

Prof. Ing. Ján Benčat, Ph.D
Autorizovaný stavebný inžinier
Kategória: Inžinier pre statiku stavieb
Hviezdoslavova 19,
013 01 Teplička nad Váhom – Žilina

HLUKOVÁ ŠTÚDIA

VO VYBRANÝCH LOKALITÁCH ELEKTRIČKOVEJ TRATE VAJNORSKEJ RADIÁLY V BRATISLAVE



Žilina, marec 2015

OBSAH

1. ÚVOD	3
2. MERANIE HLUKOVÝCH POMEROV V LOKALITÁCH VR	3
2.1 Metodika merania	3
2.2 Charakteristika akustickej situácie	5
3. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ	5
3.1 Experimentálne postupy.....	5
3.2 Všeobecný charakter hluku v daných lokalitách VR	6
4. ODHAD HLADÍN HLUKU A NÁVRH OPATRENÍ NA ICH ELIMINÁCIU	7
ZÁVER	10
POUŽITÁ LITERATÚRA	11

1. ÚVOD

Na základe objednávky spoločnosti *Dopravoprojekt, a.s. Bratislava* č. 1409/15–2210/8633–00 zo dňa 6.3.2015 týkajúcej sa stavby *Električková trať Vajnorská radiála*, (VR) súvisiacej s modernizáciou električkových tratí (ET) v Bratislave bola vypracovaná „*Hluková štúdia vo vybraných lokalitách električkovej trate Vajnorskej radiály v Bratislave*“. Predmetná štúdia obsahuje: výsledky základných akustických meraní vo vybraných charakteristických lokalitách pozdĺž trasy ET VR, namerané hladiny vibrácií, odhady hladín hluku na budovách počas budúcej prevádzky na zrekonštruovanej ET a odporúčania pre návrh dynamicky priaznivej konštrukcie električkovej trate z hľadiska dosiahnutia nízkej hladiny hluku počas budúcej prevádzky navrhovanej ET.

Štúdia súčasne v sebe zahŕňa preukazné merania dynamickej diagnostiky základových pôd (ISM) v danej geologickej lokalite. Výsledky experimentálnych meraní dynamickej odozvy vybraných typov budov od prevádzky na súčasnej ET v kombinácii s výsledkami lokálnych ISM testov slúžili ako podklady pre kategorizáciu jednotlivých budov z hľadiska posúdenia súčasného stavu vibrácií podľa platných kritérií relevantných noriem a predpisov, prípadne ako vstupné údaje pre výpočet odhadu hladiny vibrácií dotknutých stavebných objektov pozdĺž trasy zmodernizovaných ET.

Predkladanú štúdiu, experimentálne merania a analýzu výsledkov experimentálnych meraní vypracoval *prof. Ing. J. Benčata, Ph.D.*

2. MERANIE HLUKOVÝCH POMEROV V LOKALITÁCH VR

2.1 Metodika merania

Cieľom posúdenia súčasnej hlukovej situácie meraním pri sledovaných obytných domoch vo zvolených lokalitách ET VR v Bratislave, bolo definovanie hladín hluku od jazd električiek v čase bežnej dopravnej situácie hlavného mesta. Meracie miesta boli stanovené tak, aby bolo možné objektívne posúdiť súčasnú hlukovú situáciu a aj vo vzťahu ku skôr vykonaným meraniam vibrácií od jazdy električiek a ich účinkov na sledované obytné domy vybraných ulíc a zároveň porovnanie hladín hluku po realizácii plánovaných stavebných úprav predmetných električkových tratí. V tejto súvislosti boli zvolené lokality na Vajnorskej ulici v okolí obytného domu č.31, ktorý bol v štúdiu vibračných pomerov [1,2,3] pracovne označený B13 a v okolí obytného domu č.69, označený ako B10.

Metodika merania a vyhodnocovania nameraných údajov bola zvolená tak, aby komplexne postihovala sledované akustické pomery a boli dodržané stanovené podmienky Zákona č. 549/2007 Z.z. a ďalšej platnej legislatívy. Všetky merania boli vykonané v prvom stupni

meracej presnosti automatickou meracou aparátúrou. Meranie bolo pripravené a vyhodnotené ako systém s použitím verifikovaného akustického software firmy Brüel & Kjær.

Experimentálne meranie bolo vykonané meracou aparátúrou (obr.1)

- presný integrujúci zvukomer Brüel & Kjær, typ 2236 – v.č. 1 763 930
- merací mikrofón Brüel & Kjær typ, 4188 – v.č. 1 764 658
- akustický kalibrátor Brüel & Kjær, typ 4231 – v.č. 1 761 452.

Presnosť prístrojov bola verifikovaná v TSÚ Piešťany s certifikátom o overení č. 11049. Prístroje vyhovujú technickým požiadavkám pre triedu presnosti 1 podľa Prílohy č.42 k vyhláške ÚNMS SR č.9 /2001.



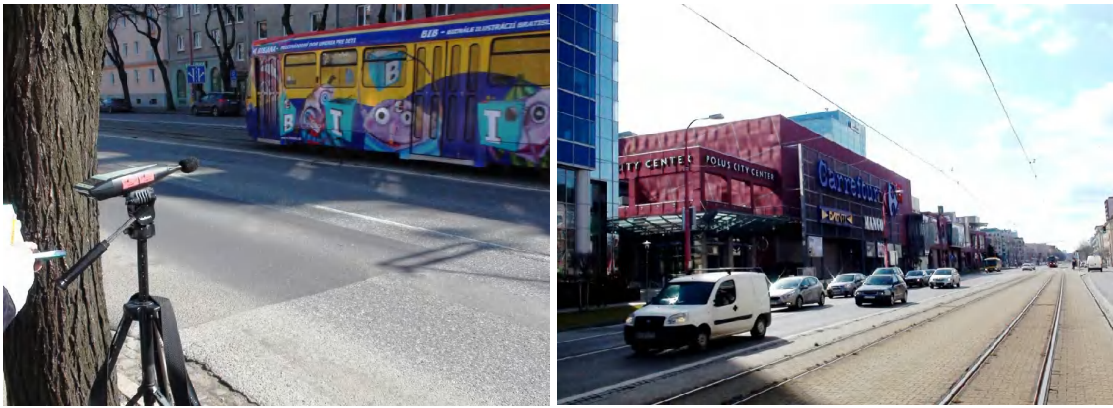
Obr. 1 Pohľad na zvukomer BK – 2236 a merací mikrofón BK – 4188

Meranie hluku od prevádzky na električkových tratiach sa uskutočnilo dňa 5. 3. 2015 na Vajnorskej ulici v čase 10.15 – 13.15 hod., polojasno, teplota 5 °C, vietor severozápadný, premenlivý 4 – 6 m.s⁻¹.

Ako už bolo uvedené samotné experimentálne merania hluku sa vykonali v dvoch charakteristických lokalitách s výraznými hlukovými pomermi. Jednalo sa o lokality na Vajnorskej ulici pri obytnom dome č. 31 (B13) a č. 69 (B10). Merania boli pracovne označené ako č.1VR a č.2 VR, pritom

Meranie č. 1VR bolo lokalizované pri okraji chodníka pre peších na ul. Vajnorská pred fasádou obytného domu č. 31, asi 15 m od osi električkovej trate, obr. 2a,

Meranie č. 2VR bolo lokalizované pri okraji chodníka pre peších na ul. Vajnorská pre fasádou obytného domu č. 69 asi 15 m od osi električkovej trate, obr. 2b.



Obr. 2 Pohľad na merané lokality na Vajnorskej ulici pri dome: (a) č.31, (b) č.69

2.2 Charakteristika akustickej situácie

Súčasný hluk na sledovaných meracích miestach je daný hlavne prevádzkou cestných nákladných automobilov. Vzhľadom na značnú intenzitu automobilovej dopravy, ako je všeobecne známe, dopravné prostriedky MHD spravidla netvorí dominantnú hlukovú záťaž, pretože početnosť ich jazd je štatisticky podstatne nižšia. Električky v MHD DP Bratislava sú tvorené viacerými konštrukčnými typmi konkrétne **T3**, **K2**, **KT8D5** a **T6A5**, príp. z nich odvodenými modernizovanými typmi. Možno konštatovať, že staršie typy električiek **T3** a **K2** sú hlučnejšie, a to z dôvodov konštrukcie ich pojazdu a celkovou koncepciou hnacích agregátov. Hluk od jazdy električky veľmi výrazne ovplyvňuje technický stav električkovej trate, najmä kvalita koľajových stykov, celková geometria koľaje, úroveň tzv. vlnovitosti povrchu koľaje, stabilita a celkový stav koľajových výhybiek. Ak sú požadované parametre uvedených miest nedostatočné, alebo až poškodené, často vznikajú pri jazde rôzne dynamické rázy v styku koleso koľajnica a tieto exponujú často vysoké hladiny hluku. Hluk od jazdy električky výrazne závisí od uloženia trate – pri uložení na betónové dosky bežne vzniká tzv. membránový efekt vyžarovania hluku, čo zvyšuje hladinu hluku šíreného do okolia trate. Hluk od automobilov jednoznačne závisí od rýchlosti jazdy automobilu a stupňa využitia výkonu jeho spaľovacieho motora, čo na príslušných meracích miestach značne zvýšilo hladiny hluku od automobilov. Namerané hladiny hluku od automobilov sú uvedené ako informatívne, keďže dominantné bolo sledovanie hluku od jazdy električiek.

3. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

3.1 Experimentálne postupy

Zistené hlukové zdroje sú špecifikované v časti 2.2 *Charakteristika akustickej situácie*. Okrem toho boli z nameraných údajov počítačovo spracované príslušné akustické veličiny [4],

ktorých číselné hodnoty sú uvedené v Tab. 1. Označenie týchto veličín dané softvérom firmy Brüel & Kjær [5,6], je nasledovné:

- max L – maximálna dosiahnutá hladina hluku v meranom intervale v dB (A),
 min L – minimálna dosiahnutá hladina hluku v meranom intervale v dB (A),
- max P – max. dosiahnutá vrcholová hladina hluku [peak] v dB(C) v intervale záznamu pri váhovej funkcii "C" zvukomera,
- Leq – ekvivalentná hladina hluku v dB (A) meraná počas 20 minút, reprezentuje dávku akustickej energie exponovanú v čase 20 minút, je to časovo priemerovaná hladina A hluku,
- $LEPd$ – ekvivalentná hladina hluku v čase 12 hod. pri dodržaní sledovaných hlukových pomerov v meranom intervale ("automatická" vypočítaná ekvivalentná hladina hluku, ak by sa bez prerušenia meralo 12 hodín.),
- $L5$ – štatistická hladina hluku, v 5 % času meraného intervalu bola hladina hluku vyššia ako táto meraním zistená hodnota v dB(A) ,
- $L95$ – štatistická hladina hluku, v 95% času meraného intervalu bola hladina hluku vyššia ako táto meraním zistená hodnota v dB (A). Táto hladina sa prakticky blíži ku hluku pozadia.

Tab.1 Hladiny hluku na meracích miestach VR v Bratislave

Meranie číslo	1RR	2RR	1VR	2VR
max L dB(A)	89,9	79,1	91,6	90,5
min L dB(A)	50,8	59,6	51,5	55,8
Max P dB (C)	108,3	106,4	108,1	108,5
Leq dB(A)	68,3	69,0	75,3	73,4
$LEPd$	70,1	70,8	77,1	75,2
$L5$ dB(A)	72,5	73,0	79,5	77,0
$L95$ dB(A)	54,0	62,5	57,5	59,0

Poznámka: Označenie veličín v tab. 1 je dané softvérom firmy Brüel & Kjær. Výsledná miera neistoty merania pre použitý merací reťazec $u_{bp} = 0,767$ dB. Pre porovnanie sú v tabuľke uvedené aj hladiny hluku na Ružinovskej radiále (RR).

3.2 Všeobecný charakter hluku v daných lokalitách VR

Meranie č. 1

Predmetné meracie miesto na Vajnorskej ulici (pri bytovom dome č.31) predstavuje pravdepodobne najdominantnejší hluk od jazdy električky na VR, pretože v tomto úseku je

Vajnorská ulica obojstranne zastavaná obytnými domami, vzniká charakteristické difúzne akustické pole (mnoho odrazové) čo subjektívne človek vníma ako zosilnenie hlukov. Zároveň je tu dosahovaná aj maximálna rýchlosť električky cca 65 km/h, pritom zistené hladiny možno charakterizovať nasledovne

Hluk jazdy osobných automobilov	72 – 78 dB(A)
Jazda električiek v rozjazde	84 – 85 dB(A)
Jazda električky KT8D5	87 – 89 dB(A)
Jazda električky T3 plnou rýchlosťou	89 – 92 dB(A).

Meranie č. 2

Akustická situácia je ovplyvnená v tomto mieste Vajnorskej ulice (pri bytovom dome č.69) tým, že jedna jej strana je budovami viac odkrytejšia a tiež svetelnými križovatkami vpravo i vľavo od meracieho miesta, takže rýchlosť jazdy všetkých dopravných prostriedkov závisí od svetelnej signalizácie oboch križovatiek, t.j. bola meraná plná, brzdená či rozjazdová rýchlosť. Namerané boli nasledovné hodnoty hluku

Hluk jazdy osobných automobilov	74 – 77 dB(A)
Hluk jazdy nákladných automobilov	78 – 81 dB(A)
Jazda električky T6A5 .	89 – 90 dB(A)
Jazda električky K2	90 – 91 dB(A).

Namerané a automaticky uložené hladiny hluku jednoznačne preukazujú výrazné hlukové zaťaženie sledovaného územia hlavného mesta (Tab.1) ekvivalentné hladiny hluku. Pri uvedených skutočnostiach kritických jazd v meraných miestach sa v súčasnosti prejazdy, hlavne starších typov električiek, pohybujú okolo hladín 90 dB(A), čo je dosť kritické. V lokalite merania č.1 na poškodenom úseku električkovej trate vznikajú rôzne hlukové špičky, ktoré prirodzene tiež zvyšujú záťaž okolia nadmerným hlukom (Tab.1).

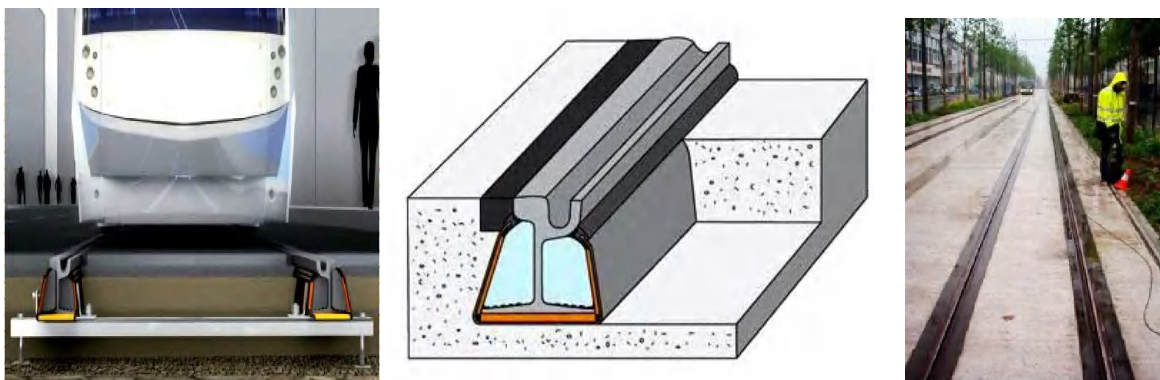
Vibračné a hlukové deje sú vo výraznej vzájomnej korelácii, vzájomne sa ovplyvňujú. Pri vibráciách koľají jazdou električky po nekvalitnej trati sa hluk od valenia kolesa po koľaji stáva dominantným zdrojom hluku. Preto správne a moderné uloženie koľajovej trate električky výrazne znižuje vyžarovanie hluku do ich okolia.

4. ODHAD HLADÍN HLUKU A NÁVRH OPATRENÍ NA ICH ELIMINÁCIU

Predikcia možných hladín hluku a návrh opatrení na elimináciu hladín hluku sú v tomto štádiu prognóz ťažko realizovateľné, nakoľko nie sú dostupné údaje o dynamických

charakteristikách vozidiel budúcej električkovej dopravy, dynamické parametre zmodernizovaných tratí s projektovanými pružiacimi a útlmovými charakteristikami. V súčasnej situácii je možné vychádzať z porovnania hladín prevádzkového hluku električiek na súčasných tratiach a modernizovaných tratiach (napr. z výsledkov zo zahraničia – ČR a pod.). V každom prípade **sa dá očakávať podstatné zníženie hladín hluku na modernizovaných úsekoch tratí v porovnaní so súčasným stavom.** Ako už bolo uvedené hluk od prevádzky električiek je tvorený predovšetkým dvoma zdrojmi – **konštrukciou električkovej trate a električkových vozidiel.** Dominantný je hluk z valivého pohybu kolies vozidiel po koľajniciach. Pri bežných rýchlostiach električiek v mestskej zástavbe valivý hluk predstavuje 80 – 90 % celkového emitovaného hluku.

Pri výstavbe modernizovaných tratí je nutné používať najnovšie technológie a materiály, dodávané v súčasnej dobe napr. firmou *Getzner Werkstoffe GmbH* (podvalové podložky, pod štrkové rohože v prípade použitia štrkového lôžka; zapuzdrená koľaj, súvislé uloženie koľajnice, výplň koľajových drážok a iné), ktoré hlučnosť električkovej prevádzky v zastavanom území výrazne znižujú, obr. 3. Nevýhodou použitia nových technológií je ich podstatne vyššia cena. Ďalšie riešenie poskytuje návrh trate s oblúkmi s čo najväčším polomerom a pod. Je možné tiež aplikovať takzvané bez žliabkové koľajnice, ktoré sú menej hlučné a zároveň menej opotrebovávajú kolesá električiek. Rovnako je účinný návrh bezстыkových koľajnic trate, kde sa dilatácia zabezpečuje šikmým dilatačným stykom.



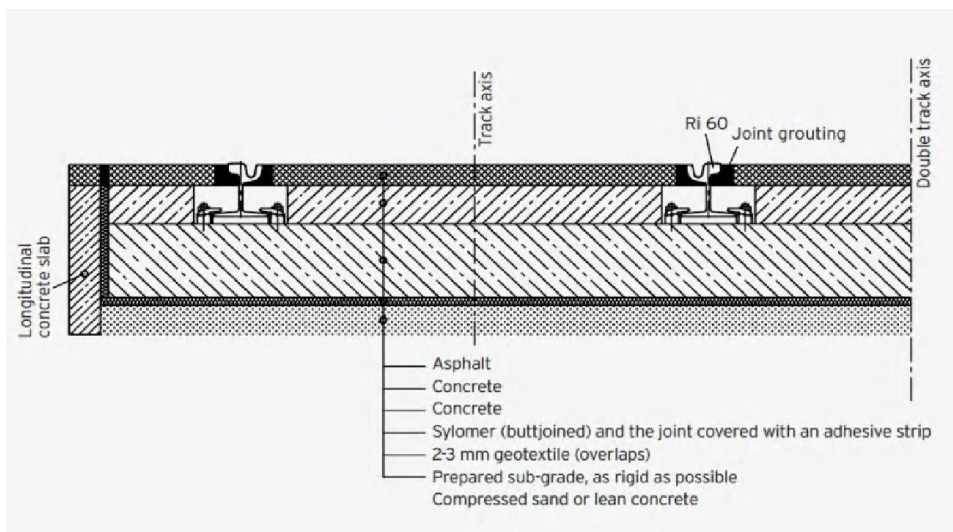
Obr. 3 Pohľad na zapuzdrené koľajnice električkovej trate

Pri nákupe nových električiek je nutné požadovať také parametre vozidiel, ktoré dodržia predpísanú normu hluku, majú nižšie nápravové tlaky a sú vybavené modernými tlmiacimi prvkami už na samotných kolesách, atď. V súčasnej dobe sú to napríklad nízko podlažné električky ŠKODA – LTM a odvodené varianty, ktoré majú okrem ďalších výhod aj zakryté podvozok a hlučnosť oproti klasickým T3 nižšiu až o 6 dB.

Súčasnú verziu antivibračného (AV) usporiadania umožňujú naprojektovať vhodnú konštrukčnú úpravu AV systému, napr. *Sylomer a Syldyn –Mats*, (Getzner) na železničnú úroveň tlmenia vibrácií a hluku na ET (obr.4), pozri tiež [1,2].



Obr. 3 Nízko podlažné električky



Obr. 4 Schéma priečného rezu antivibračného systému *pružina – hmota* v aplikácii na ET

ZÁVER

V rámci skvalitnenia električkovej hromadnej dopravy v Bratislave sa pripravuje modernizácia električkových tratí a električkových súprav. V rámci predprojektovej prípravy modernizácie ET boli vykonané experimentálne merania hlukových pomerov vo vybraných charakteristických miestach Vajnorskej radiály. V týchto lokalitách bolo možné merať hlukové hladiny v rôznych akustických a dopravných pomeroch (difúzne hlukové pole pri max. rýchlostiach električiek, okolie križovatky umožňovalo zmerať hlukové hladiny pri plnej, brzdnjej či rozjazdovej rýchlosti a pod.). Zistené hladiny hluku môžu v budúcnosti, slúžiť ako porovnávacíe hladiny s hladinami hluku na modernizovaných ET VR. Súčasnú hladinu hluku na ET prevyšujú prípustné hladiny hluku podľa príslušných predpisov Ministerstva zdravotníctva [7,8,9]. Pri realizácii modernizácie ET bude preto nutné využiť všetky moderné dostupné technológie znižujúce hluk z električkovej prevádzky, aj za cenu vyšších finančných nákladov pri porovnaní so štandardnými technológiami.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Benčat, J. et al.: „Štúdiá vplyvu technickej seizmicity na okolitú zástavbu pre projekt modernizácie ET v Bratislave–Vajnorská radiála“, Správa P–143–007.VC, ŽU, 2014.
- [2] Benčat, J. et al.: „Štúdiá vplyvu technickej seizmicity na okolitú zástavbu pre projekt modernizácie ET v Bratislave–Ružinovská radiála“, Správa P–143–007.VC, ŽU, 2014.
- [3] Technická dokumentácia k projektu modernizácie ET na Vajnorskej v Bratislave, Dopravoprojekt, a.s., Bratislava 2014.
- [4] Bendat, J. & Piersol, A. „*Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis*“. A. Wiley – Interscience Publication, J. Wiley & Sons., New York, 1996.
- [5] Manuál Brüel & Kjør „*Measuring Sound*“, 2850 Naerum, Dánsko, 2008.
- [6] Manuál Brüel & Kjør „*Community Noise Measurements*“, 2850 Naerum, Dánsko, 2012.
- [7] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 549/2007 Z.z. zo 16. augusta 2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí v znení vyhlášky MZ SR č. 237/2009 Z.z..
- [8] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 115/2006 Z.z. z 1. marca 2006 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.
- [9] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 555/2006 Z.z. z 15. októbra 2006 ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 115/2006 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.