





EURÓPSKA ÚNIA  
Európske štrukturálne a investičné fondy  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

# F01

NÁZOV STAVBY		<b>Modernizácia električkových tratí RUŽINOVSKÁ RADIÁLA</b>			
OBJEDNÁVATEĽ		Hlavné mesto Slovenskej republiky Bratislava Primaciálne nám. 1, 814 99 Bratislava			
PROJEKTANT		DOPRAVOPROJEKT, a.s. Kominárska 141/2,4 832 03 Bratislava			
		HLAVNÝ INŽINIER PROJEKTU	Ing. Nikola Grančič	PODPIS	
		ČÍSLO ZÁKAZKY	8632-01		
PROJEKTANT OBJEKTU		Klub ZPS vo vibroakustike, s.r.o., V. Tvrdého 23, 010 01 Žilina			
		ZODPOVEDNÝ PROJEKTANT	Ing. Ján Šimo CSc.	PODPIS	
		VYPRACOVAL	Ing. Michal Bugala	PODPIS	
		KONTROLOVAL	Ing. Ján Šimo CSc.	PODPIS	
		IDENTIFIKAČNÉ ČÍSLO PRÍLOHY	MET-RR-DUR-C-F010-00000-001-X		
KRAJ: BRATISLAVSKÝ	OKRES: Bratislava I, Bratislava II, Bratislava III		DÁTUM	12.2020	
KATASTRÁLNE ÚZEMIE: Staré Mesto, Nové Mesto, Nivy, Ružinov				FORMÁT	
NÁZOV ČASTI		<b>VIBROAKUSTICKÁ ŠTÚDIA</b>		MIERKA	
				STUPEŇ PD	DŮR
				Č. ZÁKAZKY	8632-01
				Č. SÚPRAVY	Č. PRÍLOHY
					<b>001</b>



Klub ZPS vo vibroakustike, s.r.o.

V. Tvrdého 23, SK – 010 01 Žilina

Akreditované skúšobné laboratórium pre meranie  
hluku, vibrácií a intenzity podľa požiadaviek  
normy ISO/IEC 17025



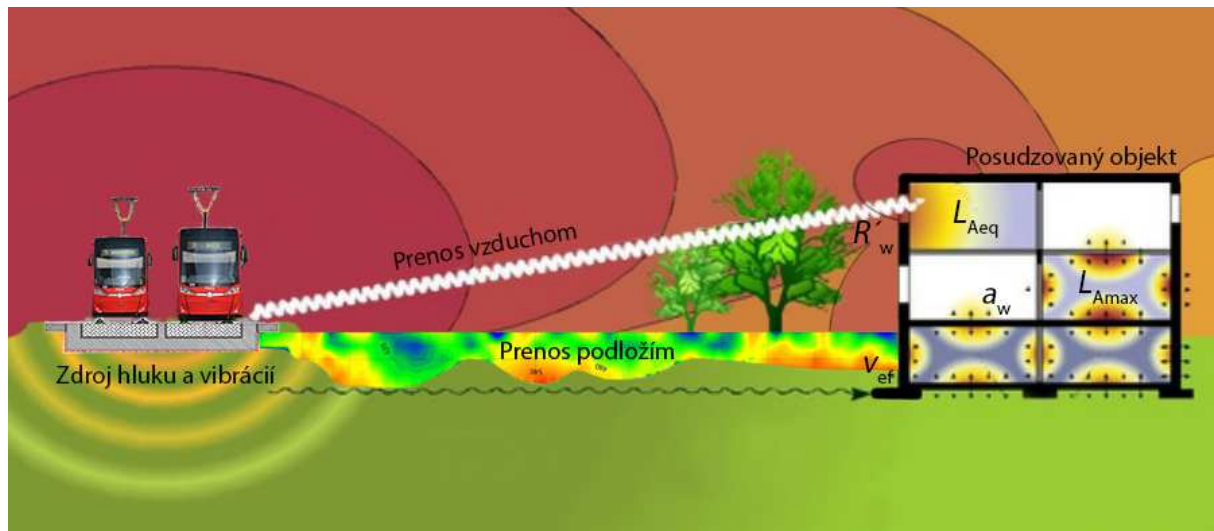
Tel, Fax: +0421/41/724 70 26

E-mail: vibroakustika@vibroakustika.sk

strana 1/31

Mobil: 0903 307 616, 0914 108 001

web: <http://www.vibroakustika.sk/>



## MODERNIZÁCIA ELEKTRICKÝCH TRATÍ - RUŽINOVSKÁ RADIÁLA DOKUMENTÁCIA PRE ÚZEMNÉ ROZHODNUTIE (DÚR)

### VIBROAKUSTICKÁ ŠTÚDIA

DECEMBER 2020

Protokol: A\_152\_2020

#### 1. VŠEOBECNÉ ÚDAJE

**Objednávateľ:** DOPRAVOPROJEKT, a.s., Kominárska 141 / 2,4 823 03 Bratislava –  
mestská časť Nové Mesto, obj. č. 9353/19-2310/8632-01

**Predmet objednávky:** Vibroakustická štúdia

**Dátum merania:** 18.11.2019, 22.7.2020

**Meranie vykonal:** Ing. Mgr. Michal Bugala, Doc., RNDr. Julián Kondela, PhD.,  
Prof. Blažej Pandula, PhD., Ing. Ján Sobota, Ing. Ján Šimo, CSc.

**Protokol vypracoval:** Ing. Mgr. Michal Bugala, Ing. Ján Šimo, CSc.

**Protokol schválil vedúci pracoviska:**

Žilina 15.12.2020

Ing. Ján Šimo, CSc.

UPOZORNENIE: Výsledky sa vzťahujú iba na predmety skúšky a protokol sa bez písomného súhlasu môže reprodukovať iba ako celok.

## 2. HLUK, VIBRÁCIE A OTRASYS

Vyhodnotenie vplyvu navrhovanej činnosti „Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála“ bolo vypracované pre dokumentáciu pre územné rozhodnutie (DÚR)

- pri vyhodnocovaní vplyvu od navrhovanej činnosti bol kladený dôraz na vyhodnotenie dopadu hluku, vibrácií a otrasov vo vonkajšom a vnútornom prostredí budov v súvislosti s aktivitami ľudí alebo činnosťou zariadení
- pri vyhodnotení vplyvu od navrhovanej činnosti bola vykonaná verifikácia na analogickom príklade existujúcej električkovej trate na Špitálskej ul., Bratislava.
- V úseku úpravy dvojkoľajnej električkovej trate na Špitálskej ul., Bratislava“ (náhrada panelov DZP monolitnou betónovou doskou, montáž nových koľají a koľajových konštrukcií, izolácia koľajového zvršku antivibračnou podštrkovou rohožou od zastávky na Kamennom námestí po odbočovacie výhybky na Americkom námestí) sme vykonali meranie a vyhodnotenie hluku, vibrácií a otrasov pred úpravou jún 2017 a po úprave máj 2018 a to:

*V zmysle naplnenia zákona NR SR č. 355/2007 Z.z. z 21. júna 2007 o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia, v zmysle Vyhlášky MZ SR č. 237/2009 Z.z., ktorou sa dopĺňa Vyhláška 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. Prejazdy električiek vyvolávajú vibrácie, ktoré sa šíria podložíom do chránených miestností v budovách a následne môžu vyvolať akustickú odozvu. Identifikácia hluku šíreného podložíom na rozdiel od hluku šíreného vzduchom vyžaduje súčasné merania hluku a vibrácií. Na základe zákona útlmu šírenia vln v horninovom prostredí identifikujeme potenciálne riziká pre šírenie vibrácií a otrasov vyvolaných koľajovou dopravou v záujmových územiach za predpokladu dodržania:*

*V koľajovom zvršku pevnej jazdnej dráhy (PJD) je aplikovaná trvale pružnú podložku – ľahký systém hmota – pružina (LMSS), ktorý zaistí odfiltrovanie prenosu hluku a vibrácií šírených podložíom, počas prejazdov električiek do chránených obytných miestností v záujmovom území v okolí električkovej trate. Na základe vykonaného posúdenia návrh pre východziu hrúbku vystuženej betónovej dosky sa zväčšil na 350mm a pre daný systém doporučujeme antivibračnú rohož min. hrúbky 25mm. Návrh systému LMSS sa upresní na základe dynamického výpočtu, pričom počas realizácie sa vykonajú dynamické testy na základe ktorých sa preverí funkčnosť LMSS.*

- Systém LMSS , ktorý pozostáva z dvoch hlavných častí, z hmoty a z pružiny vytvorí kmitajúcu sústavu, ktorá za predpokladu dodržania tiaže pevnej jazdnej dráhy, systému upevnenia koľajnic, podkladový materiál upravený a bez nerovností po aplikácii pružiny zaistí:

*Vlastnú frekvenciu pružného systému LMSS v nezaťaženom stave menej ako 23 Hz. (podlieha dynamickému testu in situ počas realizácie). Vlastnú frekvenciu*

pružného systému ET v zaťaženom stave menej ako 18 Hz (podlieha dynamickému testu in situ po spustení do prevádzky). Zavedený útlm pružného systému LMSS pri frekvencii 63 Hz (v zaťaženom stave) väčší ako 85 [%] (podlieha dynamickému testu in situ počas realizácie). Priehyb koľajnicového pásu pri prejazde električky približne 2,0 [mm] (podlieha dynamickému testu in situ po spustení do prevádzky). Priehyb nosnej dosky jazdnej dráhy (systému hmota-pružina) pri prejazde električky približne 1,6 [mm] (podlieha dynamickému testu in situ po spustení do prevádzky)

- Pri hľadaní lokality pre referenčné merania bolo potrebné zohľadniť nasledujúce podmienky:

*Modernizovaná električková trať by mala mať rozchod 1000mm (ako posudzovaná el. trať) chránené priestory sa nachádzajú v porovnateľnej vzdialenosti od električkovej trate, konštrukcia zvršku električkovej trate je riešená ako pevná jazdná dráha.*

**Tab. 2.1** Porovnané hodnoty hluku z pozemnej dopravy vo vonkajšom priestore pred a po úprave električkovej trate v meracom bode MH1 – Hostel Blues, Špitalská 2205/2, Bratislava.

Merací bod	Referenčný časový interval deň (6:00 – 18:00h)	Posudzovaná hodnota od pozemnej dopravy $L_{RAeq,T}$ [dB]
MH1	3. máj 2017 <b>(pred úpravou)</b>	<b>70,9</b>
	20. apríl 2018 <b>(po úprave)</b>	<b>68,3</b>

Ekvivalentné hladiny A hluku z pozemnej dopravy klesol po úprave električkovej trate o

$$\Delta L_{A,eq} = 2,6 \text{ dB}$$

**Tab. 2.2** Porovnané hodnoty vibrácií vo vnútornom priestore pred a po úprave električkovej trate v meracom bode MV1 – Hostel Blues, Špitalská 2205/2, Bratislava.

Merací bod	Referenčný časový interval deň (6:00 – 18:00h)	Posudzovaná hodnota $a_{Rweq,z}$ [m.s <sup>-2</sup> ]	Posudzovaná hodnota $a_{Rwmax,z}$ [ m.s <sup>-2</sup> ]
MV1	3. máj 2017 <b>(pred úpravou)</b>	0,00084	0,0072
	20. apríl 2018 <b>(po úprave)</b>	0,00030	0,0020

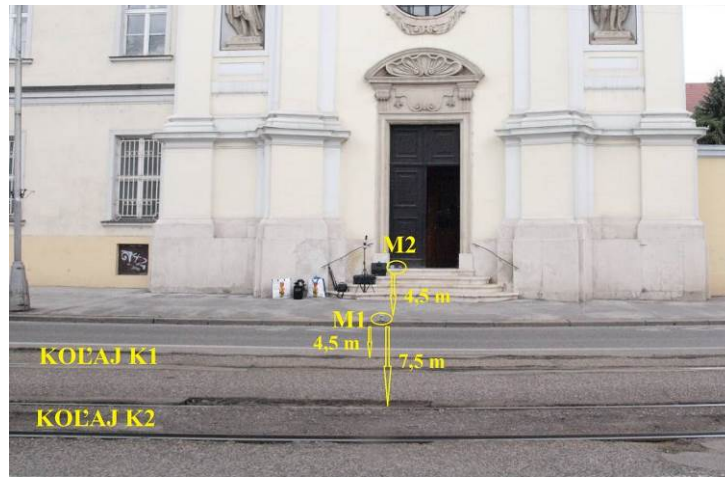
Vážené hodnoty ekv. vibrácií vo vnútornom priestore klesli po úprave električkovej trate o

$$\Delta a_{weq,z} = 0,00054 \text{ m.s}^{-2}$$

Vážené hodnoty max. vibrácií vo vnútornom priestore klesli po úprave električkovej trate o

$$\Delta a_{weq,z} = 0,0052 \text{ m.s}^{-2}$$

**Obr. 2.1** Pozícia a vzdialenosti meracích stanovísk M1 a M2 voči električkovej koľaji K1 a K2 a posudzovanému objektu kostola a kláštora alžbetínok od električkovej dopravy na Špitálskej ulici 23.



**Tab. 2.3** Porovnané hodnoty kmitania pred a po úprave električkovej trate v meracom bode M1 a M2 pred objektom kostola a kláštora alžbetínok, Bratislava.

Merací bod	Referenčný časový interval deň (6:00 – 18:00h)	Posudzovaná hodnota $v_{Rpeak,z}$ [mm.s <sup>-1</sup> ]
M1	3. máj 2017 <b>(pred úpravou)</b>	2,80
	20. apríl 2018 <b>(po úprave)</b>	0,43
M2	3. máj 2017 <b>(pred úpravou)</b>	0,89
	20. apríl 2018 <b>(po úprave)</b>	0,30

Vážené hodnoty vrcholových rýchlostí vibrácií vo vonkajšom priestore klesli po úprave električkovej trate v meracom bode M1

$$\Delta v_{peak,z} = 2,37 \text{ mm.s}^{-1}$$

Vážené hodnoty vrcholových rýchlostí vibrácií vo vonkajšom priestore klesli po úprave električkovej trate v meracom bode M2

$$\Delta v_{peak,z} = 0,59 \text{ mm.s}^{-1}$$

- Predložená štúdia vyhodnocuje komplexne možné vibroakustické vplyvy na záujmové územie v okolí navrhnutej električkovej trate.

*Informatívne vizualizáciu pre zložku hluku šírenú vzduchom počas prejazdov električiek jednotným verifikovaným predikčným modelom pre Európsku úniu CNOSSOS-EU.*

*Na základe zákona útlmu šírenia vln v horninovom prostredí identifikujeme potenciálne riziká pre šírenie hluku, vibrácií a otrasov vyvolaných koľajovou dopravou v záujmových územiach.*

*Vážené zrýchlenie vibrácií a maximálne hladiny A hluku v mieste zdržiavania sa v zmysle naplnenia Vyhlášky MZ SR č. 237/2009 Z.z., ktorou sa dopĺňa Vyhláška č. 549/2007 Z.z. z 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.*

**Tab. 2.4** Informatívne porovnanie vypočítaných posudzovaných s prípustnými hodnotami vyhlášky MZ SR č. 549/2007 Z.z.\* pre pozemnú dopravu v imisných bodoch pre zložku hluku šírená vzduchom vytváranú prejazdami električiek v chránenom vonkajšom prostredí s kalibračnými meraniami\*\*.

Výpočtový bod VX/Merací bod MX	Výška Z [m]	Kategória územia / Prípustné hodnoty pre pozemnú dopravu [dB]	deň $L_{RAeq,12h}$ / $L_{Aeq,12h}$ [dB]	Kategória územia / Prípustné hodnoty pre pozemnú dopravu [dB]	večer $L_{RAeq,4h}$ / $L_{Aeq,4h}$ [dB]	Kategória územia / Prípustné hodnoty pre pozemnú dopravu [dB]	noc $L_{RAeq,8h}$ / $L_{Aeq,8h}$ [dB]
V1/1	138,50	III/60	45,0	III/60	43,1	III/50	40,1
V1/2	150,50	III/60	45,4	III/60	43,5	III/50	40,5
V1/3	165,50	III/60	46,1	III/60	44,1	III/50	41,1
V2/1	135,65	III/60	58,3	III/60	56,4	III/50	53,3
V2/2	144,65	III/60	55,6	III/60	53,6	III/50	50,6
V2/3	156,65	III/60	56,3	III/60	54,3	III/50	51,3
V3/1	138,50	III/60	56,6	III/60	54,7	III/50	51,7
V3/2	150,50	III/60	57,0	III/60	55,0	III/50	52,0
V3/3	162,50	III/60	56,5	III/60	54,5	III/50	51,5
V4/1	144,75	III/60	48,0	III/60	46,2	III/50	43,1
V4/2	156,75	III/60	51,5	III/60	49,6	III/50	46,6
V4/3	174,75	III/60	52,0	III/60	50,0	III/50	47,0
V5/1 - M1	138,57	III/60	57,9 / 58,7	III/60	55,8 / 55,4	III/50	52,8 / 50,9
V6/1	140,31	III/60	63,3	III/60	61,3	III/50	58,3
V6/2	152,31	III/60	60,8	III/60	58,8	III/50	55,8
V6/3	167,31	III/60	55,4	III/60	53,4	III/50	50,4
V7/1	140,50	III/60	62,5	III/60	60,5	III/50	57,5
V7/2	146,50	III/60	62,4	III/60	60,4	III/50	57,4
V8/1	141,41	III/60	59,9	III/60	57,9	III/50	54,9
V8/2	153,41	III/60	59,2	III/60	57,2	III/50	54,2
V9/1	142,51	III/60	70,7	III/60	68,6	III/50	65,6
V9/2	148,51	III/60	69,4	III/60	67,3	III/50	64,4
V9/3	157,51	III/60	64,0	III/60	61,9	III/50	59,0
V10/1	142,50	III/60	74,8	III/60	72,7	III/50	69,8
V10/2	154,50	III/60	73,4	III/60	71,2	III/50	68,3

\* Predmetná vyhláška MZ SR č. 549/2007 Z.z. definuje hluk z pozemnej a vodnej dopravy ako celku, a to pre jednotlivé kategórie chráneného územia, resp. chráneného priestoru. Pozemná doprava je v prílohe tejto vyhlášky zadefinovaná ako doprava na pozemných komunikáciách vrátane električkovej dopravy. S ohľadom na vyššie uvedené zastávame názor, že pri objektivizácii a následnom hodnotení vo vzťahu k prípustnej hodnote je potrebné zohľadňovať pôsobenie všetkých pozemných komunikácií a električkových tratí, ktoré dotknuté územie budú ovplyvňovať. Riešenie nepriaznivej akustickej situácie je nutné riešiť v súčinnosti s prevádzkovateľom existujúcich pozemných komunikácií.

\*\* 24 - hodinové meranie ekvivalentných hladín hluku:

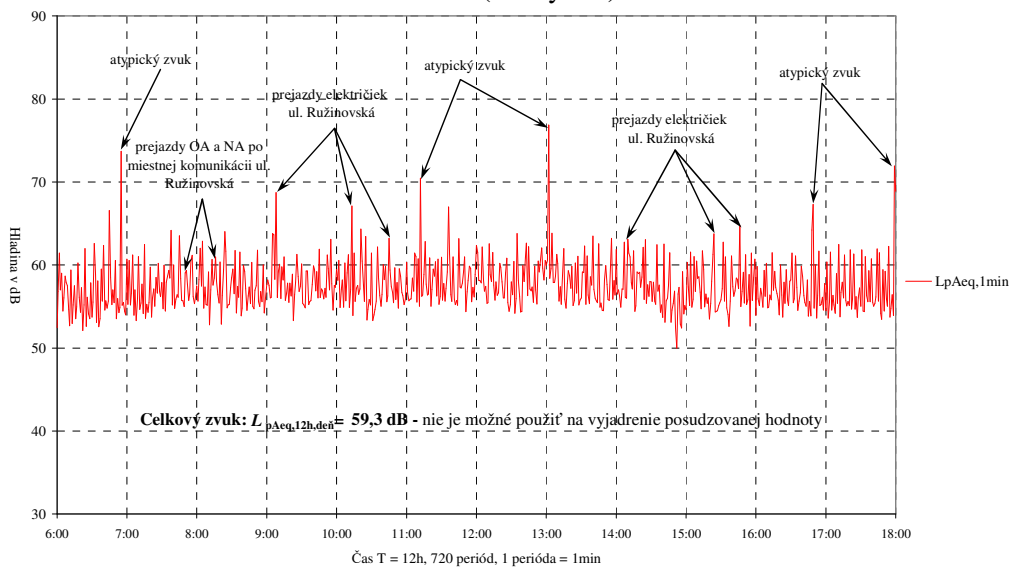
M1 – Merací mikrofón bol umiestnený 1,5 m pred oknom na 2. NP, BD ul. Stropkovská, č.p. 103/1, Bratislava

**M1 – BD, ul. Stropkovská, č.p. 103/1, Bratislava, smer Ružinovská ulica**

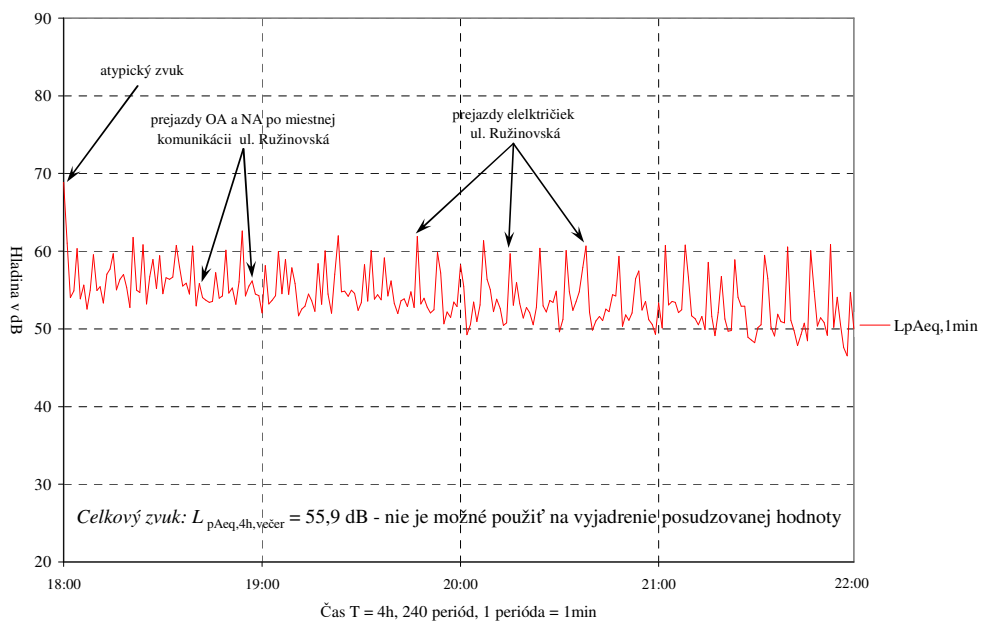
- 1,5 m pred oknom obytnej miestnosti na 2 NP BD;
- vo vzdialenosti 342 m od osi NJP miestnej komunikácie ul. Bajkalská;
- vo vzdialenosti cca 337 m od osi NJP miestnej komunikácie ul. Drieňová;
- vo vzdialenosti cca 58 m od osi NJP miestnej komunikácie ul. Ružinovská;
- vo vzdialenosti cca 65 m od osi električkovej trate ul. Ružinovská;
- GPS objektu: 48°09'25.7" S; 17°08'59.00" V.



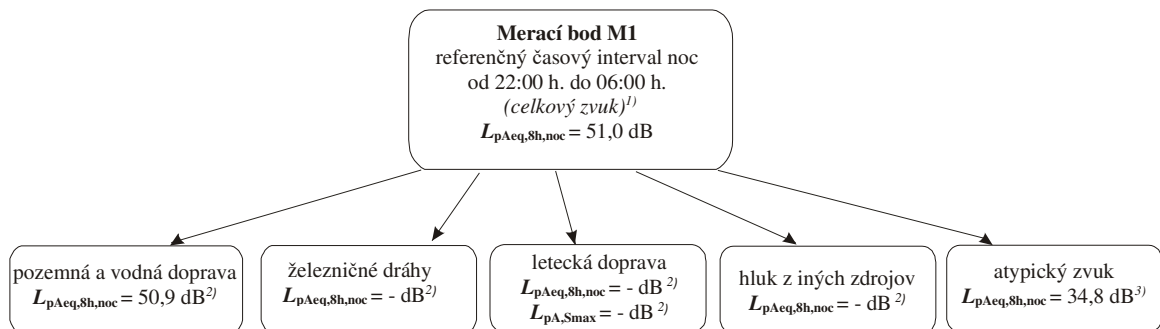
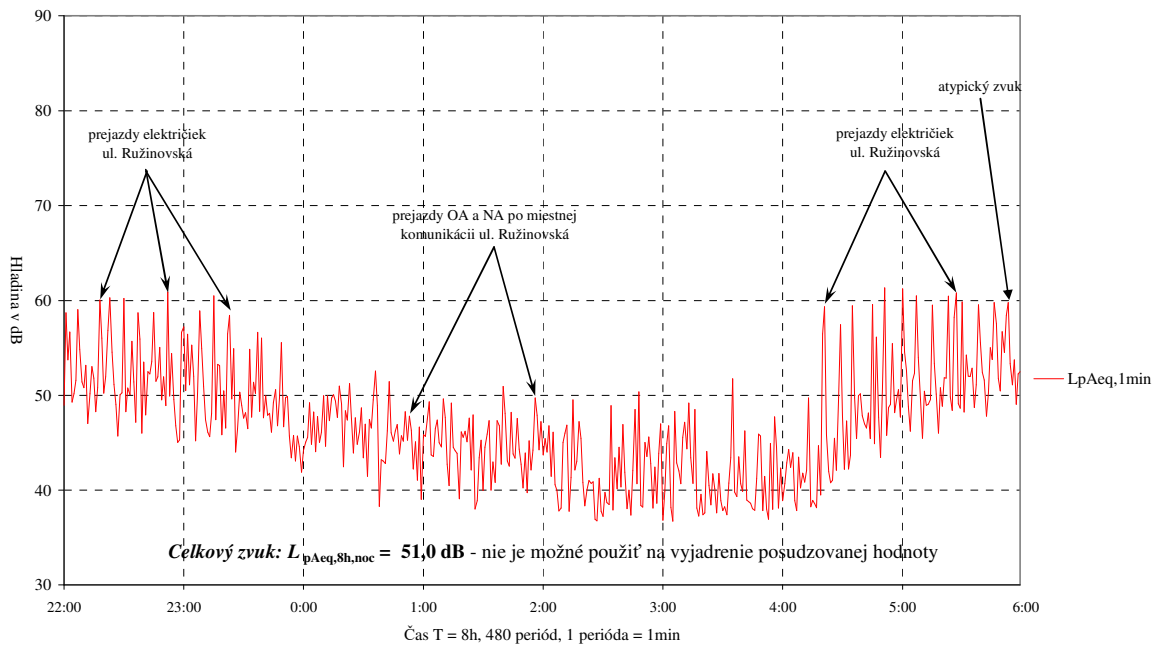
**Obr. 2.2** Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,1min}$  v čase  $T=12h$  od 06:00 hod do 18:00 hod (denný čas) v meracom bode **M1**.



**Obr. 2.3** Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,1min}$  v čase  $T=4h$  od 18:00 hod. do 22:00 hod. (večerný čas) v meracom bode **M1**.



**Obr. 2.4** Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,1min}$  v čase  $T=8h$  od 22:00 hod do 06:00 hod (nočný čas) v meracom bode **M1**.



<sup>1)</sup> **Celkový zvuk** – úplne obklopujúci zvuk v danej situácii v danom čase, zvyčajne zvuk zložený z viacerých blízkych a vzdialených zdrojov, (STN ISO 1996-1) *Celkový zvuk nie je možné použiť na vyjadrenie posudzovanej hodnoty.*

<sup>2)</sup> **Špecifický zvuk** – zložka výsledného zvuku, ktorú možno konkrétne identifikovať a ktorá je spojená s konkrétnym zdrojom zvuku, (STN ISO 1996-1). *Špecifický zvuk umožňuje vyjadriť posudzovanú hodnotu hluku a následne porovnať s prípustnou hodnotou hluku v zmysle platnej legislatívy.*

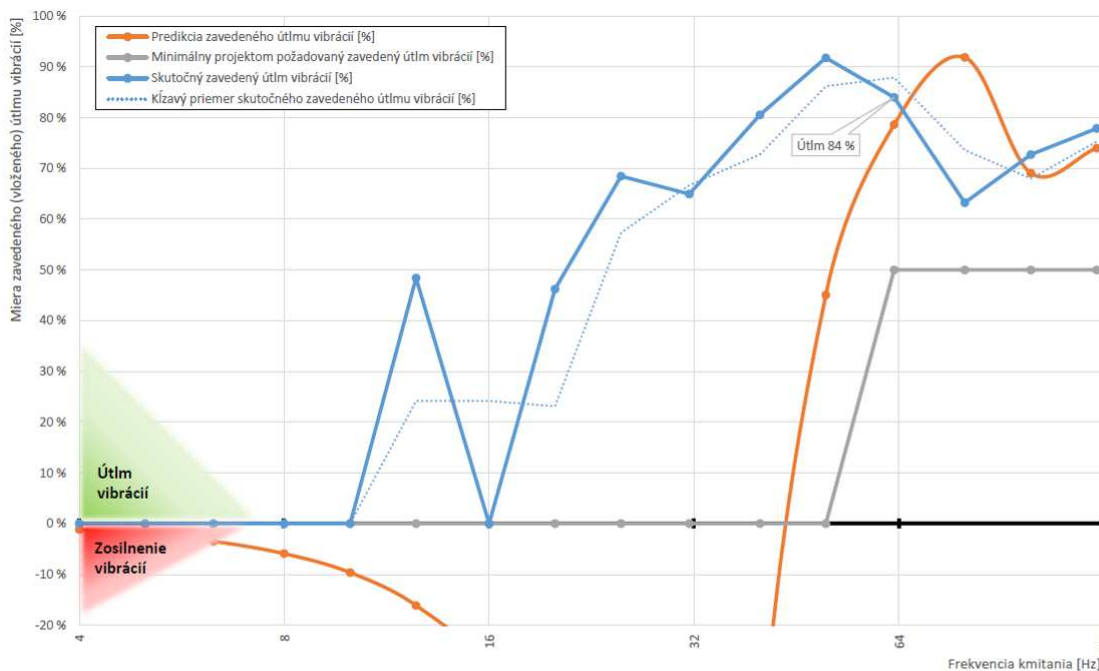
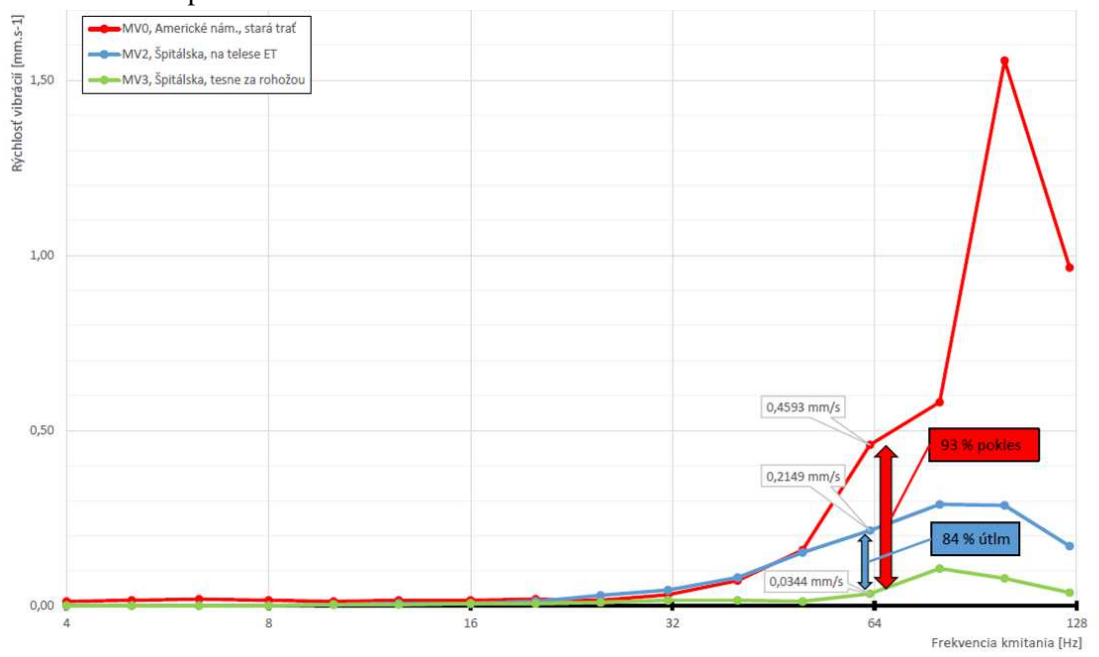
<sup>3)</sup> **Atypický zvuk** – zložka výsledného zvuku, z ktorej sa nedá určiť špecifický zvuk (prejavy zvierat, činnosť obyvateľov, nevhodné meteoropodmienky, ...)



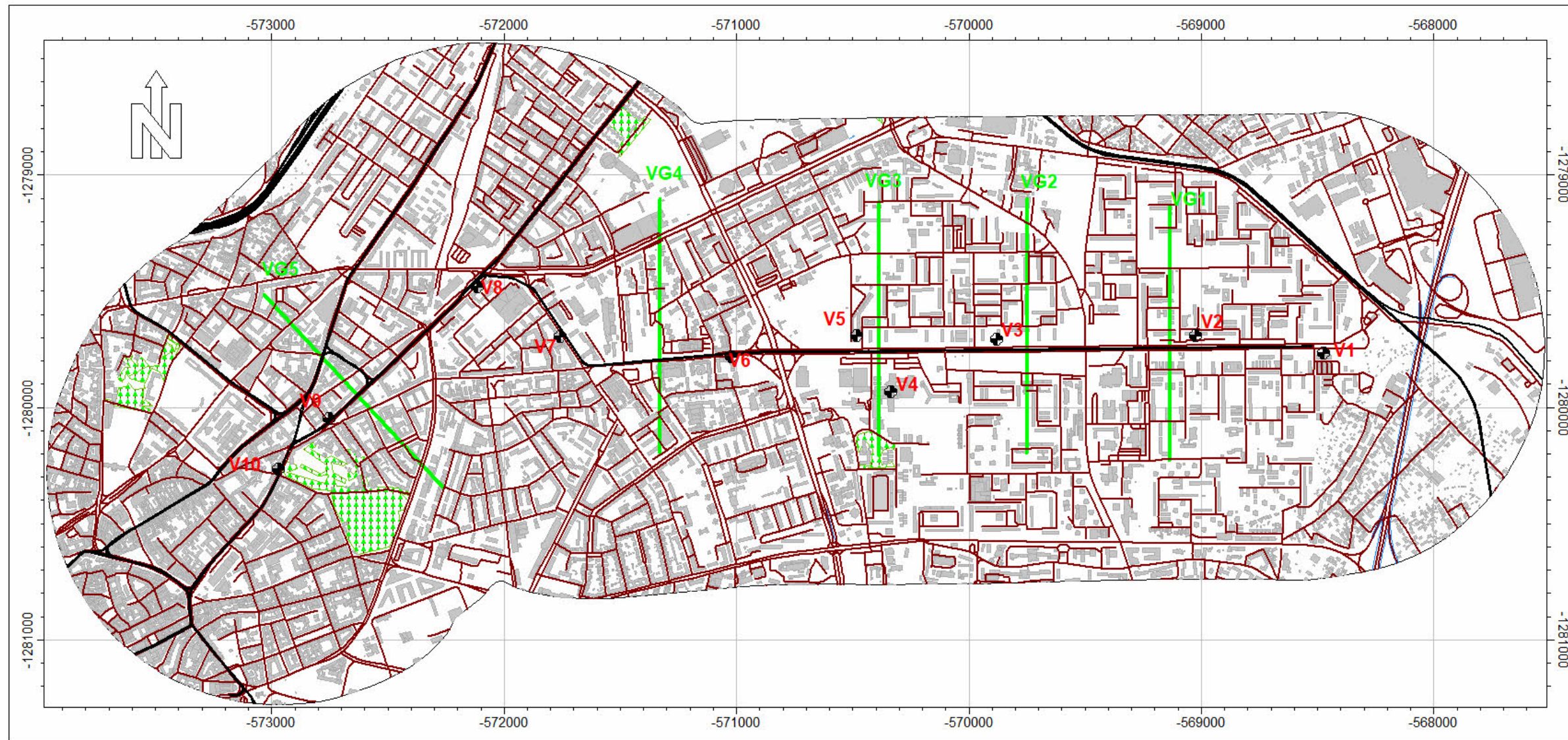
Kontrolované hodnoty hluku, vibrácií a otrasov v záujmovom území pre projekt „ Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála “:

- ekvivalentná hladina A zvuku  $L_{Aeq,T}$ , vo vonkajších priestoroch chráneného územia
- ekvivalentná hladina A zvuku  $L_{Aeq,T}$ , vo vnútorných priestoroch pre hluk z vonkajšieho prostredia
- maximálna hladina A zvuku  $L_{Amax,T}$ , vo vnútorných priestoroch pre hluk z vnútorných zdrojov
- ekvivalentná vážená hodnoty  $a_{weq}$  zrýchlenia vibrácií v chránených miestnostiach v budovách
- maximálna vážená hodnota  $a_{wmax}$  zrýchlenia vibrácií v chránených miestnostiach v budovách
- efektívna  $v_{ef}$  a vrcholová  $v_{peak}$  rýchlosť vibrácií pre základovú pôdu, budovy a zariadenia v budovách

**Obr. 2.5** Zavedený útlm pružného systému LMSS na základe vyhodnotenia merania rýchlosti vibrácií, trať Špitálska ul. – Americké námestie.

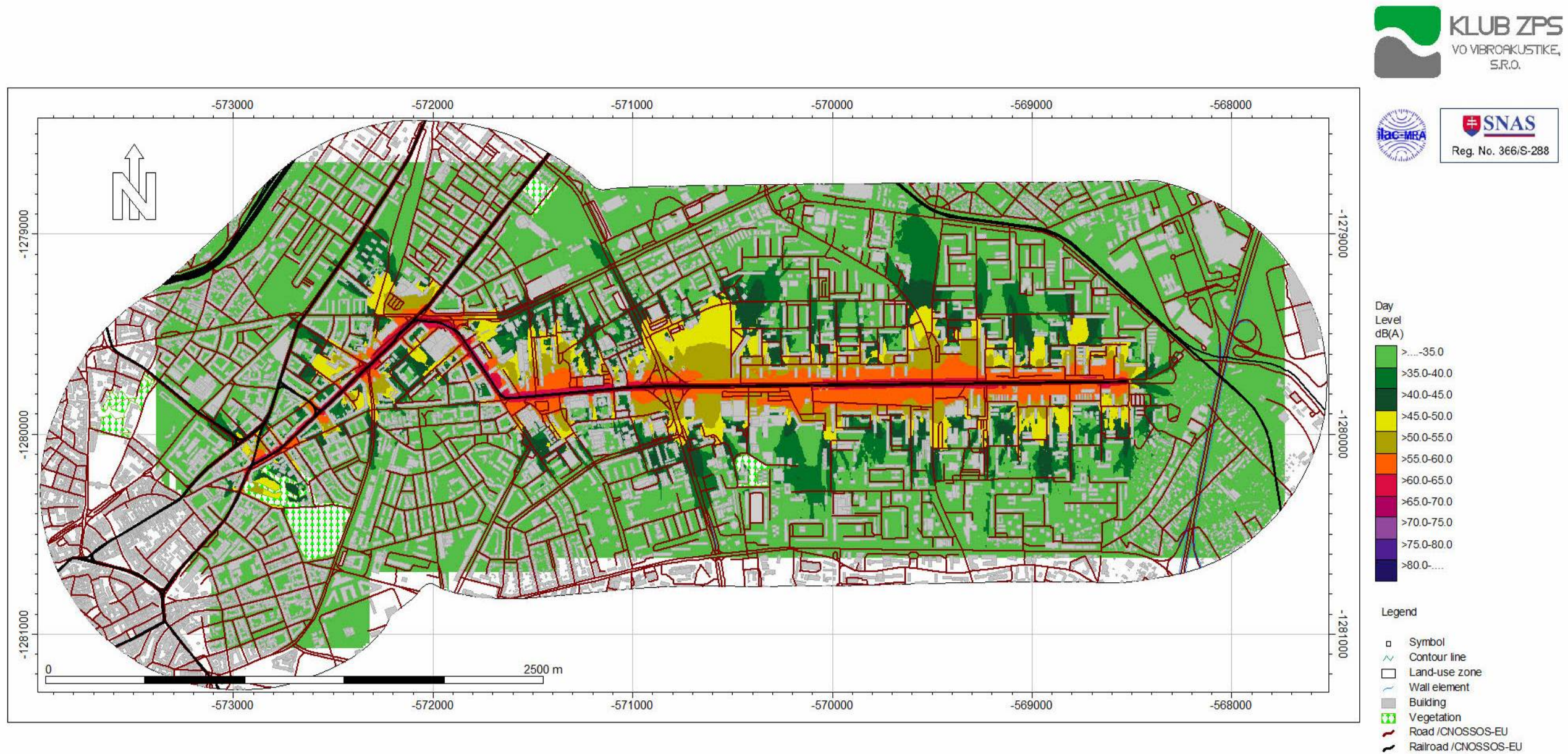


Umiestnenie výpočtových bodov (V1-V10) a priečných rezov (VG1 – VG5)

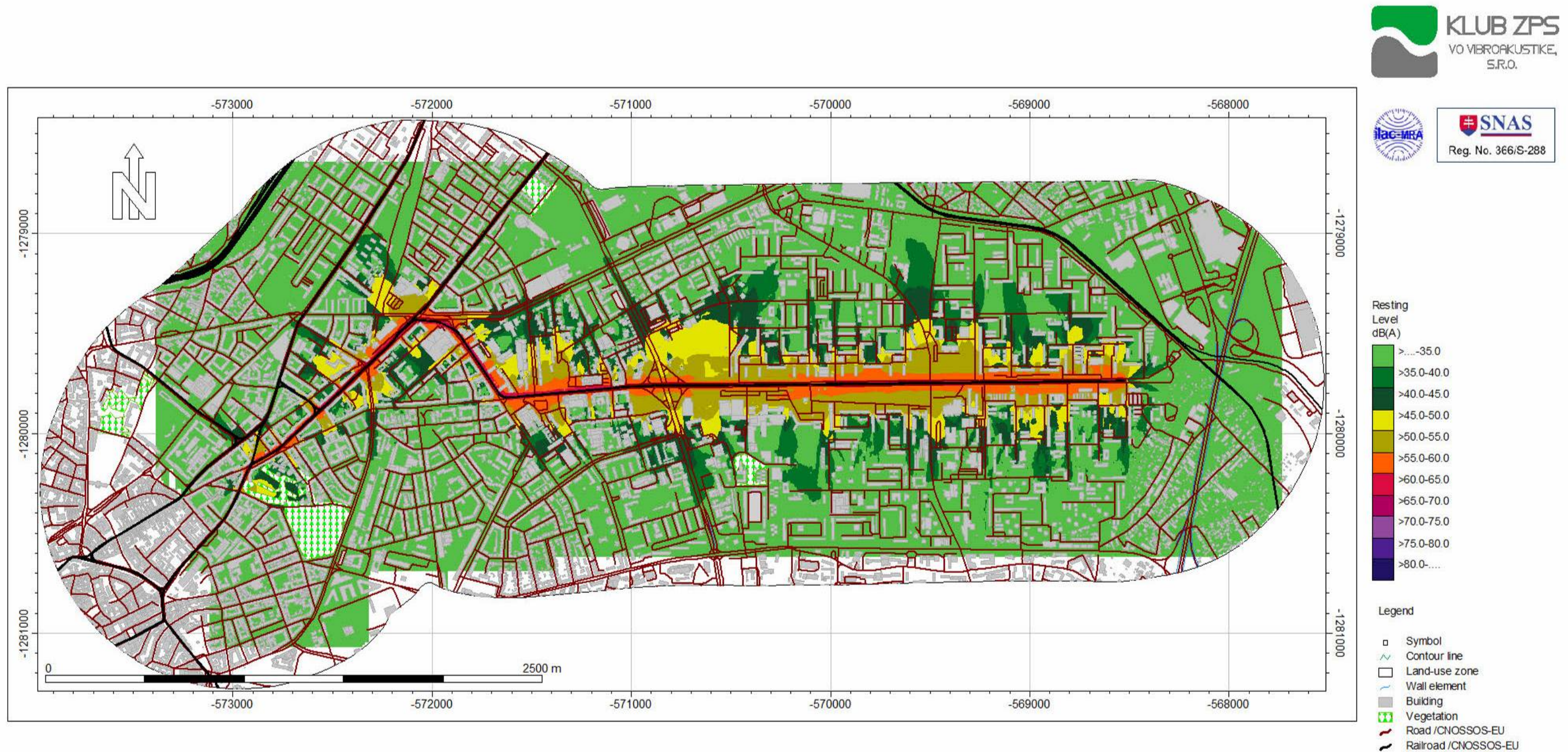


- Legend
- Help line
  - Contour line
  - Receiver point
  - Land-use zone
  - Wall element
  - Building
  - Vegetation
  - Road /CNOSSOS-EU
  - Railroad /CNOSSOS-EU

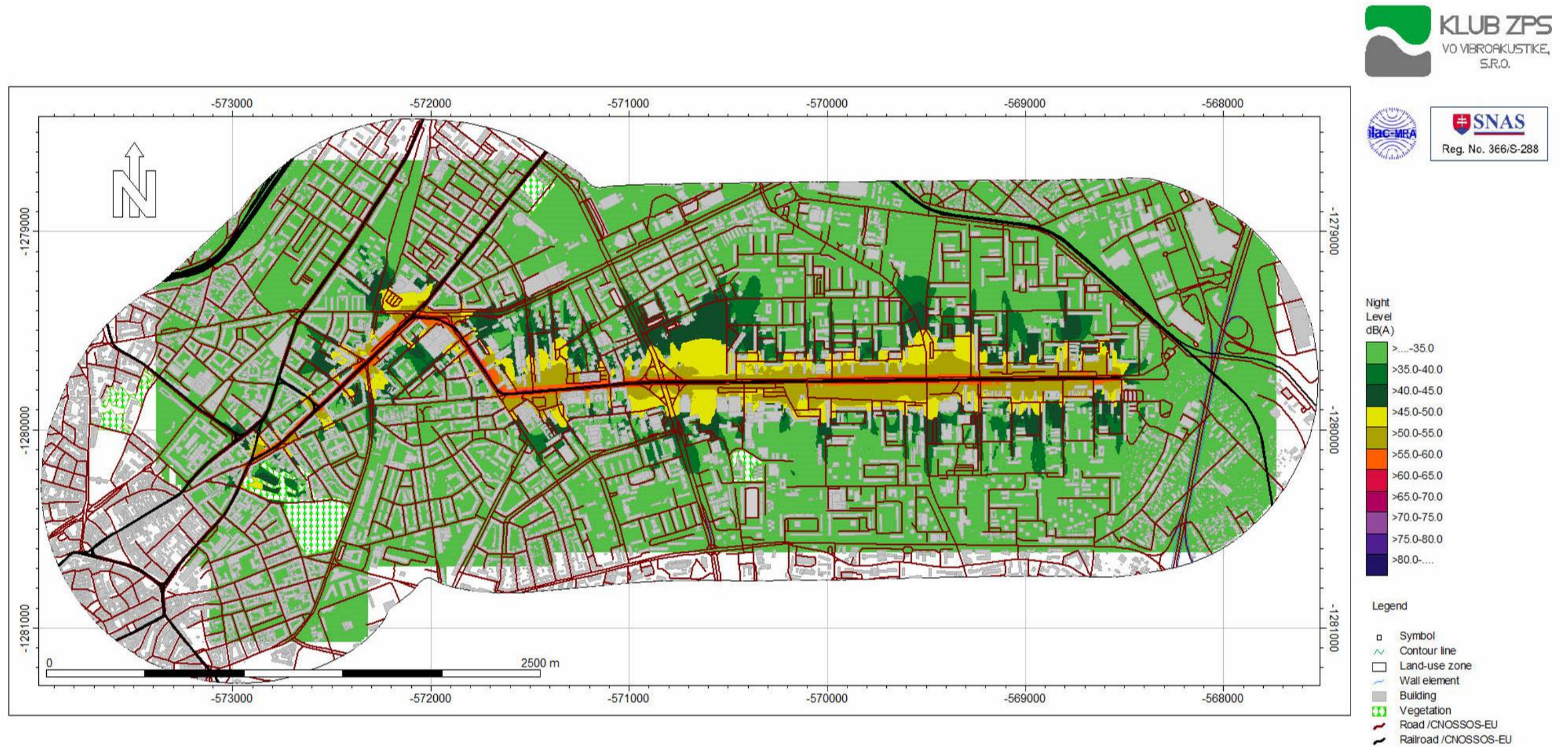
Grafická vizualizácia predpokladaných ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,T}$  pre zložku hluku šírenú vzduchom.  
 Analytická hluková mapa ekvivalentných hladín A hluku zobrazená formou hlukových pásiem s krokom 5 dB  $L_{pAeq,12h,deň}$  v časovom intervale deň 06:00 – 18:00 hod,  
 vo výške 1,5m nad terénom, vo vonkajšom priestore záujmového územia zámeru „Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála“



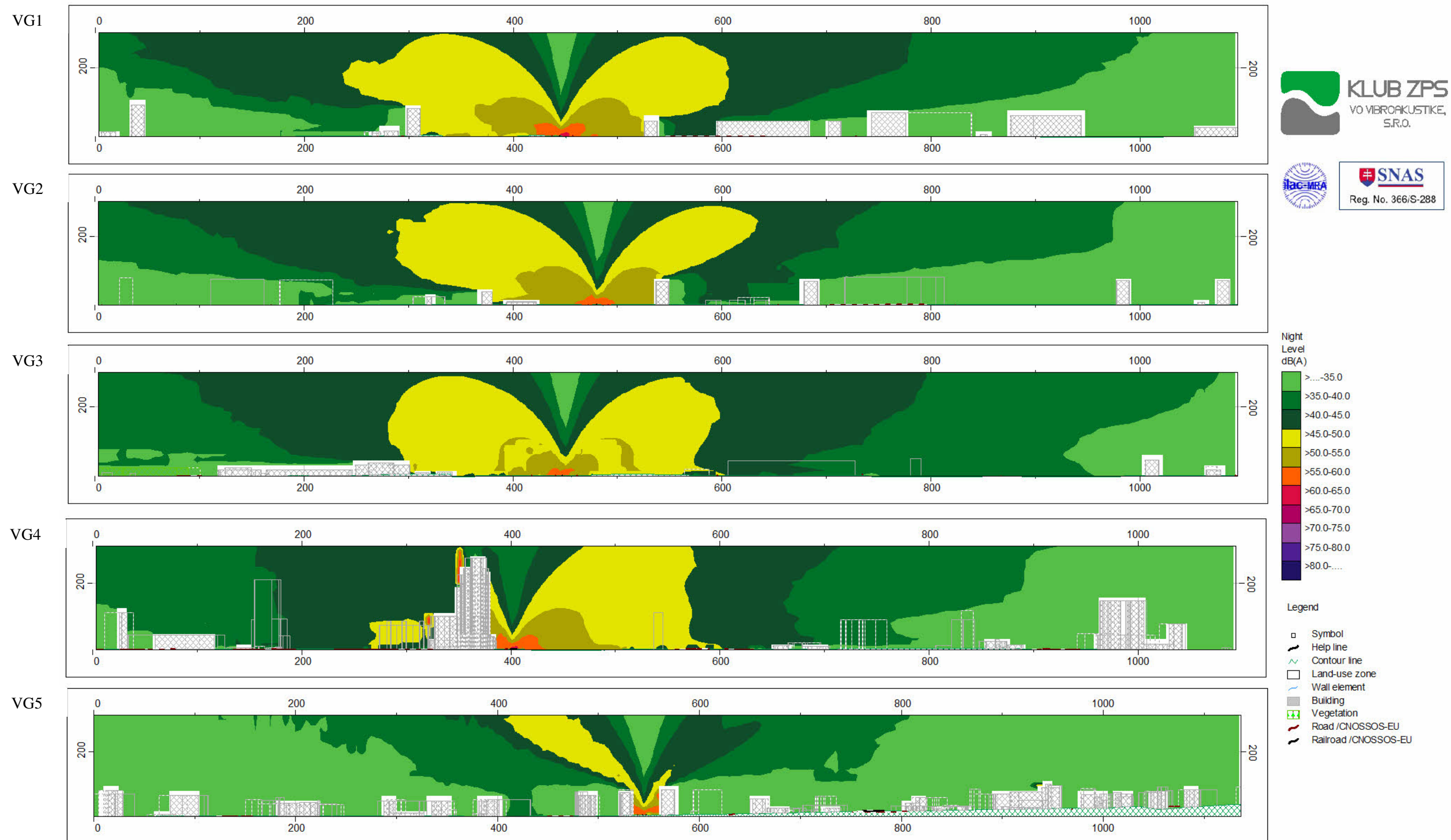
Grafická vizualizácia predpokladaných ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,T}$  pre zložku hluku šírenú vzduchom.  
 Analytická hluková mapa ekvivalentných hladín A hluku zobrazená formou hlukových pásiem s krokom 5 dB  $L_{pAeq,4h,večer}$  v časovom intervale večer 18:00 – 22:00 hod,  
 vo výške 1,5m nad terénom, vo vonkajšom priestore záujmového územia zámeru „Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála“



Grafická vizualizácia predpokladaných ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,T}$  pre zložku hluku šírenú vzduchom.  
 Analytická hluková mapa ekvivalentných hladín A hluku zobrazená formou hlukových pásiem s krokom 5 dB  $L_{pAeq,8h,noc}$  v časovom intervale noc 22:00 – 06:00 hod,  
 vo výške 1,5m nad terénom, vo vonkajšom priestore záujmového územia zámeru „Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála“



Grafická vizualizácia predpokladaných ekvivalentných hladín hluku  $L_{pAeq,T}$  pre zložku hluku šírenú vzduchom.  
 Pričné rezy VG1 – VG5 ekvivalentných hladín A hluku zobrazené formou hlukových pásiem s krokom 5 dB  $L_{pAeq,8h,noc}$  v časovom intervale noc 22:00 – 06:00 hod,  
 vo vonkajšom priestore záujmového územia zámeru „Modernizácia električkových tratí – Ružinovská radiála“



### 3. KLIMATICKÉ PODMIENKY POČAS MERANIA

<i>Dátum</i>	<i>Teplota vzduchu [°C]</i>	<i>Rýchlosť vetra [m.s<sup>-1</sup>]</i>	<i>Smer prúdenia vzduchu</i>	<i>Relatívna vlhkosť vzduchu [%]</i>	<i>Tlak vzduchu prepoč.na hladinu mora [hPa]</i>
18.11.2019	14	0 - 2	premenlivý	45-60	1010-1013
22.07.2020	26	2 - 4	premenlivý	40-55	1005-1012

### 4. POUŽITÉ PRÍSTROJE

Meradlá a meracie zariadenia použité na meranie boli overené v zmysle platných metrologických predpisov:

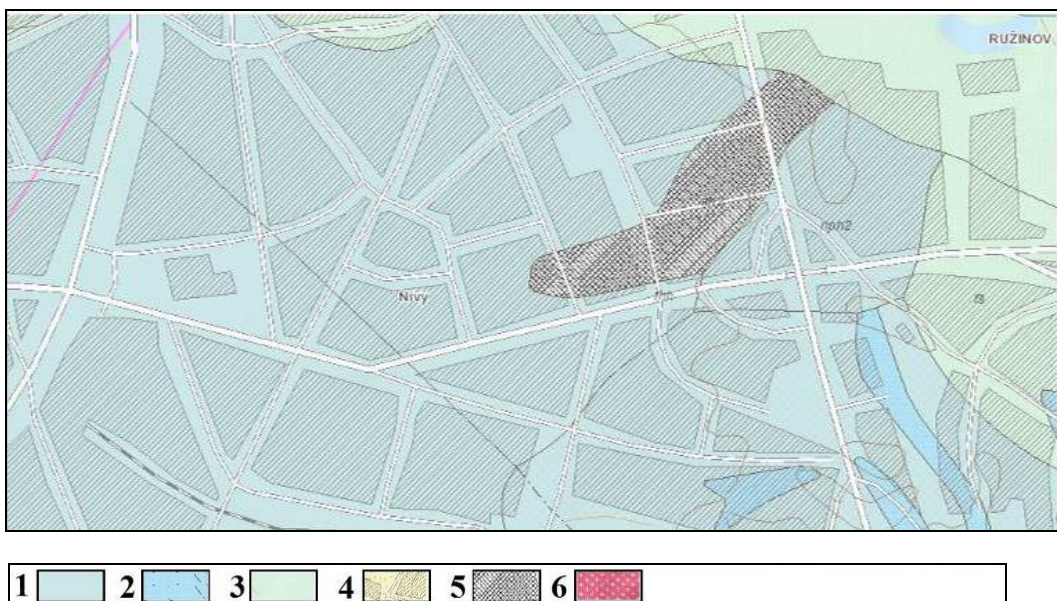
<b>Typ meradla</b>	<b>Výrobca</b>	<b>Výr. číslo</b>	<b>Kalibračný certifikát</b>	<b>Platnosť overenia</b>
Vibromer Svan 958 „A“	Svantek	34576	K021.9/013/20	05.03.2025
Senzor mech. kmitania 3233A	Dytran	1039	K021.9/015/20	05.03.2025
Vibromer Svan 958 A	Svantek	69097	19063	21.02.2024
Senzor mech. kmitania SV84	Svantek	H7386	19063.2	21.02.2024
Vibromer Svan 958 A	Svantek	59114	17510	28.09.2027
Senzor mech. kmitania SV84	Svantek	E1268	17510.1	28.09.2027
Vibromer Svan 958 A	Svantek	45278	16414	23.08.2021
Senzor mechanického kmitania 979	Svantek	D6464	16414	23.08.2021
Kalibrátor mech. kmitania VC-11	Metra-Mess	005152	16418	24.08.2021
Termický anemometer T405-V1	Testo AG	41500288/110	0404/18;0405/18	31.01.2023
Vlhkomer T605-H1	Testo AG	41102100/112	2019/2984	04.07.2024
Zvukomer SVAN 979	Svantek	45278	18638	08.01.2021
Merací mikrofón MK 221	Microtech Gefell	11000	19764	09.12.2020
Zvukomer SVAN 979	Svantek	46131	19062	19.02.2021
Merací mikrofón MK 221	Microtech Gefell	10873	19764	09.12.2020
Zvukomer SVAN 979	Svantek	46132	18639	12.12.2020
Merací mikrofón MK 221	Microtech Gefell	12819	19765	09.12.2020
Zvukomer SVAN 979	Svantek	69418	18640	06.12.2020
Merací mikrofón MK 221	Microtech Gefell	15125	19766	09.12.2020
Zvukomer SVAN 979	Svantek	69419	18641	13.12.2020
Merací mikrofón Nor 1220	Norsonic	23212	19767	09.12.2020
Zvukomer SVAN 979	Svantek	69420	18642	17.12.2020
Merací mikrofón Nor 1225	Norsonic	33213	19768	09.12.2020
Zvukomer Nor 140	Norsonic	1402971	19667	21.10.2021
Merací mikrofón Nor 1225	Norsonic	91789	19667.2	20.10.2020
Akustický kalibrátor Nor-1251	Norsonic	32300	19769	08.12.2020
IMMI 2020 Premium	Wölfel	899251457-0	-	-
SHT2x GMX600 Compact Weather Station	MaxiMet	69786804	K44771TE K44816P	24.12.2024 09.01.2025

## 6. VERIFIKÁCIA NA ZÁKLADE MERANÍ IN SITU

### NÁZORY A INTERPRETÁCIE

#### Geologická stavba horninového podložia posudzovanej lokality – prenosové prostredie

Horninové prostredie (prenosové prostredie) v posudzovanom území je tvorené fluviálnymi sedimentárnymi horninami rieky Dunaj, čiastočne antropogénnymi sedimentami. Hlavne sa jedná o horizontálne uložené piesčité hliny, piesky, štrky, piesčité štrky, zahlinené štrky a hliny, prípadne antropogénne sedimenty (obr. NI 1). Z pohľadu prenosu seizmických vln ide o prostredie nespevnených hornín. Tieto sú charakteristické vysokým útlmom seizmických vln. Je potrebné upozorniť na skutočnosť, že útlm seizmických vln sa môže znížiť ak sú uvedené vrstvy zavodené. Práve prítomnosť vody v uvedenom horninovom prostredí zvyšuje mieru prenosu seizmických vln od dopravy.



*Obr. NI 1 Geologická skica blízkeho okolia posudzovaného územia. Kvartér:*

1- fluviálne, litofaciálne nečlenené hliny, piesčité hliny, hlinité piesky až štrky dolinných nív riek a potokov, 2- fluviálno-organické sedimenty: jemnopiesčité, ílovité až hnilokalové humózne hliny mŕtvych ramien a močiarov, 3-fluviálne piesčité štrky a štrky vyšších stredných terás (starší riss) s pokryvom spraší (neskorý würm), 4- deluviálne sedimenty: prevažne hlinito kamenité (podradne piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny, 5- antropogénne uloženiny: navážky, násypy, skládky a haldy; Paleozoikum: 6- drobnozrnné biotitické a muskoviticko-biotitické granodiority.



**Tab. NI.1** Namerané maximálne hodnoty frekvencií a rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek pri meraní technickej seizmicity od dopravy na Americkom námestí v Bratislave dňa 18. 12. 2019 – zrekonštruovaná električková trať.

ČAS	X [mm. s <sup>-1</sup> ]	Y [mm. s <sup>-1</sup> ]	Z [mm. s <sup>-1</sup> ]	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
12:13:08	0,15	0,23	0,18	68	23	55
12:14:35	0,20	0,21	0,25	37	45	160
12:15:19	0,36	0,44	0,33	60	53	79
12:16:10	0,64	0,72	2,62	246	148	228
12:21:21	0,28	0,36	0,30	104	47	25
12:21:53	0,23	0,23	0,36	74	52	29
12:22:03	0,13	0,28	0,28	53	21	28
12:23:43	0,25	0,36	0,33	41	55	30
12:25:04	0,36	0,21	0,23	116	44	32
12:25:51	0,25	0,57	0,38	56	61	71
12:25:55	0,31	0,49	0,48	56	51	52
12:26:12	0,31	0,57	0,43	71	58	51
12:29:40	0,33	0,49	0,33	79	55	40
12:33:49	0,43	0,44	0,71	141	62	162
12:36:25	0,33	0,49	0,18	104	64	90

**Obr. NI 2** Americké námestie v Bratislave pri meraní hluku a vibrácii na zrekonštruovanej električkovej trati.



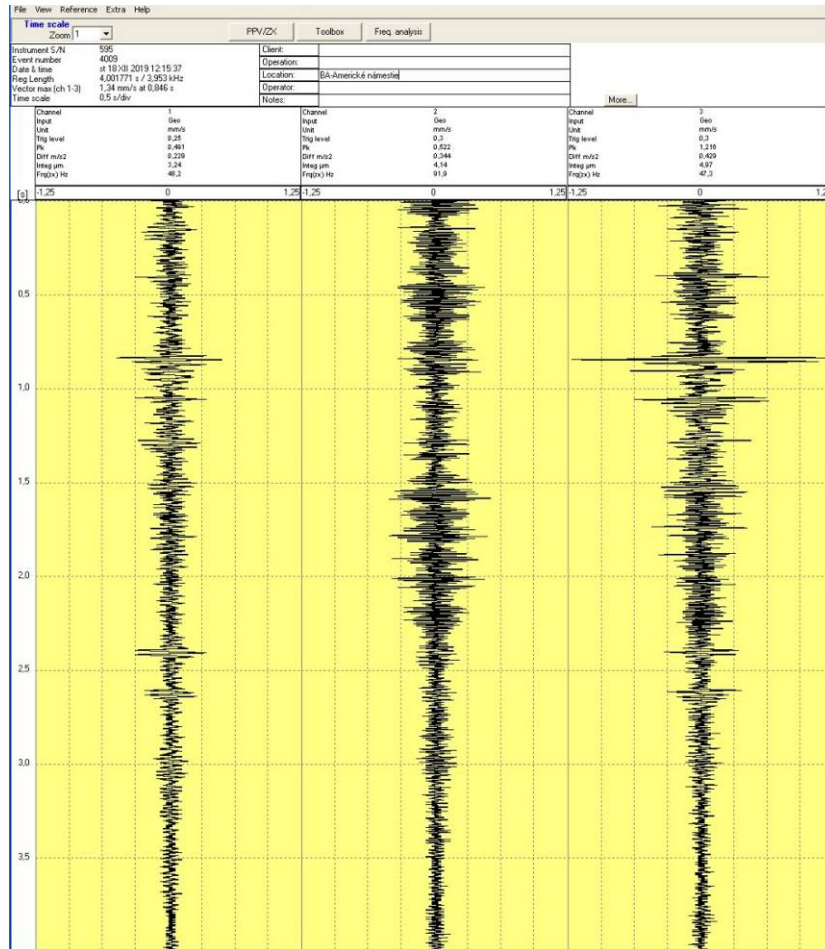
**Obr. NI 3** Americké námestie v Bratislave. Pohľad na meracie stanovisko pri meraní hluku a vibrácií na zrekonštruovanej električkovej trati pred budovou dekanátu Lekárskej fakulty Univerzity Komenského.



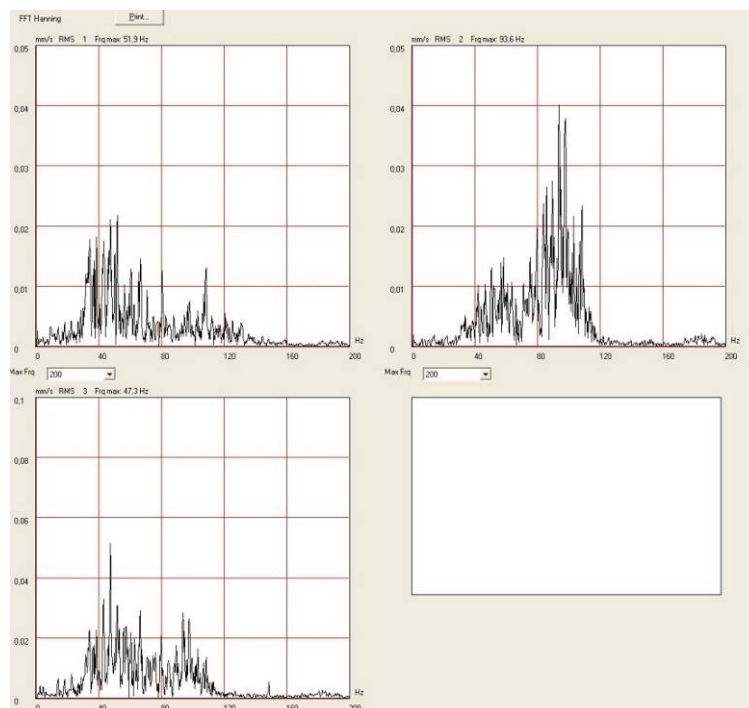
**Obr. NI 4** Budova dekanátu Lekárskej fakulty Univerzity Komenského na Americkom námestí, kde bolo uskutočnené meranie technickej seizmicity od električkovej dopravy.



**Obr. NI 5** Grafický záznam priebehu seizmického vlnenia v smere osi z, osi x a osi y zo dňa 18. decembra 2019 namerané pri prechode električky po zrekonštruovanej električkovej trati na Americkom námestí.



**Obr. NI 6** Spektrálna charakteristika jednotlivých zložiek seizmického vlnenia namerané pri prechode električky po zrekonštruovanej električkovej trati na Americkom námestí.



**Tab. NI.2** Namerané maximálne hodnoty frekvencií a rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek pri meraní technickej seizmicity od dopravy na Americkom námestí v Bratislave dňa 18. 12. 2019 – nezmodernizovaná električková trať.

ČAS	X [mm. s <sup>-1</sup> ]	Y [mm. s <sup>-1</sup> ]	Z [mm. s <sup>-1</sup> ]	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
12:10:50	0,26	0,46	0,32	24	23	35
12:11:14	0,14	0,17	0,37	165	39	38
12:12:41	0,29	0,55	0,43	60	23	41
12:13:26	1,19	2,89	1,62	76	32	238
12:13:48	1,33	1,36	6,36	104	141	283
12:13:57	3,45	1,33	3,27	28	32	289
12:14:20	0,70	0,75	5,75	62	255	286
12:21:16	0,20	0,38	0,29	37	30	31
12:21:47	0,14	0,35	0,43	27	34	39
12:21:53	0,14	0,41	0,32	41	36	30
12:25:15	0,32	0,43	0,43	56	64	39
12:25:39	0,38	0,54	0,43	71	32	44
12:26:04	0,38	0,93	0,49	62	47	36
12:26:09	0,41	0,90	0,58	68	47	45
12:31:43	0,17	0,32	0,26	35	24	38
12:34:45	0,14	0,43	0,40	43	33	40
12:35:51	0,14	0,29	0,23	37	36	35
12:36:01	0,39	0,26	0,23	22	49	23

**Obr. NI 7** Americké námestie v Bratislave pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati.



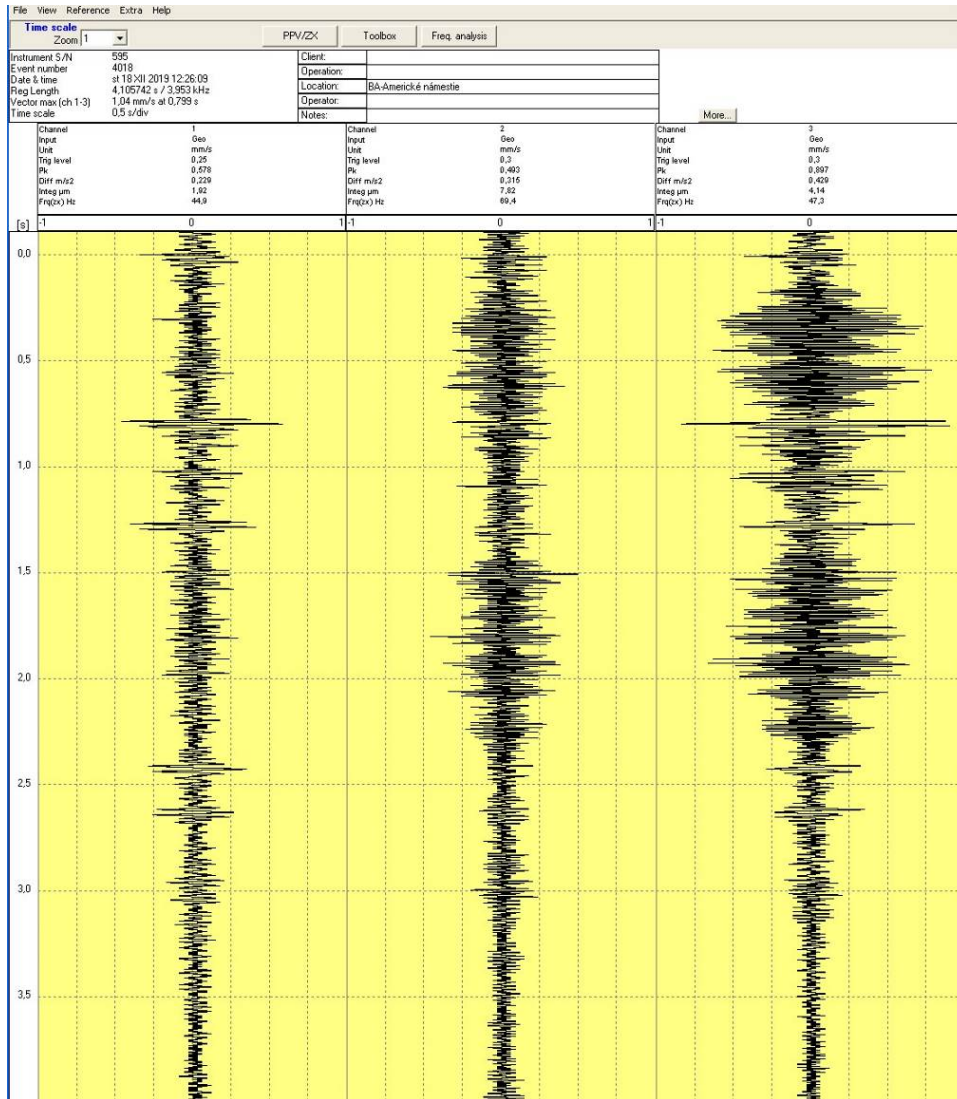
**Obr. NI 8** Americké námestie v Bratislave pri meraní hluku a vibrácií . Pohľad na časť nezmodernizovanej električkovej trati pred budovou dekanátu Lekárskej fakulty Univerzity Komenského.



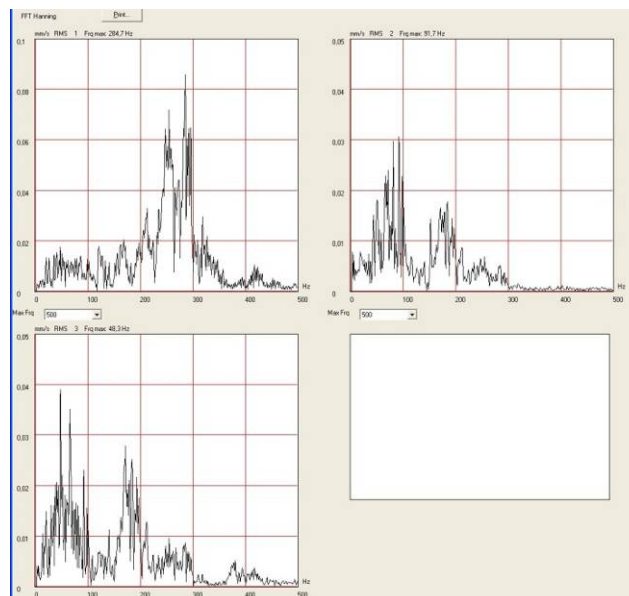
**Obr. NI 9** Americké námestie v Bratislave. Pohľad na meracie stanovisko pri meraní hluku a vibrácií na nezmodernizovanej električkovej trati pred budovou dekanátu Lekárskej fakulty Univerzity Komenského.



**Obr. NI 10** Grafický záznam priebehu seizmického vlnenia v smere osi z, osi x a osi y zo dňa 18. decembra 2019 namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati na Americkom námestí



**Obr. NI 11** Spektrálna charakteristika jednotlivých zložiek seizmického vlnenia namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati na Americkom námestí.



**Tab. NI 3** Namerané maximálne hodnoty frekvencií a rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek pri meraní technickej seizmicity od dopravy na Krížnej ulici č. 6 v Bratislave dňa 18. 12. 2019 – nezmodernizovaná električková trať.

ČAS	X [mm. s <sup>-1</sup> ]	Y [mm. s <sup>-1</sup> ]	Z [mm. s <sup>-1</sup> ]	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
12:54:09	0,33	0,44	0,18	79	84	52
12:54:14	0,43	0,62	0,41	65	76	38
12:55:58	0,87	1,00	0,84	60	73	64
12:56:03	0,87	0,90	0,81	68	92	146
13:03:34	0,43	0,44	0,94	124	186	191
13:06:15	0,71	0,85	0,84	78	67	64
13:06:20	0,76	0,70	0,91	64	60	36

**Obr. NI 12** Prechod električky pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati pred bytovým objektom na Krížnej ulici č. 6 v Bratislave dňa 18.12.2019.



**Obr. NI 13** Meracie stanovisko na Krížnej ulici č. 6 pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati v Bratislave.

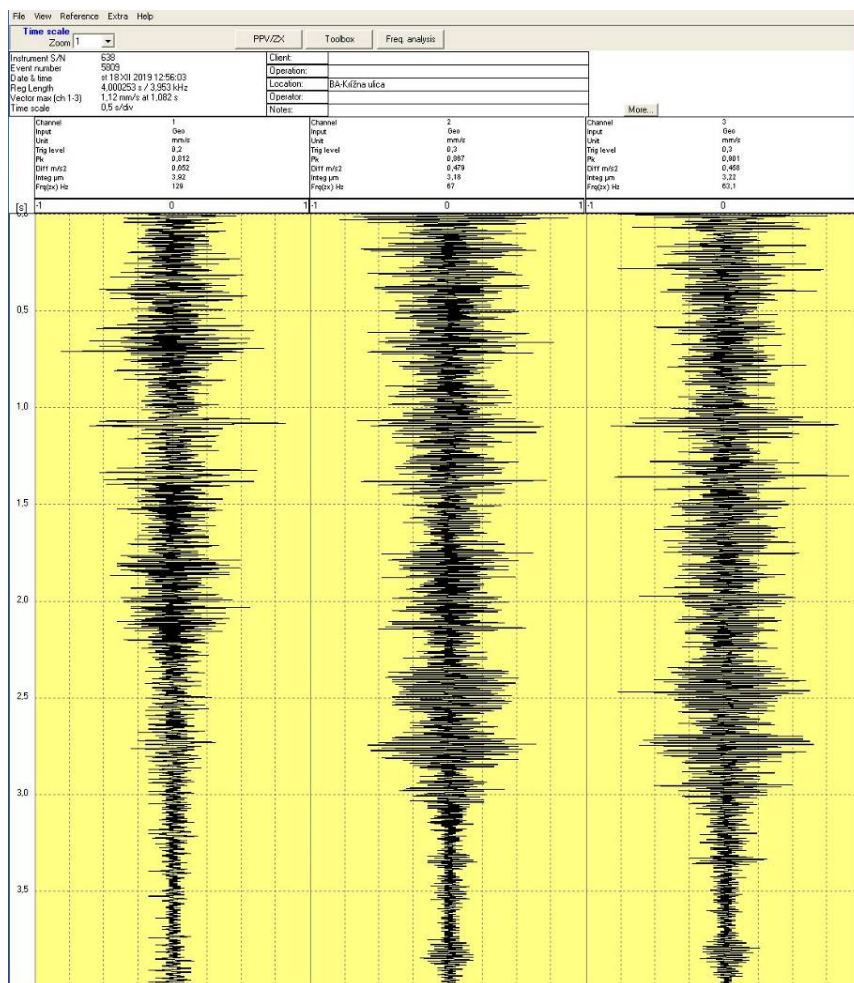


**Obr. NI 14** Bytové objekty na Krížnej ulici pri meraní hluku a vibrácii pri prechode električiek na nezmodernizovanej električkovej trati v Bratislave dňa 18.12.2019.

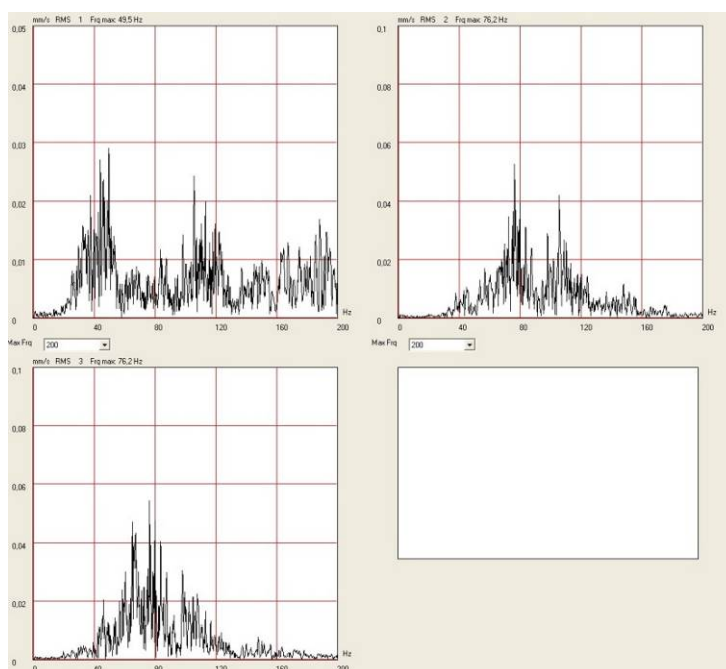




**Obr. NI 15** Grafický záznam priebehu seizmického vlnenia v smere osi z, osi x a osi y zo dňa 18. decembra 2019 namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati na Krížnej ulici v Bratislave.



**Obr. NI 16** Spektrálna charakteristika jednotlivých zložiek seizmického vlnenia namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati na Krížnej ulici v Bratislave.



**Tab. NI.4** Namerané maximálne hodnoty frekvencií a rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek pri meraní technickej seizmicity od dopravy v Bratislave pred obchodným domom Lidl

dňa 18. 12. 2019 – 4 m od koľaje.

ČAS	X [mm. s <sup>-1</sup> ]	Y [mm. s <sup>-1</sup> ]	Z [mm. s <sup>-1</sup> ]	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
15:27:10	0,54	0,46	0,81	104	51	55
15:27:15	0,38	0,36	0,63	102	59	58
15:27:50	3,06	1,49	1,17	54	40	224
15:30:39	0,31	0,41	0,63	76	55	55
15:32:40	0,66	0,64	0,61	66	90	61
15:37:17	0,41	0,54	0,74	104	121	89
15:37:22	0,54	0,46	0,81	125	76	125
15:40:46	0,10	0,15	0,25	86	29	49
15:42:13	2,37	1,59	2,49	82	62	67
15:52:31	1,04	0,62	0,66	87	71	77

**Obr. NI 17** Meracie stanoviska v Bratislave pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati vo vzdialenosti 4 m a 12 m od električkovej trate.



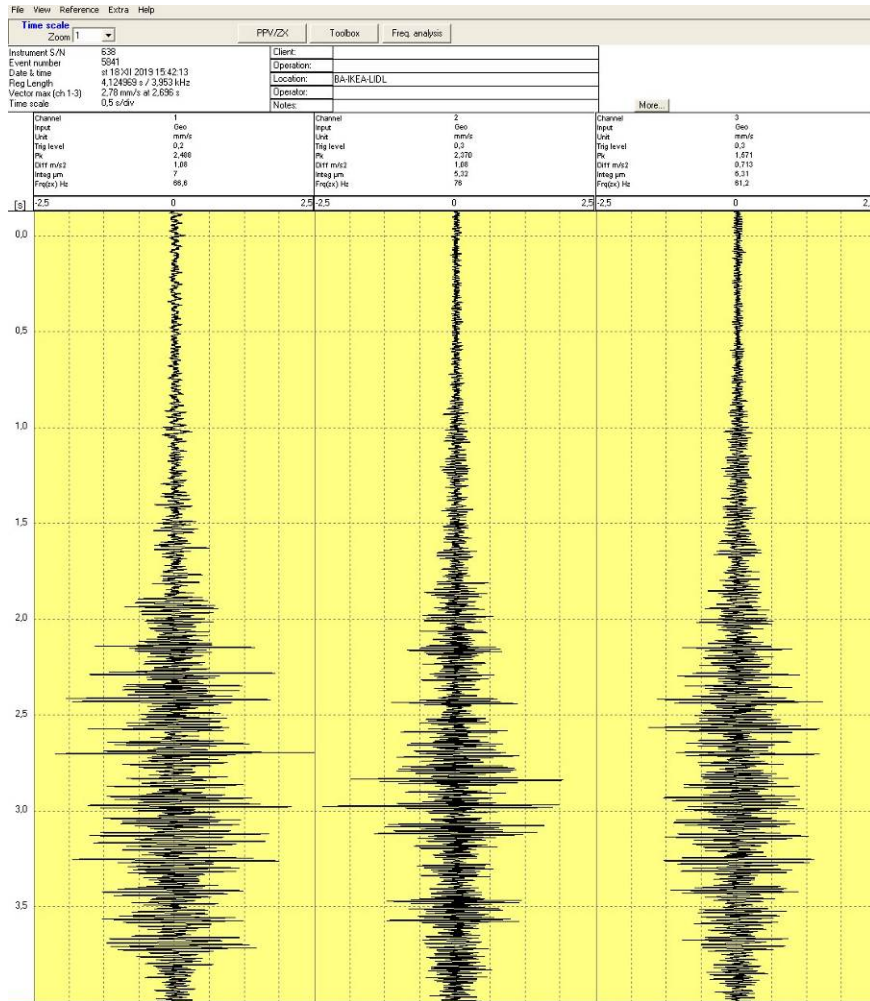
**Obr. NI 18** Meracie stanoviska pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati vo vzdialenosti 4 m od električkovej trate.



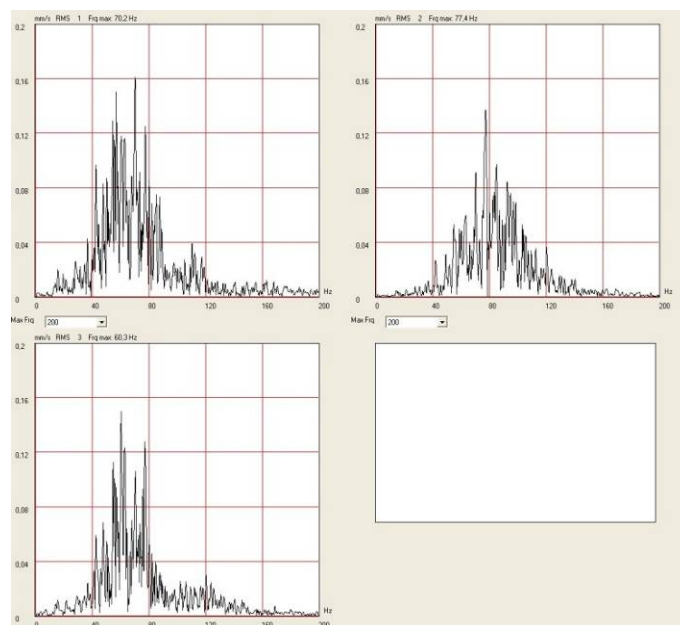
**Obr. NI 19** Meracie stanovisko pri meraní hluku a vibrácii na nezmodernizovanej električkovej trati vo vzdialenosti 12 m od električkovej trate.



**Obr. NI 20** Grafický záznam priebehu seizmického vlnenia v smere osi z, osi x a osi y zo dňa 18. decembra 2019 namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati pred obchodným domom Lidl vo vzdialenosti 4 m od koľaje.



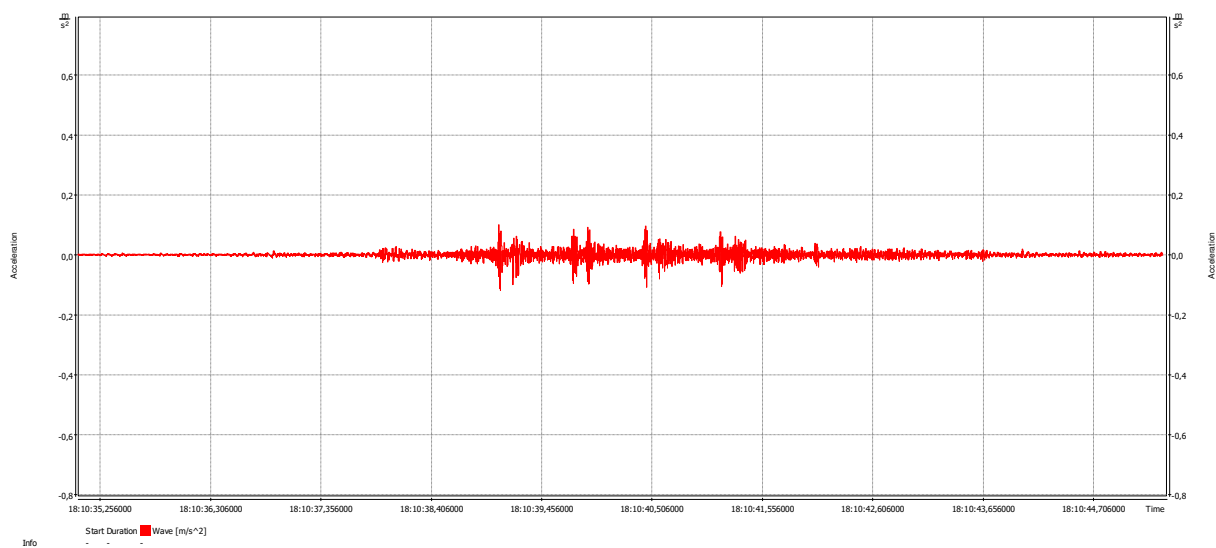
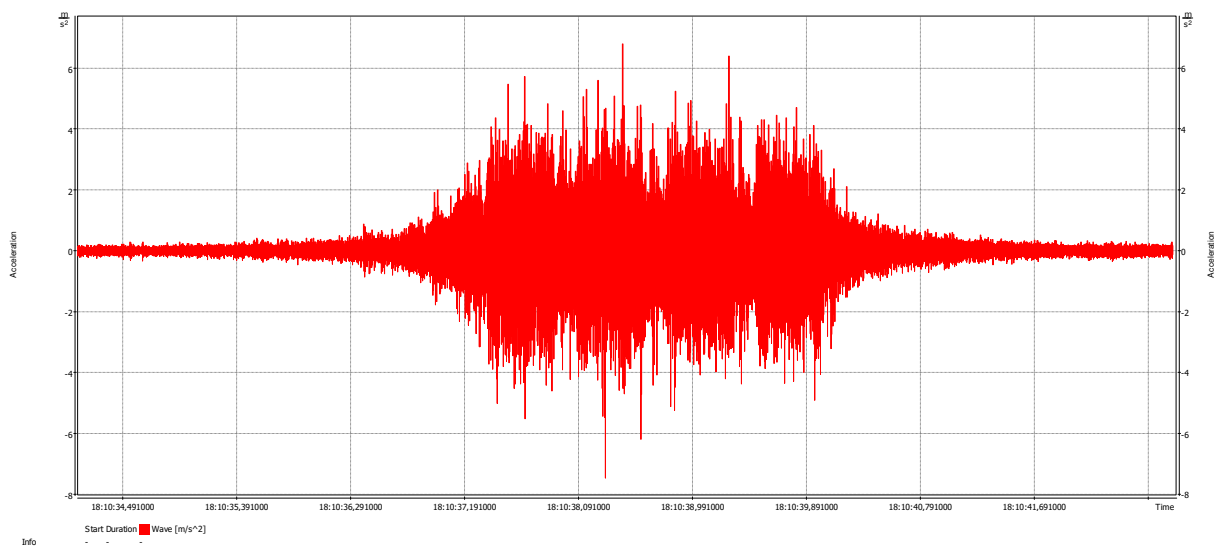
**Obr. NI 21** Spektrálna charakteristika jednotlivých zložiek seizmického vlnenia namerané pri prechode električky po nezmodernizovanej električkovej trati pred obchodným domom Lidl vo vzdialenosti 4 m od koľaje.



**Tab. NI.5** Namerané maximálne hodnoty frekvencií a rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek pri meraní technickej seizmicity od dopravy v Bratislave pred Lidlom dňa 18. 12. 2019 – 12 m od koľaje.

ČAS	X [mm. s <sup>-1</sup> ]	Y [mm. s <sup>-1</sup> ]	Z [mm. s <sup>-1</sup> ]	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
15:27:03	0,26	0,55	0,58	79	62	38
15:28:37	0,20	0,43	0,23	110	25	58
15:30:26	0,46	1,07	0,95	64	56	58
15:31:01	0,29	0,32	0,55	21	3	4,2
15:32:29	0,49	0,75	0,72	26	60	61
15:37:06	0,23	0,64	0,58	43	55	39
15:37:12	0,23	0,55	0,78	47	44	25
15:41:06	0,26	0,26	0,46	10	2,7	2,2
15:42:01	1,45	1,59	1,56	59	60	65
15:52:20	0,55	0,67	0,78	66	66	47

**Obr. NI 22** Porovnanie časového priebehu amplitúdy kmitania pri prejazde električky 29T vo vzdialenosti 0,5m a 15 m od stredu koľaje.



## Doporučenia

Na základe poznatkov z vykonaných analýz „in situ“ v Bratislave, Košiciach a v Prahe doporučujeme v záujmovom území pre plánovanú električkovú trať úsek Ružinovská radiála vykonať monitoringu hluku, vibrácií a otrasov na posúdenie zdravia ľudí a možného poškodenia budov, poprípade citlivých zariadení v budovách operatívne počas výstavby a v prvom roku po uvedení do prevádzky pre veličiny:

- ✓ ekvivalentná hladina A zvuku  $L_{Aeq,T}$ , vo vonkajšom prostredí chráneného územia
  - ✓ ekvivalentná hladina A zvuku  $L_{Aeq,T}$ , vo vnútorných priestoroch pre hluk z vonkajšieho prostredia
  - ✓ maximálna hladina A zvuku  $L_{Amax,T}$ , vo vnútorných priestoroch pre hluk z vnútorných zdrojov
  - ✓ ekvivalentná  $a_{weq,T}$  a maximálna  $a_{wmax,T}$  vážená hodnota zrýchlenia vibrácií a otrasov
  - ✓ efektívna  $v_{ef}$  a vrcholová  $v_{peak}$  rýchlosť vibrácií pre základovú pôdu, budovy a zariadenia v budovách v troch smeroch pre dominantné frekvencie určené z FFT analýzy
- Prejazdy električiek vytvárajú v chránenom vonkajšom prostredí záujmového územia zložku hluku šírenú vzduchom, ktorá je v okolí trate úsek Ružinovská radiála vyhodnotená jednotným verifikovaným predikčným modelom pre Európsku úniu CNOSSOS-EU v zmysle STN ISO 1996-2:2019

*Tento postup extrapolácie merania a výpočtu sa môže použiť v životnom prostredí pre zložku zvuku šírenú vzduchom lebo impedancia vzduchu je vo všetkých miestach konštantná a má charakter reálneho vlnového odporu. Prezentovaný grafický výstup z výpočtového modelu nám vizualizuje šírenie zložky hluku vzduchom od prejazdov električiek a dáva nám celkový prehľad pôsobenia v okolí električkovej trate. V záujmovom území navrhovanej električkovej trate sa nachádzajú chránené objekty, ktoré majú v súčasnom období prekročené hladiny hluku vo vonkajšom priestore pričom riešenie tejto nepriaznivej akustickej situácie je nutné riešiť v súčinnosti s prevádzkovateľom existujúcich pozemných komunikácií.*

*V prípade porovnania úseku Špitálska ulica oproti vetve trate úsek Ružinovská radiála sa vyskytujú miestne obmedzené rozdiely spôsobené prídavným hlukom škripania v zákrutách závislý od zakrivenia, trecích podmienok, rýchlosti električky, geometrie a dynamiky vzťahu koľaje a kolies. Tieto miestne rozdiely sú závislé od stavu údržby trate a zohľadňujú sa v spektre akustického výkonu hluku pridaním hodnoty do 8 dB pri všetkých frekvenciách. Údržbu trate počas prevádzky je nutné plánovať na základe monitoringu hluku, vibrácií a otrasov.*

*Vetva električkovej trate úsek Ružinovská radiála spôsobí oproti úseku Špitálska ulica rozdielny nárazový hluk, ktorý vzniká pôsobením prejazdu cez priecestia, výhybky a spoje koľajní. Nárazový hluk sa bude meniť v závislosti od sily a počtu nárazov pripadajúcich na jednotku dĺžky alebo v závislosti od hustoty spojov. V prípade väčšieho počtu nárazov sa hladina drsnosti nárazov overuje meraním „in situ“ a prejavuje sa v spektrách akustického výkonu.*

- Prejazdy električiek vyvolávajú vibrácie, ktoré sa šíria podložími do chránených miestností v budovách a následne môžu vyvolať akustickú odozvu. Identifikácia hluku šíreného podložími na rozdiel od hluku šíreného vzduchom vyžaduje súčasné merania hluku a vibrácií. Na základe zákona útlmu šírenia vln v horninovom prostredí identifikujeme potenciálne riziká pre šírenie vibrácií a otrasov vyvolaných koľajovou dopravou v záujmových územiach.

Pri šírení vln v tuhom prostredí sa impedančné pomery menia a majú komplexný charakter. Zmena rýchlosti šírenia ohybových a priečnych vln v závislosti na frekvencii a vyžarovanie zložky zvuku v takom prostredí v závislosti na vlastnostiach mechanických štruktúr neumožňuje používať extrapoláciu výsledkov merania pomocou výpočtu.

Zvýšené hodnoty maximálnej hladiny  $A$  zvuku  $L_{Amax,T}$  v chránených vnútorných priestoroch počas prejazdov električiek je nutné eliminovať návrhom konštrukcie električkovej trate s prihliadnutím na súčasný stav a charakter vozového parku električiek Dopravného podniku Bratislava. Od vlastnej frekvencie navrhnutého kmitajúceho systému hmota-pružina priamo závisí miera útlmu vibrácií takéhoto systému a tým splnenie požiadavky útlmu vibrácií. Vlastná frekvencia systému  $f_0$  musí byť čo najnižšia, teda  $f_0 \ll 63$  Hz.

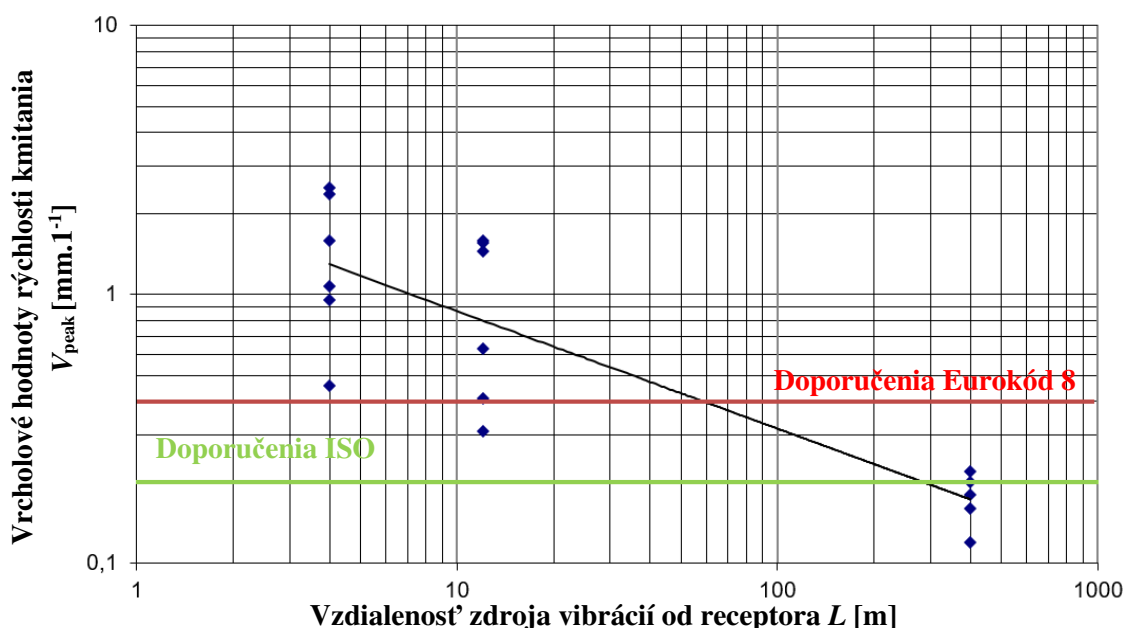
Na základe experimentálnych meraní prenosu hluku šíreného horninovým podložím sa určí požadovaná miera útlmu vibrácií. Je zrejme, že primárna oblasť generovania vibrácií električkovou dopravou je vo frekvenčnom pásme približne od 40 Hz do 80 Hz, z tohto dôvodu je nutné dosiahnuť maximálny útlm vibrácií pri strednej frekvencii tretinooktávového pásma  $f_i = 63$  Hz.

Na základe doterajších skúseností doporučujeme počas výstavby električkovej trate zriadiť akustický a vibračný dozor, ktorý by operatívnym meraním dynamických parametrov trate „in situ“ priebežne identifikoval prípadné defekty funkčnosti systému LMSS (light mass spring system) a predišiel by prípadným defektom pri výstavbe električkovej trate, čo je v súčasnosti vnímané ako hlavné riziko pri realizácii projekčného návrhu.

- Vážené zrýchlenie vibrácií v mieste zdržiavania sa ľudí má limitné hodnoty v zmysle naplnenia Vyhlášky MZ SR č. 237/2009 Z.z., ktorou sa dopĺňa Vyhláška č. 549/2007 Z.z. z 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.

Počas prejazdov električiek je nutné zabezpečiť kvalitu prostredia v chránených miestnostiach v budovách podľa skúseností z reálnej prevádzky električkových tratí získaných vyhodnotením priebežného monitoringu.

**Obr. NI 23** Zákon útlmu seizmických vln od električiek na nezmodernizovanej električkovej trati.



## SÚVISIACA A CITOVANÁ LITERATÚRA

- [1] DECKÝ, M., LEITNER, B., KORTIŠ, J., BUGALA, M., SOBOTA, J., Objektivizácia mechanického kmitania indukovaného cestnou dopravou, s. 279, 2019, ISBN 978-80-554-1555-0
- [2] HANDBOOK Track Greening, DVV Media Group GmbH, Hamburg, 2016, s. 200, ISBN 978-3-87154-576-4
- [3] Smernica komisie (EÚ) 2015/996 z 19. mája 2015, ktorou sa ustanovujú spoločné metódy posudzovania hluku podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2002/49/ES
- [4] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Modernizácia Dúbravsko – Karloveská radiála, Vi\_004\_2020, technický posudok za účelom zistenia a odstránenia nízkofrekvenčného zvuku na zmodernizovanom úseku Električkovej trate , v Žiline 2020
- [5] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nové električkové trate v Bratislave, Vi\_018\_2019, Posúdenie variantného riešenia uloženia električkovej trate pred SND s ohľadom akustických a seizmických vlastností vnútorného priestoru SND, v Žiline 2019
- [6] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nosný systém MHD, prevádzkový úsek Karloveská radiála, A\_259\_2019, meranie hluku, vibrácií a otrasov na zmodernizovanom úseku Električkovej trate , v Žiline 2019
- [7] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nové električkové trate v Bratislave A\_140\_2019, úsek Košická, úsek Prístavná, meranie hluku, vibrácií a otrasov, v Žiline 2019
- [8] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Polyfunkčný objekt rezidencia Hradný vrch A\_058\_2019, meranie hluku, vibrácií a otrasov, v Žiline 2019
- [9] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nosný systém MHD, prevádzkový úsek Janíkov dvor-Šafárikovo námestie v Bratislave, A\_110\_2018, úsek Košická, úsek Prístavná, meranie hluku, vibrácií a otrasov, v Žiline 2018
- [10] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: ŽSR, terminály integrovanej osobnej prepravy v Bratislave TIOP č. 1, 2, 3, 4, 5, 6 vibroakustické štúdie, v Žiline 2018
- [11] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nosný systém MHD, prevádzkový úsek Štúrova, A\_072\_2018, meranie hluku, vibrácií a otrasov, v Žiline 2018
- [12] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nosný systém MHD, prevádzkový úsek Špitálska, A\_071\_2018, , meranie hluku, vibrácií a otrasov, v Žiline 2018
- [13] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: konferencia Železniční mosty a tunely 2020 , poznatky z merania hluku, vibrácií a otrasov v historickej obci Stádice, v Žiline 2020
- [14] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Bohdalecká Projekt Development Praha A\_180\_2019, akreditované merania hluku, vibrácií a otrasov U plynárny Praha, v Žiline 2019
- [15] Klub ZPS vo vibroakustike,s.r.o.: Nové električkové trate v Bratislave, úsek Košická, A\_177\_2020, v Žiline 2020