustic experiment. This experiment will lead to the development of psychoacoustic model for objective evaluation of the fuel supply module sound, that could be used in product development processes in future.

1 ÚVOD

Psychoakustika je rozsáhlým vědním mezioborem spojujícím poznatky z psychologie a akustiky a v dnešní době je hojně využívána např. v oblasti hodnocení kvality výrobků. Jelikož míra spokojenosti zákazníků s určitým typem produktu je často spojena i s jeho akustickými projevy, část odborníků se zabývá výzkumy zaměřenými na objektivní hodnocení kvality zvuku různých produktů [1]. V minulosti již byly vytvořeny psychoakustické modely pro objektivní hodnocení kvality zvuku například pro automatické pračky [2], vysavače [3] nebo spalovací motory [4].

Tento příspěvek je věnován analýze a hodnocení kvality zvuku palivových čerpacích jednotek, které jsou běžnou komponentou automobilů (v tomto případě je hodnocení cíleno pouze na osobní automobily se spalovacím motorem) a jejichž funkce je spojena s charakteristickým akustickým projevem. Palivová čerpací jednotka je umístěna v palivové nádrži pod zadními sedadly a jejím hlavním úkolem je transport paliva z nádrže ke spalovacímu motoru, ilustrační schéma viz obrázek 1. Obsahem tohoto příspěvku je popis přípravy, průběhu a výsledků první části psychoakustického experimentu (tzv. pre-test) a analýza vybraných zvukových nahrávek pomocí psychoakustických metrik (hlasitost, ostrost, hrubost a síla kolísání). Tento pre-test má za cíl získat subjektivní popis zvuku různých typů palivových čerpacích jednotek od běžných uživatelů osobních automobilů. Výstup z této části

experimentu bude následně použit v jeho dalších etapách s cílem vytvořit objektivní model pro hodnocení zvuku tohoto specifického produktu.

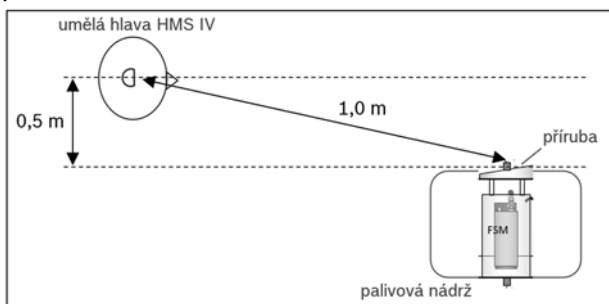


Obrázek 1. Palivová čerpací jednotka v palivové nádrži [5]

2 PRE-TEST

2.1 Příprava

Pro následné subjektivní hodnocení v pre-testu byly binaurálně pořízeny zvukové nahrávky palivových čerpacích jednotek v akustické bezodrazové místnosti. Jednotky byly instalovány do palivových nádrží příslušného typu vozidla a k záznamu zvuku byla použita umělá hlava typu HMS IV (HEAD Acoustics) umístěná dle schématu, viz obrázek 2.



Obrázek 2. Pozice umělé hlavy při nahrávání zvuku čerpacích jednotek v palivové nádrži

Nahráno bylo celkem 6 palivových čerpacích jednotek (4 dieselové a 2 benzínové) v různých pracovních režimech. Pro pre-test bylo vybráno 7 zvukových nahrávek s délkou trvání 10 s, u kterých byly také provedeny výpočty vybraných psychoakustických metrik uvedené dále v textu.

2.2 Průběh

Celkem 33 respondentů (18 mužů a 15 žen, věk 15–64 let), kteří se považují za běžné uživatele osobních automobilů a nemají poškozený sluch, se zúčastnilo poslechového pre-testu, který probíhal formou částečně řízeného experimentu [8]. Respondentům byly základní instrukce předány ve formě dotazníku a průběh pre-testu byl rozdělen do dvou částí. V první části byl úkolem poslech vybraných sedmi nahrávek palivových čerpacích jednotek a jejich následný subjektivní slovní popis pomocí adjektiv (metoda omezené verbalizace [9]). Pro přehrávání nahrávek byl použit počítač spolu se sluchátky DT 770 PRO (Beyerdynamic). V druhé části byli respondenti požádáni o doplnění antonym k jejich vypsáním přídavným jménům z předchozí části. Z uvedeného výběru 33 respondentů se nakonec podařilo získat 31 validních výstupů.

2.3 Výsledky

Experimentálně bylo získáno celkem 171 adjektiv popisujících zvuk palivových čerpacích jednotek. Pomocí antonym přidaných v druhé části pre-testu byly následně vytvořeny adjektivní páry tvořící verbální prostor pro posuzování zvuku čerpacích palivových jednotek. Páry s největší četností výskytu v odpovědích respondentů jsou uvedeny v tabulce 1.

Adjektivní pár	Zastoupení ve výběru (%)	Atribut	Antonymum
1	64,52	Nepříjemný	Příjemný
2	35,48	Tichý	Hlasitý
3	25,81	Rušivý	Nerušivý
4	25,81	Bzučivý	Hladký
5	22,58	Pišťivý	Dunivý
6	19,35	Drnčivý	Stabilní
7	16,13	Hluboký	Vysoký
8	16,13	Šumivý	Čistý
9	12,90	Šplouchavý	Klidný
10	12,90	Hrubý	Jemný

Tabulka 1. Získané adjektivní páry z pre-testu pro popis zvuku nádržových jednotek

3 ANALÝZA ZVUKOVÝCH NAHRÁVEK

V pre-testu použitých 7 zvukových nahrávek bylo podrobeno analýze vybraných psychoakustických metrik pro získání informace z pohledu objektivního hodnocení zvuku. Hodnoty psychoakustické veličiny s názvem specifická hlasitost (mapující lidské vnímání hlasitosti zvuku v lineárním měřítku) spolu s ostroostí (zachycující vliv vysokofrekvenčních složek v daném zvuku) [6] jsou uvedeny v tabulce 2.

Zvuková nahrávka	Typ paliva	Prac. bod pumpy	Specifická hlasitost <i>N</i> (sone)		Ostrost <i>S</i> (acum)	
			Levý kanál	Pravý kanál	Levý kanál	Pravý kanál
1	diesel	2500 rpm	5,24	4,62	2,17	2,37
2	benzín	12 V	4,42	4,60	3,26	3,42
3	benzín	8,95 V	3,67	3,98	2,39	2,30
4	diesel	1500 rpm	4,32	3,49	1,82	1,96
5	diesel	2000 rpm	5,14	6,09	1,77	1,83
6	diesel	2500 rpm	5,68	6,83	2,11	2,14
7	benzín	13,5 V	3,77	4,11	2,98	2,87

Tabulka 2. *Hodnoty specifické hlasitosti a ostrosti pro nahrávky použité v pre-testu*

Dále byly vypočteny hodnoty pro specifickou hrubost (zachycující relativně rychlé časové změny zvukového signálu, které lidský sluch již nedokáže rozlišit) a sílu fluktuace (vyjadřující stupeň vnímání pomalého kolísání signálu, které sluch ještě stačí sledovat) [7], uvedené v tabulce 3.

Zvuková nahrávka	Typ paliva	Prac. bod pumpy	Specifická hrubost <i>R</i> (asper)		Síla kolísání <i>F</i> (vacil)	
			Levý kanál	Pravý kanál	Levý kanál	Pravý kanál
1	diesel	2500 rpm	0,049	0,049	0,011	0,010
2	benzín	12 V	0,036	0,036	0,009	0,011
3	benzín	8,95 V	0,038	0,038	0,022	0,020
4	diesel	1500 rpm	0,065	0,065	0,017	0,014
5	diesel	2000 rpm	0,048	0,048	0,011	0,011
6	diesel	2500 rpm	0,042	0,042	0,009	0,011
7	benzín	13,5 V	0,034	0,034	0,009	0,009

Tabulka 3. *Hodnoty specifické hrubosti a síly kolísání pro nahrávky použité v pre-testu*

4 ZÁVĚR

Díky výstupu z provedeného pre-testu se podařilo definovat základní verbální prostor pro subjektivní hodnocení zvuku čerpacích palivových jednotek pomocí adjektivních párů. Analýza zvukových nahrávek pro vybrané psychoakustické veličiny pak přinesla základní poznatky týkající se objektivního hodnocení zvuku tohoto produktu. V tabulce 1 jsou uvedeny adjektivní páry, které budou využity v další části experimentu. Ta bude provedena s využitím metody sémantického diferenciálu (viz např. [10, 11]). Každý pár bude tvořit bipolární jedenáctibodovou grafickou posuzovací škálu s adjektivy na jejích pólech. Společným cílem všech částí experimentu je vytvoření psychoakustického modelu pro objektivní hodnocení kvality zvuku čerpacích palivových jednotek, který by mohl být využíván v rámci vývojových procesů tohoto produktu v budoucnosti.

PODĚKOVÁNÍ

Tento výzkum byl podpořen studentským grantem ČVUT SGS19/166/OHK3/3T/13 „Vývoj moderních akustických měření“.

REFERENCE

- [1] FASTL, Hugo. Psycho-Acoustics and Sound Quality. BLAUERT, Jens, ed. *Communication Acoustics*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, s. 139–162. ISBN 3-540-22162-X.
- [2] MORAVEC, Marek, IŽARÍKOVÁ, Gabriela, LIPTAI, Pavol, BADIDA, Miroslav, BADIDOVÁ, Anna. Development of psychoacoustic model based on the correlation of the subjective and objective sound quality assessment of automatic washing machines. *Appl. Acoust.* 2020, 140, s. 178–182. ISSN 0003-682X.
- [3] JURČ, Róbert, JIŘÍČEK, Ondřej, BROTHÁNEK, Marek. Methods for the assessment of pleasantness in sound quality. *Noise Control Engineering Journal*. 2010, **58**(1), s. 62–66. ISSN 0736-2501.
- [4] DUVIGNEAU, Fabian, et al. Engine sound weighting using a psychoacoustic criterion based on auralized numerical simulations. V: *10th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, EuroNoise 2015.
- [5] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-x.
- [6] HEAD Acoustics, Psychoacoustic Analyses I: Loudness and Sharpness Calculation. *HEAD Application Note – 02/18*, 2018.
- [7] HEAD Acoustics, Psychoacoustic Analyses II: Calculating psychoacoustic parameters in ArtemiS SUITE. *HEAD Application Note – 03/18*, 2018.
- [8] MELKA, Alois. *Základy experimentální psychoakustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2005. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 80-7331-043-0.
- [9] GIORDANO, Bruno L., SUSINI, Patrick, BRESIN, Roberto. Perceptual evaluation of sound-producing objects. V K. Franinović, S. Serafin (eds.), *Sonic interaction design*, s. 151–197. Cambridge, MA: MIT Press, 2012.
- [10] FASTL, Hugo. Psychoacoustic basis of sound quality evaluation and sound engineering *13th International Congress on Sound and Vibration 2006*. ICSV 2006, vol. 1 (2006), s. 59–74.
- [11] PARK, Jae Hyuk, PARK, Hansol, KANG, Yeon June. A study on sound quality of vehicle engine sportiness using factor analysis. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2020, **34**(9), 3533–3543. ISSN 1738-494X.



Data pro ekonomické srovnání akustického vývoje nízkošlučného a běžného povrchu pozemní komunikace

Data for economic comparison of low noise and common
pavement of road surface

Vítězslav Křivánek^a, Petra Marková^a, Jan Machanec^a
a Dana Potužníková^b

^aCentrum dopravního výzkumu, v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

^bNárodní referenční laboratoř pro komunální hluk, Tvardkova 1191,
562 01 Ústí nad Orlicí

vitezslav.krivanek@cdv.cz

Abstract The article deals with the issues of noise development of individual surface types at a time when it is clearly proven that this is a variable parameter of roads, which can be monitored using the CPX method. These data represent an important input both in the use of the CNOSSOS-EU methodology and in the economic comparison, which can be done by calculation for installation and maintenance, including congestion against human health costs using externalities.

1 ÚVOD

Provoz na pozemních komunikacích z důvodu negativních vlivů hluku na životní prostředí a zdraví člověka patří dlouhodobě mezi klíčové problémy v oblasti silniční infrastruktury. Hlučnost ze silniční dopravy je především závislá na intenzitě dopravního proudu, jeho složení a rychlosti a do značné míry je ovlivňována také stavem komunikace, a to zejména stavem její ohrubné vrstvy. Automobily mají několik hlavních zdrojů hlučnosti, kdy převládajícím zdrojem hluku je hluk generovaný kontaktem pneumatiky s vozovkou. U současných osobních vozidel vybavených spalovacím motorem převládá hluk z kontaktu pneumatika-vozovka již od rychlosti cca 40 km/h [1], u vozidel s elektromotorem již od rychlosti cca 20 km/h [2]. V rámci modelování se běžně pracuje s intenzitou a složením dopravního proudu včetně rychlostí vozidel. Problematickou vlastností povrchu vozovek ve vztahu k hlučnosti se nově zabývá metodika CNOSSOS-EU, ve které

mají být pro modelování využity i údaje o typu a stavu povrchu pozemních komunikací [3].

Vlastní povrch z hlediska hlučnosti lze považovat za aktivní opatření směřující ke snížení nadměrné hlukové imise, a tím i zátěže prostředí. V této oblasti se v poslední době uplatňují obrusné směsi se sníženou hlučností, tzv. nízkohlučné povrchy, jejichž kvalitativní parametry jsou definovány v Technických podmínkách 259 [4] Ministerstva dopravy ČR a jsou označovány zkratkou „NH“ (nízkohlučný). Tento způsob redukce hlukové zátěže z provozu na pozemních komunikacích přispívá k tomu, že již místy nemusí být realizována nákladná technická řešení pro snížení hluku (např. výstavba zvýšeného počtu protihlukových stěn, částečně obchvaty pozemních komunikací apod.). Avšak v současné době je palčivou otázkou udržitelnost takového opatření, míra snížení hlučnosti a zejména její změna v čase, a to vzhledem k ekonomickým nákladům jak ve vztahu k pokládce, tak ve vztahu k lidskému zdraví i s náklady spojenými s údržbou, a to včetně externalit a kongescí.

2 MONITORING HLUČNOSTI POVRCHŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

K monitoringu hlučnosti povrchů komunikací v EU je především využívána doporučená dynamická metoda Close-ProXimity method (CPX) [5]. Nevýhodou CPX metody jsou především náročnější požadavky na vlastní měřicí vybavení a konstrukci, včetně potřebné přesnosti veškerého vybavení s možností synchronního měření akustických i neakustických parametrů [6]. Řada evropských zemí uvažuje o zařazení hlučnosti povrchu vozovky mezi proměnné sledované parametry v rámci systému hospodaření s vozovkami. Proto i Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., (dále CDV) se v rámci svých výzkumných činností od roku 2011 aktivně zabývá měřením hlučnosti jednotlivých typů povrchů vozovek pozemních komunikací na území ČR. Základy metody měření jsou obsaženy v normě ISO 11819-2:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2 [7], která je doplněna specifikací ISO/TS 11819-3:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference tyres [8], jenž popisuje použití předepsané referenční pneumatiky při měření metodou CPX. Je nezbytné brát v potaz i technickou specifikaci ISO/TS 13471-1:2017 Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method [9], která stanovuje postupy pro určení vlivu teploty na emise hluku styku pneumatika/vozovka. CDV využívá zavedený systém měření, který je popsán v certifikované metodice s názvem „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“, ve které je zavedena také korekce na vlastní teplotu měřeného povrchu [10]. CDV dlouhodobě využívá vlastní ověřený specializovaný přívěs, jenž byl vytvořen na základě doporučení CEN TC 227/WG5 při přípravě uvedených předmětných ISO norem (chráněn UV č. 20507). Důležité je, že díky mezinárodní spolupráci v rámci CEN, kde CDV zastupuje zájmy ČR, i na základě

sběru většího množství doprovodných dat, včetně uchovávání dílčích surových měření, jsou i dříve provedená měření validní v souladu s požadavky a doporučeními, které jsou uvedeny v aktuální normě ISO 11819-2 z roku 2017.

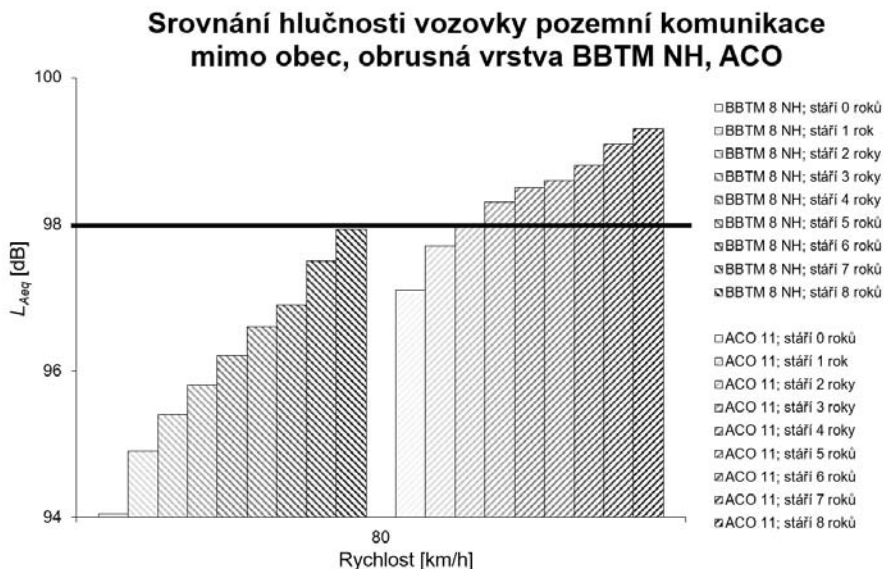
Dílčích výsledků měření metodou CPX bylo využito i při tvorbě příloh národního předpisu technických podmínek Ministerstva dopravy ČR – TP 259: Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností [4], které platí od prosince 2017. TP 259 definuje požadavky na použité materiály a stanovuje způsob značení asfaltových směsí pro dané nízkohlučné obrusné vrstvy. Jsou uvedeny technické požadavky na jednotlivé typy asfaltové směsi, způsob údržby a ověřování účinku snížené hlučnosti. Pro fázi pokládky obrusných vrstev se sníženou hlučností jsou vyjmenována některá specifika, která je důležité dodržet. Hodnocení hlučnosti povrchů vozovek v TP 259 [4] je jednoznačně popsáno v příloze B „Postup pro prokazování a sledování účinku snížené hlučnosti na styku obrusné vrstvy a pneumatiky pojíždějícího vozidla“, kdy v příloze A „Údržba a provozování asfaltových obrusných vrstev se sníženou hlučností“ jsou uvedeny podmínky údržby. Od roku 2018 se tak v ČR pokládají většinou nízkohlučné povrchy v souladu s tímto předpisem, který jednoznačně předepisuje jejich parametry jak po technické a technologické, tak i akustické stránce.

3 UKÁZKA ZMĚNY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ VOZOVEK

Bylo jednoznačně prokázáno, že hlučnost jednotlivých typů povrchů pozemních komunikací se v čase mění, a to jak u asfaltových, tak i betonových povrchů. Totéž platí pro běžné i nízkohlučné povrchy [11]. Tyto změny jsou pomocí metody CPX měřitelné [12], jak ukazují následující obrázky 1 a 2.

Na obrázcích můžeme sledovat srovnání dlouhodobého vývoje hlučnosti na rychlostní pozemní komunikaci mimo obec (obrázek 1), kde položená obrusná směs odpovídá požadavkům dle nového předpisu TP 259, a vývoje hlučnosti průtahem obce (obrázek 2), kde obrusná směs neodpovídá požadavkům dle nového předpisu TP 259. Nutné je však upozornit, že problematika má mnohem hlubší a komplexnější pozadí, a není proto vhodné provádět zjednodušené a předčasné závěry. Akustický stav pozemní komunikace ovlivňuje mnoho faktorů, např. průměrná rychlost dopravního proudu, uplatnění „samočistícího“ efektu povrchu, množství pohybující se zemědělské techniky a stavebních strojů v souvislosti s výstavbou v okolí, plynulost dopravního proudu v daném místě, tedy zda se vyskytují popojíždějící kolony, respektive semafor ovlivňující/řídící dopravu, dále zda se jedná o komunikaci s velkým poloměrem zatáček, tj. na povrch nepůsobí významné tangenciální síly jako např. u kruhových křižovatek, jaké zde působí meteorologické vlivy aj. Tedy existuje velké množství dalších proměnných faktorů a parametrů, které velmi významně ovlivňují vlastní změny akustického chování povrchu pozemní komunikace.

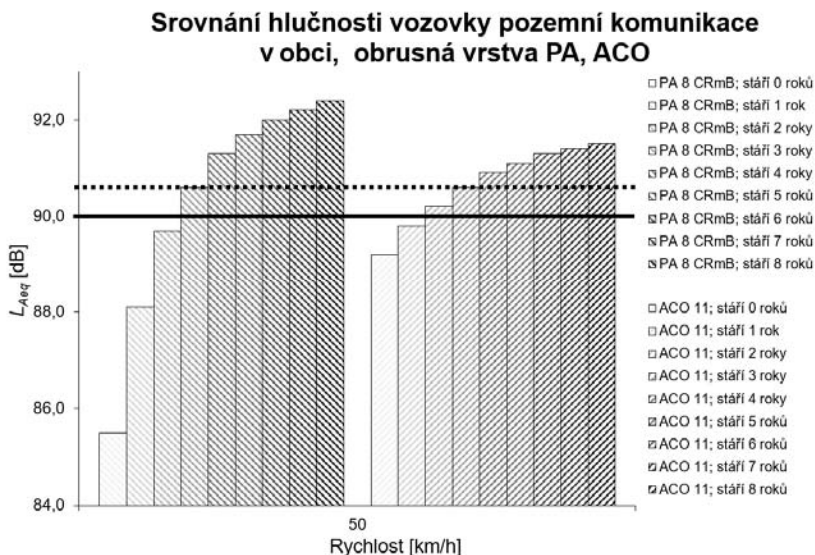
Provedeno je srovnání ze dvou různých lokalit, kde jsou vždy dva hodnocené úseky. Úseky se nalézají na stejné komunikaci ve stejné lokalitě, přičemž se zde vyskytuje vždy povrch ACO 11 (asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 11 mm), což je běžná asfaltová směs, která představuje i dle provedené analýzy pro MD [13] nejčastěji realizovanou vrchní vrstvu pozemní komunikace na území ČR, a to včetně dané maximální velikosti frakce kameniva. Tento povrch byl porovnáván ve sledované lokalitě s jiným zástupcem obrusných vrstev. V prvním případě to byla obrusná vrstva typu BBTM 8 NH a v druhém PA 8. Obrusná vrstva BBTM 8 NH (asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností s velikostí maximálního zrna 8 mm) představuje typického zástupce nízkohlučného povrchu, který byl v dominantní míře v ČR od roku 2014 pokládán a uplatňuje se na většině pozemních komunikací. Obrusná vrstva PA 8 (porézní asfalt s velikostí maximálního zrna 8 mm) se v dominantní míře uplatňoval do roku 2014.



Obrázek 1. Vývoj hlučnosti vybraných asfaltových směsí na pozemní komunikaci mimo obec (Opakovaná roční měření. Směs v souladu s novým předpisem TP 259)

Z obrázku 1 je zřejmé, že hlučnost v čase se vyvíjí (postupně v čase narůstá), a to jak pro běžný povrch komunikace (ACO 11), tak pro obrusnou vrstvu se sníženou hlučností (BBTM 8 NH). Po pokládce rozdíl mezi nízkohlučným a běžným povrchem dosahoval 3 dB ve prospěch nízkohlučného povrchu. Po osmi letech provozu pozemní komunikace se rozdíl snížil cca na polovinu, kdy stále

z akustického hlediska má lepší parametry povrch BBTM 8 NH oproti ACO 11. Pro povrch BBTM 8 NH bylo po osmém roce v rámci akustického hodnocení dosaženo vztažné referenční hodnoty, která je určena pro posuzování nízkohlučných povrchů v souladu s technickým předpisem TP 259 [4]. Stanovená referenční hodnota odpovídá hlučnosti běžných obrusných směsí (ACO 11, SMA 11) do 1–2 let od pokládky, což lze vidět i z obrázků 1 a 2, kdy povrch ACO 11 tuto „linii“ protnul mezi prvním a druhým rokem. Vztažná referenční hodnota byla zavedena z důvodu porovnávání hlučnosti povrchů na jednotlivých místech. Relativní porovnání nově položeného a původního povrchu je sice užitečné v tom ohledu, že jsme schopni posoudit, jak se zlepšil stav v daném místě, avšak pro porovnání v rámci jednotlivých míst měření mezi sebou je absolutně nevhodné, jelikož dosažený útlum závisí především na tom, jaký byl stav pozemní komunikace před realizací rekonstrukce.



Obrázek 2. Vývoj hlučnosti vybraných asfaltových směsí na pozemní komunikaci v obci (Opakovaná roční měření. Směs není v souladu s novým předpisem TP 259)

Obrázek 2 taktéž jasně demonstruje nárůst hlučnosti v čase, a to jak pro běžný povrch komunikace (ACO 11), tak pro dříve ve větší míře uplatňované „nízkohlučné povrchy“ (typu PA), které v současné době dle TP 259 nejsou podporovány. Tento typ obrusné směsi po své pokládce vykazuje velmi výrazné snížení hlukové zátěže, která však vlivem klimatických podmínek v zimním období, neprováděním vhodné údržby a zanášením nečistotami (ze zemědělské techniky či stavebních strojů aj.) rychle narůstá, což je možné vidět na obrázku 2, kde jsou vynesena naměřená data.

U zde porovnávaných povrchů byl meziroční nárůst hlučnosti přibližně v řádu desetin dB, zatímco povrch PA 8 v prvních dvou letech od pokládky měl významný nárůst hlučnosti v jednotkách dB. Vztažné referenční hodnoty pro hodnocení nízkohlučných povrchů v souladu s TP 259 je dosaženo po druhém roce od pokládky, kdy od čtvrtého roku tento povrch v daném místě vykazuje vyšší hlučnost než navazující úsek běžného povrchu komunikace (ACO 11).

Akustický benefit povrchů se sníženou hlučností lze tak v současné době odhadnout na časové období 3–8 let na základě měření z minulých let. Přičemž platí, že technická životnost povrchu je samozřejmě delší, a dále je nutné zmínit, že od roku 2018 se mnohé kritické úseky z hlediska hlučnosti realizují v souladu s technologickým a kvalitativním předpisem TP 259. Zde však nemáme a nebudeme mít ještě delší dobu relevantní data, jelikož neexistují měření starší 3 let. Předběžné výsledky však ukazují, že povrchy v souladu s výše uvedeným předpisem budou vykazovat delší akustickou životnost v rámci uvedeného rozpětí. Je tak možné, že akustická životnost při ideálních podmínkách bude i delší než 8 let.

4 MOŽNOSTI EKONOMICKÉHO POSOUZENÍ

Česká republika ročně vynakládá na škody způsobené hlukem miliardy korun, což potvrdila také studie na evropské úrovni [14]. Tyto náklady jsou značně vysoké. Z hlediska hluku lze náklady významně snížit při využití nízkohlučných povrchů, což lze vyčíslit pomocí výpočtů externalit [15], kde v souladu s provedenými měřeními i se zkušenostmi ŘSD se životnost běžných obrusných vrstev pohybuje okolo 12 let a životnost obrusných vrstev se sníženou hlučností je přibližně 8 let [16]. Z toho je možné vyvodit, že za životnost celé vozovky, která se pohybuje okolo 25 let, je potřeba její povrch vyměnit 2x u běžných směsí a 3x u směsí NH, což se významně projeví při ekonomickém posouzení. Pro pokládku nízkohlučného povrchu je v současné době rozhodující dodržení legislativních hygienických limitů hluku, v intravilánu de facto i nemožnost realizace jiných protihlukových opatření. Jediným možným řešením je v mnoha případech i přes realizaci protihlukové clony pokládku nízkohlučného povrchu. V mnoha případech tu je možnost provést ekonomické porovnání, co se týče vhodnosti nebo nevhodnosti použití nízkohlučného povrchu, jakožto pomocného členu při porovnávání různých možností v rámci procesu EIA. U takového porovnání všech ekonomických nákladů je nutno zahrnout alespoň náklady na pokládku, údržbu a opravu (tj. stavební náklady, pokládka, frézování při obměně, vodorovné dopravní značení, dopravně-inženýrská opatření při rekonstrukci, zpoždění – kongesce vlivem tvorby kolon) vůči finančním dopadům hluku z dopravy na obyvatelstvo (tzv. externality). Podrobnosti k ekonomickému hodnocení lze nalézt v článku [17].

5 ZÁVĚR

Článek poukazuje na skutečnost, že hlučnost povrchu pozemní komunikace patří mezi proměnný parametr vozovky, kam by měl být i výhledově zařazen, např. s úpravou TP 87. Tedy i dosahovaná míra a dlouhodobost snížení hlučnosti při využití ohrubných směsí se sníženou hlučností je individuální a na základě starších povrchů lze akustickou životnost odhadovat v intervalu 3–8 let. Tato akustická životnost se však může změnit vlivem uplatňování nového technologického i kvalitativního předpisu TP 259. Tyto informace lze využít i v rámci ekonomického porovnání běžného a nízkohlučného povrchu pozemní komunikace. Pilotní studie ekonomických výpočtů, ve kterých se počítá s každoroční akustickou změnou jednotlivých typů povrchů, je realizována v rámci projektu ROZVOZ [16], který ovšem tvoří jen úvod do problematiky v podmínkách ČR, a bude vhodné postup podrobněji a konkrétněji rozpracovat, popřípadě se zabývat nastavením jednotlivých kritérií. Doposud získané informace poukazují na skutečnost, že má smysl se zabývat ekonomickým porovnáním mezi běžným a nízkohlučným povrchem. Z výpočtů je totiž patrné, že nízkohlučný povrch může být z hlediska hodnocení životního cyklu vůči běžnému povrchu v některých případech i celkově ekonomicky výhodnější, tedy nejenom po stránce nižších dopadů na zdraví. K dispozici je základní postup vyjadřující možnost rozšířeného ekonomického zhodnocení využití nízkohlučných vozovek, který může sloužit k dlouhodobě udržitelné dopravě i ve vztahu k rozvoji území v blízkosti pozemních komunikací. K celé problematice však nelze přistupovat pouze z hlediska ekonomického zhodnocení výhodnosti různých povrchů. Je nutno brát v potaz, že zdravotní hledisko má rozměr finančního zhodnocení externalit a obsahuje i nevyčíslitelné indikátory jako pohodu bydlení či well-being (osobní pohodu). Je v zájmu celé společnosti, aby se sladily zájmy dopravy, bydlení, volnočasových aktivit a odpočinku, a lidé se ve svých sídlech cítili dobře. To je cesta k tomu, aby obyvatelé měst a sídel vnímali celospolečenskou službu dopravní obslužnosti příznivěji, i přes její negativní dopady.

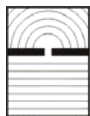
PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA, v rámci řešení projektu TL02000258 Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek.

REFERENCE

- [1] SANDBERG, U., EJSMONT, J. A.: Tyre/road Noise Reference Book. Kisa, Sweden: INFORMEX, ISBN 91-631-2610-9, 2002.
- [2] MISDARIIS, N., PARDO, L-F.: The sound of silence of electric vehicles – Issues and answers. InterNoise, China, 2017.

- [3] KEPHALOPOULIS, S., PAVIOTTI, M., ANFOSSO-LÉDÉE, F.: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Publications Office of the European Union, 2012. ISBN 978-92-79-25281-5.
- [4] VALENTIN, J., MONDSCHNEIN, P., BUREŠ, P., KŘIVÁNEK, V.: Technické podmínky 259 Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností, schváleno Ministerstvem dopravy čj. 121/2017-120-TN ze dne 21. listopadu 2017 s účinností od 1. prosince 2017, 26 s.
- [5] Collaborative project FP7-SST-2013-RTD-1 Rolling resistance, skid resistance, and noise emission measurement standards for road surfaces (ROSANNE). Deliverable D2.6 Report on the development of the procedure for characterisation of noise properties of road surfaces including the updated draft standard. AIT, 2016.
- [6] WEHR, R., FUCHS, A.: A combined approach for CPX tyre hardness and temperature correction. In: Proceedings of the INTER-NOISE 2016 – 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future, 2016, pp. 2986–2991.
- [7] ISO/CD 11819-2:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.
- [8] ISO/TS 11819-3:2017 Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference Tyres.
- [9] ISO/TS 13471-1:2017 Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method.
- [10] KŘIVÁNEK, V., et al.: Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže, 55 s. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, prosinec 2014, ISBN 978-80-86502-82-3.
- [11] VÁZQUEZ, V. F., TERÁN, F., LUONG, J., PAJE, S. E.: Functional performance of stone mastic asphalt pavements in Spain: Acoustic assessment. Coatings 2019, 9, 123. DOI: 10.3390/coatings9020123.
- [12] VIEIRA, T. & SANDBERG, U.: Close proximity (CPX) round robin test: Comparison of results from four different CPX trailers measuring noise properties of 10 Swedish road surfaces. Internoise 2019 (pp. 7176–7187), Madrid, Spain. Red Hook, NY: Curran Associates, Inc.
- [13] KŘIVÁNEK, V., a kol.: Výběr nejčastěji používaných typů povrchů na komunikační síti ČR. Závěrečná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2021. 71 s. Zadavatel: Ministerstvo dopravy ČR.
- [14] VAN ESSEN, H. P., a kol.: Handbook on the external costs of transport, version 2019. Delft, CE Delft, 2019. ISBN 978-92-79-96917-1.
- [15] LUHR, D. R., RYDHOLM, T. C.: Economic evaluation of pavement management decisions. 9th International Conference on Managing Pavement Assets, 2015, USA.
- [16] KŘIVÁNEK, V., a kol.: Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2020 – Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek. Průběžná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2021.
- [17] KŘIVÁNEK, V., HABLOVIČOVÁ, B., MARKOVÁ, P., et al.: Ekonomické srovnání nízkohlučného povrchu s běžným povrchem. *Silniční obzor*, 2021, roč. 82, č. 6–7, s. 157–161. ISSN 0322-7154.



Problematika ověřování akustických vlastností PHS v terénu

Lenka Lomoz a Karel Šnajdr

ČVUT–FSv, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

lenka.lomoz@fsv.cvut.cz
akon@snajdr.name

Abstract Noise barriers (NB) are one of the most common noise protection measures applied along line structures. Noise barriers located along the railway infrastructure are part of the track and have the function of the protective structure of the railway substructure, reducing the impact of adverse effects of railway noise on the population. Noise barriers must meet a set of requirements regarding material composition, design and acoustic properties. This paper deals with experimental verification of acoustic properties of NB in situ.

1 ÚVOD

Protihlukové stěny jsou jedním z nejrozšířenějších protihlukových opatření aplikovaných podél liniových staveb. Protihlukové stěny (PHS) umístěné podél železniční infrastruktury jsou součástí dráhy a mají funkci tzv. ochranné stavby železničního spodku, snižující vliv nepříznivých účinků hluku z provozu drážní dopravy na obyvatelstvo. Protihlukové stěny musí splňovat soubor požadavků týkajících se materiálového složení, konstrukčního řešení a akustických vlastností. Základní požadavky jsou uvedeny v Obecně technických podmínkách pro železniční stavby [1] a v Technických podmínkách staveb pozemních komunikací [2].

Akustické vlastnosti, jako je zvuková pohltivost (určená koeficientem zvukové pohltivosti α_s , zvukovou pohltivostí DL_α) a vzduchová neprůzvučnost (koeficient vzduchové neprůzvučnosti R_w , vzduchová neprůzvučnost DL_R), jasně definují, o jakou protihlukovou stěnu se jedná. Dle dosahovaných hodnot zvukové pohltivosti se dělí PHS do 5 kategorií A1 až A5, kdy A1 se jedná o plně odrazivou stěnu a v kategorii A5 se jedná o velmi vysoce pohltivou stěnu. Dle hodnot vzduchové neprůzvučnosti lze rozdělit stěny do 5 kategorií B0 až B4. Prokázání a jasné stanovení těchto akustických vlastností probíhá na základě platných norem [3–5] v laboratorním prostředí.

Při prvotních plošných instalacích protihlukových stěn byla udávána životnost PHS výrobci na konci 90. let 20. st. cca 20 let [6, 7]. V současné době většina výrobců udává životnost PHS cca 35 let [8, 9]. Dále je v předpisu SŽ S4 [10] definováno, že PHS umístěné podél tratí musí splňovat akustickou funkci a zachovávat své vlastnosti po dobu životnosti. Aktuálně požadovaná návrhová životnost pro stavby železničního spodku, jejichž součástí jsou i PHS, je min. 50 let. Podrobnější požadavky na životnost PHS upravuje Metodický pokyn protihlukové stěny a valy [11] vydaný Správou železnic v dubnu 2021. V zásadách konstrukčního návrhu tohoto metodického pokynu je stanoveno, že „všechny nosné prvky konstrukce protihlukových stěn (založení, sloupky a soklový panel) se navrhuje na životnost 50 let (kategorie návrhové životnosti 4 dle ČSN EN 1990). Vyměnitelné části (ostatní panely nad soklovým panelem, pohltivá vrstva) se navrhuje na životnost 25 let (kategorie návrhové životnosti 2 dle ČSN EN 1990).“

V běžné praxi je v současné době prakticky nemožné ověřit během deklarované životnosti protihlukových stěn akustické vlastnosti in situ. Jedinou možností by bylo vybrané vzorky panelů vyjmout z provedené stavby a laboratorně nechat ověřit, což je často velmi těžko proveditelné s ohledem na záruční lhůty, reklamační řízení, požadavky na výluky, změny barevného vizuálu apod.

V rámci spolupráce s Centrem dopravního výzkumu (CDV) a Správou železnic (SŽ) byl v rámci projektu „Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě“ [12] proveden experimentální pokus ověření pohltivosti protihlukových panelů in situ vybraných typů PHS v různé fázi životnosti.

2 OVĚŘENÍ AKUSTICKÝCH VLASTNOSTÍ A STÁLOSTI VÝPLNĚ PHS

V 90. letech byly v okolí liniových staveb často instalovány akusticky pohltivé protihlukové stěny postavené na bázi montovaných panelů z recyklovaného plastu využívající jako akusticky pohltivý prvek jejich konstrukce desky z minerální vlny. Tyto desky byly potažené kašírem, překryté vhodným krycím materiálem a v rámu na lícové straně PHS kotveny buď svislými latěmi, nebo kari sítí.

Tyto protihlukové stěny podléhají v rámci svého provozu proměnlivým povětrnostním vlivům a případným zásahům vandalů a fauny (například ptactvo občas vybírá výplň desek z minerální vlny pro stavbu hnízd).

Předmětem zadání ze strany SŽ bylo měřením in situ a v laboratoři ověřit aktuální akustické vlastnosti akustické výplně tohoto typu montovaných panelů protihlukových stěn.

2.1 Lokalita měření

Lokalita pro měření akustické pohltivosti PHS a pro kontrolu stálosti její výplně byla vybrána s ohledem na stáří PHS, jejího materiálového složení a intenzitu její dopravní

zátěže. Proto byla vybrána PHS u hlavní železniční trati po delší době provozu (v druhé polovině předpokládané životnosti PHS).

Měření proběhlo dne 2. 10. 2020 na protihlukové stěně umístěné u nástupiště v zastávce Dolany nad Vltavou, na železniční trati č. 090 Praha – Ústí n/L. – Děčín. Jedná se o konvenční železniční dvoukolejnou trať, která je součástí I. a IV. Železničního tranzitního koridoru a je zařazena také do sítě TEN – T. Z pohledu kategorizace dráhy se jedná o dráhu celostátní.

Lokalita vlastního měření se nacházela přímo v zastávce Dolany nad Labem v kilometru 433,8. Měření bylo prováděno na protihlukové stěně umístěné u nástupiště směr Praha. Vzhledem k charakteru měření a prováděné zkoušky neměl stav a provedení svršku tratě, traťová rychlost či reliéf okolního terénu na výsledky provedených zkoušek žádný vliv.

2.2 Předmět měření

Předmětem měření byla protihluková stěna z recyklovaného plastu tvořená panely o základní skladebné výšce panelu 2000 mm a modulové délce 4000 mm. Nosným prvkem protihlukových panelů jsou výztuhy z ocelových profilů U 65, resp. Ja 60 /40/3 a dále U 90 /45/3 a U 114 /40/3, alt. U 135/50/3 mm z oceli S 235 umístěné uprostřed výšky panelu. Protihlukový panel je z rubové strany tvořen plastovou deskou profilovanou o rozměrech 2000/800 mm. Pohltivá vrstva je tvořena deskou Orsil N – tl. 40 mm, která je překryta netkanou vodoodpudivou černobílou skleněnou rohoží – posukem. Přes skleněnou rohož je použita ochranná síť Netlon H 10 v zelené

barvě, která je z lícové strany přichycena svislými latěmi 50/30 mm z recyklovaného plastu ve vzdálenosti 180 mm od sebe. Panely řady INP jsou osazeny do ocelových sloupů tvaru H průřezu 160/160 mm. Zvuková pohltivost DL_a (dB) dle výsledků zkoušek o určení typu výrobku byla stanovena 9 dB (třída A3). Reálný pohled na měřenou stěnu je patrný z obrázku 1.



Obrázek 1. PHS jednostranně pohltivá z recyklovaného plastu – zastávka Dolany (foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]

Vzhledem k tomu, že PHS je přímo přístupná z nástupiště, byla v průběhu životnosti na mnoha místech vandalsky poškozena. Vandalská poškození bylo možno rozdělit dle způsobu na úmyslné zapalování ochranné sítě Netlon H 10, viz obrázek 2, a na mechanické vytrhávání pohltné vrstvy Orsil N, viz obrázek 3.



Obrázek 2. Vandalské poškození – zapálení
(foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]



Obrázek 3. Vandalské poškození – vytrhání
(foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]

Mimo vandalská poškození byla na odhalených místech minerálních desek Orsil N nalezena místa působení ptáků, pravděpodobně čeledi datlovitých. V místech mimo nástupiště byla nalezena místa poškození způsobená povětrnostními vlivy a dynamickými účinky vzduchu při průjezdu vlakových souprav (obrázek 4 a 5).



Obrázek 4. Poškození – vyklování ptáky
(foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]



Obrázek 5. Poškození – klimatické podmínky
(foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]

3 POSTUP – MĚŘICÍ METODA

Měření činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku bylo provedeno pomocí impedanční trubice (Kundtovy trubice) metodou přenosové funkce, s využitím deterministického pseudonáhodného budicího signálu MLS a jednoho snímacího mikrofону. Měření probíhalo v souladu s normou ČSN ISO 10534-2 [14].



Obrázek 6. Umístění měřených vzorků 1–5 in situ
(foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]



Obrázek 7. Umístění měřených vzorků 6 in situ včetně
měřicí aparatury (foceno 2. 10. 2020) [zdroj: ČVUT]

Experimentálně bylo použito měření pomocí impedanční trubice in situ, tedy na místě u hodnocené PHS, a následně i v laboratoři.

Pro měření in situ byla vybrána čtyři místa (vzorky čísel 1 až 4), u kterých byl povrch akusticky pohltivé výplně panelu bez mechanických poškození (vrstva krycího materiálu byla plně zachována) a hrubého zásahu sprejerů (vrstva byla bez přídavného nástríku barvou), jeden vzorek nosného panelu se zcela odstraněnou vložkou akusticky pohltivého materiálu (vzorek číslo 5) a jeden vzorek s odstraněnou svrchní krycí vrstvou akusticky pohltivého panelu (tj. s odstraněnou vrstvou ochranné sítě, překryvného materiálu i vrstvou netkané textilie) a povětrnostními vlivy ovlivněným povrchem (vzorek číslo 6).

Vzorky 1, 2 a 3, 4 byly umístěny vždy v ose nad sebou. Ve výšce

0,70 m byly umístěny vzorky 1 a 4 a ve výšce 1,3 m vzorky 2 a 3 PHS. Poloha vzorku 5 byla ve výšce 0,7 m a vzorku 6 ve výšce 1,30 m PHS. Umístění měřicích bodů je patrné z obrázků 6 a 7. Pro potřeby měření v laboratoři byl odebrán vzorek akusticky pohltivého panelu bez mechanických poškození jeho vrstev (vzorek číslo 7) a vzorek akusticky pohltivého panelu s odstraněnou svrchní krycí vrstvou a povětrnostními vlivy „zhutněným“ povrchem (vzorek číslo 8). Těsné spojení povrchu protihlukové stěny s hrdlem impedanční trubice bylo zajištěno vrstvou sklenářského tmelu. U každého měřeného vzorku byla provedena tři po sobě jdoucí měření činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku.

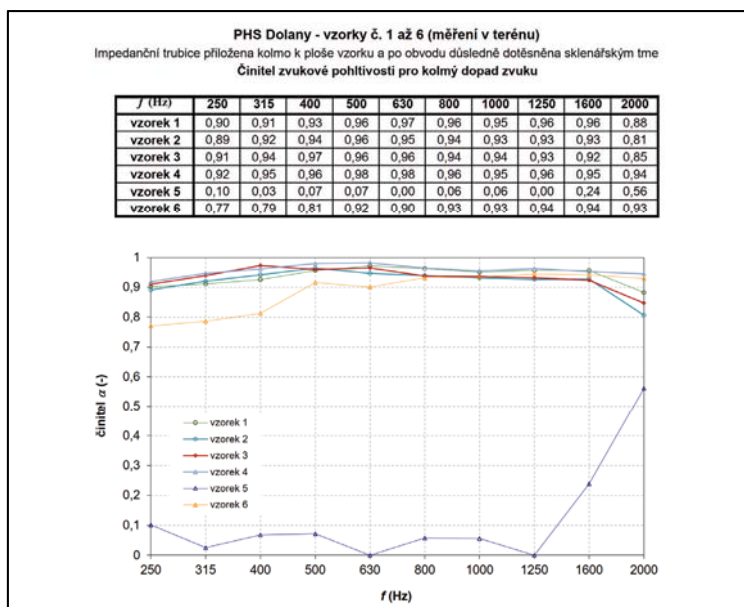
4 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Měření zvukové pohltivosti bylo provedeno pomocí následujícího měřicího řetězce společnosti Akustika Praha, s. r. o.: Ruční analyzátor zvuku Brüel & Kjær typ 2270, výrobní číslo 2664166, číslo ověřovacího listu 8012-OL-10087-19; měřicí mikrofon G.R.A.S. typ 40AE, výrobní číslo 173981, číslo ověřovacího listu 8012-OL-10088-19; Interferometr – impedanční trubice, konstrukce a výroba Akustika Praha, s. r. o. (čtvercový průřez impedanční trubice o vnitřních rozměrech 80 mm × 80 mm s délkou zkušebního úseku $l = 1\,030$ mm, vzdáleností zkoušeného materiálu a bližšího snímacího mikrofonu $x_1 = 515$ mm a vzdálenost mezi polohami mikrofonů 1 a 2 $s = 75$ mm); Digitální termohygrobarometr Kestrel 5500, výrobní číslo 2119455, kalibrační list č. 1033-KL-70179-16 (teplota, vlhkost) a 1033-KL-C0334-16 (tlak); Digitální výkonový zesilovač Vestax VDA-1000, výrobní číslo (21)7ZN012738; Analyzátor MLSSA, DRA Laboratories, U.S.A.

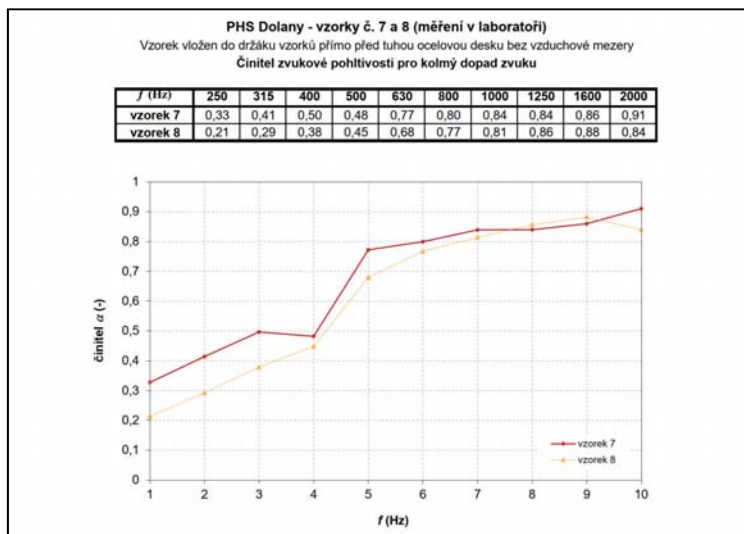
5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Celkem byla plocha PHS měřena v 6 měřicích místech. Dosažené výsledky jsou graficky zpracovány. Z již poškozených míst stěny byly odebrány dva vzorky (Vzorek 7 a Vzorek 8) pro stanovení parametrů v laboratorních podmínkách.

Celkové výsledné změřené činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku vzorků měřených přímo na protihlukové stěně (in situ) jsou uvedeny v přehledu zobrazeném na obrázku 8. Celkové výsledné změřené činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku vzorků měřených v laboratoři jsou uvedeny v přehledu zobrazeném na obrázku 9.



Obrázek 8. Přehled změřených číselníků zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku vzorků měřených přímo na protihlukové stěně (in situ)



Obrázek 9. Přehled změřených číselníků zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku vzorků měřených v laboratoři

6 ZÁVĚR

Z porovnání výstupů měření provedených přímo na protihlukové stěně s výstupy měření vzorků provedených v laboratoři vyplývají následující tři závěry.

Impedanční trubici není možné provést měření součinitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku poskytující hodnotu akustického parametru pohltivosti protihlukové stěny, protože napojením impedanční trubice na vzorek protihlukové stěny jsou přenosové funkce ovlivněny nejen částí vzorku měřené konstrukce nacházející se v průřezu impedanční trubice (v okně 80 mm × 80 mm), ale i dalšími částmi přiléhajícími v okolí průřezu hrdla impedanční trubice.

Porovnáme-li rozdíly činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku nepoškozeného akusticky pohltivého materiálu panelu protihlukové stěny (u měření in situ průměrná hodnota vzorků čísel 1 až 4 a u měření v laboratoři vzorek číslo 7) a činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku poškozeného akusticky pohltivého materiálu panelu této stěny (u měření in situ vzorek číslo 6 a u měření v laboratoři vzorek číslo 8), viz následující tabulka 1, lze usoudit, že je možné měření pomocí impedanční trubice použít pro měření degradace akustických vlastností materiálu protihlukové stěny porovnáním in situ (v rozsahu oktavových pásem se středy od 250 Hz do 1000 Hz).

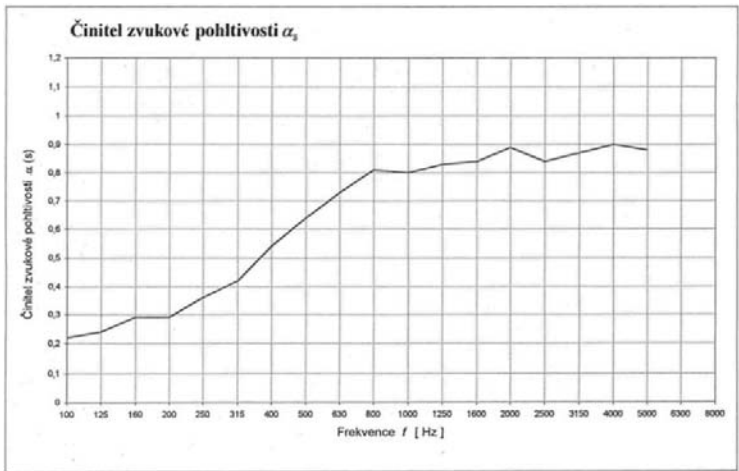
Pásmo (Hz)	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Průměr vzorků 1÷4	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,94	0,94	0,94	0,87
Vzorek 6	0,77	0,79	0,81	0,92	0,90	0,93	0,93	0,94	0,94	0,93
Rozdíl $\alpha(1\div4) - 6$	0,14	0,14	0,14	0,05	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,06
Vzorek 7	0,33	0,41	0,50	0,48	0,77	0,80	0,84	0,84	0,86	0,91
Vzorek 8	0,21	0,29	0,38	0,45	0,68	0,77	0,81	0,86	0,88	0,84
Rozdíl 7 – 8	0,11	0,12	0,12	0,03	0,09	0,03	0,02	-0,02	-0,02	0,07

Tabulka 1. Rozdíly činitelů zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku nepoškozeného a poškozeného akusticky pohltivého materiálu panelu protihlukové stěny

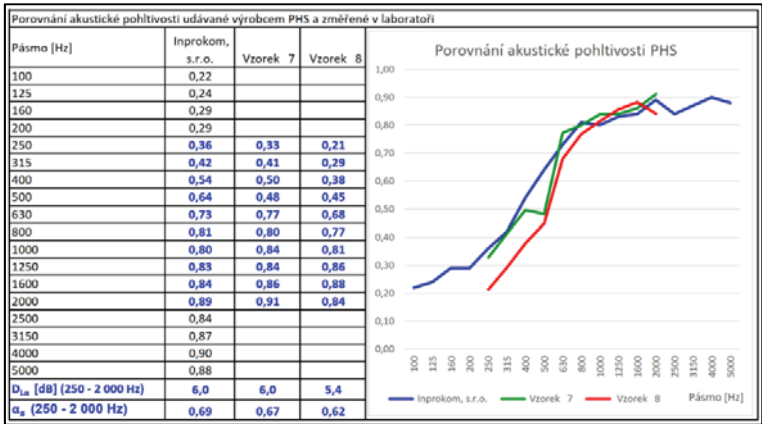
Výrobce PHS uváděl pro tuto stěnu frekvenční průběh činitele zvukové pohltivosti tak, jak je uvedeno na následujícím obrázku 10.

Porovnáme-li činitele zvukové pohltivosti udávané výrobcem, činitele zvukové pohltivosti pro kolmý dopad změřené v laboratoři (vzorky 7 a 8) a z nich stanovené zvukové pohltivosti DL_{α} (dB) v pásmu frekvencí od 250 Hz do 2000 Hz v duchu postupu podle normy ČSN EN 1793-1 [3], případně střední činitel zvukové pohltivosti α_s (stanoveného v pásmu 250 Hz až 2000 Hz), lze vyvodit, že PHS bez poškození, tedy vzorek akusticky pohltivého panelu bez mechanických poškození jeho vrstev (vzorek číslo 7), vykazuje velmi podobné vlastnosti, jako udává výrobce této PHS. PHS s poškozeným povrchem, tedy vzorek akusticky pohltivého panelu s odstraněnou svrchní krycí vrstvou a povětrnostními vlivy „zhuťněným“ povrchem (vzorek číslo 8), vykazuje adekvátně nižší hodnoty zvukové pohltivosti DL_{α} (dB) i středního činitele zvukové pohltivosti α_s (250–2 000 Hz). Porovnání činitele zvukové

pohltivosti, zvukové pohltivosti DL_α (dB) a středního činitele zvukové pohltivosti α_s (250–2 000 Hz) je uvedeno na následujícím obrázku 11.



Obrázek 10. Frekvenční závislost činitele zvukové pohltivosti panelů z recyklovaných směsových plastů [15]



Obrázek 11. Porovnání akustických vlastností PHS a v laboratoři měřených vzorků PHS

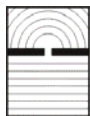
PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl z dat měření, která byla získána na základě finanční podpory projektu „Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě“ financovaného

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.

REFERENCE

- [1] Obecné technické podmínky „Protihlukové stěny“, 1. novelizované vydání, č. j. 60650/99 – 013, České dráhy 1999.
- [2] Technické podmínky TP104 „Protihlukové clony pozemních komunikací“ Schváleno Ministerstvem dopravy č. j. 306/2016-120-TN/1 ze dne 24. 11. 2016 s účinností od 1. prosince 2016.
- [3] ČSN EN 1793-1 Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody stanovení akustických vlastností – Část 1: Vnitřní charakteristiky zvukové pohltivosti v podmínkách difuzního zvukového pole. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [4] ČSN EN 1793-2 Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody stanovení akustických vlastností – Část 2: Vnitřní charakteristiky vzduchové neprůzvučnosti v podmínkách difuzního zvukového pole. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [5] ČSN EN ISO 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [6] Přehled Protihlukových stěn vyráběných na území ČR, ČD, 2000.
- [7] Protihlukové stěny používané na území ČR, Železniční stavitelství Praha, a. s., listopad 1998.
- [8] Mmcitě, a. s. *Protihlukové stěny jako kreativní systém*, 2015 [Online] [cit. 2021-09-23] Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/protihlukove-steny-jako-kreativni-system/>
- [9] PLEXISKLO PLEXIGLAS® SOUNDSTOP XT [Online] [cit. 2021-09-23] Dostupné z: <https://www.titan-multiplast.cz>
- [10] Předpis SŽ S4 Železniční spodek, leden 2020.
- [11] Metodický pokyn protihlukové stěny, Správa železnic, Schváleno pod č.j. 16476/2021-SŽ-GŘ-O13, duben 2021.
- [12] Závěrečná zpráva k projektu „Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě“, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.; 2020.
- [13] Technické podmínky dodací č. 1/2006 – Inprocom pro protihlukové panely z recyklovaného plastu Změna č. 1 zpracoval: Ivana Hrazdilova, 1. 1. 2006 (poskytnuto Správou železnic, s. o., 15. 10. 2020).
- [14] ČSN ISO 10534-2 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v imedančních trubicích – Část 2: Metoda přenosové funkce. Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [15] MYNÁŘ, J., MYNÁŘOVÁ, L. *Protihlukové stěny používané na území ČR*. Praha: ČVUT, 2002. 187 s.



Korelace spektrálních momentů diadochokinetických úloh a věku dětí

Samuel Maduda a Roman Čmejla

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

madudsam@fel.cvut.cz

Abstract Oral diadochokinetic tasks (DDK) are standard motor speech assessment tool often used in children speech-impairment assessment. While main interest of DDK tasks research is temporal domain, mostly maximal speech rate, spectral domain could also bring new insights in the speech impairment research. In this study spectra of plosive consonants obtained through the DDK tasks were compared between children from 3 to 16 years of age. Spectrum was represented by four spectral moments – single numbers describing the shape of spectrum. Spectral moments were tested for correlation with age of speakers to confirm changes in spectrum over the period of growing up. Study showed significant correlation between spectral moments and age for all plosive consonants (/p/, /t/, /k/). These results suggest differences in pronunciation of syllables /pa/-/ta/-/ka/ over time that manifest in changes of spectrum.

1 ANALÝZA SPEKTRÁLNÍCH MOMENTŮ

Pro sledování změn ve frekvenčním spektru diadochokinetických (DDK) úloh v průběhu věku je vhodné nahradit celé spektrum sadou numerických charakteristik, které svojí hodnotou popisují rozložení spektrálních čar. Vhodnými charakteristikami jsou spektrální momenty. První čtyři spektrální momenty popisují těžiště, rozptyl, šikmost a špičatost. Testování, zda se spektrální momenty mění v průběhu dětství a dospívání, bylo provedeno Pearsonovým testem korelace, který odhaluje lineární závislost v datech. Korelační koeficienty, které nabývají hodnot mezi -1 a 1 , ukazují míru závislosti výběrů [6].

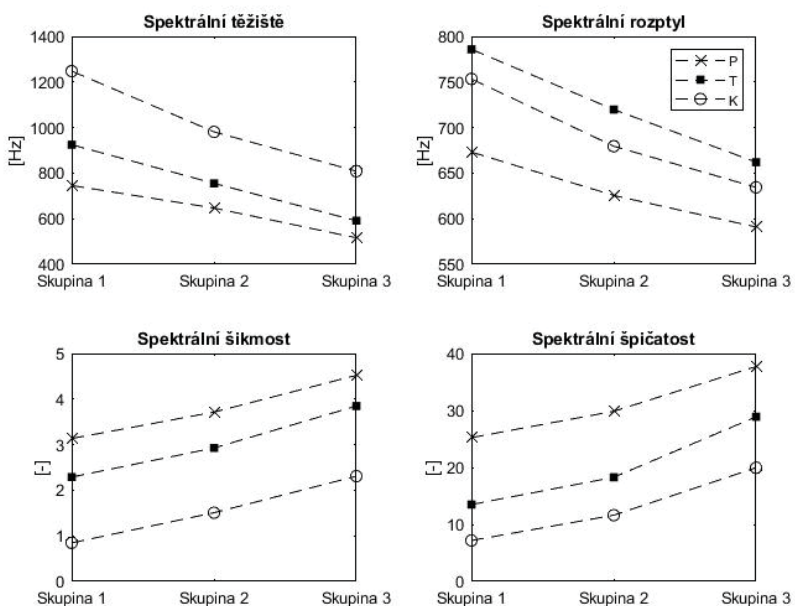
1.1 Spektrální momenty

		Těžiště	Rozptyl	Šikmost	Špičatost
Chlapci	/P/	-0,492	-0,258	0,354	0,193
	/T/	-0,556	-0,320	0,431	0,313
	/K/	-0,682	-0,471	0,474	0,356
Dívky	/P/	-0,380	-0,238	0,390	0,300
	/T/	-0,667	-0,543	0,615	0,511
	/K/	-0,480	-0,092	0,292	0,161

Tabulka 1. Korelační koeficienty spektrálních momentů a věku u chlapců (vrchní tři řádky) a dívek (spodní tři řádky)

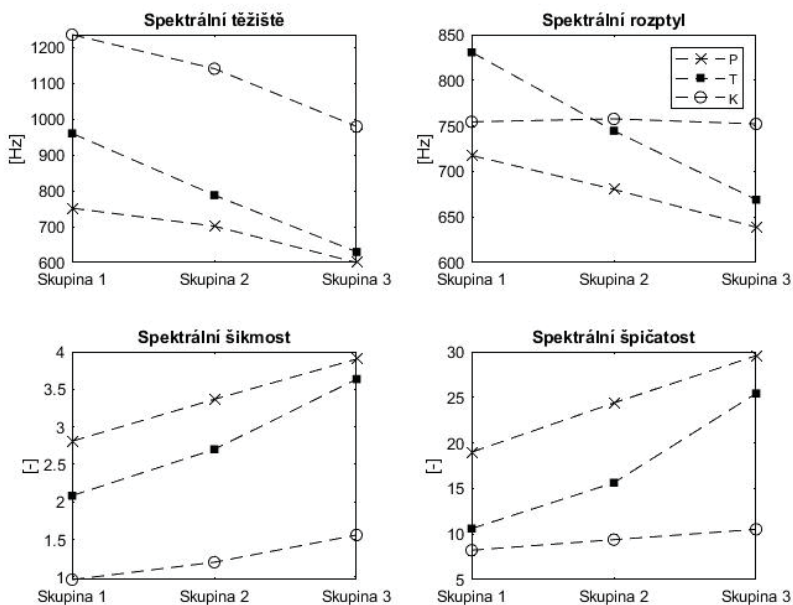
1.2 Korelace

1.2.1 Chlapci



Obrázek 1. Změna středních hodnot spektrálních momentů ve třech věkových skupinách chlapců. (Skupina 1: věk do 8 let, Skupina 2: věk mezi 8 a 12 lety, Skupina 3: věk od 12 let)

1.2.2 Dívky



Obrázek 1. Změna středních hodnot spektrálních momentů ve třech věkových skupinách dívek. (Skupina 1: věk do 8 let, Skupina 2: věk mezi 8 a 12 lety, Skupina 3: věk od 12 let)

2 DISKUZE

Spektrum hlásek se může podstatně lišit dle druhu vyslovované hlásky. Orální DDK úlohy jsou složeny z plovivní souhlásky a samohlásky /a/, které jsou složeny do sekvence slabik /pa/-/ta/-/ka/. Samohlásky jsou v časové oblasti složeny z periodických vln s vysokou energií, ve spektrální oblasti se objevují špičky s vysokou amplitudou, které odpovídají základní frekvenci hlasu a vyšším harmonickým složkám [1]. Plovivní souhlásky, které vznikají otevřením okluze vytvořené mluvidly a následným uvolněním vzduchu z plic, vykazují jinak tvarované spektrum než ostatní druhy souhlásek, které mají šumový charakter [2]. S rostoucím věkem hlas prochází výraznými změnami, které se projevují nejvíce v letech puberty. Prudký vývoj hlasového traktu je patrný zejména u chlapců. Se snižující se základní frekvencí hlasu a také formantových frekvencí se mění i spektrum samohlásek v průběhu dospívání. Tento jev je známý a potvrzený mnoha studiemi [3–5] a snadno odůvodnitelný. Spektra neznělých, plovivních souhlásek, které mají jiný mechanismus tvorby než samohlásky, jsou ovlivněna výslovností souhlásky. Některé souhlásky jsou složitější na koordinaci mluvidel a k osvojení konkrétního pohybu za

účelem vytvoření hlásky dochází s dospíváním. Zkoumání zmíněných vlivů bylo provedeno na diadochokinetických úlohách, u kterých je cílem opakovat slabiky /pa/-/ta/-/ka/ co nejrychleji za dodržení správné výslovnosti. Při maximální rychlosti promluvy by měla být vědomá kontrola výslovnosti omezena a mělo by tak docházet k vyššímu projevení se vlivu osvojení pohybu, tzv. svalové paměti. Pro určení, zda dochází s rostoucím věkem ke změně spektra hlásek, bylo použito korelačního koeficientu, který umožňuje odhalit lineární závislost mezi dvěma výběry.

3 ZÁVĚR

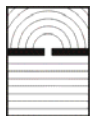
Spektrální analýza záznamů diadochokinetických promluv u dětí ukázala lineární závislost spektrálních momentů tří zkoumaných plozivních souhlásek na věku. Výjimku tvoří pouze druhý (spektrální rozptyl) a čtvrtý (spektrální špičatost) spektrální moment vyslovované souhlásky /k/ u dívek. V průběhu dospívání tedy dochází ke změně řečového signálu z orálních DDK úloh.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za podpory grantu GAČR GA19-20887S „Populační normy akusticko-fonetických charakteristik dětské řeči“.

REFERENCE

- [1] GILLES, Miet. Towards wideband speech by narrowband speech bandwidth extension: magic effect or wideband recovery? application to mobile telephony. Le Mans, 2001. PhD thesis. DE L'UNIVERSITE DU MAINE. Vedoucí práce: Jean-Christophe VALIÈRE.
- [2] *Tvoření českých souhlásek* [online] (2008–2021). Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR, v. v. i. [Cit. 14. 9. 2021], <https://prirucka.ujc.cas.cz/?id=905/>.
- [3] TAYLOR, Sammi, Christopher DROMEY, Shawn L. NISSEN, Kristine TANNER, Dennis EGGETT a Kim CORBIN-LEWIS. Age-Related Changes in Speech and Voice: Spectral and Cepstral Measures. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2020, **63**(3), 647–660. ISSN 1092-4388. Dostupné z: doi:10.1044/2019_JSLHR-19-00028
- [4] KENT, R. D. a L. L. FORNER. Speech segment durations in sentence recitations by children and adults. *Journal of Phonetics*. 1980, **8**(2), 157–168. ISSN 00954470. Dostupné z: doi:10.1016/S0095-4470(19)31460-3
- [5] SMITH, Bruce L., Mary Kay KENNEY a Sarmad HUSSAIN. A longitudinal investigation of duration and temporal variability in children's speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1996, **99**(4), 2344–2349. ISSN 0001-4966. Dostupné z: doi:10.1121/1.415421
- [6] MADUDA, Samuel. *Spektrální analýza diadochokinetických úloh u dětí*. Praha, 2021. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce: Roman Čmejla.



Možnosti hodnocení neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku

The possible assessments of unprofessional exposures of low frequency noise

Dana Potužníková^a, Tomáš Hellmuth^a, Pavel Junek^a,
Jiří Michal^a a Martin Hill^b

^aNárodní referenční laboratoř pro komunální hluk, Tvardkova 1191,
562 01 Ústí nad Orlicí

^bEndokrinologický ústav Praha

Abstract The article presents the results of an experiment to determine whether short-term experimental exposure to low frequency noise with the tonic component induces significant changes in the circadian rhythm of cortisol and alpha-amylase in saliva in the experimental set of volunteers. Saliva is a biological material that allows low-invasiveness collection. Subsequently, the work was supposed to assess whether these (possible) changes could be used as objective indicators of the presence of the stress response to the noise exposure.

1 ÚVOD

S technickým rozvojem se v životním prostředí člověka zvyšuje počet zdrojů nízkofrekvenčního hluku a roste počet stížností osob exponovaných hlukem z těchto zdrojů. Závazný limit pro neprofesionální expozici nízkofrekvenčnímu hluku nebyl dosud, z důvodu omezeného množství údajů o rizikovosti expozice nízkofrekvenčnímu hluku, v zemích EU či USA zaveden a nebylo ani vydáno doporučení WHO. V Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [1] hygienický limit pro komunální/neprofesionální expozici nízkofrekvenčnímu hluku stanoven není. V současné době nemá hygienická služba České republiky k dispozici vhodné nástroje pro objektivizaci míry zdravotní rizikovosti neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku.

2 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE

Experimentální studie byla provedena na souboru 100 dobrovolníků (63 žen, 37 mužů), vystavených akutní krátkodobé intenzivní expozici nízkofrekvenčního hluku (NfH) s tónovou složkou (30 min).

Modelová expozice byla vytvořena podle charakteristik NfH, získaných z dlouhodobého měření hluku z hudebních produkcí. Pro tento typ NfH je typické, že většina akustické energie je soustředěna do oblasti frekvencí pod 100 Hz, resp. 200 Hz, signál obsahuje výraznou tónovou složku na frekvenci 50 Hz a rozdíl ekvivalentních hladin hluku L_{Aeq} a L_{Ceq} je více jak 20 dB. Úroveň experimentální expozice $L_{Aeq,T}$ se pohybovala v rozpětí 75 až 80 dB, což je hladina zhruba o 20 dB vyšší oproti hladinám hluku naměřeným při produkcích v obytné zástavbě.

Před expozicí byla u participantů hodnocena míra jejich odolnosti vůči stresové reakci prostřednictvím dotazníku Osobní nezdolnost typu (Sense Of Coherence, SOC). V průběhu expozice byla kontinuálně sledována tepová frekvence se záznamem po dvou až třech minutách a krevní tlak. Krevní tlak byl měřen před započítáním expozice, po prvních 5 minutách a dále každých 10 minut. Před expozicí, v polovině expozice a bezprostředně po jejím ukončení byl proveden zásahový test pro zjištění vlivu expozice na schopnost soustředit se u participantů.

V průběhu expozičního dne byly odebrány čtyři vzorky slin pro stanovení křivek cirkadiánních rytmtů kortizolu a α -amylázy. V průběhu expozice byla sledována tepová frekvence a krevní tlak. Pro zjištění vlivu expozice na schopnost soustředění byl proveden před expozicí, v 16. minutě expozice a bezprostředně po ukončení zásahový test. Byla hodnocena míra odolnosti participantů vůči stresové reakci. Pro statistickou analýzu biologických ukazatelů byl použit test ANOVA, u fyziologických ukazatelů byl použit Studentův párový t -test nebo Wilcoxon Signed-Rank Test. Pro zjištění významných rozdílů v zásahových testech byl použit Chi-kvadrát test. Použitá hladina významnosti byla vždy $p \leq 0,05$.

3 UKÁZKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku ($L_{Aeq,T}$ cca 80 dB) s tónovou složkou nevyvolala za podmínek studie u žádné ze sledovaných věkových kategorií participantů významné změny cirkadiánního rytmu hladin slinného kortizolu a α -amylázy (viz grafy č. 1 až 3).

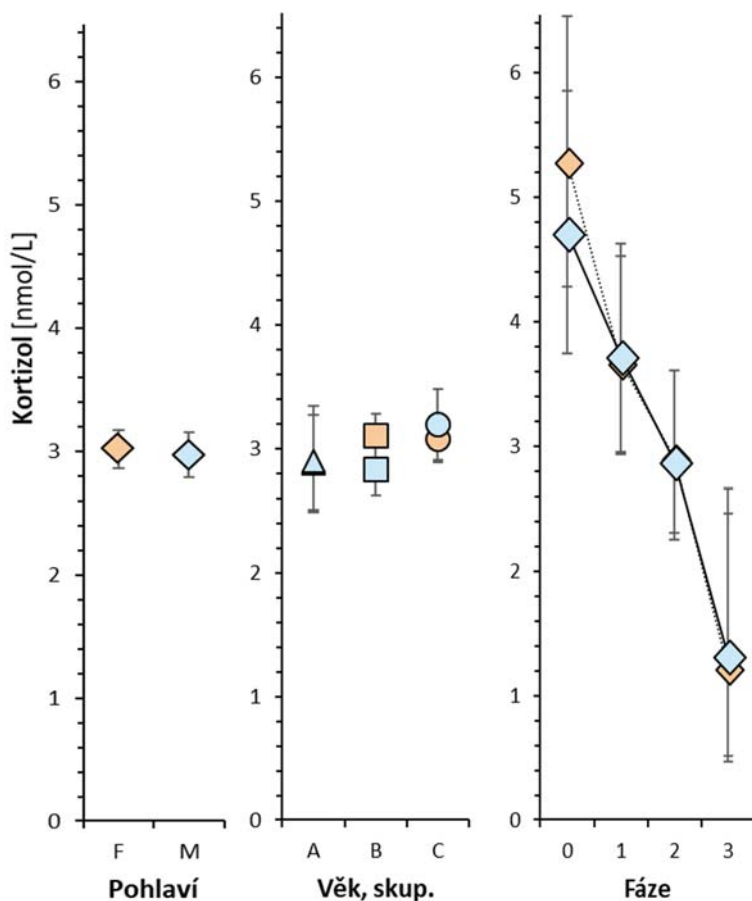
Legenda ke grafům:

Pohlaví: F = ženy, podbarveny oranžově, M = muži, podbarveni modře

Věková skupina: A = <18; 30> let, B = <31; 60> let, C = >60 let

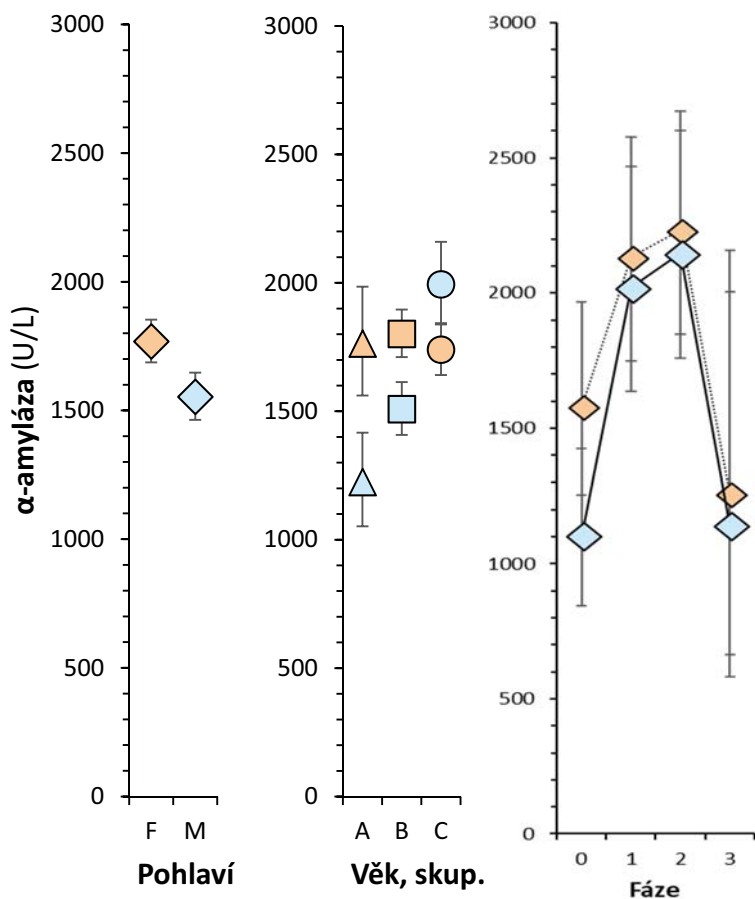
Fáze: 0 = ranní odběr, 1 = odběr před expozicí, 2 = odběr po expozici, 4 = večerní odběr

ANOVA model pro ženy ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, významnou změnu hladin s fází, významné interindividuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a významnou závislost průběhu hladin na věku. ANOVA model pro muže ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, nevýznamnou změnu hladin s fází, významné interindividuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku.



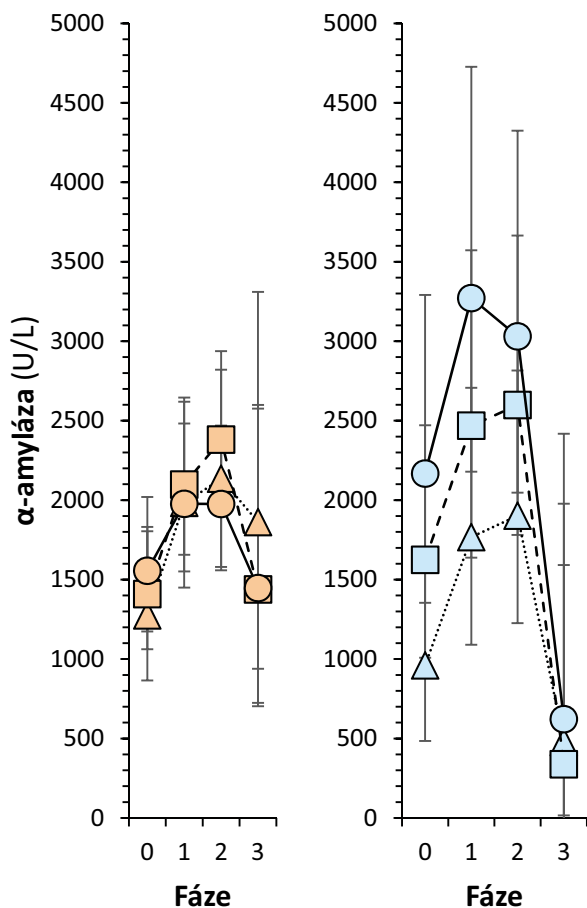
Graf 1. Hladiny kortizolu podle pohlaví, věku a pořadí odběru slin (fáze)

ANOVA model pro ženy ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, nevýznamné změny hladin s fází, významné interindividuální rozdíly, nevýznamnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku. ANOVA model pro muže ukazuje významný rozdíl mezi věkovými skupinami, významné změny hladin s fází, významné interindividuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku.



Graf 2. Hladiny α -amylázy podle pohlaví, věku a pořadí odběru slin (fáze)

Při hodnocení interakce věku a pohlaví byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi skupinou žen a mužů. Ve věkových skupinách <18; 30> let a <31; 60> let byly zjištěny hladiny α -amylázy vyšší u žen, přičemž rozdíl je statisticky významný. V kategorii >60 let byla hladina α -amylázy u žen nižší, přičemž rozdíl je na hranici statistické významnosti. Hladina α -amylázy s věkem u mužů statisticky významně stoupá, u žen se významně nemění.



Graf 3. Hladiny α -amylázy podle pohlaví (graf vlevo ženy, graf vpravo muži), věku a pořadí odběru slin (fáze)

4 ZÁVĚR

Akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku ($L_{Aeq,T}$ cca 80 dB) s tónovou složkou (30 min) nevyvolala za podmínek prezentované studie u žádné ze sledovaných věkových kategorií participantů významné změny cirkadiánního rytmu hladin kortizolu a α -amylázy ve slinách. U žen jsme po expozici zaznamenali významný pokles tepové frekvence, systolického tlaku a schopnosti soustředění. U mužů jsme zaznamenali významný pokles systolického tlaku. Sledované biologické ukazatele se tedy nejvíce jeví jako vhodné pro účely objektivizace stresové odpovědi na krátkodobou expozici nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou.

Vzhledem k tomu, že odborná literatura je zaměřena na sledování a zkoumání vlivu hluku na posluchače hudebních produkcí, a nikoliv sledování vlivu na nezúčastněné osoby, je náš soubor měření hladin hluku v zástavbě v okolí konání hudebních produkcí unikátní. Výsledky prezentované experimentální studie představují výchozí data pro pokračování výzkumu. Následující epidemiologická studie měla mít terénní charakter v obytné zástavbě v okolí vícedenních hudebních festivalů, při kterých je nezúčastněná populace exponována nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou, ale pandemie rozhodla jinak...

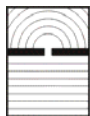
Poznatky získané v průběhu studie byly využity při formulování odborného návrhu hlukových paragrafů novely zákona č. 258/2000 Sb., která vešla v platnost 1. 12. 2015 [2]. Hluk z hudebních produkcí ve venkovním prostoru byl vyjmut z kompetence orgánů ochrany veřejného zdraví (KHS) a jeho regulace přešla plně do kompetence obcí. Na základě odborných poznatků byla NRL vypracována odborná pomůcka pro obce, která byla vydána Ministerstvem zdravotnictví jako „Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru“ [3].

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální práce byly finančně podpořeny projektem specifického výzkumu SVV-2014-260058 a SVV-260397/2017, projektem Univerzity Karlovy v Praze, Lékařské fakulty v Hradci Králové PRVOUK P37/09.

REFERENCE

- [1] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů ČR, 2011, částka 97:3338-51.
- [2] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů ČR, 2015, prosinec, 5 částka 165.
- [3] MZ ČR, NRL pro komunální hluk. Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru. č. j. MZDR 10076/2016-6/OVZ ze dne 21. 4. 2016. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/Content/files/Metodicke-navody/vph-manual-finalni-verze-2016-04-29.pdf>



Vliv expozice hluku z volnočasových aktivit na kvalitu sluchu u mladé populace

The impact of noise exposure from leisure activities on the quality of hearing in the young adults

Markéta Stanovská^{a, b}

^aMinisterstvo zdravotnictví, Palackého náměstí 4, 128 01 Praha 28

^bÚstav epidemiologie a ochrany veřejného zdraví, Lékařská fakulta, Ostravská univerzita, Syllabova 19, 703 00 Ostrava

marketa.stanovska@mzcr.cz

Abstract Hearing is negatively affected by noise from occupational exposure and environmental exposure throughout life. The main goal of this cross-sectional study was to evaluate the hearing threshold of the young adults with a subjective evaluation of noise exposure during leisure activities. Hearing threshold data were obtained through the subjective medical examination – tone threshold audiometry and noise exposure were determined by a questionnaire survey. The observed group of students did not prove an increase in the hearing threshold from noise exposure (especially using earphones to listening music), even though more than ninety percent of participants use the earphones on average six hours a day. The questionnaire survey proved many statistically significant differences between the monitored students. However, due to the demonstration of this negative effect on hearing impairment in foreign studies, it is recommended that the young population use earphones or attend music productions judiciously. Interventions in this area are not yet included in educational programs.

1 ÚVOD

Sluch je jeden z našich nejdůležitějších smyslů, který se s přibývajícím věkem fyziologicky zhoršuje. Mimo fyziologické zhoršení sluchu s věkem jsme již od dětství vystavováni expozici hluku a tím dochází ke zvyšování sluchového prahu, resp. zhoršování sluchu. Vyšetření sluchu se provádí subjektivními metodami, které nutně vyžadují spolupráci pacienta, a objektivními metodami. Nejvíce využívaná metoda pro vyšetření sluchu je audiometrie, např. tónová prahová audiometrie. Expozice hluku v pracovním prostředí je nejčastější rizikový faktor na pracovišti s velmi

probádanými a účinnými možnostmi prevence. Expozice hluku naopak v komunálním prostředí zahrnuje nejrozsáhlejší typ expozice z dopravy a nejvíce obtěžující hluk ze stacionárních zdrojů.

Mladá populace je dále negativně ovlivňována hlukem během volnočasových aktivit, tj. poslech hudby přes sluchátka, používání jiných zvukových zařízení nebo návštěvy hudebních produkcí. Expozice tomuto typu hluku dále závisí na mnoha přidružených faktorech, např. frekvence poslechu, intenzita poslouchané hudby, typ používaných sluchátek či první věk použití sluchátek a účasti na hudebních akcích. Ve výjimečných případech je možná expozice hluku ze střelby na střelnici jako aktivní záliby nebo při pravidelné hře na hudební nástroj.

Intervence v této oblasti zatím není zařazena do preventivních programů vzdělávacích zařízení i přesto, že mnoho zahraničních studií již prokázalo negativní účinky výše zmíněných faktorů na sluchový orgán. [1]

2 EXPOZICE HLUKU

Za expozici hluku se považuje nežádoucí a subjektivně rušivé působení zvuku o nadměrné intenzitě pro člověka. Nízké hladiny zvuku jsou zdravotně nezávadné i při dlouhodobé expozici. [2]

Sluch slouží člověku jako varovný smyslový systém, který při expozici hluku zapojuje široké množství obranných mechanismů, apriorně reaguje adaptací sluchového orgánu. Adaptace sluchu vzniká krátkodobým snížením hlasitosti silného zvuku a současně zvýšením sluchového prahu, po ukončení působení intenzivního zvuku se drážďení sluchového orgánu navrácí do původního stavu. [3]

Hlavní reakci sluchu na expozici hluku je tedy dočasné zhoršení sluchu po aktivitě spojené s vyšší hlasitostí hudby, v ojedinělých případech dochází až k permanentnímu poškození sluchového orgánu. Dlouhodobá intenzivní, a především opakovaná expozice hluku poškozuje vláskové buňky ve vnitřním uchu a trvale posouvá sluchový práh. Postupné zvyšování sluchového prahu je velice zrádné, jelikož je nebolestivé a exponovaná osoba si jej ve většině času neuvědomuje. Poškození sluchu osoba následně vnímá v běžných situacích, např. při konverzaci, kdy okolní osoby hůře slyší. V jiných případech se u osob objevuje přecitlivělost na okolní hluk, šelesty nebo pískání v uších, popř. osoba vnímá sluchové vjemy jako ozvěny. Poškození nebo úplná ztráta sluchu významně ovlivňuje kvalitu života. [2, 3]

2.1 Volnočasové aktivity

Masivní rozšíření poslechu hudby skrze elektronická zařízení, zejména mobilní telefon nebo rádio, je významným zdrojem hlukové zátěže. Elektronická zařízení jsou běžnou součástí života každého člověka. Nejčastější expozice hluku pak nastává v případě jízdy automobilem nebo veřejnou dopravou, při volnočasových aktivitách nebo v domácím prostředí (uklizení, vaření, home office atd.). Výkon dnešních hudebních aparatur je mnohem vyšší, zařízení jsou schopna pracovat v širokém

frekvenčním pásmu a změnil se i charakter hudby, který pracuje v rozsahu od měkkých tónů tiché a klidné hudby k ostřejším hlasitým tónům.

Poslech hudby přes sluchátka je velkým trendem, ať už díky prosazování módního stylu nebo inovativní technologii. Na trhu se nachází široké spektrum produktů, které různě charakterizují jejich vliv na sluchový orgán, resp. ovlivňují chování posluchače, který reaguje na výkon a tlumivost svých sluchátek a upravuje hlasitost i jiné zvukové parametry při poslechu. [4]

Dalším významným zdrojem expozice hluku je návštěva hudebních akcí a produkcí. Z hlediska uzavřených hudebních produkcí je problémem rozsah akustických vlastností vnitřního prostoru, který povětšinou odráží zvukové vlny a posluchače zatěžuje mnohem více a opakovaně než v otevřeném prostoru např. na festivalu. Veřejné hudební produkce, diskotéky, kluby a jiné akce se ve vnitřním prostředí vzhledem k přiléhajícím chráněným vnitřním prostorům staveb řídí platnou legislativou – Nařízením vlády 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [4, 7]

Ve výjimečných případech je zdrojem hluku střelba na uzavřených střelnicích, která je aktuálně stále častěji atraktivní pro mladou populaci. Expozice hluku při střelbě je zdrojem především impulsního zvuku. [6]

Velice oblíbená volnočasová aktivita v rané dospělosti spočívá ve hře na hudební nástroj. Každý zájemce o hru na hudební nástroj může volit z širokého spektra hudebních nástrojů. Z hlediska nadměrné expozice se v tomto případě jedná o nástroje s možností zesilovacích a reprodukčních systémů, které se mimo veřejné produkce využívají i v domácím prostředí. Při těchto aktivitách dochází k hudební produkci v hodnotách i přes 100 dB, které se u citlivějších osob blíží úzce až k prahu bolesti (130 dB). [7]

2.2 Prevence volnočasové expozice hluku

Vzhledem k tomu, že hudba ve volném čase nebývá vnímána jako zdravotní riziko, spíše naopak, bývá značná část populace vystavována nadměrné expozici hluku. Poslech hudby a aktivity s ní spojené mohou mít také pozitivní účinky, posluchači příjemná hudba oddaluje únavu, pomáhá relaxovat, zvyšuje efektivitu při monotónní práci nebo zvyšuje koncentraci, zlepšuje náladu a snižuje podrážděné chování. Základem prevence je částečné nebo úplné vyloučení, popř. omezení expozice hluku ze zdroje.

V současné době existuje evropská bezpečnostní norma, která omezuje úroveň intenzity hudebních přehrávačů na 100 dB, ovšem dlouhodobá expozice hluku mírně pod tuto hladinu již značí zvýšené riziko poškození sluchu. Neméně důležitá je volba přehrávače a typ sluchátek, které se prokazují schopností tlumení okolního hluku, aby uspokojily posluchače a nesměrovaly ho k nadměrnému zvyšování hlasitosti zařízení. Za nejbezpečnější se považují uzavřená sluchátka a poslech v tichém nerušeném prostředí. Studie Univerzity v Albertě, USA, prokázala u sledovaných jedinců z Fakulty rehabilitační medicíny, u kterých zkoumala typ používaných sluchátek

a ovlivnění hlukem z okolního prostředí, že posluchači, kteří jsou nadměrně ovlivňováni hlukem z okolí, podstatně zvyšují hlasitost hudby k poslechu. Účinná prevence pro omezení hluku z veřejných produkcí spočívá v omezení účasti na těchto akcích nebo přítomnosti pouze minimální dobu. [4, 5, 7]

Osoby s již rozvinutou poruchou nebo citlivostí sluchu by měly obzvlášť dodržovat správné zásady prevence expozice hluku. Postupné zvyšování sluchového prahu je nevratné a nadměrná expozice hluku zvyšování prahu urychluje.

3 METODIKA

Vybraný soubor 100 studentů Lékařské fakulty Ostravské univerzity v Ostravě, ve věkovém rozmezí 19–25 let (nejvyšší počet studentů, tj. 52, v kategorii 20 let), s převažujícím zastoupením žen (68 % žen, 32 % mužů) byl v roce 2020 zhodnocen dle sluchového prahu spolu s možnou expozicí hluku během volného času. Metodou kvalitativního výzkumu bylo provedeno vyšetření sluchového prahu pomocí tónové prahové audiometrie a metodou kvantitativního výzkumu dotazníkovým šetřením subjektivní zjištění expozice hluku.

3.1 Sběr a vyhodnocení dat

Použitý typ audiometru k vyšetření sluchu byl audiometr AD226 True Hybrid Audiometer by Interacoustics. Zvolený audiometr je sám schopen díky příslušnému softwaru vyexportovat naměřené audiometry v podobě audiogramů. Audiometrie byla provedena v souladu s ISO normami EN ISO 8253-1:2010 Acoustics – Audiometric test methods a EN ISO 266:1997 Acoustics – Preferred frequencies. Obě normy byly revidovány v letech 2018 a 2021 a jsou platné. Hodnocení probíhalo dle metody Fowlera, který kvalitativně hodnotí úroveň ztráty sluchu stanoveným stupněm závažnosti počínaje fyziologickým sluchem (*normacusis*) po úplnou hluchotu, kdy pacient neslyší žádné zvuky (*surditas*). Měření probíhalo na úrovni frekvencí v rozmezí 125 Hz až 8 000 Hz. Výsledkem byla procentuální hodnota ztráty sluchu. [10]

Nestandardizované dotazníky, s počtem 3 otevřené otázky a 12 uzavřených pro zjištění expozice hluku, byly navrženy tak, aby jejich obsah vypovídal o typické expozici hluku mladé populace, a byly vyplňovány prostřednictvím internetového programu Click4survey. Dotazník zahrnoval otázky týkající se používaných typů sluchátek, frekvence poslechu hudby a návštěv hudebních produkcí, preferované intenzity poslechu a zjištění výskytu negativních účinků po expozici hluku.

Pro zpracování dat byl použit program Microsoft Excel, pro popis výsledků popisná statistika a pro vyjádření statistické významnosti v podobě tzv. *p*-hodnot pomocí chí kvadrát testu a Fisherova exaktního testu online program OpenEpi v. 3.01. Ke zjištění statistické významnosti mezi průměrnými sluchovými ztrátami byl použit neparametrický Mann-Whitney test. Pro statistickou analýzu byla zvolena 5% hladina významnosti.

4 VÝSLEDKY

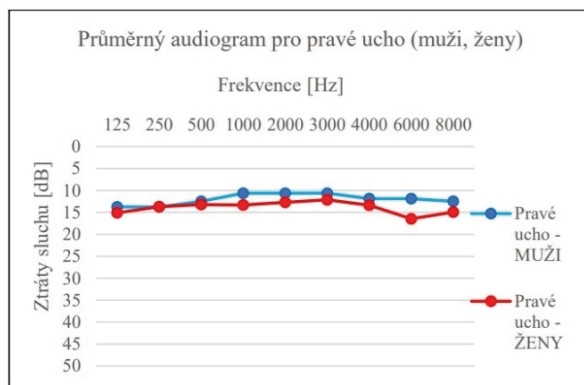
Pro pravé ani levé ucho u obou pohlaví nebyla prokázána významná celková ztráta sluchu dle Fowlera, veškeré hodnoty spadaly do stupně závažnosti normálního sluchu (*normacusis*). Maximální celková ztráta sluchu dle Fowlera u mužů dosahovala hodnoty 3,65 %, resp. u žen 2,48 %. Minimální celková ztráta sluchu dosahovala u obou pohlaví 0 % (pro obě uši). Průměrně se pak u mužů pohybovala celková ztráta sluchu na hodnotě 0,29 % a u žen 0,26 % (SD u mužů 0,0064 a u žen 0,0062). Nejvyšší četnost byla u obou pohlaví 0 % celkové ztráty sluchu dle Fowlera.

(Hz)/(dB)	125	500	1000	3000	4000	6000	8000
Muži-P	25	30	15	60	55	45	15
Muži-L	15	30	10	40	25	20	15
Ženy-P	25	20	25	15	20	15	20
Ženy-L	20	15	20	15	10	20	15

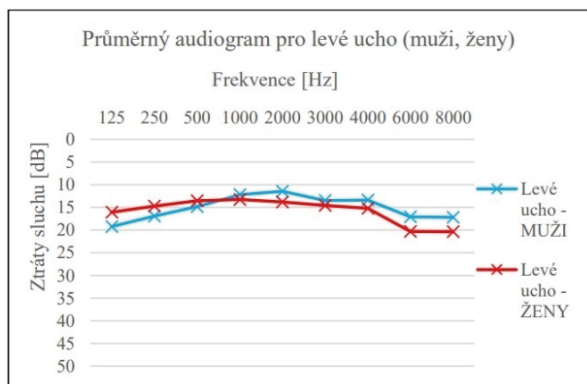
Tabulka 1. Maximální ztráty sluchu pro obě uši a pohlaví

Nejvyšší zaznamenaná ztráta sluchu (Tabulka 1) na vybraných frekvencích byla u mužů pro pravé ucho 60 dB na frekvenci 3 000 Hz, 55 dB na frekvenci 4 000 Hz a 45 dB na frekvenci 6 000 Hz a pro levé ucho 40 dB na frekvenci 3 000 Hz. Nejvyšší četnosti ztrát sluchu dle intenzity u mužů dosahují hodnoty 0,5 dB a 10 dB. U žen dosahovala nejvyšší ztráta sluchu 25 dB na vícero frekvencích pro pravé ucho a 20 dB taktéž na vícero frekvencích pro levé ucho. Nejvyšší četnosti ztrát sluchu dle intenzity dosahují rovněž i u žen hodnoty 0,5 dB a 10 dB.

Na žádné měřené frekvenci (Obrázek 1, Obrázek 2) nebyla zjištěna statistická významnost v porovnání hodnot průměrných sluchových prahů mezi pohlavími (Mann-Whitney test, $p > 0,05$). Statisticky významné rozdíly v průměrných prahových hodnotách nebyly zjištěny ani při porovnání pravého a levého ucha u obou pohlaví.



Obrázek 1. Průměrný audiogram pro pravé ucho a pro obě pohlaví



Obrázek 2. Průměrný audiogram pro levé ucho a pro obě pohlaví

U výsledků audiometrického vyšetření je nutno podotknout, že se respondenti vybraného souboru, studenti, i přes dozor přítomného lektora, vyšetřovali samostatně za účelem dosažení maximálního edukačního významu v rámci jejich studia, proto se dá předpokládat mírná nejistota při provedení vyšetření, ovšem i přes zahrnutí této nejistoty jsou výsledky průkazné se závěrem normálního sluchového prahu.

Z analýzy dotazníků vyplývá, že 96,8 % účastníků sluchátka používá, pouze 4 respondenti, tj. 4,2 %, sluchátka nepoužívají vůbec. Používání nejvíce bezpečných sluchátek z hlediska technologie, tj. uzavřená sluchátka, uvedl velmi malý počet dotazovaných, resp. 11 respondentů, 12,4 %. První věk počátku používání sluchátek k poslechu hudby byl průměrně 11,61 let (SD 2,48; rozpětí 6–20). Frekvenci návštěv hudebních produkcí uvedlo 59 studentů, tj. 62,1 %, několikrát za rok, pouze 1 student uvedl nejvyšší frekvenci návštěv, a to několikrát týdně. Negativní biologické účinky hluku v podobě sluchové únavy po návštěvě hudební akce se prokázaly nejčastěji pouze několik minut po odchodu z produkce, a to u 62 osob, 72,9 %, pouze 1 účastník uvedl sluchovou únavu celý následující den, 1,2 %.

5 ZÁVĚR

Studie prokázala prostřednictvím vyšetření tónovou prahovou audiometrií normální sluchový práh. V absolutní většině měli respondenti hodnoty celkové procentuální ztráty dle Fowlera v normě, avšak zvolený soubor osob byl vybrán z řad studentů lékařské fakulty, tudíž se dá předpokládat zodpovědnější přístup k ochraně zdraví a dodržování zásad prevence.

Vzhledem k tomu, že je zaznamenán nárůst používání sluchátek k poslechu hudby, je důležité edukovat mladou generaci o důsledném dodržování preventivních opatření expozice hluku právě při použití sluchátek nebo ohledně návštěv hudebních

produkci (také velmi stoupá zájem o účast, resp. klesá věk první návštěvy, čímž se prodlužuje doba expozice), přičemž je expozice hluku dále ovlivňována mnoha různorodými faktory, např. již zmíněná frekvence používání hudebních přehrávačů a jiných zařízení či návštěv hudebních akcí, intenzita poslechu, čas používání při jednom použití a jiné. Mimo studium základních faktorů souvisejících s poslechem hudby a negativním působením na sluch se také zkoumá vliv životního stylu (konzumace alkoholu nebo užívání marihuany) ve spojitosti s typem používaných sluchátek a jejich dopad na sluchový aparát. Americká studie publikovaná v roce 2020 došla k závěru, že se vzrůstající konzumací alkoholu stoupá i preferovaný stupeň hlasitosti k poslechu hudby, zatímco při častějším užívání marihuany stupeň hlasitosti při poslechu klesal. V návaznosti na pandemickou situaci od počátku roku 2020 se dá rovněž předpokládat rozdílnost (oproti „běžnému“ životu) v používání zvukových zařízení a účasti na hudebních produkcích, a tudíž s tím souvisejících vlivů na sluchový aparát. [11]

Klíčová domněnka prokázaná v různých zahraničních studiích zde nebyla potvrzena, nicméně je tento výzkum iniciativou pro hlubší studium volnočasových aktivit spojených s hudbou a negativního dopadu na zdraví sluchového orgánu. Systematický přehled 220 studií dle WHO (Světová zdravotnická organizace) zabývající se závislostí expozice neprofesionálního hluku na trvalém poškození sluchu zjistil z vybraných studií, že žádná z nich neuvádí specifickou prahovou analýzu zaměřenou na riziko trvalé ztráty sluchu v důsledku používání osobních zvukových přehrávačů k poslechu hudby. Proto WHO doporučuje pro budoucí výzkum provést rozsáhlou a dlouhodobou studii případů a kontrol nebo longitudinální kohortovou studii i přesto, že je výzkum expozice hluku velmi složitý, jelikož je ovlivňován mnoha výše uvedenými faktory, mimo jiné i měnící se expozicí hluku v komunálním prostředí, nebo různým poslechovým návykům mladých posluchačů. Součástí vhodné prevence by také mohlo být zařazení tohoto tématu do intervenčních programů a školních osnov nebo např. tvorba edukačních reklam prostřednictvím informačních technologií (BESIP a jiné). [12]

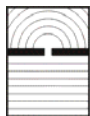
PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla opakovaně poděkovat paní Mgr. Martině Kovalové, Ph.D., a doc. Ing. Haně Tomáškové, Ph.D., za vedení a spolupráci při výzkumu v rámci vysokoškolské závěrečné práce.

REFERENCE

- [1] BÅSJÖ, Sara, Claes MÖLLER, Stephen WIDÉN, Göran JUTENGREN a Kim KÄHÄRI. Hearing thresholds, tinnitus, and headphone listening habits in nine-year-old children. *International journal of audiology*. 2016, 55(10).
Dostupné z: doi:10.1080/14992027.2016.1190871

- [2] Hluk – komunální hluk. Znalostní systém prevence rizik v BOZP [online]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/rizikove-faktory/fyzikalni-faktory/hluk/181-komunalni-hluk> [cit. 2020-12-11].
- [3] KABÁTOVÁ, Zuzana a Milan PROFANT. Audiologie. Praha: Bratislava, 2012. ISBN 978-80-8090-003-8.
- [4] Ochrana zdraví před hlukem. Státní zdravotní ústav [online]. [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/prevence-a-ochrana-pred-hlukem>
- [5] HODGETTS, William E., Jana M. RIEGER a Ryan A. SZARKO. The Effects of Listening Environment and Earphone Style on Preferred Listening Levels of Normal Hearing Adults Using an MP3 Player. *Ear and hearing*. 2007, 28(3). Dostupné z: doi:10.1097/AUD.0b013e3180479399
- [6] MEINKE, Deanna K., William J. MURPHY, Donald S. FINAN a James E. LANKFORD. Auditory risk estimates for youth target shooting. *International Journal of Audiology*. 2014, 53(2). Dostupné z: doi:10.3109/14992027.2013.865845
- [7] Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru. Praha: MZDR, 2016.
- [8] SMITH, P. A, A. DAVIS, M. FERGUSON, M. E. LUTMAN. The prevalence and type of social noise exposure in young adults in England. *Noise Health*. 2000; 2(6):41–56. PMID: 12689478
- [9] Vědci varují před zdravotními riziky v souvislosti s hlukem z osobních hudebních přehrávačů. Evropská komise [online]. 2008 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_08_1492
- [10] MRÁZKOVÁ, Eva, Jiří MRÁZEK a Marie LINDOVSKÁ. Základy audiologie a objektivní audiometrie: medicínské a sociální aspekty sluchových vad. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. ISBN 80-736-8226-5.
- [11] PARSONS, John, Mark B. REED a Peter TORRE. Headphones and Other Risk Factors for Hearing in Young Adults. *Noise Health*. 2020, 21(100). Dostupné z: doi:10.4103/nah.NAH_35_19
- [12] ŚLIWIŃSKA-KOWALSKA, Mariola a Kamil ZABOROWSKI. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Permanent Hearing Loss and Tinnitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017, 14(10). ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph14101139



Dozimetrie hlasu

Jan G. Švec

Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

jan.svec@upol.cz

Abstract Excessive vocal load is assumed to cause occupational voice disorders. Quantifying the boundary between the normal and excessive amount of vocal load has been challenging, however. This contribution provides introductory information on the measurement of vocal load through voice dosimetry. Measurements show that vocal folds perform millions of cycles and accumulate the distance of several kilometers per day when speaking. This load is much higher than the safety limits derived for hand-transmitted vibrations. Voice dosimetry along with the measurement of voice recovery provide the means to obtain information on the amount of vocal use throughout the day in different professions, to study the effect of vocal loading on the pathophysiology of voice disorders and to derive safety criteria for occupational voice users.

1 MĚŘENÍ HLASOVÉ ZÁTĚŽE – ZÁKLADY HLASOVÉ DOZIMETRIE

Hlasoví profesionálové, a zejména učitelé, představují relativně velké množství pacientů v ORL a foniatrických ambulancích ve světě [1–4]. Povolání hlasového profesionála vyžaduje extenzivní používání hlasu a je předpokládáno, že přílišná hlasová zátěž může díky nadměrným kmitům hlasivky poškodit a způsobit tak některé typy poruch hlasu. Určení této hlasové zátěže však není jednoduché; aby bylo možno hlasovou zátěž specifikovat, je potřeba stanovit patřičný způsob jejího měření a mít pro toto měření potřebné vybavení.

Obory zabývající se např. měřením radiace či vlivem chemikálií nebo vibrací na lidský organismus tradičně používají k měření celkové expozice lidského organismu těmto vlivům veličiny zvané „dávky“. Pro řadu těchto dávek byly stanoveny bezpečnostní limity. Tato terminologie byla převzata i pro používání hlasu a byly definovány tzv. „hlasové dávky“ (angl. vocal doses). Základy hlasové dozimetrie byly formulovány ve třech na sebe navazujících publikacích z roku 2003 [5–7].

2 HLASOVÉ DÁVKY

Byly definovány různé typy hlasových dávek, z nichž tři základní jsou:

1) *Dávka časová (Time dose)* – měří celkový čistý čas, po který člověk produkoval hlas (tj. kdy jeho hlasivky kmitaly) za celkovou dobu měření. Z předchozích studií je tato dávka známa pod termínem „fonační čas“ (angl. phonation time), či pod anglickými termíny „voicing time“ nebo „voice accumulation time“ [8, 9]. Její definice je:

$$D_t = \int_0^{t_m} k_v dt \quad (\text{s}), \quad (1)$$

kde t_m je celkový čas měření a k_v je funkce znělosti hlasu, která nabývá hodnot:

$$k_v = \begin{cases} 0 & \text{když hlasivky nekmitají} \\ 1 & \text{když hlasivky kmitají} \end{cases} \quad (2)$$

2) *Dávka cyklů (Cycle dose)* – specifikuje počet cyklů kmitání hlasivek uskutečněných za celkovou dobu měření. Je definována jako:

$$D_c = \int_0^{t_m} k_v f_o dt \quad (\text{počet cyklů}), \quad (3)$$

kde f_o je základní frekvence kmitání hlasivek;

3) *Dávka vzdálenosti (Distance dose)* – specifikuje vzdálenost, kterou hlasivky urazily v jejich kmitavém pohybu za celkovou dobu měření [5–7]:

$$D_d = 4 \int_0^{t_m} k_v A f_o dt \quad (\text{m}), \quad (4)$$

kde A je amplituda kmitů hlasivek. Aby bylo možno určit tuto dávku ze tří základních měřitelných vlastností hlasu a řeči – ze znělosti hlasu (k_v), základní frekvence (f_o) a hladiny akustického tlaku (SPL) –, byla pro tento účel odvozena empirická pravidla pro amplitudu kmitání (A), která jsou dále specifikována v publikaci [7].

3 BEZPEČNOSTNÍ KRITÉRIA A ZMĚŘENÁ DATA

Měření hlasových dávek ukazují, že hlasivky běžně vykonají několik milionů kmitů a urazí vzdálenost několika kilometrů za den [10, 11]. U učitelů byla zjištěna větší hlasová zátěž během pracovní doby než ve volném čase [12]. Pro první odhad bezpečnostních kritérií používání hlasu byla změřená vibrační zátěž hlasivek porovnána s existujícími bezpečnostními limity pro kmitání přenášené do rukou u osob pracujících s vibrujícími nástroji – z nich byla odvozena bezpečná hranice

pro dávku vzdálenosti v hodnotě přibližně 500 m [7]. Tato hranice se ukázala velmi nízká pro zátěž hlasu, neboť odpovídala dávce kolem 17 minut čistého fonačního času, což odpovídalo přibližně době 35 minut souvislého čtení textu se znělými a neznělými hláskami a s běžnými nádechovými pauzami. Vzhledem k tomu, že hlasivky jsou lépe uzpůsobeny kmitům než tkáň rukou, dá se předpokládat, že hranice pro bezpečnou hlasovou zátěž je u hlasivek vyšší, tedy více než 500 m dávky vzdálenosti. Tuto hranici je třeba přesněji stanovit v budoucnu na základě detailních znalostí rozdílů mezi morfologií tkáně rukou a hlasivek, jejich odezvy na vibrační zátěž a regenerace hlasivkových tkání během hlasových pauz.

Pilotní data o distribuci fonačních pauz během řeči byla zjištěna v publikaci z roku 2007 [12]. U učitelů bylo v průměru zjištěno v pracovní době 1 800 výskytů fonací (tj. fonačních dějů s hlasovým začátkem a koncem) za hodinu a během volného času 1 200 výskytů fonací za hodinu. Hlasivky kmitaly 23 % času během pracovních hodin, 13 % času mimo pracovní hodiny a 12 % času o víkendech. Největší akumulace fonací byla v intervalech s trváním 0,316–1,0 s, zatímco největší akumulace mezi-fonačních pauz byla v intervalech s trváním 3–10 s. Pilotní studii věnovanou regeneraci hlasivkových tkání během fonačních pauz publikovali Hunter a Titze v roce 2009 [13].

4 ZÁVĚR

Metodika měření hlasové zátěže a změřená data poskytují základní informace pro pochopení vzniku hlasové únavy vlivem fyziologických faktorů (např. svalová aktivita potřebná pro fonační děje způsobující svalovou únavu) a biomechanických faktorů (nárazy hlasivek do sebe při kmitání, které způsobují únavu materiálu biologických tkání hlasivek) [14]. Získaná data poskytují vstupní informace pro studium odpočinku a regenerace fonačních svalů a biologické obnovy zatěžovaných tkání hlasivek [13, 15, 16]. Hlasová dozimetrie poskytuje objektivní nástroj pro studium vzniku hlasových poruch z přetížení.

Text tohoto příspěvku vychází z habilitační práce autora [17], kde lze nalézt více informací.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum autora je v současnosti podpořen projektem GAČR 19-04477S.

REFERENCE

- [1] B. Fritzell, „Voice disorders and occupations“, *Logoped. Phoniatr. Vocol*, vol. 21, no. 1, pp. 7–12, 1996.
- [2] I. R. Titze, J. Lemke, and D. Montequin, „Population in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: a preliminary report“, *J. Voice*, vol. 11, no. 3, pp. 254–259, 1997.

- [3] E. Vilkman, „Voice problems at work: a challenge for occupational safety and health arrangement“, *Folia Phoniatr. Logop.*, vol. 52, no. 1–3, pp. 120–125, 2000.
- [4] K. Verdolini and L. O. Ramig, „Review: occupational risks for voice problems“, *Logoped. Phoniatr. Vocol.*, vol. 26, no. 1, pp. 37–46, 2001.
- [5] J. G. Švec, P. S. Popolo, and I. R. Titze, „Measurement of vocal doses in speech: Experimental procedure and signal processing“, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, vol. 28, no. 4, pp. 181–192, 2003.
- [6] J. G. Švec, I. R. Titze, and P. S. Popolo, „Vocal dosimetry: Theoretical and practical issues“, in *AQL 2003 Hamburg: Proceeding Papers for the Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research*. (CD ROM), G. Schade, F. Müller, T. Wittenberg, and M. Hess Eds. Stuttgart, Germany: IRB Verlag, 2003.
- [7] I. R. Titze, J. G. Švec, and P. S. Popolo, „Vocal dose measures: Quantifying accumulated vibration exposure in vocal fold tissues“, *Journal of Speech Language and Hearing Research*, vol. 46, no. 4, pp. 919–932, 2003.
- [8] A.-C. Ohlsson, O. Brink, and A. Löfqvist, „A voice accumulator—validation and application“, *J. Speech Hear. Res.*, vol. 32, pp. 451–457, 1989.
- [9] A. Szabo, B. Hammarberg, A. Hakansson, and M. Södersten, „A voice accumulator device: evaluation based on studio and fields recordings“, *Logoped. Phoniatr. Vocol.*, vol. 26, no. 3, pp. 102–117, 2001.
- [10] P. Bottalico and A. Astolfi, „Investigations into vocal doses and parameters pertaining to primary school teachers in classrooms“, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 131, no. 4, pp. 2817–2827, 2012.
- [11] M. J. Schloneger and E. J. Hunter, „Assessments of Voice Use and Voice Quality Among College/University Singing Students Ages 18–24 Through Ambulatory Monitoring With a Full Accelerometer Signal“, *J. Voice*, vol. 31, no. 1, art. no. UNSP 124.e21, 2017.
- [12] I. R. Titze, E. J. Hunter, and J. G. Švec, „Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers“, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 121, no. 1, pp. 469–478, 2007.
- [13] E. J. Hunter and I. R. Titze, „Quantifying Vocal Fatigue Recovery: Dynamic Vocal Recovery Trajectories After a Vocal Loading Exercise“, *Annals of Otology Rhinology and Laryngology*, vol. 118, no. 6, pp. 449–460, 2009.
- [14] D. D. Mehta et al., „Direct measurement and modeling of intraglottal, subglottal, and vocal fold collision pressures during phonation in an individual with a hemilaryngectomy“, *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 11, no. 16, art. no. 7256, 2021.
- [15] S. Whitling, *Vocal Loading and Recovery*. (Doctoral Dissertation). Lund, Sweden: Lund University, Faculty of Medicine, 2016.
- [16] A. G. Smith, M. J. Sandage, D. D. Pascoe, L. W. Plexico, I. R. Lima, and G. Cao, „Elementary school teachers’ vocal dose: Muscle bioenergetics and training implications“, *J. Speech. Lang. Hear. Res.*, vol. 60, no. 7, pp. 1831–1842, 2017.
- [17] J. G. Švec, *Základní a aplikovaný výzkum tvorby lidského hlasu*. Habilitační práce. Olomouc: Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2019.



Odhad tempa řeči u českých dětí pomocí fonémového rozpoznávače

Jan Vimr a Roman Čmejla

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

vimrjan@fel.cvut.cz

Abstract We analysed speech rate as well as articulation rate in utterances from 243 healthy Czech children between the age of 5 and 16 years by utilizing a phoneme recognizer to detect syllables and speech pauses. We observed that although this approach is believed to be relatively precise in comparison to other freely available methods there is a tendency to underestimate both speech rate and articulation rate in faster speech and overestimate in slower speech.

1 ÚVOD

Tempo řeči vyjadřuje počet vyslovených řečových jednotek v časovém intervalu a nejčastěji se udává v počtu slabik za sekundu (sps = z angl. „syllables per second“). Studie často rozlišují dvě veličiny spojené s tempem řeči, a to celkové tempo řeči (SR – z angl. „speech rate“) a artikulační tempo (AR – z angl. „articulation rate“). Celkové tempo řeči se počítá jako poměr celkového počtu slabik v promluvě a celkové délky promluvy v sekundách. Artikulační tempo se naproti tomu typicky stanovuje pouze v plynulých úsecích řeči, které nesmějí obsahovat žádné nespojitosti a pauzy delší než 250 ms [1, 2]. V této práci je artikulační tempo stanoveno jako podíl celkového počtu slabik v promluvě a celkové délky promluvy zkrácené o délku neřečových úseků, mezi které řadíme tiché pasáže a zvuky nesouvisející s řečí.

Jelikož je vyhodnocení tempa řeči časově náročné, byla navržena řada metod, které si kladou za cíl odhadnout tempo řeči v promluvě automaticky. Tyto metody jsou často založeny na detekování slabičných jader z akustických vlastností signálu, jako je energie a znělost [3, 4]. V tomto článku je vyhodnocen přístup, kdy je k detekci slabik využit volně dostupný fonémový rozpoznávač [5] vyvinutý na VUT v Brně. Zároveň jsou pomocí něj detekovány i řečové pauzy a cizí zvuky v signálu. Z předchozích poznatků [6, 7] vyplývá, že použití tohoto

fonémového rozpoznávače pro detekci slabik v dětských promluvách z použité databáze je přesnější než porovnávané volně dostupné metody [3, 4].

2 METODIKA

Zkoumány byly promluvy od 243 zdravých českých dětí (116 chlapců a 127 dívek) ve věku od 5 do 16 let. Od každého dítěte se analyzovaly 2 promluvy, kdy první obsahovala popis série předložených obrázků a druhá obsahovala známou říkanku, kterou i nejmenší děti znaly z paměti, i když se v nahrávkách někdy objevily drobné chyby, např. záměna 2 slov apod.

Použitý fonémový rozpoznávač dokáže rozlišit celkem 45 českých fonémů a dalších zvuků, jako je ticho, neřečové zvuky vydávané mluvčím (např. dýchání) a cizí zvuky. Jeho výstupem je seznam rozpoznávaných fonémů včetně údajů o čase, ve kterém daný foném začíná a končí. Pro aplikaci rozpoznávače na odhad tempa řeči byl vytvořen skript v prostřední MATLAB, kde jsou ve výsledném přepisu rozpoznávače vyhledány všechny samohlásky a dvojhlásky.

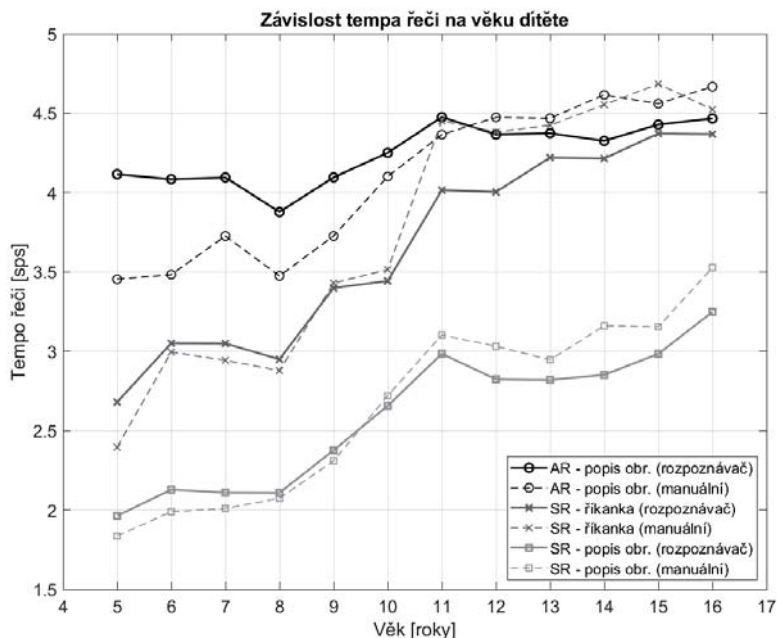
Dále jsou zkoumány všechny výskyty hlásek /l/ a /r/, u kterých je zkoumán i předchozí a následující foném. Pokud se nachází mezi dvěma souhláskami nebo jim předchází souhláska a následuje řečová pauza, jsou vyhodnoceny jako slabikotvorné. Tato myšlenka vychází ze stavby českého jazyka, kdy např. ve slovech „krk“ nebo „řekl“ tvoří souhlásky jádro slabiky, zatímco ve slovech „hrad“ nebo „vlak“ je jádrem slabiky samohláska /a/ a hlásky /l/, resp. /r/ jsou součástí tzv. svahů slabiky, ale netvoří samostatnou slabiku. Celkový součet rozpoznávaných samohlásek, dvojhlásek a slabikotvorných souhlásek ve výstupu fonémového rozpoznávače potom slouží jako odhad počtu slabik v dané promluvě.

Celkové tempo řeči v každé promluvě je následně stanoveno jako poměr odhadnutého počtu slabik a délky promluvy. U výpočtu artikulačního tempa je délka promluvy zkrácena o délku neřečových úseků, která je z přepisu vyhodnocena jako součet délek všech tichých pasáží delších než 250 ms, neřečových zvuků mluvčího a dalších cizích zvuků.

3 VÝSLEDKY

V promluvách obsahujících popis obrázků bylo vypočteno celkové tempo řeči (SR) a artikulační tempo (AR) a v promluvách, kde byla recitována říkanka, bylo stanoveno pouze celkové tempo řeči (SR). Děti byly rozděleny do věkových kategorií s krokem jeden rok a pro každou věkovou kategorii byl vypočten průměr všech zkoumaných veličin, viz obrázek 1.

Z grafu je patrná závislost zkoumaných veličin na věku dítěte, která však není lineární. Ve věku od 5 do 8 let zkoumané veličiny stagnují, pouze u tempa řeči v říkance dochází k výraznému navýšení mezi 5. a 6. rokem. Celkově dochází



Obrázek 1. Porovnání celkového tempa řeči (SR) a artikulačního tempa (AR) vyhodnoceného pomocí fonémového rozpoznávače a manuálně

k největšímu nárůstu mezi 8 a 11 lety, což je patrné u všech 3 zkoumaných veličin. Mezi 11 a 16 lety zvyšování tempa řeči opět výrazně zpomalí.

Při porovnání s manuálně hodnocenými výsledky z předchozí práce [7] je patrné, že výsledky získané aplikací fonémového rozpoznávače se mírně liší. Rozdíly jsou patrné zejména u mladších dětí, kde jsou manuálně odečtené hodnoty všech veličin nižší, a naopak u starších dětí, kde jsou hodnoty vyšší. Ve výsledku je pak věková závislost při použití fonémového rozpoznávače zploštěna oproti závislosti získané manuálně.

Proto byla provedena analýza odchylek hodnot získaných pomocí fonémového rozpoznávače od manuálně získaných hodnot. Cílem bylo zjistit, zda odchylka hodnot koreluje s věkem dítěte nebo s referenční hodnotou dané veličiny (manuálně zjištěnou). Parciální korelace odchylky referenčními hodnotami při vyloučení vlivu věku dítěte vychází střední až silná. Naopak parciální korelace s věkem vychází ve všech případech velmi slabá nebo slabá, viz tabulka 1. Tyto výsledky naznačují, že odchylka souvisí se skutečnou hodnotou tempa řeči, resp.

artikulačního tempa, nikoliv s věkem, a to tak, že u rychlejšího tempa vzniká typicky záporná odchylka, tedy je změřená hodnota nižší než skutečná a u pomalejšího tempa je tomu naopak.

Veličina	Korelace s ref. h.	Korelace s věkem
SR – popis obr.	$r = -0,56, p < 0,001$	$r = -0,08, p = 0,200$
AR – popis obr.	$r = -0,62, p < 0,001$	$r = -0,25, p < 0,001$
SR – říkanka	$r = -0,51, p < 0,001$	$r = -0,01, p = 0,864$

Tabulka 1. *Parciální korelace odchylek zvolené metody s referenčními hodnotami dané veličiny a s věkem dítěte*

4 ZÁVĚR

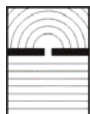
Odhad tempa řeči v dětských promluvách pomocí fonémového rozpoznávače byl v předchozích pracích [6, 7] vyhodnocen jako přesnější metoda pro odhad počtu slabik v promluvě než další volně dostupné metody [3, 4]. Provedená analýza odchylek této metody od manuálně stanovených hodnot ale naznačuje, že dochází ke zkreslení výsledků, kde při vyšších hodnotách tempa řeči (SR), resp. artikulačního tempa (AR) získáme touto metodou hodnotu nižší, než je manuálně stanovená hodnota a u nižších hodnot tempa řeči je tomu právě naopak. To se jeví jako značná nevýhoda zvolené metody pro případy, jako je analýza věkové závislosti, kdy je cílem porovnání velké škály hodnot tempa řeči od typicky nižších hodnot u mladších dětí k hodnotám vyšším u starších dětí a mladistvých.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum je podporován z grantu GAČR „Populační normy akusticko-fonetických charakteristik dětské řeči“ (19-20887S).

REFERENCE

- [1] Walker, J. F., Archibald, L. M., Cherniak, S. R., Fish, V. G.: Articulation rate in 3-and 5-year-old children, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 35(1), 4–13, 1992.
- [2] Amir, O., Grinfeld, D.: Articulation rate in childhood and adolescence: Hebrew speakers, *Language and Speech*, 54(2), 225–240, 2011.
- [3] Jong, N. H. de, Wempe, T.: Praat script to detect syllable nuclei and measure speech rate automatically, *Behavior research methods*, 41(2), 385–390, 2009.
- [4] Räsänen, O., Doyle, G., Frank, M. C.: Pre-linguistic segmentation of speech into syllable-like units, *Cognition*, 171, 130–150, 2018.
- [5] Schwarz, P.: *Phoneme Recognition based on Long Temporal Context*, Disertační práce, Vysoké učení technické v Brně, 2009.
- [6] Vimr, J.: Měření tempa řeči u dětí, *Akustické listy*, 25(3–4), 10–14, 2019.
- [7] Vimr, J.: *Tempo řeči u dětí*, Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2020.



Experimentální studium šíření kulových rázových vln ve vodě

Karel Vokurka

Technická univerzita v Liberci, katedra fyziky, Studentská 2, 461 17 Liberec

karel.vokurka@tul.cz

Abstract The propagation of strong spherical pressure pulses in water is studied experimentally. The aim of this work is to find the strength of pulses, for which the shock front develops in the leading edge of the pulse. For those pulses in which the shock front develops, the variation of pressure on the foot of the shock front and the height of the shock front with the pressure pulse strength is determined.

1 ÚVOD

Rázové vlny představují jeden z fyzikálních jevů, který byl nejprve předpovězen teoreticky a teprve později byl zkoumán experimentálně (přehled historie poznání v této oblasti je uveden např. v práci [1]). A experimentální výzkum rázových vln není dosud zdaleka dokončen. Důvodem je mimo jiné náročnost na přístrojové vybavení. Například pro uspokojivé měření průběhu tlaku v čele rázové vlny je zapotřebí, aby snímač tlaku měl frekvenční rozsah až do stovek MHz a dynamický rozsah až desítky MPa. Zároveň rozměry snímače musí být malé, aby nedocházelo k narušení tlakového pole.

Nejjednodušší, a tudíž i nejpřístupnější ke zkoumání jsou vlny rovinné a kulové. Rovinné rázové vlny se v kapalinách nejčastěji vytvářejí v rázových trubkách [2], kulové rázové vlny se v kapalinách vytvářejí pomocí bodového zdroje, například chemickými výbušninami [3], laserem [4] nebo jiskrovým výbojem [5].

Některé otázky související s měřením a vlastnostmi kulových rázových vln byly autorem probírány již na konferenci DAGA [6] a na dřívějších seminářích ČsAS [7–9]. V tomto příspěvku budou uvedeny nové poznatky z této oblasti, které se týkají stanovení síly tlakového pulsu potřebné k vytvoření rázové vlny, výšky čela vzniklé rázové vlny a velikosti tlaku v úpatí rázové vlny.

2 MĚŘICÍ PRACOVISTĚ

Tlakové vlny studované v tomto příspěvku byly vyzařovány radiálně kmitajícími kulovými bublinami během jejich prvního stlačení na nejmenší objem. Bubliny byly vytvářeny jiskrovými výboji v laboratorní vodní nádrži. Jiskřiště bylo ponořeno v hloubce 2,5 m pod hladinou (hydrostatický tlak v místě jiskřiště byl $p_{\infty} = 125$ kPa) a bylo dostatečně vzdáleno od stěn a dna nádrže, aby vliv odražených vln byl co nejmenší. Pro měření tlakových vln byl použit hydrofon Reson TC 4038. Jako měnič je v tomto hydrofonu použit dostatečně tlumený dutý piezokeramický váleček. Rezonanční frekvence hydrofonu je 650 kHz a jeho frekvenční charakteristika je díky tlumení měniče poměrně plochá ($\pm 1,5$ dB) od přibližně 100 Hz do 750 kHz. Hydrofon byl během měření umisťován ve vzdálenostech od jiskřiště r v rozmezí od 0,5 m do 2 m. Výstupní napětí z hydrofonu bylo vzorkováno s frekvencí 10 MHz a navzorkovaný záznam byl ukládán do počítače k dalšímu zpracování. Podrobný popis měřicího pracoviště lze nalézt v [5].

3 NAMĚŘENÉ HODNOTY

Kulová bublina vytvořená jiskrovým výbojem vždy vykoná několik tlumených kmitů, během nichž vyzařuje tlakové pulsy. Příklad kmitající bubliny a tlakové vlny vyzářené touto bublinou je uveden v [5]. V tomto příspěvku bude studován puls $p_1(t)$, který je vyzářen v intervalu (t_1, t_2) , kde t_1 je čas, kdy bublina během prvního kmitu nabude největšího poloměru R_{M1} , a t_2 je čas, kdy bublina během druhého kmitu nabude největšího poloměru R_{M2} [5].

Vzhledem k tomu, že při jiskrových výbojích jsou vytvářeny bubliny o různé velikosti R_{M1} a protože hydrofon byl během pokusů umisťován v různých vzdálenostech od středu bubliny r , bylo nutné za účelem porovnání jednotlivých pulsů $p_1(t)$ je přepočítávat na vzdálenost $r = R_{M1}$. Při přepočítávání bylo předpokládáno, že tlak v kulové vlně klesá jako $1/r$.

Při jiskrových výbojích jsou vytvářeny bubliny kmitající s různou intenzitou, a proto jsou vyzařovány i různě silné tlakové pulsy $p_1(t)$. Jak již bylo uvedeno v příspěvku [8], k vytvoření čela rázové vlny může dojít pouze u dostatečně silných pulsů, a to během jejich šíření v nejbližším okolí bubliny. Síla pulsu $p_1(t)$ bude v této práci popisována pomocí špičkového tlaku p_{p1} v pulsu $p_1(t)$ a tento tlak je rovněž přepočítán na vzdálenost $r = R_{M1}$. Tlak p_{p1} se v pulsu vyskytuje v čase t_{p1} .

Pokud se v pulsu $p_1(t)$ vytvoří během jeho šíření čelo rázové vlny, pak tlak v úpatí rázové vlny bude mít hodnotu p_{f1} a okamžik výskytu úpatí bude t_{f1} . Z rozdílu tlaků p_{p1} a p_{f1} lze stanovit výšku čela rázové vlny $\Delta p_s = p_{p1} - p_{f1}$ a z rozdílu časů t_{p1} a t_{f1} šířku čela rázové vlny $\Delta t_s = t_{p1} - t_{f1}$. Přesnost určení hodnot p_{p1} , t_{p1} , p_{f1} a t_{f1} je v případě výskytu rázové vlny omezena horním mezním kmitočtem hydrofonu 750 kHz a vzorkovacím krokem 0,1 μ s. Skutečná velikost špičkového tlaku p_{p1} bude vyšší a skutečná hodnota času t_{p1} bude menší. Proto i skutečná výška čela rázové vlny Δp_s

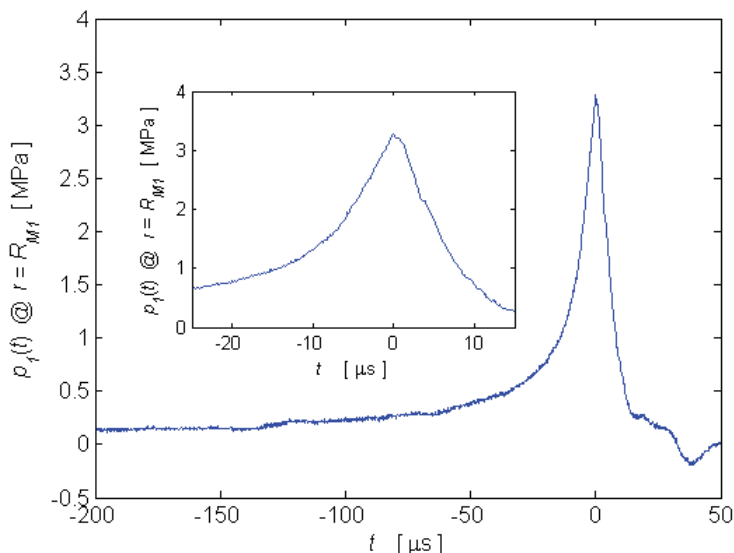
bude větší a skutečná šířka čela rázové vlny Δt_s bude menší. Vzhledem k omezenému rozsahu této práce se otázkou odhadu skutečné velikosti hodnot p_{p1} , Δp_s a Δt_s zde zabývat nebudeme, ale chceme se k této otázce vrátit jinde.

Bylo provedeno 486 pokusů, během kterých byly vytvářeny bubliny o různé velikosti R_{M1} kmitající s různou intenzitou $p_{zp1} = (p_{p1} \cdot r)/(p_{\infty} \cdot R_{M1})$ [5]. Vyzářené tlakové pulsy $p_1(t)$ měly různou velikost špičkového tlaku p_{p1} a různou šířku pulsu $p_1(t)$. Pouze u dostatečně silných tlakových pulsů se během jejich šíření vytvořilo čelo rázové vlny. Pokud se čelo rázové vlny v náběžné hraně nevytvoří, pak strmost náběžné hrany pulsu $p_1(t)$ je největší přibližně ve výšce $0,8 p_{p1}$ a tato strmost dp/dt vyjádřená v Pa/s roste se zmenšováním velikosti bublin R_{M1} (zmenšuje se šířka pulsů) a se zvětšováním intenzity kmitání bublin p_{zp1} (zvětšuje se síla pulsů p_{p1}). Zde je nutné poznamenat, že strmost náběžné hrany vliv na vznik rázové vlny nemá.

Cílem této práce je nalézt velikost špičkového tlaku p_{p1} potřebnou ke vzniku rázové vlny, stanovit výšku čela vzniklé rázové vlny Δp_s a určit velikost tlaku v úpatí vzniklé rázové vlny p_{f1} . Vzhledem k velikosti horního mezního kmitočtu hydrofonu 750 kHz a s ohledem na vzorkovací krok $0,1 \mu s$ nelze tento úkol u středně silných pulsů vždy jednoznačně splnit. Špičkový tlak p_{p1} a čas t_{p1} lze stanovit v každém pulsu $p_1(t)$ s přesností danou měřicí aparaturou. Tlak p_{f1} a čas t_{f1} lze však určit s podobnou přesností jako hodnoty p_{p1} a t_{p1} pouze u dostatečně silných pulsů. U středně silných pulsů je nejistota v určení přesné hodnoty p_{f1} a t_{f1} již velká, neboť strmost náběžné hrany pulsu $p_1(t)$ se u těchto pulsů blíží k experimentálně stanovované strmosti čela rázové vlny $\Delta p_s/\Delta t_s$, a proto je u strmých hran obtížnější určit, zda se ještě jedná jen o strmou hranu, nebo již o čela rázové vlny zkreslené měřicí aparaturou.

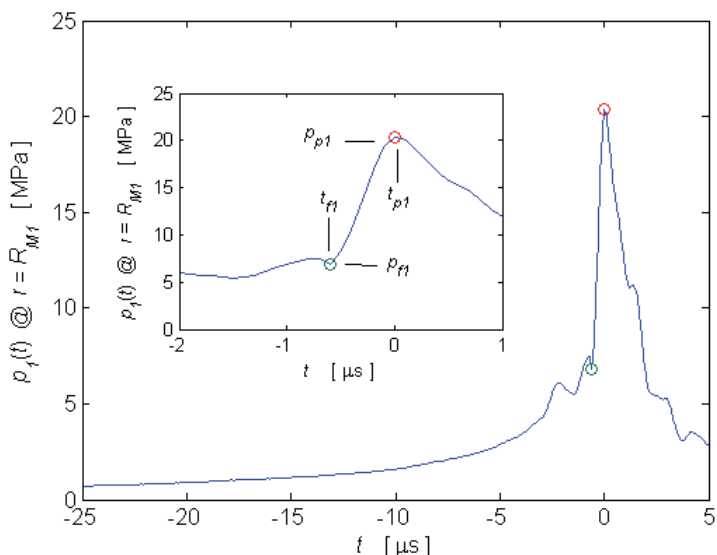
Příklad naměřeného časového průběhu slabého pulsu $p_1(t)$ je uveden na obr. 1. Na tomto obrázku je vidět, že špičková hodnota p_{p1} je poměrně malá, zatímco šířka pulsu je velká. Strmost náběžné hrany pulsu je proto malá ($220 \text{ kPa}/\mu s$). Je rovněž vidět, že v náběžné hraně pulsu se během jeho šíření čelo rázové vlny nevytvořilo. Puls byl s použitou aparaturou zaznamenán poměrně přesně.

Příklad naměřeného silného pulsu $p_1(t)$ je na obr. 2. Tento puls má velkou hodnotu špičkového tlaku p_{p1} , takže u něj během jeho šíření došlo k vytvoření čela rázové vlny. Přesnost určení skutečných hodnot p_{p1} a t_{p1} , případně p_{f1} a t_{f1} , je s použitou aparaturou již mnohem menší než například u pulsu uvedeného na obr. 1. Na obr. 2 jsou vyznačené odečítané hodnoty p_{p1} , p_{f1} , t_{p1} a t_{f1} . Poznamenejme, že skutečná strmost čela rázové vlny je určena fyzikálními procesy, a má proto pro všechny rázové vlny stejnou velikost a nezávisí na velikosti bubliny R_{M1} a síle pulsu p_{p1} . Zde stanovená šířka čela rázové vlny Δt_s je však mnohem větší než skutečná šířka čela rázové vlny, a tudíž i zde stanovená strmost $22,7 \text{ MPa}/\mu s$ je mnohem menší než skutečná strmost čela rázové vlny, a to i přesto, že je tato strmost přibližně stokrát větší než u pulsu zobrazeného na obr. 1.



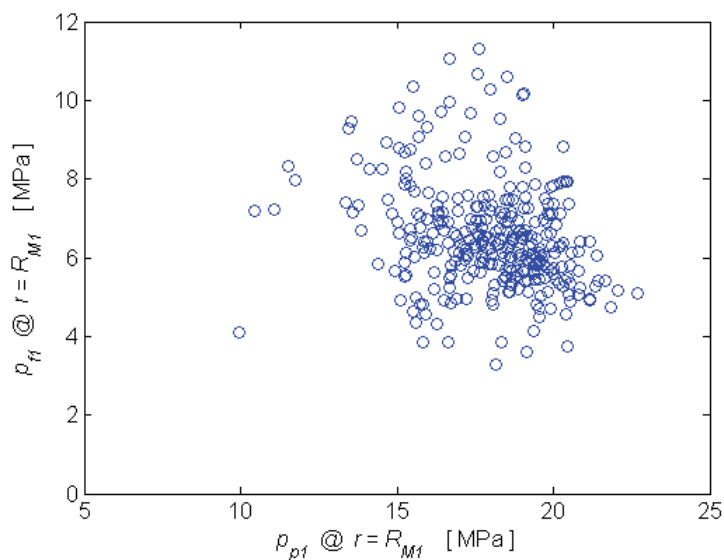
Obrázek 1. Průběh tlaku ve slabém pulsu $p_1(t)$ v závislosti na čase. Špičkový tlak v pulsu ve vzdálenosti $r = R_{M1}$ je $p_{p1} = 3,3$ MPa, hydrofon byl při měření ve vzdálenosti $r = 0,5$ m. Puls byl vyzářen bublinou o poloměru $R_{M1} = 12,5$ mm, bublina kmitala s intenzitou $p_{zp1} = 25,9$

Právě popsáním způsobem bylo zjištěno, že z celkového počtu 486 změřených pulsů došlo u 338 pulsů k vytvoření čela rázové vlny a u těchto pulsů bylo možné stanovit hodnoty p_{p1} , p_{f1} , Δp_s a Δt_s . Velikost Δt_s byla u těchto pulsů v rozmezí od 0,6 do 0,7 μs , což odpovídá použité měřicí aparatuře. Závislost velikosti tlaku v úpatí rázové vlny p_{f1} na síle pulsu p_{p1} je uvedena na obr. 3, závislost výšky čela rázové vlny Δp_s na síle pulsu p_{p1} je vynesena na obr. 4.

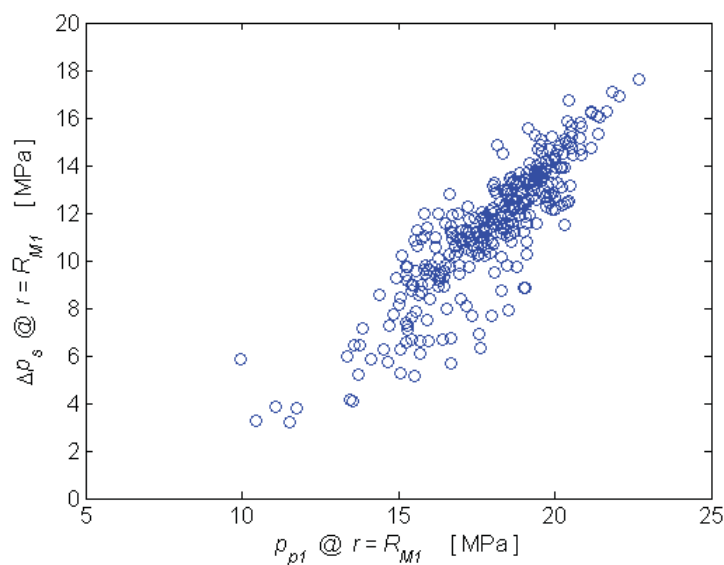


Obrázek 2. Průběh tlaku v silném pulsu $p_1(t)$ v závislosti na čase. Špičkový tlak v pulsu ve vzdálenosti $r = R_{M1}$ je $p_{p1} = 20,4$ MPa, výška čela rázové vlny $\Delta p_s = 13,6$ MPa, tlak v úpatí rázové vlny $p_{f1} = 6,8$ MPa, šířka čela rázové vlny $\Delta t_s = 0,6$ μs , hydrofon byl při měření ve vzdálenosti $r = 0,5$ m. Puls byl vyzářen bublinou o poloměru $R_{M1} = 20,4$ mm, bublina kmitala s intenzitou $p_{zp1} = 160,2$

Na základě výsledků uvedených již na dřívějších seminářích ČsAS [7–9] lze předpokládat, že k vytvoření čela rázové vlny dochází během šíření pulsu $p_1(t)$ především ve vzdálenosti $r < R_{M1}$, případně nepatrně větší než R_{M1} . Jak bylo ukázáno v práci [7], ve vzdálenosti $r \gg R_{M1}$ se již všechny pulsy šíří jako akustické vlny o malé amplitudě. To znamená, že se šíří rychlostí zvuku v kapalině c_0 , tlak ve vlně klesá se vzdáleností jako $1/r$ a tvar pulsu se během šíření s výjimkou velikosti nemění. Z obr. 3 a 4 je dále vidět, že k vytvoření čela rázové vlny jsou zapotřebí značně velké špičkové tlaky $p_{p1} > 10$ MPa. Rovněž je zajímavé, že tlak v úpatí rázové vlny p_{f1} téměř nezávisí na síle pulsu p_{p1} a nabývá poměrně velkých hodnot $p_{f1} > 4$ MPa. Jak lze předpokládat, výška čela rázové vlny Δp_s je přímo úměrná síle pulsu p_{p1} a nabývá hodnot od 2 MPa do 18 MPa. Připomeňme, že všechny zde uváděné hodnoty tlaků odpovídají vzdálenostem $r = R_{M1}$ od středu bubliny.



Obrázek 3. Závislost velikosti tlaku v úpatí rázové vlny p_{r1} na síle pulsu p_{p1}



Obrázek 4. Závislost výšky čela rázové vlny Δp_s na síle pulsu p_{p1}

4 ZÁVĚR

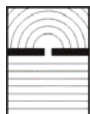
V práci byly studovány podmínky potřebné ke vzniku čela rázové vlny v kulových tlakových pulsech šířících se ve vodě. Pulsy byly vyzářeny bublinami vytvářenými jiskrou. Bylo zjištěno, že k vytvoření čela rázové vlny jsou zapotřebí velmi silné pulsy $p_1(t)$, u kterých jsou špičkové tlaky p_{p1} větší než 10 MPa. Zajímavé je, že i v úpatí vzniklé rázové vlny jsou poměrně velké tlaky $p_{f1} > 4$ MPa. Výška čela rázové vlny je, jak lze předpokládat, přímo úměrná síle vyzářeného tlakového pulsu $p_1(t)$ a nabývá hodnot od 2 MPa do 18 MPa.

PODĚKOVÁNÍ

Práce popisované v příspěvku byly prováděny v rámci řešení výzkumného záměru MŠMT 245 100 304. Autor je rovněž velmi vděčný Dr. Silvanovi Buogovi z Akustického ústavu CNR v Římě za pomoc při přípravě měření.

LITERATURA

- [1] Kluwick A.: Shock discontinuities: from classical to non-classical shocks. *Acta Mechanica* 229, 515–533, 2018. DOI: 10.1007/s00707-017-1984-3
- [2] Vokurka K.: The use of a shock tube in bubble dynamics studies. *Czechoslovak Journal of Physics* 42, 291–302, 1992
- [3] Cole R. H.: Underwater explosions. Dover, New York, 1948
- [4] Vokurka K.: Experimental study of the bubble pulse. *Acustica* 66, 174–176, 1988
- [5] Buogo S., Vokurka K.: Intensity of oscillation of spark-generated bubbles. *Journal of Sound and Vibration* 329, 4266–4278, 2010. DOI:10.1016/j.jsv.2010.04.030
- [6] Vokurka K., Buogo S.: Are shock fronts always present in pressure waves radiated by cavitation bubbles? 34. Jahrestagung für Akustik, DAGA 2008, Dresden 10.–13.3.2008 (sborník na CD-ROM, Deutsche Gesellschaft für Akustik 2008, ISBN: 978-3-9808659-4-4, editoři: U. Jekosch a R. Hoffmann, str. 473–474)
- [7] Vokurka K.: Experimentální studium šíření silných sférických tlakových pulsů ve vodě. 88. akustický seminář, Zaječí, 13.–15. 5. 2014 (sborník: České vysoké učení technické v Praze, Česká akustická společnost, květen 2014, redakce sborníku: M. Brothánek, R. Svobodová, ISBN: 978-80-01-05511-3, str. 15–20)
- [8] Vokurka K.: Vlny konečné amplitudy vyzářované bublinou vytvořenou jiskrovým výbojem ve vodě. 90. akustický seminář, Doksy, 12.–14. 5. 2015 (sborník: České vysoké učení technické v Praze, Česká akustická společnost, květen 2015, redakce sborníku: M. Brothánek, R. Svobodová, ISBN: 978-80-01-05744-5, str. 47–52)
- [9] Vokurka K.: Problematika měření krátkých a intenzivních akustických pulsů. 97. akustický seminář, Seč, 29.–31. 10. 2018 (sborník: České vysoké učení technické v Praze, Česká akustická společnost, říjen 2018, redakce sborníku: M. Brothánek, R. Svobodová, ISBN: 978-80-01-06500-6, str. 20–28)



Měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů v automobilech

Ladislav Zuzjak a Oldřich Tureček

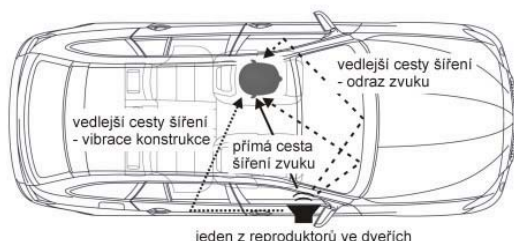
ZČU–FEL, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

zuzjak@fel.zcu.cz, turecek@fel.zcu.cz

Abstract One of the specific uses of multi-channel sound systems is car sound system. The sound systems in the automotive are realized using multi-channel loudspeaker systems positioned at different distances of the listening positions. These different placements of the loudspeakers cause strong non-uniform frequency distribution of the sound field. The possibility of the placement of the loudspeakers into the optimal position in the car is limited and very often it is not possible. Thus, it is necessary to solve the consequences of the inappropriate position of the loudspeakers on the sound field using relevant digital signal processing algorithms. This article describes useful method for measurement of parameters of multi-channel sound systems, such as frequency response, impulse response, time delay, etc. Based on these parameters the compensation of the non-uniform sound field can be performed.

1 OZVUČOVACÍ SYSTÉMY AUTOMOBILŮ

Automobil je z hlediska vícekanálového ozvučení specifické prostředí, které je cha-



Obrázek 1. Ozvučení automobilu – cesty šíření zvuku

akteristické hlavně tím, že ozvučovaná plocha je velká vzhledem k rozměrům vnitřního prostoru automobilu. Je zde dominantní vliv různé vzdálenosti měničů od posluchače, která může být i nižší než vzdálenost jednotlivých měničů mezi sebou. Zcela běžná bývá i nevhodná zástavba měničů vzhledem

k pozici posluchače. Charakter zvukového pole v automobilu je značně ovlivněn i podílem vedlejších cest šíření zvuku, jak odrazy, tak vibracemi konstrukcí. I když je

variabilita v počtu kanálů v závislosti na cenové i kvalitativní třídě vozu velmi rozdílná, ideově je signálové zpracování v současné době ve všech systémech obdobné. I v nejlevnějších systémech jsou využívány DSP procesory s řadou možností zpracování signálu, od frekvenční ekvalizace až po různé dynamické úpravy (kompresor/limiter) a změnu zpoždění a úrovní v jednotlivých kanálech. Pro zjednodušení celého procesu nastavování vícekanálových ozvučovacíh systémů v automobilech byla navržena a realizována měřicí metoda, která využívá princip měření impulzních odezev jednotlivých částí ozvučovacího systému s výpočtem požadovaných parametrů, které umožní automatizovat celý proces optimálního nastavení všech potřebných parametrů systému.

1.1 Měření parametry

Parametry potřebné pro nastavení vícekanálového ozvučovacího systému jsou:

- $A(f)$ – Relativní amplitudová frekvenční charakteristika stanovená vzhledem ke zvolené referenční frekvenci. Je potřeba zjišťovat jak pro jednotlivé kanály, tak pro jejich zvolené kombinace.
- $L(f)$ – Frekvenční závislost hladiny akustického tlaku pro jednotlivé kanály nebo jejich zvolené kombinace měřená ve zvoleném měřicím místě.
- $\tau(f)$ – Frekvenční závislost zpoždění jednotlivých kanálů vzhledem ke zvolenému měřicímu místu.

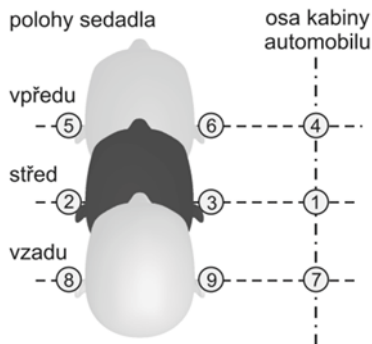
Frekvenční rozsah sledovaných parametrů je závislý na konkrétních kanálech ozvučovacího systému.

měnič	Frekvenční pásma jednotlivých měničů / kanálů			Požadavek na měření
	Systém reproduktorů			
	1 – pásmový	2 – pásmový	3 – pásmový	
Širokopásmový	100 Hz – 10 kHz	100 Hz – 10 kHz	–	80 Hz – 12 kHz
Basový	–	40 Hz – 3 kHz	40 Hz – 1 kHz	35 Hz – 5 kHz
Středový	–	–	200 Hz – 12 kHz	100 Hz – 15 kHz
Výškový	–	1,5–18 kHz	1,5–18 kHz	1–20 kHz
Centrální	–	200 Hz – 12 kHz	200 Hz – 12 kHz	100 Hz – 15 kHz
Subwoofer	–	35–150 Hz	35–150 Hz	30 Hz – 200 Hz

Tabulka 1. Frekvenční rozsahy jednotlivých kanálů ozvučovacího systému

2 PRINCIP MĚŘICÍ METODY

Aby bylo možné co nejjednodušším způsobem určit požadované parametry jednotlivých kanálů ozvučovacího systému, lze použít měření impulzních odezev jednotlivých kanálů i jejich kombinací, ze kterých je možné získat amplitudové frekvenční charakteristiky kanálů $A(f)$, tomu odpovídající frekvenční závislosti hladiny akustického tlaku $L(f)$ i frekvenční závislosti zpoždění $\tau(f)$ ze znalosti fázových



Obrázek 2. Pozice měřicích míst

Veličiny $s_1(t), \dots, s_N(t)$ reprezentují generovaný impulzní signál pro jednotlivé kanály ozvučovacího systému $S_1, \dots, S_N$. Impulzní odezvy $h_{1,1}, \dots, h_{N,M}$ reprezentují impulzní odezvy kanálů $S_1, \dots, S_N$ včetně parametrů použitých měničů, jejich směrového vyzáření, vlivu zástavby a přímých i ostatních cest šíření zvuku odrazy i vibracemi konstrukce automobilu. Signály měřené jednotlivými mikrofony lze určit konvolucí:

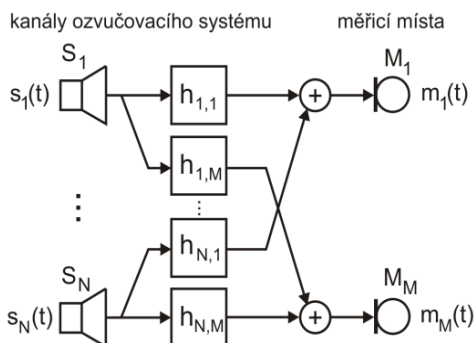
$$\begin{bmatrix} m_1(t) \\ \vdots \\ m_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1}(t) & \cdots & h_{1,N}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}(t) & \cdots & h_{M,N}(t) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_1(t) \\ \vdots \\ s_N(t) \end{bmatrix}$$

Z matic impulzních odezav $\mathbf{H}$ lze vyhodnotit všechny požadované parametry $A(f)$, $L(f)$ i $\tau(f)$. Ze znalosti geometrie sítě měřicích mikrofónů lze u jednotlivých parametrů provádět například prostorové průměrování výsledků, což v řadě případů koresponduje s možnostmi reálného poslechu v daném poslechovém místě.

2.1 Měřicí signály

Pro získání impulzních charakteristik je nutné použít pro buzení celé elektroakustické soustavy vhodný impulzní signál. Zcela zásadní vlastností budičského signálu je vyzářená energie s dostatečným odstupem od hluku pozadí (případně šumu) v celém požadovaném frekvenčním pásmu. Zároveň se předpokládá rovnoměrné frekvenční spektrum vyzářené energie bez výrazných propadů. Vzhledem k šířkám pásma

frekvenčních charakteristik. Měřicí metoda je navržena jako vícekanálová, kdy zvolené pozice měřicích míst odpovídají pozici osoby sedící v automobilu, zohledňují možnost nastavení sedadla a předpokládaný pohyb hlavy. Pokud uvažujeme vícekanálové řešení měřicí metody, ať už z důvodu různých pozic posluchače nebo z požadavku na prostorové průměrování parametrů, lze blokové schéma metody pro M měřicích mikrofónů $M_1, \dots, M_M$ znázornit na obrázku 3.



Obrázek 3. Schéma přenosu signálu při vícekanálovém měření

jednotlivých měřených kanálů zvukového systému (tabulka 1) je nutné volit kombinaci signálů s rozdílnými vlastnostmi pro různé části frekvenčního pásma. Jednou z možností je kombinace signálů o průběhu $x(t) = \cos^2(\omega t)$ o délce poloviny periody a frekvencích:

frekvence	frekvence poklesu o 3 dB	frekvence poklesu o 10 dB	úroveň signálu před poklesem
f (Hz)	f_{3dB} (Hz)	f_{10dB} (Hz)	A_g (dBFS)
128	185	322	-48,2
512	744	1 304	-60,3
1024	1 520	2 655	-66,5
2048	2 595	4 471	-70,7
4096	6 710	11 731	-79,4
8192	12 148	16 067	-86,8

Tabulka 2. Vhodná kombinace frekvencí pro použité impulzní signály typu $\cos^2$

2.2 Vyhodnocení amplitudové frekvenční charakteristiky

Z matic impulzních odezví $\mathbf{H}$ lze vyhodnotit všechny požadované parametry. Prvním z nich je přenosová charakteristika každého kanálu ozvučovacího systému, vyjádřená například pomocí amplitudové frekvenční charakteristiky. V případě měření přenosové charakteristiky kanálu zvukového systému pomocí impulzního signálu je nutné uvažovat, že budící signál nemá vyrovnané frekvenční spektrum v celém požadovaném frekvenčním pásmu. Je tedy nutné přistoupit při určení přenosové charakteristiky k eliminaci frekvenčního spektra budícího signálu. Situaci si lze obecně představit jako odezvu lineární soustavy $y(t)$ na obecný signál $x(t)$ přivedený na vstup, a tedy platí, že:

$$y(t) = h(t) * x(t) = \int_{t_0}^t h(t - \tau) d\tau .$$

Funkce $h(t)$ je impulzní charakteristika soustavy, tedy odezva na Diracovu distribuci. Jedná se o konvoluci impulzní charakteristiky soustavy a obecného signálu $x(t)$. Komplexní frekvenční charakteristiku soustavy $H(\omega)$ lze vyjádřit jako Fourierův komplexní obraz impulzní charakteristiky soustavy $h(t)$.

$$H(\omega) = F\{h(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt$$

Protože impulzní charakteristika soustavy $h(t)$ je pro nás hledaný parametr, je nutné provést dekonvoluci vstupního impulzního budícího signálu $x(t)$ a měřeného signálu $y(t)$. Dekonvoluci nejsnáze provedeme pomocí podílu Fourierových komplexních spekter signálů $x(t)$ a signálu $y(t)$. Výsledkem podílu je komplexní frekvenční charakteristika soustavy $H(\omega)$. Uvedenou operaci lze popsat vztahem:

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-j\omega t} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt}$$

Z komplexní kmitočtové charakteristiky soustavy $H(\omega)$ lze dále odvodit reálnou charakteristiku soustavy $R(\omega)$ a imaginární charakteristiku soustavy $I(\omega)$.

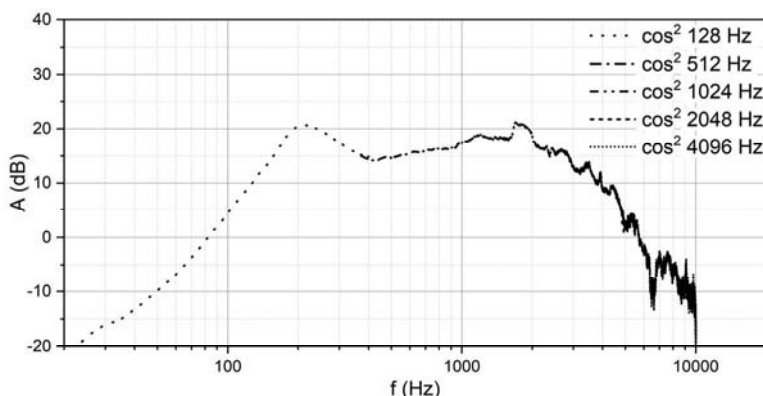
$$H(\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$$

Pro získání amplitudové frekvenční charakteristiky $A(\omega)$ je nutné vypočítat modul komplexní charakteristiky soustavy, tedy:

$$A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)}$$

Amplitudová frekvenční charakteristika soustavy je tedy jedním z požadovaných a měřených parametrů. Pouze v důsledku praktického použití není tato frekvenční charakteristika udávána jako $A(\omega)$, ale jako závislost $A(f)$.

Ukázka výsledné přenosové charakteristiky jednoho kanálu ozvučovacího systému automobilu, která vznikne složením dílčích přenosových charakteristik při použití skupiny signálů dle kapitoly 2.1, je na obrázku 4.



Obrázek 4. Ukázka výsledné změřené amplitudové frekvenční charakteristiky jednoho kanálu ozvučovacího systému

2.3 Vyhodnocení frekvenční závislosti zpoždění

Frekvenční závislost zpoždění $\tau(f)$ je klíčovým parametrem například pro určení skutečné geometrie rozmístění měničů v prostoru kabiny automobilu, které často neodpovídá například jednoduše změřené vzdálenosti měničů od posluchače. To je obvykle důsledkem směrového vyzařování měničů a především jejich zástavby do konstrukce automobilu (dveří, palubní desky atd.).

Pro získání frekvenční závislosti zpoždění je možné prakticky použít dvě metody:

- Zpoždění získané z fázové frekvenční charakteristiky
- Zpoždění získané z korelační funkce

Pro praktické použití byly dosaženy lepší výsledky u určení zpoždění z fázové frekvenční charakteristiky.

Z komplexní přenosové charakteristiky

$$H(\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$$

je možné získat fázovou přenosovou charakteristiku $\varphi(\omega)$ jako

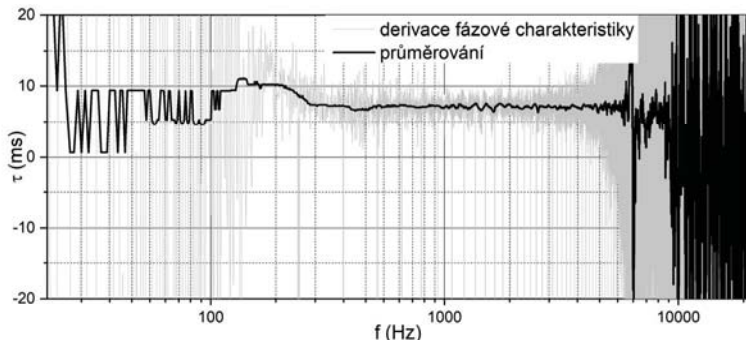
$$\varphi(\omega) = \tan^{-1} \frac{I(\omega)}{R(\omega)}$$

Z definice skupinového zpoždění

$$\tau_s(\omega) = - \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}$$

je možné získat přímo požadovanou frekvenční závislost zpoždění $\tau(f)$.

Na obrázku 5 je uvedena jako příklad derivace fázové charakteristiky z modelového měření jednoho kanálu zvukového systému pro impulzní signál $x_{1024\text{Hz}}$ dle kapitoly 2.1.



Obrázek 5. Ukázka frekvenční závislosti zpoždění jednoho kanálu ozvučovacího systému určené z fázové charakteristiky

3 ZÁVĚR

Výsledky měření parametrů vícekanálového ozvučovacího systému, které jsou tvořené maticí komplexních impulzních obrazů $H(f)$, maticí amplitudových frekvenčních charakteristik $A(f)$ a maticí frekvenčních závislostí zpoždění $\tau(f)$, mohou sloužit jako dostatečné podklady pro následné nastavení a optimalizaci jeho parametrů. Zcela zásadní výhodou je možnost stanovit vliv jednotlivých kanálů zvukového systému při jejich současně hrající kombinaci. Do výpočtu pak lze snadno doplnit a předem připravit i návrh případných signálových úprav (ekvalizaci) jednotlivých kanálů.

REFERENCE

- [1] ZUZJAK, Ladislav. Pokročilá metoda pro měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů Plzeň, 2018. Disertační práce (Ph.D.). ZČU, FEL.







