

VIBROAKUSTICKÁ ŠTÚDIA

MODERNIZÁCIA ŽELEZNIČNEJ TRATE ŽILINA – KOŠICE, ÚSEK TRATE POPRAD TATRY (MIMO) – KROMPACHY

NOVEMBER 2019

Protokol: A_219_2019

1. VŠEOBECNÉ ÚDAJE	
Objednávateľ:	PRODEX spol. s r.o., Rusovská cesta 16, 851 01 Bratislava, SR
Predmet objednávky:	Vibroakustická štúdia rozboru vibroakustickej situácie v záujmovom území na základe výsledkov 3D analytickej hlukovej mapy záujmového územia a následného návrhu technických možností zníženia hluku a vibrácií za účelom naplnenia limitov hluku a vibrácií
	v obytnom území Markušovce – Spišská Nová Ves – Poprad od prevádzky na železničnej trati.
Dátum merania:	1.5.2019, 31.10.2019, 13/14.11.2019
Meranie vykonal:	Ing. Ján Šimo, CSc., Ing. Ján Sobota
Protokol vypracoval:	Ing. Ján Sobota, Ing. Mgr. Michal Bugala, Ing. Marianna Kolibíková
Protokol schválil vedúci pracoviska:	Ing. Ján Šimo, CSc.

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

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Cieľom vibroakustickej štúdie je navrhnuť technické možnosti zníženia hluku, vibrácií a otrasov v obytnom území Markušovce – Spišská Nová Ves – Poprad od prevádzky na železničnej trati v zmysle naplnenia zákona č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia, vyhlášky č.237/2009 Z.z., ktorou sa dopĺňa vyhláška č. 549/2007 Z. z., ustanovujúca podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií, na základe vyhodnotených meraní hluku, vibrácií a otrasov „in situ“ v záujmovom území.

V prípade, ak predikciou vo vonkajšom chránenom priestore okolia sledovaného úseku a dotknutých komunikácií bude zistené prekračovanie prípustných hodnôt určujúcej veličiny pre hluk zo železničnej dopravy vo vonkajšom chránenom priestore daných vyhláškou MZ SR č. 549/2007 Z. z. v znení neskorších predpisov, navrhujeme protihlukové opatrenia s cieľom dosiahnuť plnenie prípustných hodnôt.

Dielo je vyhotovené v súlade s platnými právnymi predpismi, platným záverečným stanoviskom podľa zákona č. 24/2006 Z. z., jednotnou výpočtovou metodikou CNOSSOS-EU, ktorá je stanovená Smernicou Komisie (EÚ) 2015/996 v súlade so smernicou Európskeho parlamentu a Rady 2002/49ES a technickými normami STN 73 0532, STN ISO 1996-1 a STN ISO 1996-2.

Kontinuálne 24-hodinové merania existujúceho stavu podľa platnej legislatívy a technických noriem pri existujúcej zástavbe, kde sa očakáva zmena po výstavbe predmetnej železničnej trate budú slúžiť pre kvantifikáciu súčasného stavu, kontrolu a nastavenie výpočtového modelu.

Pri predikcii hlukovej záťaže je použitý predikčný model v zmysle metodiky CNOSSOS-EU. Nastavenie modelu (faktor terénu „G“, meteorologické podmienky pre predikciu, nastavenie reflexie a pod.), pre ktoré bola predikcia realizovaná, a jeho verifikácia vo forme meraní súčasného stavu, sú doložené v štúdií. Na vytvorenie matematického modelu použitého pri výpočte hlukovej záťaže a modelovaní šírenia zvuku od zdroja k miestu príjmu je použitý 3D model územia okolia plánovanej železničnej trate s presnosťou stanovenia terénneho modelu 1 m. Použitá metodológia výpočtu hluku na fasádach budov, ktoré treba chrániť v zmysle platnej legislatívy vychádza z variantu šírenia hluku od prevádzky železničnej trate bez protihlukových opatrení a optimalizácie návrhu protihlukových opatrení až do nájdenia optimálneho variantu.

Vibrácie a otrasy z hľadiska vplyvu na zdravie ľudí v chránených miestnostiach v budovách na miestach zdržiavania sa ľudí sa kontrolujú na základe vyhodnotenia ekvivalentného a_{weq} a maximálneho a_{wmax} váženého zrýchlenia vibrácií vo frekvenčnom rozsahu od 1 Hz do 80 Hz v troch smeroch x, y a z.

Kmitanie budov, konštrukcií a citlivosti zariadenia v budovách z hľadiska vplyvu technickej seizmicity sa hodnotí pri základoch budovy, poprípade pri konštrukcii a zariadení. Ďalšie meracie body závisia od rozmerov budovy a požiadaviek hodnotenia. Základnou fyzikálnou veličinou je efektívna v_{ef} a vrcholová v_{peak} hodnota rýchlosti kmitania vo frekvenčnom rozsahu od 1 Hz do 1 kHz určená z FFT analýzy v troch smeroch x, y a z.

Meranie rýchlosti kmitania sa vykonáva v súlade s STN ISO 4866 + Amd 1 + Amd 2 Pokyny na meranie kmitania a hodnotenie jeho vplyvov na budovy, STN ISO 8569 Merania a hodnotenia vplyvov otrasu a kmitania na citlivosť zariadenia v budovách.

Vyhodnotenie efektívnej v_{ef} hodnoty rýchlosti kmitania na seizmické zaťaženie dlhšie trvajúce rázové, prípadne ustálené periodické zaťaženie pre zdokumentovanie medzných stavov sa vykoná porovnaním posudzovanej hodnoty efektívnej rýchlosti kmitania v_{ef} podľa triedy odolnosti a triedy významnosti hodnotených objektov podľa _Eurokódu 8 STN EN 1998-1/NA/Z1

Celkové posúdenie výsledkov merania a predikcie je v zmysle zákona Národnej rady Slovenskej republiky č. 355/2007 Z.z. z 21. júna 2007 o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v plnej právomoci príslušného orgánu verejného zdravotníctva.

3. MERANIE HLUKU, VIBRÁCIÍ A OTRASOV „IN SITU“

3.1 Meranie hluku

3.1.1 Metóda merania

Meranie hluku bolo vykonané v zmysle naplnenia 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 a internej smernice akreditovaného laboratória Klubu ZPS vo vibroakustike, s.r.o. IS-OOFF/01.

Metódou spojitely integrácie sme zaznamenali pomocou monitorovacej stanice celkový zvuk (úplne obklopujúci zvuk v danej situácii v danom čase, zvyčajne zvuk zložený z viacerých blízkych a vzdialených zdrojov, v zmysle STN ISO 1996-1), z ktorého sme následne s použitím časového záznamu, vizuálneho a zvukového záznamu vyjadrili špecifický zvuk z pozemnej dopravy (pomocou substrakcie hodnôt sledovanej veličiny). Pripočítaním rozšírenej neistoty merania k špecifickému zvuku sme vyjadrili posudzovanú hodnotu pre referenčný časový interval deň 06:00 h – 18:00 h (12h) a časový interval večer 18:00h – 22:00 h (4h).

3.1.2 Zoznam použitého prístrojového vybavenia

Meradlá a meracie zariadenia použité na meranie, overené akreditovaným kalibračným laboratóriom v zmysle platných metrologických predpisov:

Typ meradla	Výrobca	Výr. číslo	Kalibračný certifikát	Platnosť overenia
Zvukomer Nor-118	Norsonic	31538	18096	07.03.2020
merací mikrofón MK 221	Microtech Gefell	11492	18096.2	07.03.2019
Zvukomer Nor-118	Norsonic	28904	17451	04.09.2019
merací mikrofón Nor-1225	Norsonic	33213	17451.2	03.09.2018
Zvukomer Nor-118	Norsonic	30631	17082	22.02.2019
Merací mikrofón Nor-1225	Norsonic	41493	18099	06.03.2019
Akustický kalibrátor Nor-1251	Norsonic	32300	17578	05.11.2018
Termický anemometer T405-V1: 0560.4053	Testo AG	41500288/110	0404/18,0405/18	31.01.2023
Vlhkometer T605-H1: 0560.6053	Testo AG	41102100/112	1219/12	19.06.2019

3.1.3 Neistota merania

Neistota merania $U = 1,8$ dB, je určená v zmysle IS-OOFF/13.

3.1.4 Prípustné hodnoty určujúcich veličín

Podľa Vyhlášky MZ SR č.549/2007 príloha k vyhláške Tab. č.1 prípustné hodnoty určujúcich veličín hluku vo vonkajšom prostredí pre hluk z dopravy: železničné dráhy

- kategória územia II.: $L_{Aeq,p,deň} = 50$ dB, $L_{Aeq,p,večer} = 50$ dB, $L_{Aeq,p,noc} = 45$ dB
- kategória územia III. : $L_{Aeq,p,deň} = 60$ dB, $L_{Aeq,p,večer} = 60$ dB, $L_{Aeq,p,noc} = 55$ dB
- kategória územia IV. : $L_{Aeq,p,deň} = 70$ dB, $L_{Aeq,p,večer} = 70$ dB, $L_{Aeq,p,noc} = 70$ dB

3.1.5 Objektivizácia

Posudzovaná hodnota – z nameranej celkovej hodnoty zvuku vyjadrená hodnota špecifického zvuku od pozemnej dopravy zväčšená o hodnotu neistoty merania $U = (+1,8 \text{ dB})$, t.j. v súlade s IS-OOFF/13.

$$L_{RAeq,T} = (L_{pAeq,T} + U)$$

Podľa zákona č.355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov **objektivizáciu** expozície obyvateľov a ich prostredia hluku, infrazvuku a vibráciám môžu vykonávať len osoby odborne spôsobilé na činnosť podľa § 15 ods. 1 písm. a) a ktoré sú držiteľom osvedčenia o akreditácii podľa § 16 ods. 4 písm. b).

3.1.6 Výsledky merania a hodnotenie

Tab.3.1.6 Namerané hodnoty a zo špecifického hluku vyjadrené posudzované hodnoty – viď odsek 3.1.7 až 3.1.9 *grafické výstupy z 24-hodinových meraní hluku.*

Merací bod	Referenčný časový interval T	Nameraný celkový zvuk $L_{pAeq,T}$ [dB]	Posudzovaná hodnota od železničnej dopravy $L_{RAeq,T}$ [dB]	Kategória územia / Prípustné hodnoty [dB]	Prekročenie PH (prípustnej hodnoty)
MH1	večer	59,8	60,9	III / 60	je prekročená
	noc	59,4	61,2	III / 55	je prekročená
	deň	60,7	61,8	III / 60	je prekročená
MH2	večer	69,9	70,8	III / 60	je prekročená
	noc	70,6	71,9	III / 55	je prekročená
	deň	71,4	72,8	III / 60	je prekročená
MH3	večer	65,8	66,0	III / 60	je prekročená
	noc	65,0	65,8	III / 55	je prekročená
	deň	66,0	66,8	III / 60	je prekročená

MH1 Gánovce, ulica Filická, č.p. 4, vo vzdialenosti cca 90m od existujúcej železničnej trate

MH2 Letanovce, ulica Nižná, č.p. 23, vo vzdialenosti cca 10m od existujúcej železničnej trate

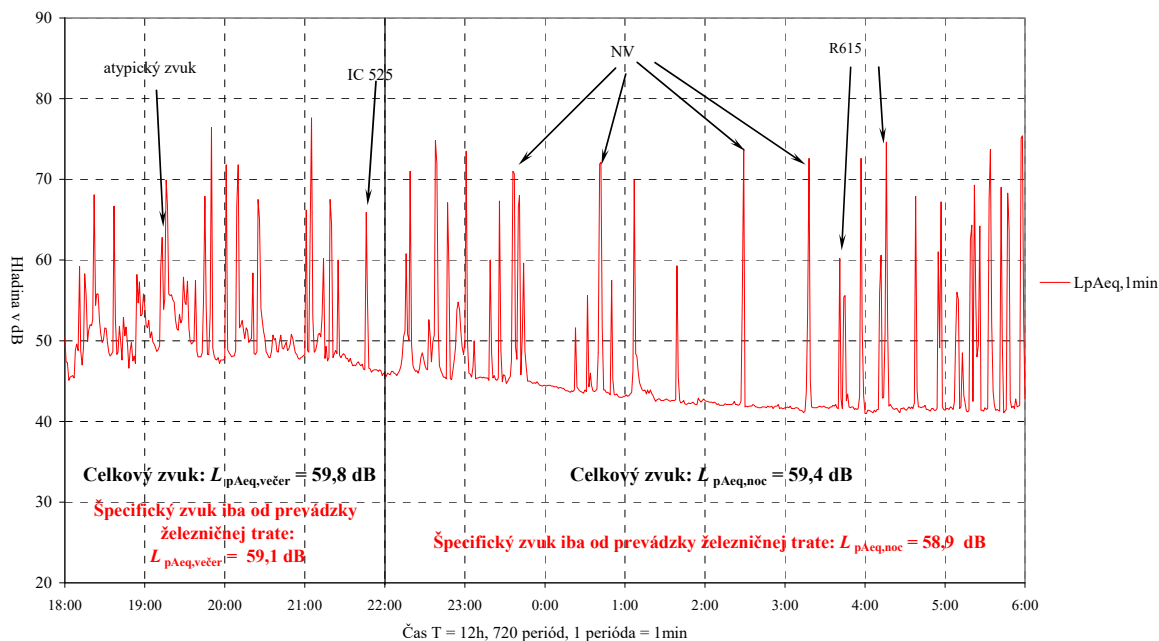
MH3 Smižany, ulica Záhradky, č.p. 36, vo vzdialenosti cca 40m od existujúcej železničnej trate

3.1.7 MH1 – RD, ul. Filická, č.p. 4, Gánovce – Filice

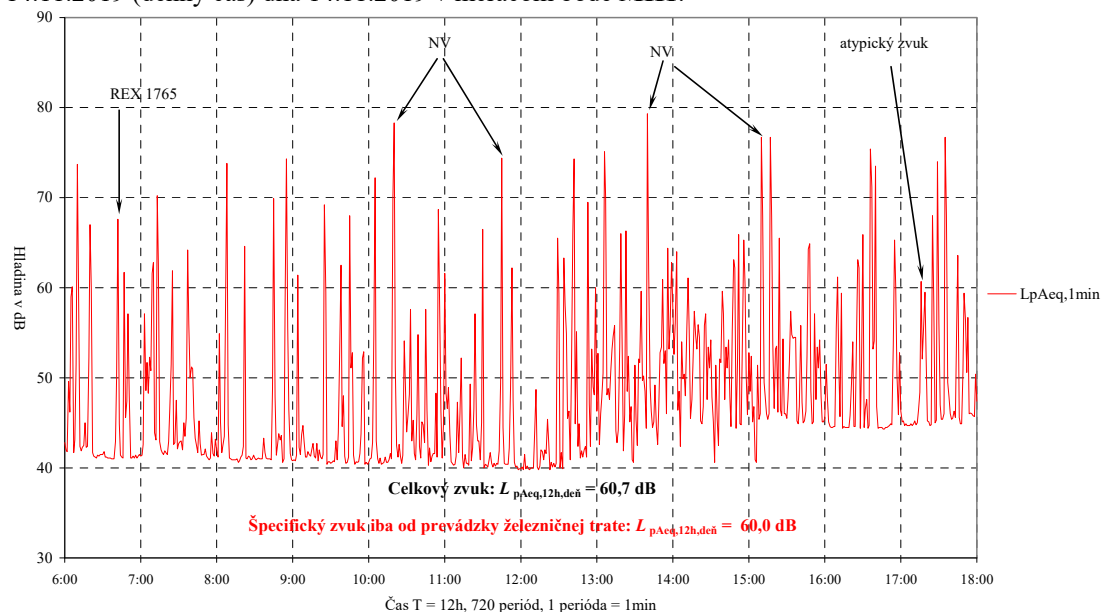
- 2m pred oknom na 2. NP rodinného domu;
- vo vzdialenosti cca 90 m od železničnej trate
- vo vzdialenosti cca 15 m od ul. Filická
- GPS objektu: 49°024394 S 20°314586 V



Obr. 3.1.7.1 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T=4h$ od 18:00 hod do 22:00 hod dňa 13.11.2019 (večerný čas) a v čase $T=8h$ od 22:00 hod do 06:00 hod dňa 13 a 14.11.2019 (nočný čas) v meracom bode **MH1**.



Obr. 3.1.7.2 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T=12h$ od 06:00 hod do 18:00 hod dňa 14.11.2019 (denný čas) dňa 14.11.2019 v meracom bode **MH1**.

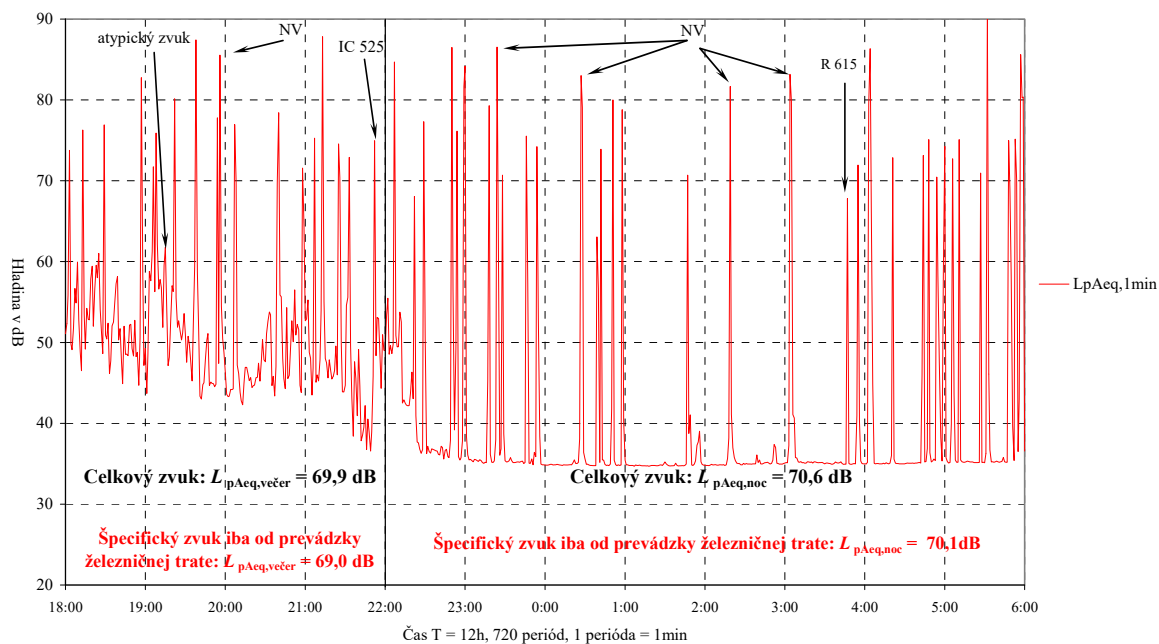


3.1.8 MH2 – RD, ul. Nižná, č.p. 23, Letanovce

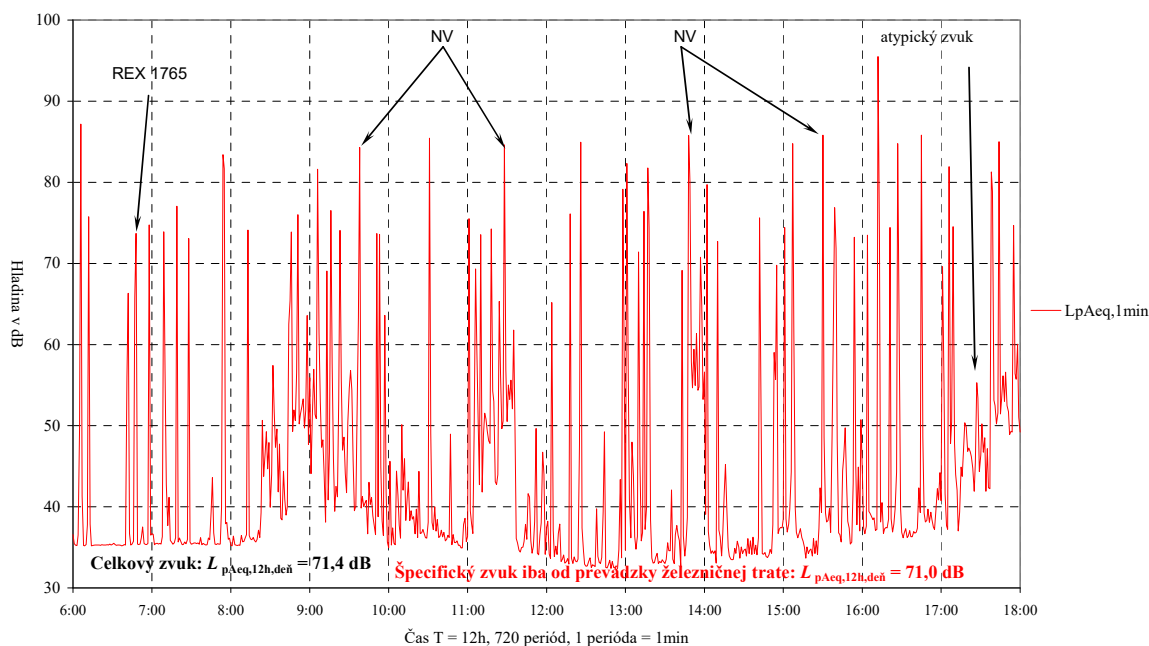
- 2m pred oknom na 1. NP rodinného domu;
- vo vzdialenosti cca 10 m od železničnej trate
- vo vzdialenosti cca 55 m od ul. Slovenského raja
- GPS objektu: 48°973836 S 20°460572 V



Obr. 3.1.8.1 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T = 4h$ od 18:00 hod do 22:00 hod dňa 13.11.2019 (večerný čas) a v čase $T = 8h$ od 22:00 hod do 06:00 hod dňa 13 a 14.11.2019 (nočný čas) v meracom bode MH2.



Obr. 3.1.8.2 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T = 12h$ od 06:00 hod do 18:00 hod dňa 14.11.2019 (denný čas) dňa 14.11.2019 v meracom bode MH2.

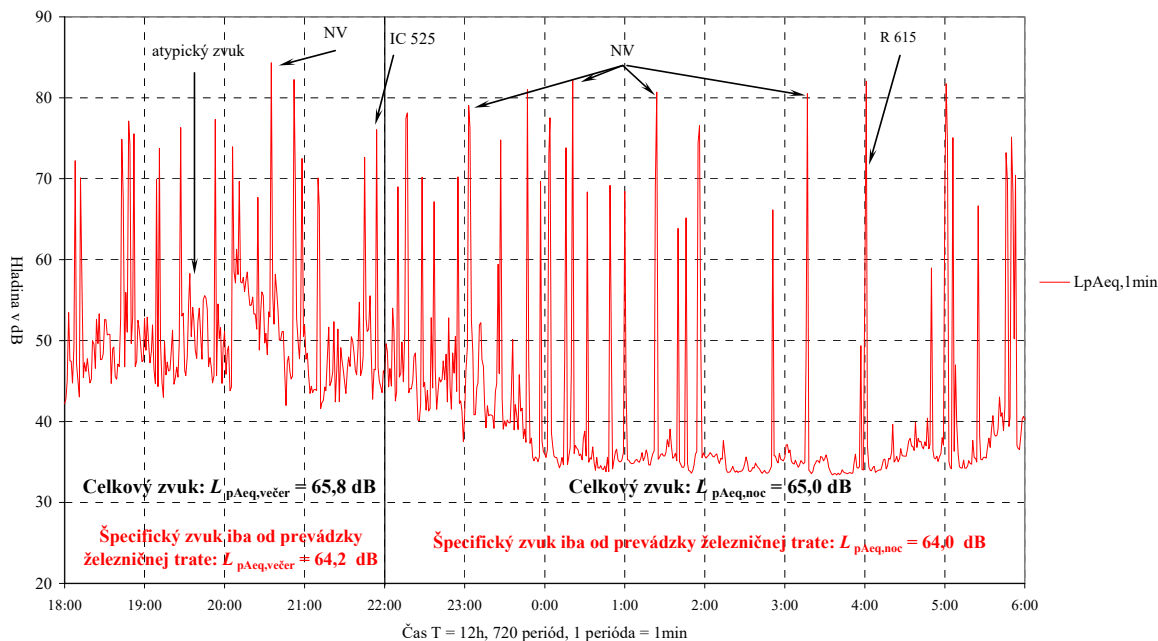


3.1.9 MH3 – RD, ul. Záhradky, č.p. 36, Smižany

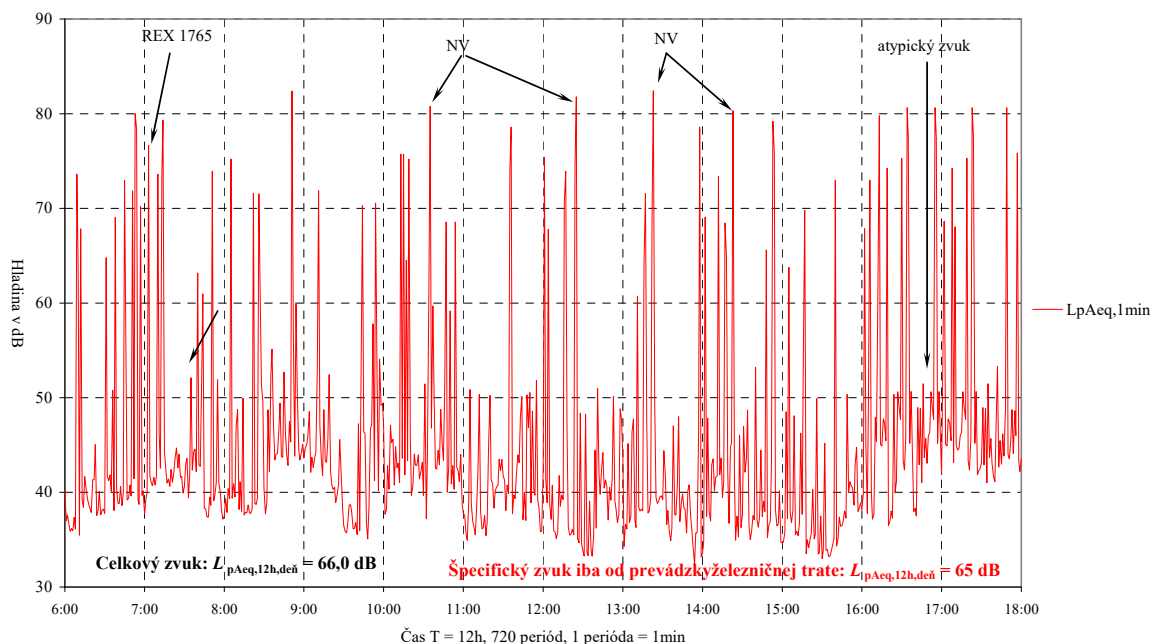
- 2m pred oknom na 1. NP rodinného domu;
- vo vzdialenosti cca 38 m od železničnej trate
- vo vzdialenosti cca 8 m od ul. Záhradky
- GPS objektu: 48°57'14,2'' S 20° 30'27,0'' V



Obr. 3.1.9.1 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T=4h$ od 18:00 hod do 22:00 hod dňa 13.11.2019 (večerný čas) a v čase $T=8h$ od 22:00 hod do 06:00 hod dňa 13 a 14.11.2019 (nočný čas) v meracom bode **MH3**.



Obr. 3.1.9.2 Časový priebeh ekvivalentných hladín hluku $L_{pAeq,1min}$ v čase $T=12h$ od 06:00 hod do 18:00 hod dňa 14.11.2019 (denný čas) dňa 14.11.2019 v meracom bode **MH3**.



3.2 Meranie vibrácií a otrasov

3.2.1 Metóda merania

Vibrácie a otrasy z hľadiska vplyvu na zdravie ľudí sa hodnotia minimálne 24 hodín počas časového intervalu večer, noc a deň v chránených miestnostiach v budovách na miestach zdržiavania sa ľudí.

Základnou fyzikálnou veličinou je ekvivalentné a_{weq} a maximálne a_{wmax} vážené zrýchlenie vibrácií vo frekvenčnom rozsahu od 1 Hz do 80 Hz v troch smeroch x, y a z.

Meranie a vyhodnotenie zrýchlenia vibrácií sa vykonáva 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 v súlade s STN ISO 2631-1:1999, pričom posudzovaná hodnota je vzťahovaná na referenčný časový interval, tento pre deň trvá od 6.00 h do 18.00h (12h), pre večer od 18.00h do 22.00h (4h) a pre noc od 22.00h do 6.00h (8h).

3.2.2 Zoznam použitého prístrojového vybavenia

Meradlá a meracie zariadenia použité na meranie, overené akreditovaným kalibračným laboratóriom v zmysle platných metrologických predpisov:

Typ meradla	Výrobca	Výr. číslo	Certifikát o overení	Dátum platnosti
Vibromer Svan 979	Svantek	45278	16414	23.08.2021
Snímač vibrácií SV81	Svantek	D6464	16414	23.08.2021
Vibromer Svan 958 „B“	Svantek	36632	15125	15.04.2020
Snímač vibrácií SV84	Svantek	D2276	15125.2	15.04.2020
Kalibrátor mechanického kmitania VC11	Metra Mess - und Frequenztechnik	005152	16418	24.08.2021
Termický anemometer T405-V1: 0560.4053	Testo AG, Lenzkirch	41500288/110	0404/18, 0405/18	31.01.2023
Vlhkomer T605-H1: 0560.6053	Testo AG, Lenzkirch	41102100/112	2019/2984	04.07.2024

3.2.3 Neistota merania

Neistota merania $U=20\%$ v zmysle IS-OOFF/14.

3.2.4 Prípustné hodnoty určujúcich veličín zrýchlenia vibrácií

Podľa Vyhlášky MZ SR č. 549/2007 Tab. č. 4 pre obytné miestnosti, ubytovne, domovy dôchodcov, pre referenčný časový interval:

$$\begin{array}{ll}
 \text{večer:} & a_{\text{weq,p}} = 0,008 \text{ m.s}^{-2}, a_{\text{wmax,p}} = 0,11 \text{ m.s}^{-2} \\
 \text{noc:} & a_{\text{weq,p}} = 0,005 \text{ m.s}^{-2}, a_{\text{wmax,p}} = 0,05 \text{ m.s}^{-2} \\
 \text{deň:} & a_{\text{weq,p}} = 0,008 \text{ m.s}^{-2}, a_{\text{wmax,p}} = 0,11 \text{ m.s}^{-2}
 \end{array}$$

3.2.5 Objektivizácia

Posudzovaná hodnota – nameraná hodnota určujúcej veličiny zrýchlenia vibrácií rozšírená o neistotu merania U , ktorá je určená v súlade s metrologickou praxou.

- vážené ekvivalentné a maximálne zrýchlenie vibrácií vo vnútornom prostredí budov

$$\begin{aligned}
 a_{\text{Rweq,T}} &= (a_{\text{weq,T}} + U) \\
 a_{\text{Rwmax,T}} &= (a_{\text{wmax,T}} + U)
 \end{aligned}$$

Podľa zákona č.355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov **objektivizáciu** expozície obyvateľov a ich prostredia hluku, infrazvuku a vibráciám môžu vykonávať len osoby odborne spôsobilé na činnosť podľa § 15 ods. 1 písm. a) a ktoré sú držiteľom osvedčenia o akreditácii podľa § 16 ods. 4 písm. b).

3.2.6 Výsledky merania a hodnotenie

Tab.3.2.6.1 Posudzované ekvivalentné a maximálne hodnoty zrýchlenia vibrácií vo vnútornom prostredí budov.

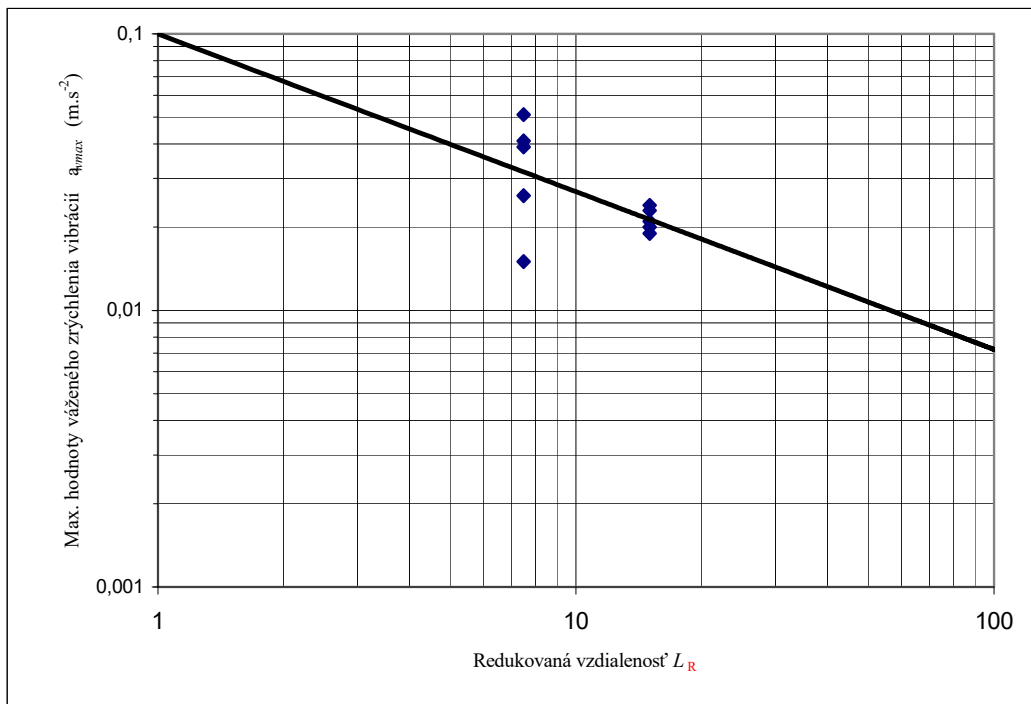
Mera cí bod	Referenčný časový interval T	Posudzovaná hodnota $a_{R,weq}$ [$m.s^{-2}$]	Posudzovaná hodnota $a_{R,wmax}$ [$m.s^{-2}$]	Prípustné hodnoty		Prekročenie PH (prípustnej hodnoty)	
				a_{weq} [$m.s^{-2}$]	a_{wmax} [$m.s^{-2}$]	a_{weq} [$m.s^{-2}$]	a_{wmax} [$m.s^{-2}$]
MV1	večer	0,0001	0,002	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0002	0,001	0,005	0,05	nie je prekročená	nie je prekročená
	deň	0,0001	0,003	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
MV2	večer	0,0040	0,060	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0020	0,070	0,005	0,05	nie je prekročená	je prekročená
	deň	0,0030	0,060	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
MV3	večer	0,0010	0,002	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0020	0,002	0,005	0,05	nie je prekročená	nie je prekročená
	deň	0,0010	0,004	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená

MV1 Gánovce, ulica Filická, č.p. 4, vo vzdialenosti cca 90m od existujúcej železničnej trate

MV2 Letanovce, ulica Nižná, č.p. 23, vo vzdialenosti cca 10m od existujúcej železničnej trate

MV3 Smižany, ulica Záhradky, č.p. 36, vo vzdialenosti cca 40m od existujúcej železničnej trate

Obr. 3.2.6.1 Experimentálne stanovenie zákona útlmu seizmických vln priamym meraním závislosti maximálneho váženého zrýchlenia vibrácií a_{wmax} na redukovanej vzdialenosti L_R .



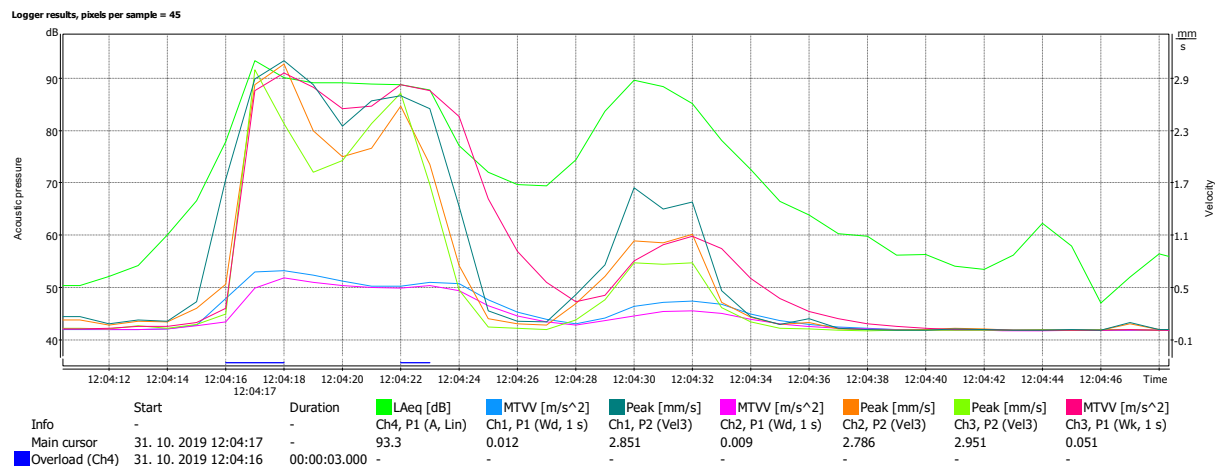
3.2.7 Experimentálne merania a zákon útlmu maximálneho váženého zrýchlenia vibrácií na redukovanej vzdialenosti v dominantnom smere šírenia „z“

Prevádzka železničnej trate ako zdroj technickej seizmicity vyvolá seizmické účinky, ktoré sa prenosovým prostredím šíria k receptoru, v našom prípade do konštrukcie budovy Letanovce, ulica Nižná, č.p. 23. Volíme paralelné meracie body MV2a vo vzdialenosti $r_1 = 7,5\text{m}$ a MV2b vo vzdialenosti $r_2 = 15\text{m}$, v ktorých zaznamenávame hodnoty maximálneho $a_{w\max}$ váženého zrýchlenia vibrácií v dominantnom smere šírenia „z“. Na základe získaných údajov prezentujeme zákon útlmu šírenia zrýchlenia zrýchlenia vibrácií v danom podloží.

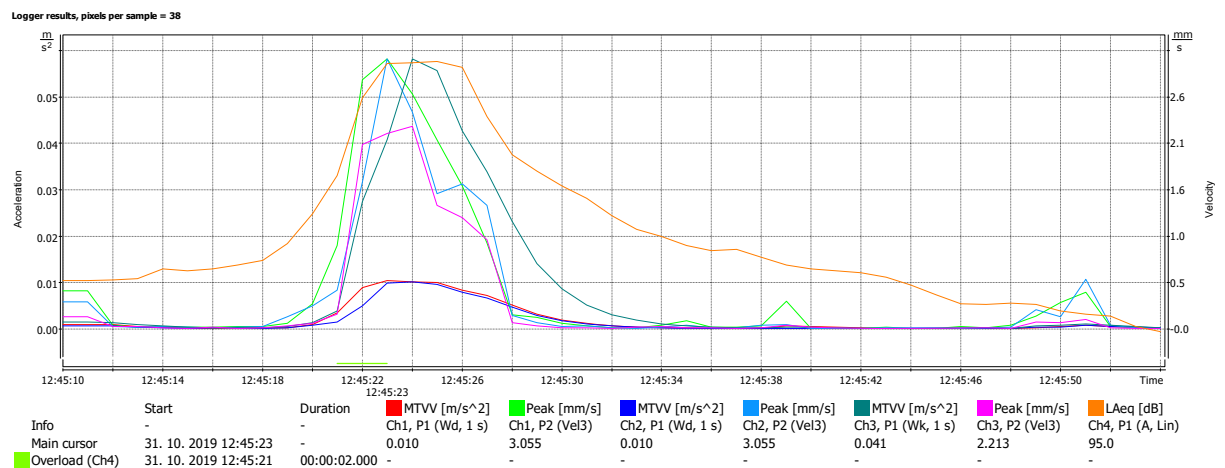
Tab.3.2.7.1 Maximálne hodnoty zrýchlenia vibrácií vo zvolených meracích bodoch MV2a a MV2b počas prejazdov vlakov.

Prejazdy vlakov	MV2a (7,5m) $a_{w\max} [\text{m.s}^{-2}]$	MV2b (15m) $a_{w\max} [\text{m.s}^{-2}]$
1a) 12:04:17 smer PP (R+6)	„X“ 0,012	0,003
	„Y“ 0,009	0,003
	„Z“ 0,051	0,013
1b) 12:04:30 smer KE (NV+3)	„X“ 0,005	0,001
	„Y“ 0,003	0,0007
	„Z“ 0,015	0,003
2) 12:45:23 smer PP (R+ 4)	„X“ 0,010	0,003
	„Y“ 0,010	0,003
	„Z“ 0,041	0,011
3) 13:07:04 smer PP (R+10)	„X“ 0,011	0,003
	„Y“ 0,011	0,003
	„Z“ 0,039	0,012
4) 13:22:30 smer KE (R+10)	„X“ 0,012	0,002
	„Y“ 0,007	0,002
	„Z“ 0,047	0,009
5) 13:31 smer KE (OV+ 5)	„X“ 0,010	0,002
	„Y“ 0,006	0,001
	„Z“ 0,026	0,008

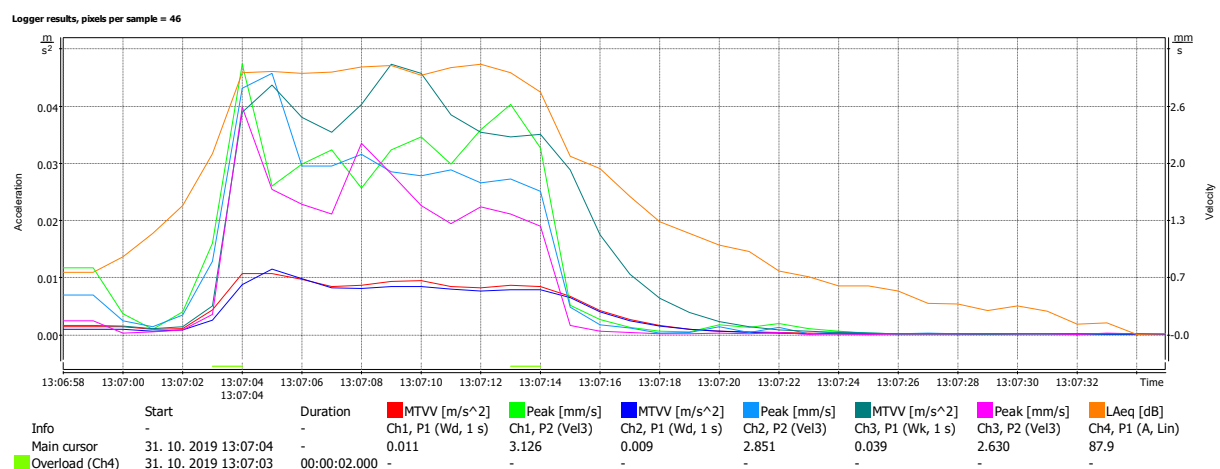
Obr. 3.2.7.1 Časový priebeh hladín vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} , váženého maximálneho zrýchlenia a_{wmax} a akustického tlaku $A L_{\text{Aeq},1s}$ prejazd 1a) a 1b).



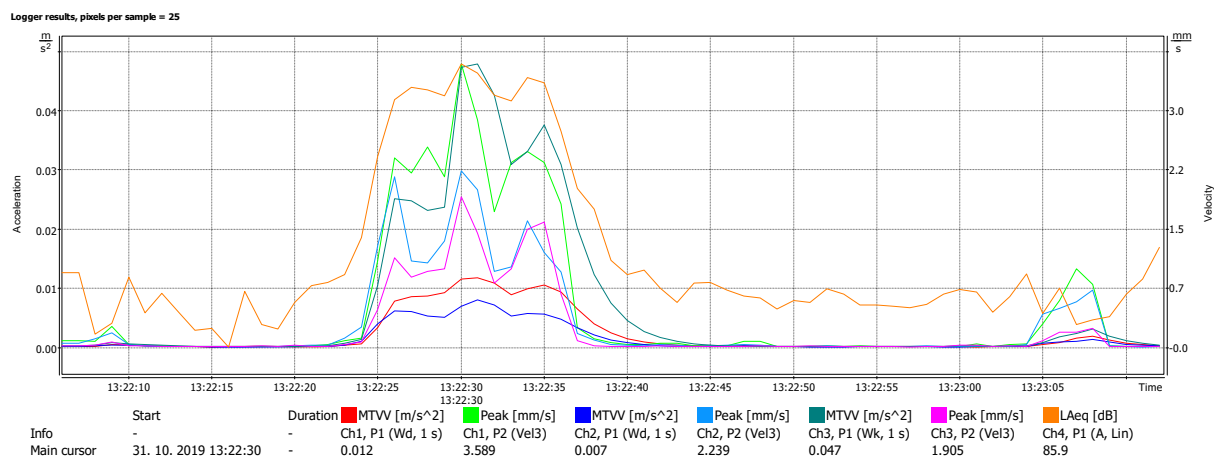
Obr. 3.2.7.2 Časový priebeh hladín vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} , váženého maximálneho zrýchlenia a_{wmax} a akustického tlaku $A L_{\text{Aeq},1s}$ prejazd 2).



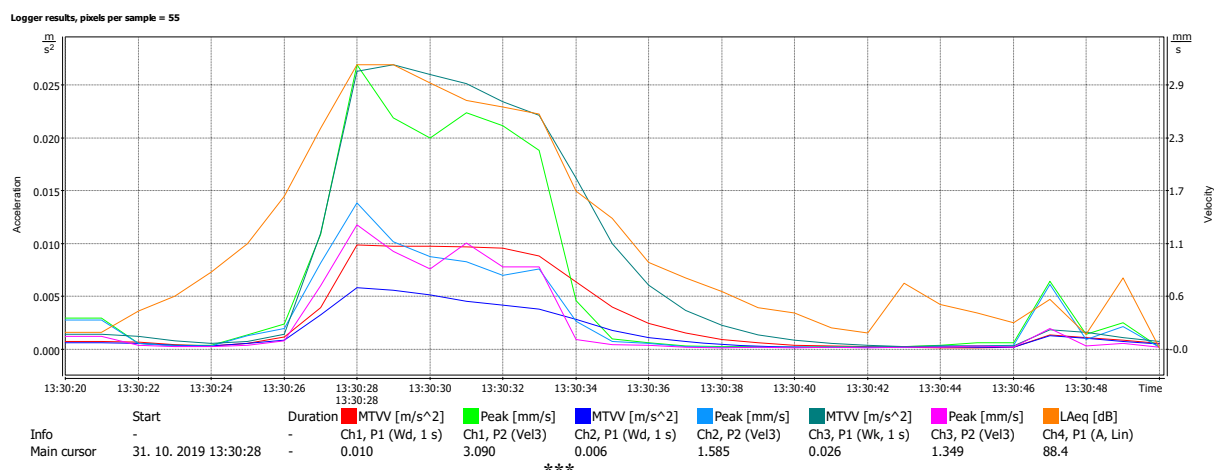
Obr. 3.2.7.3 Časový priebeh hladín vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} , váženého maximálneho zrýchlenia a_{wmax} a akustického tlaku $A L_{\text{Aeq},1s}$ prejazd 3).



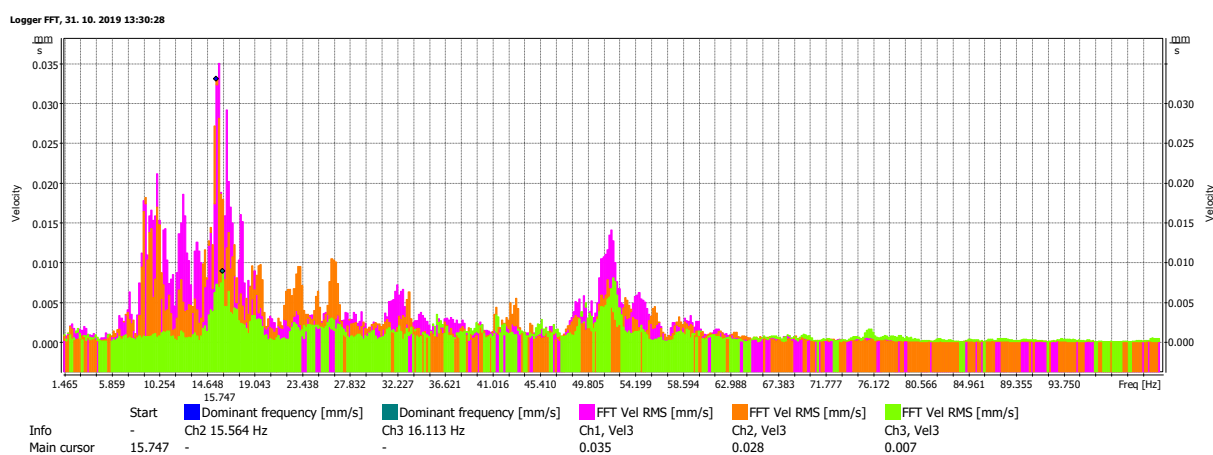
Obr. 3.2.7.4 Časový priebeh hladín vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} , váženého maximálneho zrýchlenia a_{wmax} a akustického tlaku $A L_{\text{Aeq,1s}}$ prejazd 4).



Obr. 3.2.7.5 Časový priebeh hladín vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} , váženého maximálneho zrýchlenia a_{wmax} a akustického tlaku $A L_{\text{Aeq,1s}}$ prejazd 5).



Obr. 3.2.7.6 FFT analýza pre prejazd osobného vlaku smer Košice Prejazd 5).



3.3 Meranie kmitania a otrasov

3.3.1 Metóda merania rýchlosti kmitania a otrasov

Kmitanie budov, konštrukcií a citlivosti zariadenia v budovách z hľadiska vplyvu technickej seizmicity sa hodnotí dlhodobo, minimálne 24 hodín pri základoch budovy, poprípade pri konštrukcii a zariadení. Ďalšie meracie body závisia od rozmerov budovy a požiadaviek hodnotenia.

Základnou fyzikálnou veličinou je efektívna v_{ef} a vrcholová v_{peak} hodnota rýchlosti kmitania vo frekvenčnom rozsahu od 1 Hz do 1 kHz určená z FFT analýzy v troch smeroch x, y a z.

Meranie rýchlosti kmitania sa vykonáva v súlade s STN ISO 4866 + Amd 1 + Amd 2 Pokyny na meranie kmitania a hodnotenie jeho vplyvov na budovy, STN ISO 8569 Merania a hodnotenia vplyvov otrasu a kmitania na citlivosť zariadenia v budovách.

Vyhodnotenie efektívnej v_{ef} hodnoty rýchlosti kmitania na seizmické zaťaženie dlhšie trvajúce rázové, prípadne ustálené periodické zaťaženie pre zdokumentovanie medzných stavov sa vykoná porovnaním posudzovanej hodnoty efektívnej rýchlosti kmitania v_{ef} podľa triedy odolnosti a triedy významnosti hodnotených objektov podľa Eurokódu 8 STN EN 1998-1/NA/Z1

Vyhodnotenie vrcholovej v_{peak} hodnoty rýchlosti kmitania na seizmické zaťaženie v prípade otrasov sa vykoná porovnaním posudzovaných vrcholových hodnôt rýchlosti kmitania v_{peak} v troch smeroch pre dominantné frekvencie určené z FFT analýzy s hodnotami pre orientačné závislosti stupňa poškodenia stavebných objektov vplyvom trhacích prác pre jednotlivé triedy odolnosti objektov a druhy horninového prostredia/ základovej pôdy.

3.3.2 Zoznam použitého prístrojového vybavenia

Meradlá a meracie zariadenia použité na meranie, overené akreditovaným kalibračným laboratóriom v zmysle platných metrologických predpisov:

Typ meradla	Výrobca	Výr. číslo	Certifikát o overení	Dátum platnosti
Vibromer Svan 979	Svantek	45278	16414	23.08.2021
Snímač vibrácií SV81	Svantek	D6464	16414	23.08.2021
Vibromer Svan 958 „B“	Svantek	36632	15125	15.04.2020
Snímač vibrácií SV84	Svantek	D2276	15125.2	15.04.2020
Kalibrátor mechanického kmitania VC11	Metra Mess - und Frequenztechnik	005152	16418	24.08.2021
Termický anemometer T405-V1: 0560.4053	Testo AG, Lenzkirch	41500288/110	0404/18, 0405/18	31.01.2023
Vlhkomer T605-H1: 0560.6053	Testo AG, Lenzkirch	41102100/112	2019/2984	04.07.2024

3.3.3 Neistota merania

Neistota merania $U = 20\%$ v zmysle IS-OOFF/14.

3.3.4 Prípustné hodnoty určujúcich veličín rýchlosti kmitania a otrasov

Podľa Eurokódu 8 STN EN 1998-1/NA/Z1 posúdenie dynamickej odozvy spôsobenej technickou seizmicitou z hľadiska I. medzného stavu netreba ďalej analyzovať, pokiaľ na referenčnom stanovisku nie je prekročená medzná hodnota efektívnej rýchlosti pre:

- triedu odolnosti objektu **B** a triedu významnosti objektu **IV**

medzná hodnota efektívnej rýchlosti kmitania $v_{ef} = 0,4 \text{ mm.s}^{-1}$

Podľa Eurokódu 8 národná príloha tabuľka NB.8.3 kategorizácia dynamickej odozvy (s výnimkou odozvy na trhacie práce) dôležitého miesta konštrukcie triedy odolnosti tabuľka NB.8.2 B a triedy významnosti objektu tabuľka 4.3 STN EN 1998-1 IV

*dynamickej výpočet netreba pre hodnotu efektívnej rýchlosti $v_{ef} < 0,4 \text{ mm.s}^{-1}$
dynamickej výpočet treba pre hodnotu efektívnej rýchlosti $v_{ef} \geq 1,6 \text{ mm.s}^{-1}$*

Podľa Eurokódu 8 národná príloha tabuľka NB.8.7 orientačné závislosti stupňa poškodenia stavebných objektov vplyvom trhacích prác pre stupeň poškodenia θ , triedu odolnosti objektu A a druh horninového prostredia a

vrcholová hodnota rýchlosti v_{peak}

$f < 10 \text{ Hz}$	$10 \text{ Hz} < f < 50 \text{ Hz}$	$f > 50 \text{ Hz}$
$v_{peak} < 3 \text{ mm.s}^{-1}$	$3 \text{ mm.s}^{-1} < v_{peak} < 6 \text{ mm.s}^{-1}$	$6 \text{ mm.s}^{-1} < v_{peak} < 15 \text{ mm.s}^{-1}$

3.3.5 Objektivizácia

Posudzovaná hodnota – nameraná hodnota určujúcej veličiny zrýchlenia vibrácií rozšírená o neistotu merania U , ktorá je určená v súlade s metrologickou praxou.

- efektívna a vrcholová rýchlosť kmitania v referenčnom stanovisku konštrukcie budov

$$v_{R,ef} = (v_{ef} + U)$$

$$v_{R,peak} = (v_{peak} + U)$$

3.3.6 Výsledky merania a hodnotenie

Tab.3.3.6.1 Posudzované ekvivalentné a maximálne hodnoty zrýchlenia vibrácií vo vnútornom prostredí budov.

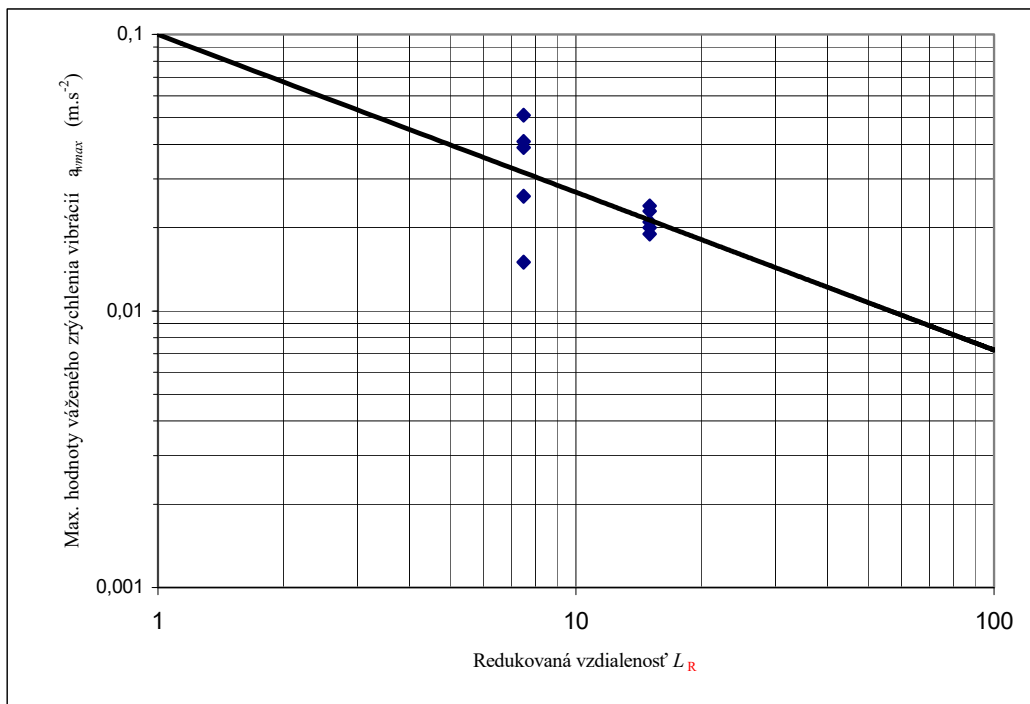
Mera cí bod	Referenčný časový interval T	Posudzovaná hodnota $a_{R,weq}$ [$m.s^{-2}$]	Posudzovaná hodnota $a_{R,wmax}$ [$m.s^{-2}$]	Prípustné hodnoty		Prekročenie PH (prípustnej hodnoty)	
				a_{weq} [$m.s^{-2}$]	a_{wmax} [$m.s^{-2}$]	a_{weq} [$m.s^{-2}$]	a_{wmax} [$m.s^{-2}$]
MV1	večer	0,0001	0,002	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0002	0,001	0,005	0,05	nie je prekročená	nie je prekročená
	deň	0,0001	0,003	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
MV2	večer	0,0040	0,060	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0020	0,070	0,005	0,05	nie je prekročená	je prekročená
	deň	0,0030	0,060	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
MV3	večer	0,0010	0,002	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená
	noc	0,0020	0,002	0,005	0,05	nie je prekročená	nie je prekročená
	deň	0,0010	0,004	0,008	0,11	nie je prekročená	nie je prekročená

MV1 Gánovce, ulica Filická, č.p. 4, vo vzdialenosti cca 90m od existujúcej železničnej trate

MV2 Letanovce, ulica Nižná, č.p. 23, vo vzdialenosti cca 10m od existujúcej železničnej trate

MV3 Smižany, ulica Záhradky, č.p. 36, vo vzdialenosti cca 40m od existujúcej železničnej trate

Obr. 3.3.6.1 Experimentálne stanovenie zákona útlmu seizmických vln priamym meraním závislosti vrcholovej rýchlosti kmitania v_{peak} na redukovanej vzdialenosti L_R .



3.3.7 Experimentálne merania a zákon útlmu vektora vrcholovej rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti.

Prevádzka železničnej trate ako zdroj technickej seizmicity vyvolá seizmické účinky, ktoré sa prenosovým prostredím šíria k receptoru, v našom prípade do konštrukcie budovy Letanovce, ulica Nižná, č.p. 23. Volíme paralelné meracie body MV2a vo vzdialenosti $r_1 = 7,5\text{m}$ a MV2b vo vzdialenosti $r_2 = 15\text{m}$, v ktorých zaznamenávame hodnoty maximálneho a_{wmax} váženého zrýchlenia vibrácií v dominatnom smere šírenia „Z“. Na základe získaných údajov prezentujeme zákon útlmu šírenia zrýchlenia zrýchlena vibrácií v danom podloží. V referenčných vzdialenostiach $r_1 = 7,5\text{m}$ a $r_2 = 15\text{m}$ sme vyjadrili:

Kvadratickú efektívnu hodnotu zrýchlenia vibrácií jednostranného krížového spektra

$$G_{BA}(f) = A(f) \cdot B^*(f)$$

Koherenciu lineárnej závislosti medzi dvomi autospektrami ako funkcia frekvencie

a vzájomného spektra:

$$\gamma^2(f) = \frac{|G_{AB}(f)|^2}{G_{AA}(f) \cdot G_{BB}(f)}$$

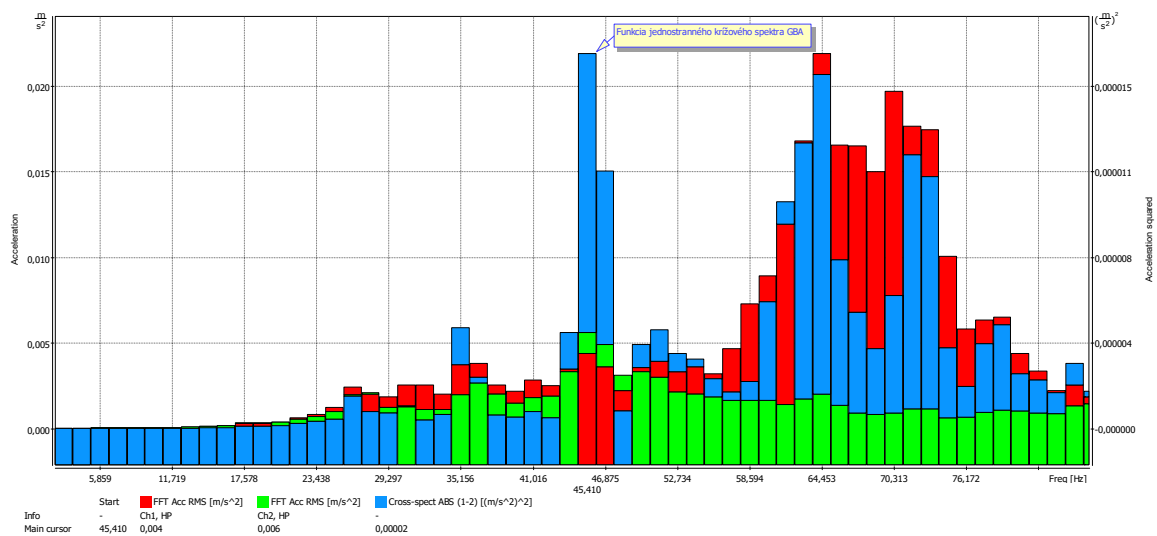
Frekvenčnú odozvu $H(f)$:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)}$$

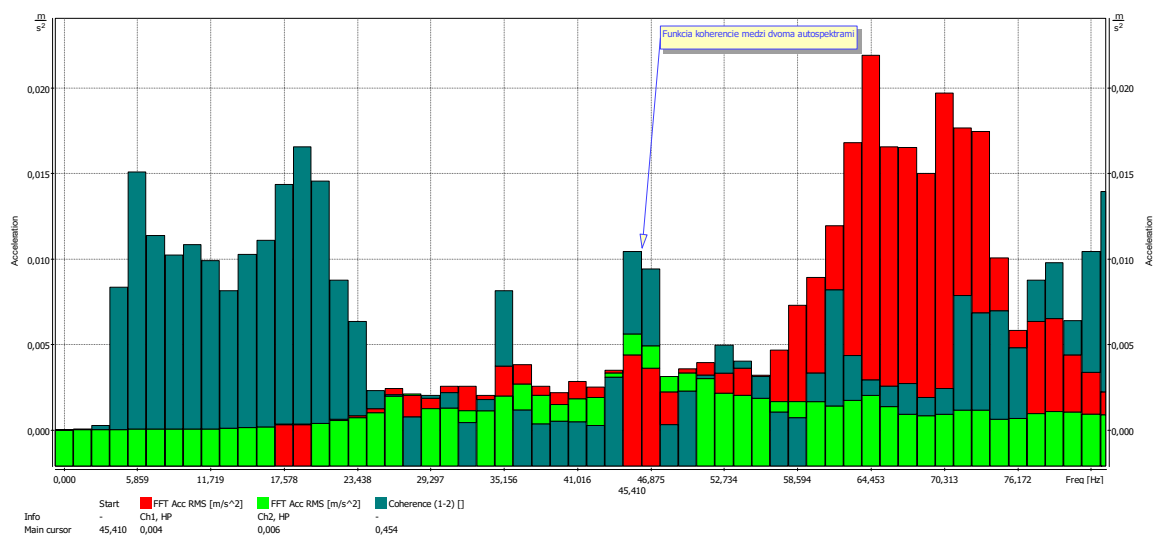
$B(f)$ výstupná frekvenčná oblasť

$A(f)$ vstupná frekvenčná oblasť

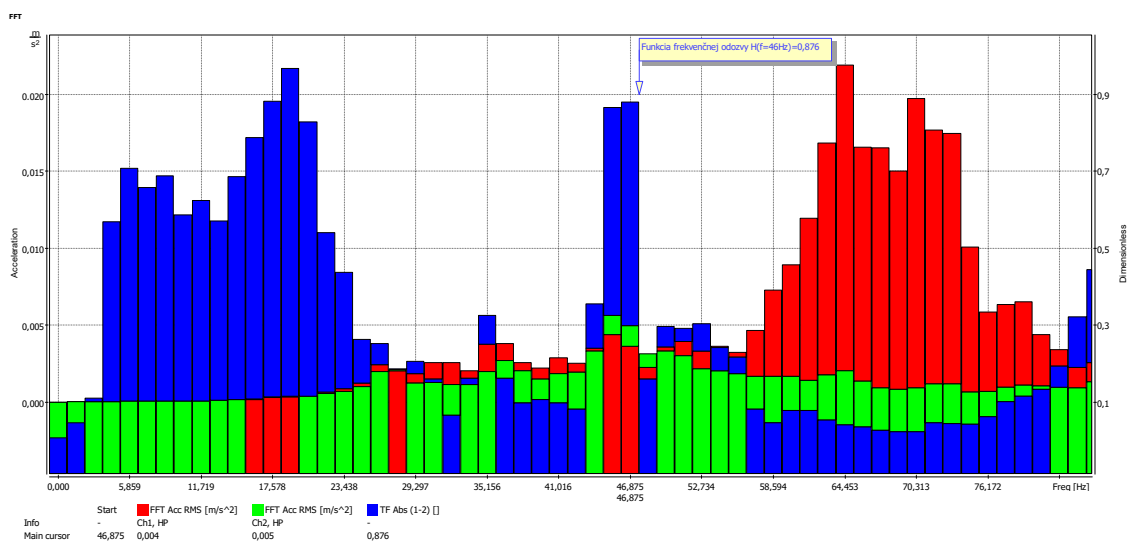
Obr. 3.3.7.1 Merané a vypočítané hodnoty jednostranného krížového spektra.



Obr. 3.3.7.2 Merané a vypočítané hodnoty funkcie koherencie.



Obr. 3.3.7.2 Merané a vypočítané hodnoty funkcie frekvenčnej odozvy.



Tab.3.3.7.1 Vrcholové a efektívne hodnoty rýchlosti kmitania vo zvolených meracích bodoch MV2a a MV2b počas prejazdov vlakov.

Prejazdy vlakov	MV2a (7,5m) $v_{\text{peak}} / v_{\text{ef}} [\text{mm.s}^{-1}]$	MV2b (15m) $v_{\text{peak}} [\text{mm.s}^{-1}]$
1a) 12:04:17 smer PP (R+6)	„X“ 3,055/1,203	0,003
	„Y“ 3,020/0,902	0,003
	„Z“ 2,344/0,750	0,013
1b) 12:04:30 smer KE (NV+3)	„X“ 1,622/0,432	0,001
	„Y“ 1,023/0,257	0,0007
	„Z“ 0,776/0,193	0,003
2) 12:45:23 smer PP (R+ 4)	„X“ 3,055/0,841	0,003
	„Y“ 3,055/0,794	0,003
	„Z“ 2,213/0,582	0,011
3) 13:07:04 smer PP (R+10)	„X“ 3,126/0,871	0,003
	„Y“ 2,851/0,708	0,003
	„Z“ 2,630/0,531	0,012
4) 13:22:30 smer KE (R+10)	„X“ 3,589/0,955	0,002
	„Y“ 2,239/0,582	0,002
	„Z“ 1,950/0,683	0,009
5) 13:31 smer KE (OV+ 5)	„X“ 3,090/0,804	0,002
	„Y“ 1,585/0,473	0,001
	„Z“ 1,349/0,351	0,008