

# Vyhodnotenie realizačných variantov výstavby diaľnice v procese EIA D3 Žilina/ Brodno – Kysucké Nové Mesto (hluk, vibrácie a technická seizmicita)

## Evaluation of realization variants of highway construction in the EIA process D3 Žilina/ Brodno – Kysucké Nové Mesto (noise, vibration and ground & building vibration)

*Mgr. Ing. Michal Bugala, Ing. Ján Šimo, CSc. - Klub ZPS vo Vibroakustike a.s., Žilina*

*Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Doc. Mgr. Julián Kondela, PhD. - F BERG TU Košice*

### Anotácia

Cieľom príspevku je prezentácia tvorby súboru kritérií v procese EIA na výber optimálneho variantu s ohľadom na dopad hluku, vibrácií a technickej seizmicity pre variantné riešenie výstavby diaľnice D3 Žilina / Brodno – Kysucké Nové Mesto. Variant výstavby diaľnice s tunelom je porovnaný s variantom výstavby diaľnice s estakádou. Nulový variant je zdokumentovaný a následne porovnaný s variantnými riešeniami výstavby diaľnice D3 v prípade ich realizácie.

### Annotation

The contribution presents set of criteria in the EIA process for the selection optimal alternative with respect to the impact of noise, vibration and ground and building vibration for a variant of the highway D3 Žilina / Brodno - Kysucké Nové Mesto. Variant of the highway with a tunnel is compared with a variant of the elevated highway. The zero variant is documented and then compared with an alternative solution of the construction D3 highway in case of implementation.

### Úvod

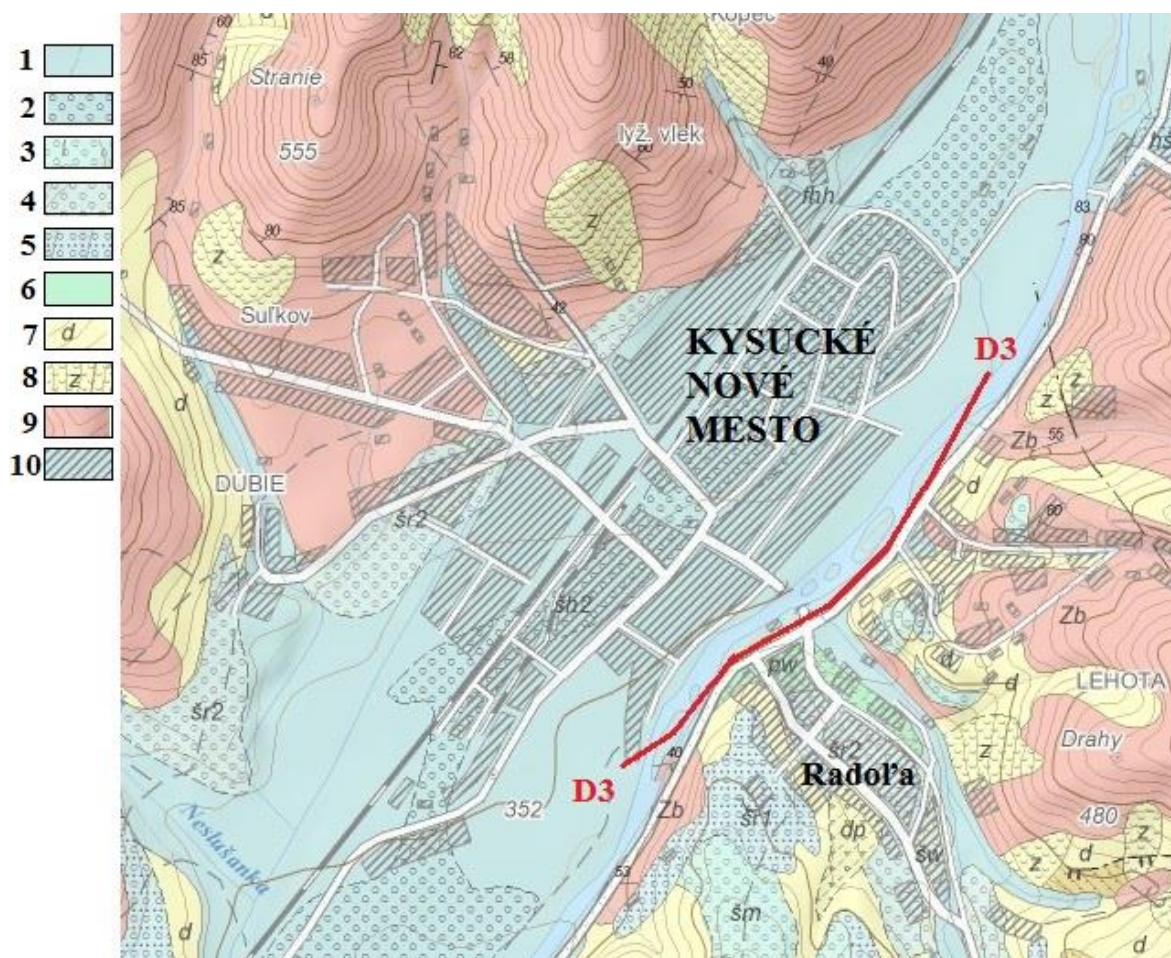
Dynamickú odozvu spôsobenú technickou seizmicitou v prípade ustáleného periodického zaťaženia nie je potrebné ďalej analyzovať pokiaľ na referenčnom stanovisku efektívna rýchlosť kmitania nepresiahne medzné hodnoty efektívnej rýchlosti  $\dot{v}_{ef}$  (mm.s-1). Ak sa hodnoty rýchlostí nedajú získať na referenčnom stanovisku alebo priamo na stavebnom objekte meraním, možno pre koľajovú a cestnú dopravu a technickú seizmicitu použiť zákon útlmu. Zo zákona útlmu je možné stanoviť pre zdroje v rôznej vzdialenosti, či technická seizmicita z hľadiska medzného stavu ovplyvňuje posudzovaný objekt.

V článku sú uvedené výsledky monitorovania pri overovaní možnosti ohrozenia existujúcich stavebných objektov vplyvom technickej seizmicity, ktoré sa nachádzajú v blízkosti trasy budúcej diaľnice D3. Bola skúmaná možnosť ohrozenia objektov výškovým vedením trasy budúcej diaľnice D3 s názvom „variant B – povrchový“ a tunelovým vedením trasy.

Jedná sa o stavbu diaľnice v kategórii D 24,5/80 v úseku Žilina (Brodno) – Kysucké Nové Mesto. Je súčasťou diaľničného ťahu D1 – D3 v trase Bratislava – Žilina – Skalité a Multimodálneho dopravného koridoru č. VI., Transeurópskych sietí a Transeurópskej magistrály v smere sever – juh.

### Prenosové prostredie a metodika merania

Geologické pomery (horninové prostredie - prenosové prostredie) v posudzovanom úseku je relatívne monotónne. Ide o fluviálne sedimenty riečnych terás rieky Kysuca. Hlavne sa jedná o horizontálne uložené štrky, piesčité štrky, zahlinené štrky a hliny (obr. 1). Z pohľadu prenosu seizmických vĺn ide o prostredie s vysokým útlmom pokiaľ nie je zavodnené. Práve prítomnosť vody v uvedenom horninovom prostredí zvyšuje mieru prenosu seizmických vĺn od dopravy.



Obr. 1 Geologická mapa blízkeho okolia posudzovaného úseku D3 Žilina (Brodno)-Kysucké Nové Mesto Posudzovaný úsek je vyznačený červenou čiarou (zdroj ŠGÚDŠ).

Kvartér: 1- fluviálne a proluviálne sedimenty: hliny a štrkovité hliny nív tokov, 2- štrky a štrkovité hliny nív tokov, 3- fluviálne sedimenty: štrky a piesčité zahlinené štrky vrchných terás, 4- fluviálne sedimenty: piesčité štrky nižších stredných terás, 5- fluviálne sedimenty: štrky a piesčité, miestami zahlinené štrky vyšších stredných terás, 6- proluviálne sedimenty: hlinité štrky s úlomkami (náplavové kužele), 7-deluviálne sedimenty: nečlenené svahoviny a sutiny vcelku, prevažne hlinité a kamenito-hlinité svahoviny, 8- deluviálne sedimenty: nečlenené svahoviny a sutiny vcelku, prevažne hlinité a kamenito-hlinité svahoviny; Paleogén:9-Zlínske súvrstvie-bystrické vrstvy- bystrické ílovce, pieskovce s glaukonitom, arkózové pieskovce. 10-zastavané územie

Pre potrebu predikcie vplyvu budúcej prevádzky diaľnice D3 sme merali vplyv mostového záveru na vrcholovú hodnotu rýchlosti kmitania vpeak v meracom bode V1 na nosníku pod poškodeným mostovým záverom a v meracom bode V2 na betónovej platni vo vzdialenosti 25 m (obrázok 2) od poškodeného mostového záveru počas prejazdov osobných automobilov (OA) a nákladných automobilov (NA). Tieto merania poukázali na možné maximálne hodnoty rýchlosti kmitania pri prejazdoch nákladných a osobných automobilov pri prevádzke diaľnice D3.



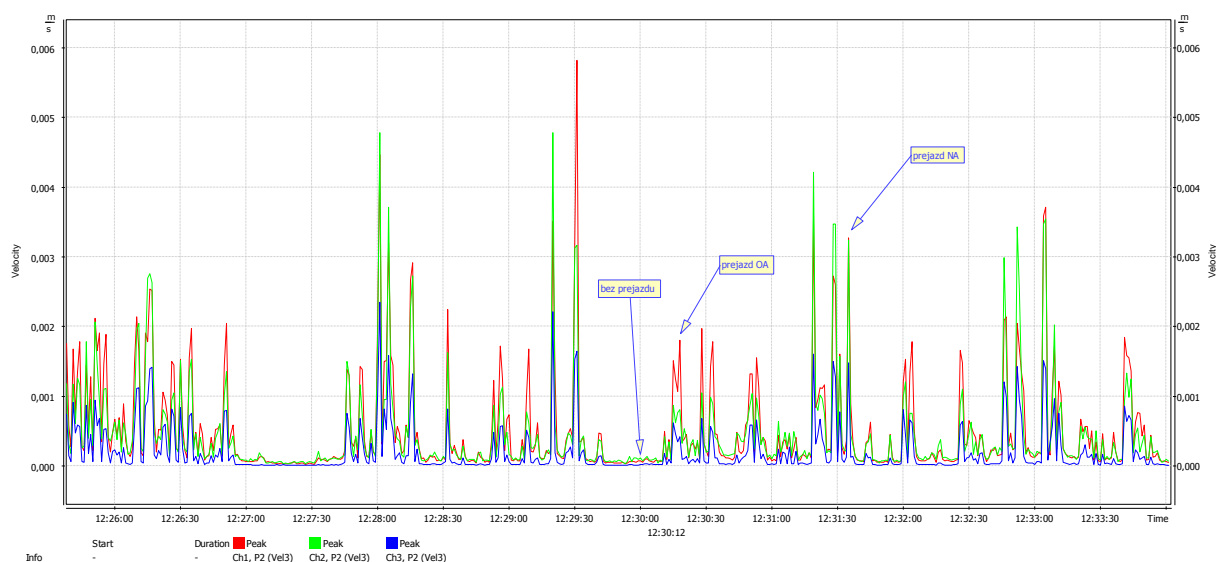
**Obr. 2 Meracie referenčné stanoviská V1 a V2 na estakáde v Čadci v meracom bode V1 (vľavo) na nosníku pod mostovým záverom poškodeným/funkčným a v meracom bode V2 (vpravo) na betónovej platni vo vzdialenosti 25 m od mostového záveru**

**Tab. 1 Namerané vrcholové hodnoty rýchlosti kmitania vpeak na meracích bodoch V1 a V2 pri prejazde nákladných automobilov na pilieri s poškodeným mostovým záverom**

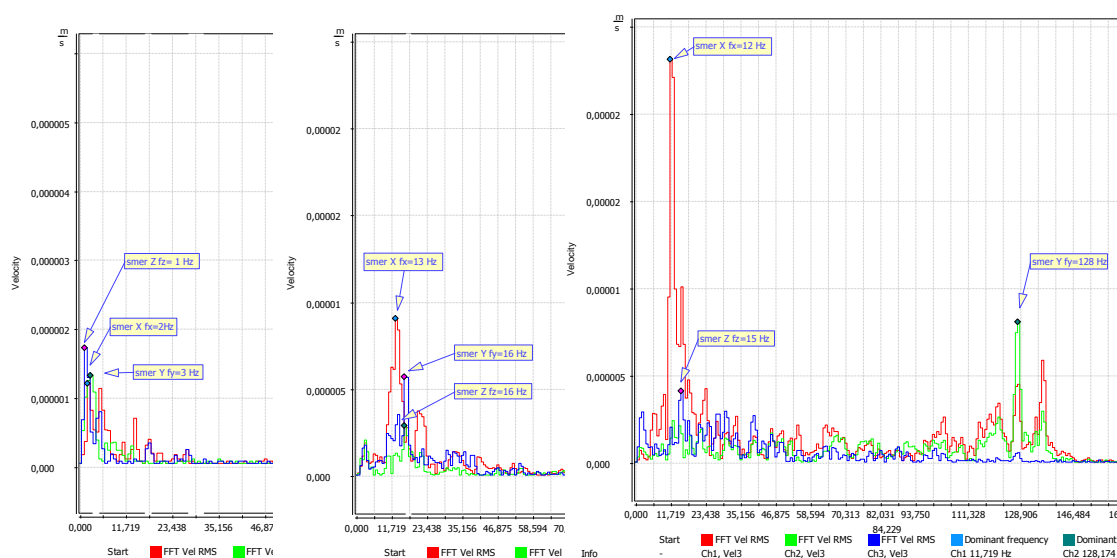
	V1	V2
X	1 – 6 mm.s <sup>-1</sup>	0,01 – 0,10 mm.s <sup>-1</sup>
Y	1 – 5 mm.s <sup>-1</sup>	0,02 – 0,08 mm.s <sup>-1</sup>
Z	1 – 2 mm.s <sup>-1</sup>	0,04 – 0,09 mm.s <sup>-1</sup>

**Tab. 2 Namerané vrcholové hodnoty rýchlosti kmitania vpeak na meracích bodoch V1 a V2 pri prejazde osobných automobilov na pilieri s poškodeným mostovým záverom**

	V1	V2
X	0,5 – 1 mm.s <sup>-1</sup>	0,005 – 0,010 mm.s <sup>-1</sup>
Y	0,5 – 1 mm.s <sup>-1</sup>	0,005 – 0,010 mm.s <sup>-1</sup>
Z	0,5 – 1 mm.s <sup>-1</sup>	0,010 – 0,020 mm.s <sup>-1</sup>



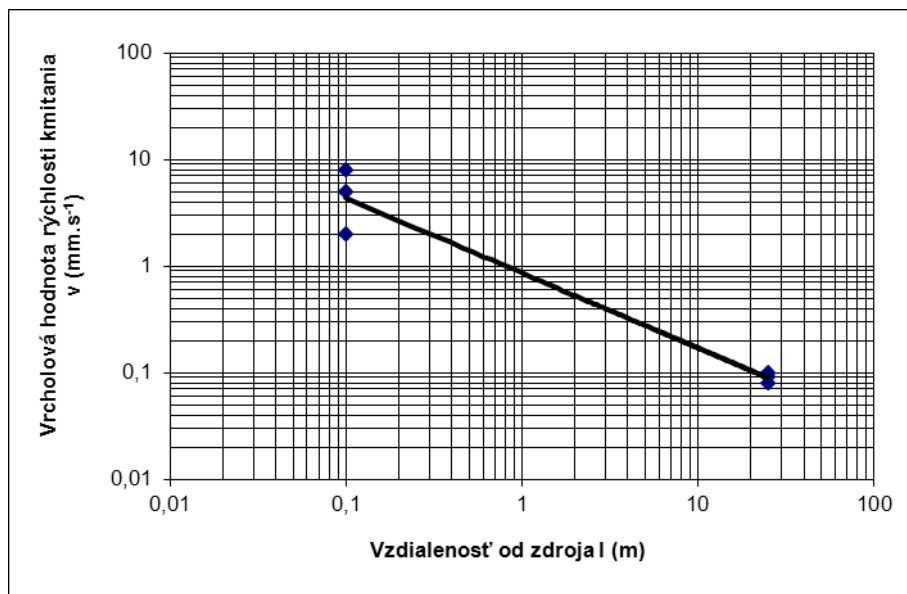
Obr. 3 Časový priebeh vrcholovej hodnoty rýchlosti kmitania vpeak v smere X Y a Z počas prejazdov (OA) a (NA) v meracom bode V1 na nosníku podpory poškodeného mostového záveru



Obr. 4 FFT analýza v meracom mieste V2 vo vzdialenosti 25 m od podpory poškodeného mostového záveru bez a počas prejazdov OA a NA cez mostový záver.

Na stanovenie zákona útlmu seizmických vĺn, ktorých zdrojom je prejazd automobilov po komunikácii sme uskutočnili meranie prejazdov automobilov po cestnej komunikácii I/11 na estakáde v Čadci v meracom bode V1 na nosníku pod mostovým záverom poškodeným/funkčným a v meracom bode V2 na betónovej platni vo vzdialenosti 25 m od mostového záveru na efektívnu  $\dot{v}_{ef}$  a vrcholovú hodnotu rýchlosti kmitania vpeak .

Na základe nameraných hodnôt bol stanovený zákon útlmu seizmických vĺn od osobných aj nákladných automobilov (Obr. 5)



**Obr. 5 Útlm seizmických vĺn pri prechode nákladných automobilov po cestnej komunikácii**

Pre potrebu hodnotenia vplyvov pre tunelový variant sme merali vplyv tunelového portálu na vrcholovú hodnotu rýchlosti kmitania vpeak v meracom bode T1 na tunelovom portáli „ Čadca Horelica“ a v meracom bode T2 na betónovej platni vo vzdialenosti 25 m tunelového portálu počas prejazdov osobných OA a nákladných NA automobilov v hodinovom profile 1416 automobilov, z toho 402 NA.





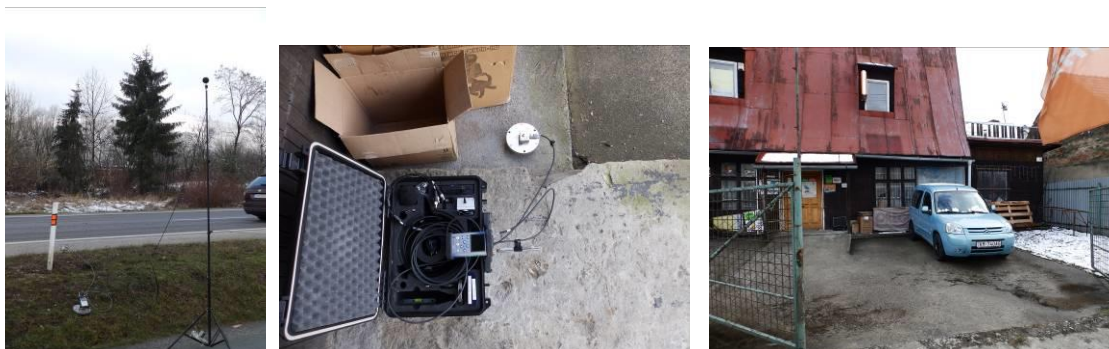
**Obr. 6** Meracie referenčné stanoviská 2 - bod T1 na tunelovom portáli „Čadca Horelica“ a bod T2 na betónovej platni vo vzdialenosti 25 m od tunelového portálu počas prejazdov osobných OA a nákladných NA automobilov

**Tab. 3** Namerané vrcholové hodnoty rýchlosti kmitania vpeak na meracích bodoch T1 a T2 pri prejazde nákladných automobilov na tunelovom portáli a vo vzdialenosti 25 m od tunelového portálu počas prejazdov OA a NA cez tunel.

	T1	T2
X	0,02 – 0,08 mm.s <sup>-1</sup>	0,02 – 0,08 mm.s <sup>-1</sup>
Y	0,02 – 0,04 mm.s <sup>-1</sup>	0,02 – 0,08 mm.s <sup>-1</sup>
Z	0,02 – 0,08 mm.s <sup>-1</sup>	0,01 – 0,03 mm.s <sup>-1</sup>

### Vplyv prejazdov po komunikácii I/11 na efektívne a vrcholové rýchlosti zrýchlenia

Hodnotili sme vplyv prejazdov po komunikácii I/11 v obci Budatínska Lehota v meracom bode V1 vo vzdialenosti 7,5 m od NJP a v meracom bode V2 vo vzdialenosti 25 m od NJP na základovej konštrukcii rodinného domu (Obr. 7). Hodinový profil celkom 1014 osobných automobilov a 402 nákladných automobilov.



**Obr. 7** Meracie referenčné stanoviská V1 a V2, vo vzdialenosti 7,5 m od NJP a v meracom bode V2 vo vzdialenosti 25 m od NJP na základovej konštrukcii domu

**Tab. 4** Namerané hodnoty efektívnej rýchlosti kmitania vef na meracích bodoch V1 a V2 pri prejazde nákladných a osobných automobilov pri prejazde po komunikácii I/11 v obci Budatínska Lehota

(komunikácia I/11 prejazdový profil/1h 1416, z toho 402 NA)	Bod V1 vo vzdialenosti 7,5 m	Bod V2 vo vzdialenosti 25 m
X	0,010 mm.s <sup>-1</sup>	0,010 mm.s <sup>-1</sup>
Y	0,010 mm.s <sup>-1</sup>	0,007 mm.s <sup>-1</sup>
Z	0,030 mm.s <sup>-1</sup>	0,010 mm.s <sup>-1</sup>

**Tab. 5** Namerané hodnoty vrcholovej rýchlosti kmitania vef na meracích bodoch V1 a V2 pri prejazde nákladných a osobných automobilov pri prejazde po komunikácii I/11 v obci Budatínska Lehota

	Bod V1 vo vzdialenosti 7,5 m	Bod V2 vo vzdialenosti 25 m
X	0,2 mm.s <sup>-1</sup>	0,1 mm.s <sup>-1</sup>
Y	0,3 mm.s <sup>-1</sup>	0,1 mm.s <sup>-1</sup>
Z	0,5 mm.s <sup>-1</sup>	0,2 mm.s <sup>-1</sup>

Monitoringom, počas výstavby diaľnice tunelovým spôsobom, v bytovom objekte situovanom v záujmovom území výstavby diaľnice, boli merané vibrácie v ranných, dopoludňajších, popoludňajších, večerných aj nočných hodinách (Obr. 8).



**Obr. 8** Monitorovaný bytový objekt a meracie referenčné stanoviská – suterén a detská izba

Vibrácie trvali v rozsahu 8 – 12 sekúnd s 19 – 53 rázovými impulzmi. Keďže šlo o opakované dlhšie trvajúce (viac ako 500 ms) seizmické zaťaženie monitorovaného objektu, energia vlnenia nebola objektom primerane absorbovaná tak, aby nedošlo k narušeniu jeho rovnovážneho stavu. Pri 8 – 12 sekundovom pôsobení vibráciami s opakovanými rázovými impulzmi došlo k ustálenému periodickému zaťaženiu monitorovaného objektu, čo pri prekročení limitných hodnôt (STN EN 1998-

1/NA/Z1) efektívnej rýchlosti kmitania  $v_{ef} = 1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ , mohlo dôjsť k poškodeniu monitorovaného objektu. Ukážka nameraných hodnôt je uvedená na seizmograme (Obr. 9).

Podľa Vyhlášky MZ SR č.549/2007 tab. č. 4 pre obytné miestnosti, ubytovne, domovy

dôchodcov, pre referenčný časový interval platí:

večer:  $a_{wmax,p} = 0,11 \text{ m.s}^{-2}$ , namerané hodnoty :  $a_{wmax,p} = 0,263 \text{ m.s}^{-2}$ ,

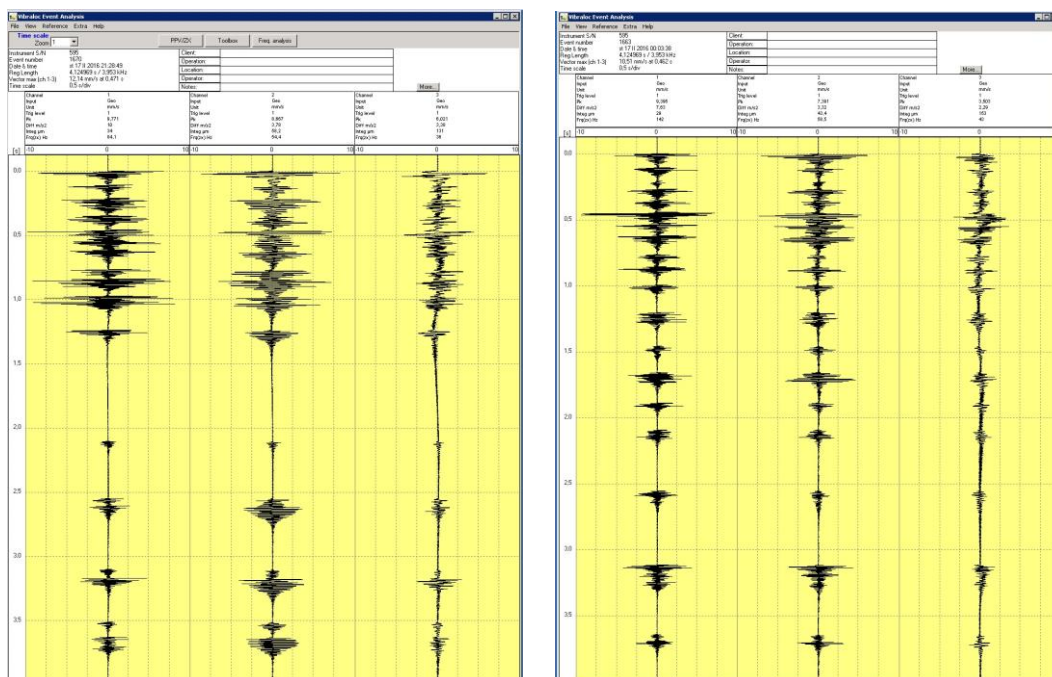
noc:  $a_{wmax,p} = 0,05 \text{ m.s}^{-2}$ , namerané hodnoty :  $a_{wmax,p} = 0,156 \text{ m.s}^{-2}$ ,

deň:  $a_{wmax,p} = 0,11 \text{ m.s}^{-2}$ , namerané hodnoty :  $a_{wmax,p} = 0,257 \text{ m.s}^{-2}$ .

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

t.j. 20% z nameranej hodnoty vážené zrýchlenie vibrácií vo vnútornom prostredí budov

$$a_{Rwmax,T} = (a_{wmax,T} + U).$$



**Obr. 9 Grafický záznam rýchlostí kmitania jednotlivých zložiek v pozdĺžnom, priečnom a vertikálnom smere, nameraných na meracom stanovisku bytový objekt v čase 21:28 h s hodnotami**



**rýchlosti kmitania  $v_{x\max} = 9,9 \text{ mm.s}^{-1}$  pri  $f = 54 \text{ Hz}$  (vľavo) a v čase 00:03 s hodnotami rýchlosti kmitania  $v_{x\max} = 9,4 \text{ mm.s}^{-1}$  pri  $f = 142 \text{ Hz}$  (vpravo)**

### **Vyhodnotenie možného vplyvu na zdravie – hluk**

Akustickú situáciu vo vonkajšom priestore záujmového územia diaľnice D3 Žilina (Brodno) – Kysucké Nové Mesto posudzujeme pre stupeň posudzovania EIA v zmysle zákona NR SR č. 355/2007 Z.z., vyhlášky MZ SR č.237/2009 Z.z., ktorou sa dopĺňa vyhláška MZ SR č. 549/2007 Z.z. a v zmysle zákona NR SR č. 314/2014 Z.z. ktorým sa mení a dopĺňa zákon č.24/2006 Z.z..

Bolo uskutočnené posúdenie hlukovej situácie v 3D modeli verifikovanom a kalibrovanom 24-hodinovým meraním in-situ, formou grafickej vizualizácie hladín akustického tlaku v troch variantoch:

- Variant 01 – bez realizácie D3 (bez návrhu protihlukových opatrení)
- Variant 02 – tunelový variant D3 (aktualizácia HŠ – Hluková štúdia akcie Diaľnica D3 Žilina/Brodno – Kysucké Nové Mesto od Ing. Ľubomíra Matečka – návrh protihlukových opatrení,
- Variant 03 –variant vedenia D3 na estakáde.

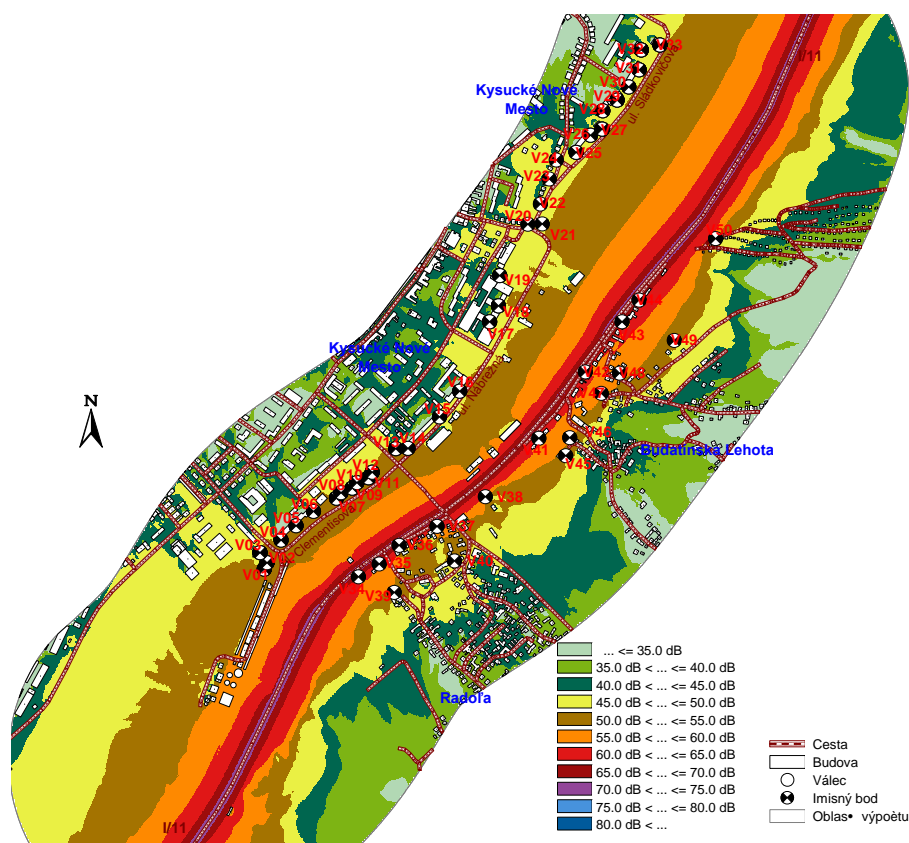
Návrh protihlukových opatrení bol vykonaný pre Variant 03, pre prognózovaný stav - rok 2022 a 2032. Hluk z premávky na predmetnom úseku diaľnice D3 nepriaznivo ovplyvňuje akustickú situáciu vo vonkajšom priestore mesta Kysucké Nové Mesto, obcí Radoľa a Budatínska Lehota. Preto bude nevyhnutné prijať navrhované sekundárne a terciárne protihlukové opatrenia na zníženie tohto negatívneho vplyvu (výmena okien so štrbinovým vetracím systémom a pod.).

Na základe analytickej mapy akustických pomerov v záujmovom území od emisie hluku z mobilných zdrojov pozemnej dopravy (Obr. 10), môžeme konštatovať, že podľa limitov prípustných hodnôt (PH) hluku z pozemnej a vodnej dopravy pre kategóriu územia II. a III., vonkajšom priestore obytných miestností bytových a rodinných domov

***pre denný čas povolená hodnota nie je prekročená,***

***pre večerný čas povolená hodnota nie je prekročená,***

***pre nočný čas povolená hodnota nie je prekročená.***



Obr. 10 Analytická hluková mapa ekvivalentných hladín A hluku zobrazená formou hlukových pásiem s krokom 5 dB  $L_{pAeq,12h,deň}$  v dennom čase 22:00 – 06:00 hod., vo výške 4,0 m nad terénom, vo vonkajšom priestore obytného územia od vyžarovania akustickej emisie pozemnej dopravy

## Záver

Na základe predloženej dokumentácie a nameraných hodnôt vibrácií je možné konštatovať, že v blízkom okolí plánovanej cestnej komunikácie D 3 Žilina, Brodno-Kysucké Nové Mesto budú dlhodobému pôsobeniu vibrácií od dopravy (prípadne trvalému zaťaženiu) vystavené bežné bytové objekty a čistička odpadových vôd. Zdrojom vibrácií budú v prípade prevádzkovania cestnej komunikácie postavené na pilieroch, samotné telesá pilierov. Prenosovým prostredím sú riečne aluviálne sedimenty rieky Kysuca. V uvedenom prostredí dochádza k útlmu seizmických vĺn, pretože ide o nespevnené horninové prostredie. V prípade ich zavodenia sa zvýši schopnosť prenosu seizmických vĺn približne o 1/3. Výška hladiny podzemnej vody bude závislá od výšky hladiny rieky Kysuca. Predpokladáme, že môže dôjsť k zavodeniu prostredia do 1 m od povrchu.

Z uvedeného dôvodu vyplýva, že prenosové prostredie je **kategórie a** (podľa Eurokódu 8 STN EN 1998-1/NA/Z1).

Bytové objekty budú od pilierov, na ktorých bude viesť diaľnica, vo vzdialenosti väčšej ako 20 m. Podľa predbežných meraní vrcholová rýchlosť vibrácií v takejto vzdialenosti je menšia ako 0,03 mm/s a efektívna rýchlosť kmitania je menšia ako 0,01 mm/s. Tieto hodnoty ani v prípade

poškodeného mostového záveru (zvýšené hodnoty vibrácií) neboli prekročené a sú pre bytové objekty bezpečné z hľadiska poškodenia.

V prípade čistiarne odpadových vôd trasa cestnej komunikácie je naplánovaná vo vzdialenosti menšej, ako je 20 m. Dva piliere sú naplánované v tesnej blízkosti čističky odpadových vôd (do 10 m). Namerané hodnoty vrcholovej rýchlosti kmitania pod poškodeným mostovým záverom neprekročili 0,2 mm/s a efektívne hodnoty boli menšie ako 0,1 mm/s. Rýchlosť kmitania s rastúcou vzdialenosťou klesá a vo vzdialenosti 25 m je vrcholová hodnota rýchlosti kmitania menšia ako 0,1 mm/s a efektívna hodnota rýchlosti kmitania je menšia ako 0,01 mm/s. Z uvedeného vyplýva, že tieto hodnoty sú nízke, ale nevieme posúdiť účinok na stroje, ktoré používa čistiareň odpadových vôd (citlivosť strojového zariadenia na seizmické zaťaženie - musí stanoviť prevádzkovateľ čistiarne odpadových vôd). Prípadne po spustení prevádzky cestnej komunikácie D3 vykonať kontrolné meranie na strojovom vybavení čistiarne odpadových vôd.

V prípade tunelového vedenia trasy šlo o opakované dlhšie trvajúce (viac ako 500 ms) seizmické zaťaženie monitorovaného objektu, energia vlnenia nebola objektom primerane absorbovaná tak, aby nedošlo k narušeniu jeho rovnovážneho stavu. Posudzovaná hodnota určujúcej veličiny zrýchlenia vibrácií bola prekročená. Preto je potrebné pri tunelovom variante znížiť hodnoty zrýchlenia vibrácií na takú úroveň, aby povolená hodnota nebola prekročená.

Akustická situácia vo vonkajšom priestore monitorovaného územia diaľnice D3 Žilina (Brodno) – Kysucké Nové Mesto je vyhovujúca pre tunelový variant. Pri výškovom vedení trasy budúcej diaľnice bude nevyhnutné prijať sekundárne a terciárne protihlukové opatrenia.

## **Podakovanie**

Tento článok vznikol vďaka podpore grantového projektu VEGA 1/0828/14.

## **Zoznam použitej literatúry**

Zákon č. 24/2006 Z. z. Zákon o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Vyhláška č. 549/2007 Z. z. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí.

Nariadenie vlády. Slovenskej republiky , 339/2006 Z. z ktorým sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií

Vyhláška č. 113/2006 Z. z. Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o odbornej spôsobilosti na účely posudzovania vplyvov na životné prostredie

Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

STN EN ISO 266 Akustika. Normalizované frekvencie

STN EN 1998-1/NA/Z1: 2012 (73 0036), Eurokód 8. Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť  
Časť 1 Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre budovy. Národná príloha. Zmena 2

Mgr. Ing. Michal Bugala, Ing. Ján Šimo, CSc,  
Klub ZPS vo Vibroakustike a.s., Žilina  
Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Doc. Mgr. Julián Kondela, PhD.  
F BERG TU Košice