GeoSurvey s.r.o.
Fakulta BERG, Technickej Univerzity v Košiciach
Ústav geovied

Meranie technickej seizmicity na bani Mária Strieborná žila a jej vplyv na individuálnu výstavbu v obci Rožňava

O D B O R N Ý P O S U D O K
odstrelu zo dňa 23. novembra 2012

Autor : Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc.
Spoluautor : Mgr. Julián Kondela, PhD.

OBSAH **2**

1. Stručná geologická stavba okolia bane Mária **3**

2. Meracie stanoviská a použitá aparatúra pri meraní..... **4**

3. Zdroj otrasov..... **5**

4. Namerané hodnoty..... **7**

5. Seizmické účinky trhacích prác..... **9**

6. Odhad bezpečnej vzdialenosti od miesta odstrelu..... **11**

7. Eliminácia škodlivých účinkov trhacích prác..... **15**

8. Kritérium a merítko seizmických účinkov..... **15**

9. Vzdušná tlaková vlna..... **15**

.

10. Dovolená rýchlosť kmitania pre objekty bytovej zástavby..... **17**

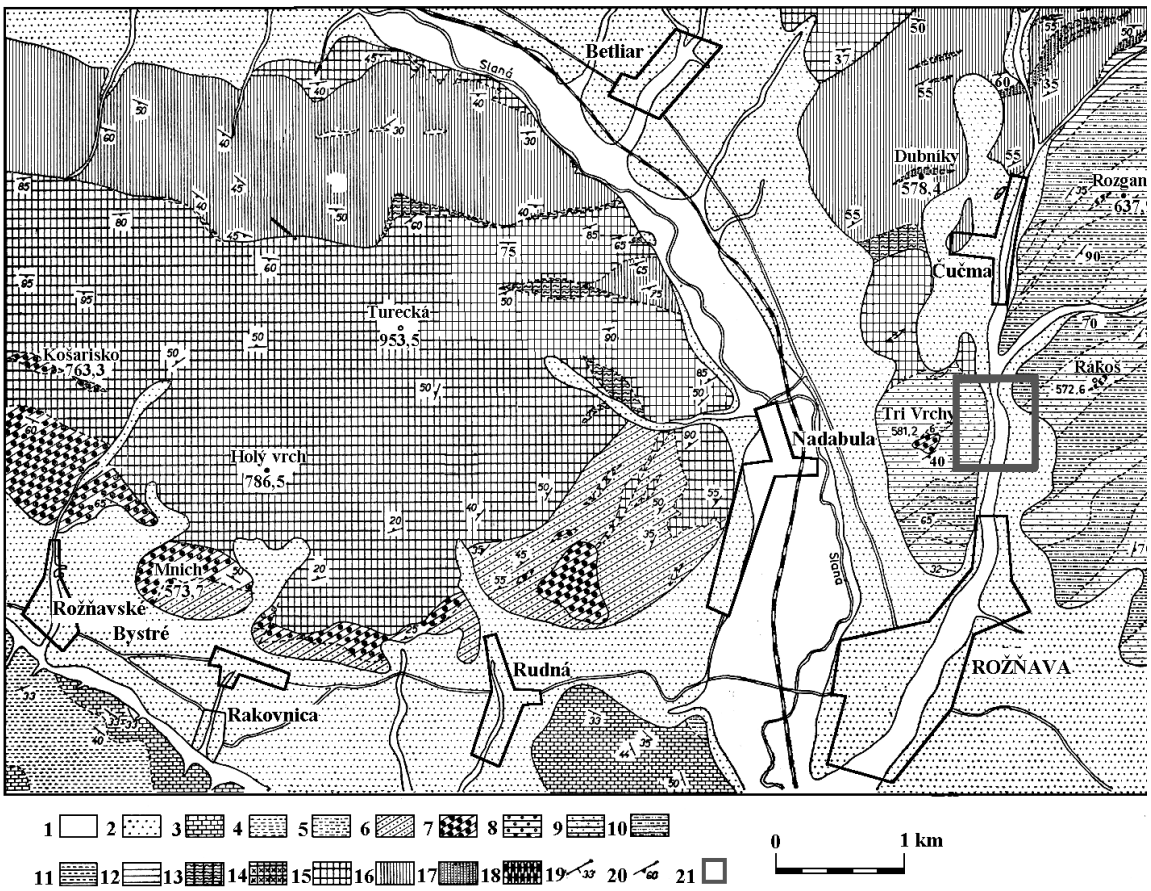
11. Namerané seizmické účinky clonových odstrelov a ich analýza **17**

12. Záver..... **19**

Úvod

Na základe požiadavky GeoSurvey s.r.o., sme 23. novembra 2012 uskutočnili meranie technickej seizmicity ***odstrelu*** v okolí bane Mária v meste Rožňava. Z nameraných hodnôt sme zhodnotili účinky umelo vybudenej seizmicity vplyvom ***odstrelu*** v okolí bane Mária na individuálnu výstavbu v meste Rožňava.

1. Stručná geologická stavba okolia bane Mária (prenosové prostredie)



Geologická mapa rožňavského rudného poľa (Slavkovský, 1978) - upravené.
1-2 kvartér : 1 alúvium, 2 delúvium; 3-5 mezozoikum Slovenského krasu : 3-sivé slienité vápence s polohami slienitých ílovcov, 4-pestré ílovce, piesčité vápence a pieskovce, 5-pestré pieskovce a ílovce; 6-7 rožňavské súvrstvie (vrch. karbón) : 6-kremence s polohami pieskovcov a piesčito ílovitých bridlíc až fylitov, 7-oligomiktné zlepence; 8-18 gelnická skupina (kambrium-silúr) : 8-mikrokonglomeráty, 9-kvarcity, 10-kvarcity v prevahe s fylitmi, 11-fylity v prevahe nad kvarcitmi, 12-fylity (8-12 drnavské súvrstvie), 13-sopečný popol – sivý a zelený, nezvrstvený, ojedinele s magnetitom, 14-kremité porfýry, 15-porfyroidy, (13-15 pačianske súvrstvie), 16-tmavé fylity s prechodom do grafitických fylitov, 17-kvarcity, 18-karbonatické horniny často metasomaticky zmenené na ankerity a siderity, (16-18 betliarske vrstvy), 19-vrstevnatosť, 20-bridličnatosť,21-územie z možným vplyvom technickej seizmicity vyvolanej trhacími prácami v bani Mária

Baňa Mária je situovaná v rožňavskom rudnom poli. Rozlohou rudné pole nie veľké (asi 50 km^2) je charakteristické bohatstvom výskytov hydrotermálnych žilných ložísk sideritovej formácie. Údolím rieky Slaná je rozdelené na západnú a východnú časť. Západná časť je charakterizovaná sideritovými žilami masívu Tureckej, východná je známa výskytom žilného

systému Rožňava-Mária-Tri Vrchy (Kalvária) a žilným systémom Rozgang. Západná časť RRP, masív Tureckej, je v prevažnej miere budovaná porfyroidmi gelnickej skupiny a to tak na povrchu, ako aj pod povrchom, až do hĺbky 0 m n. m. V podloží porfyroidov sa nachádzajú tmavé fylity, ktoré potom vystupujú aj na povrchu v severnej časti masívu Tureckej. Na južnom úpätí masívu vystupuje rožňavské súvrstvie. Vo východnej časti RRP Tri Vrchy-Rákoš-Rozgang prevažujú fylity viacerých variet nad porfyroidmi. Na rozdiel od západnej časti sa tu tmavé metapelity nachádzajú aj v nadloží porfyroidov.

Nami monitorovaný odstrel bol situovaný na 6. horizonte bane Mária v horninovom prostredí grafitických fylitov. Grafitické fylity sú tu silne zbridličnatené a tektonicky značne porušené.

2. Meracie stanoviská a použitá aparatúra pri meraní

Na meranie a grafický záznam seizmických účinkov boli použité nasledujúce digitálne seizmické aparatúry:

- seizmický prístroj VMS 2000 MP americkej firmy Thomas Instruments a seizmosnímače americkej firmy Geospace (obr. 2),
- digitálny seizmograf ABEM Vibraloc a seizmosnímače švédskej firmy ABEM
- digitálny seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult

Obr. 2 Meracie stanovisko 1 umiestnenie seizmickej aparatúry VMS 2000 MP a seizmosnímačov GeoSpace na oceľových hrotoch.

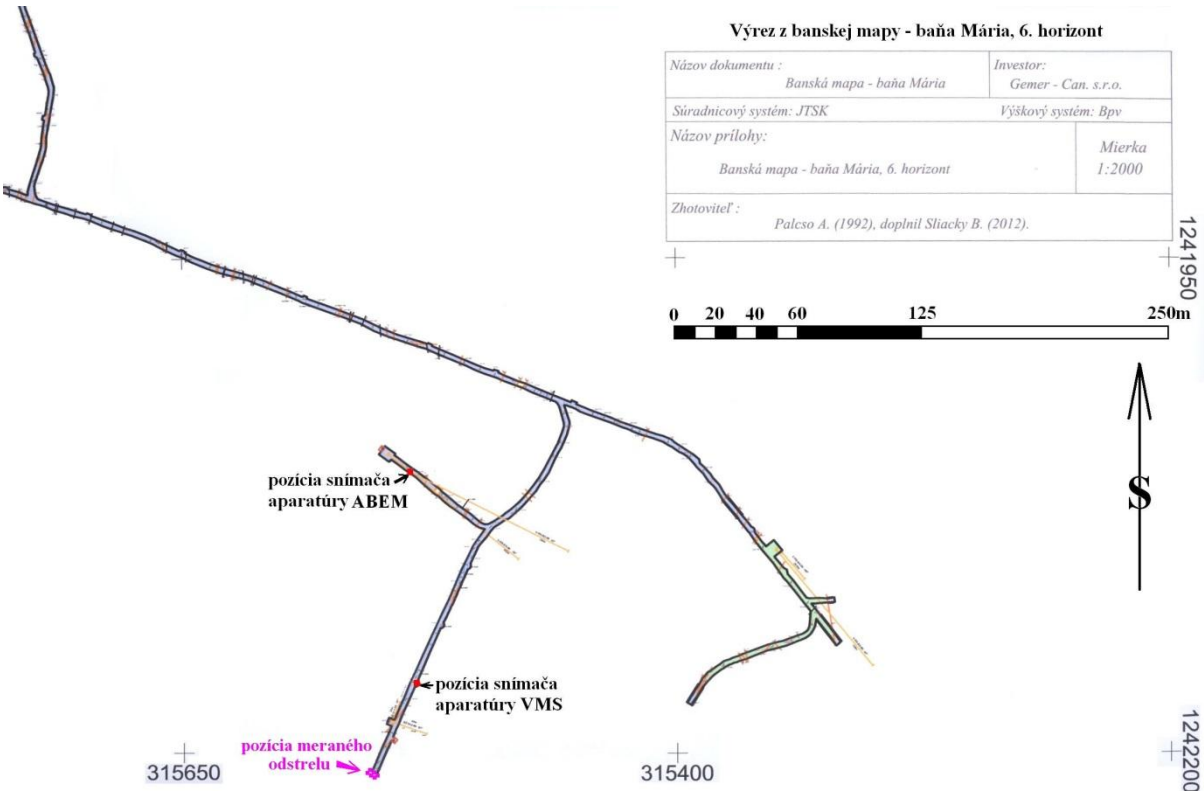
Seizmografy poskytujú digitálny a grafický záznam všetkých troch zložiek rýchlosti kmitania častíc prostredia, horizontálna pozdĺžna – $\mathbf{v_x}$, horizontálna priečna – $\mathbf{v_y}$, vertikálna – $\mathbf{v_z}$. Seizmografy VMS 2000 MP, UVS 1504 a ABEM Vibraloc pracujú autonómne, automaticky uskutočňujú testy kanálov bez zásahu a vplyvu operátora do nameraných a zaregistrovaných charakteristík kmitania. Seizmografy VMS 2000 MP, UVS 1504 a ABEM Vibraloc majú AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá 0,05 ÷ 250 $mm.s^{-1}$. Pre tieto merania boli použité elektrodynamické geofóny NitroConsult s frekvenčným rozsahom 1 ÷ 1000 Hz a citlivosťou 20 $mV/mm.s^{-1}$. Ďalej trojzložkový geofón od firmy GeoSpace a trojzložkový geofón od firmy ABEM s frekvenčným rozsahom 1 ÷ 1000 Hz a citlivosťou 10 $mV/mm.s^{-1}$. Geofóny boli umiestnené

na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom.

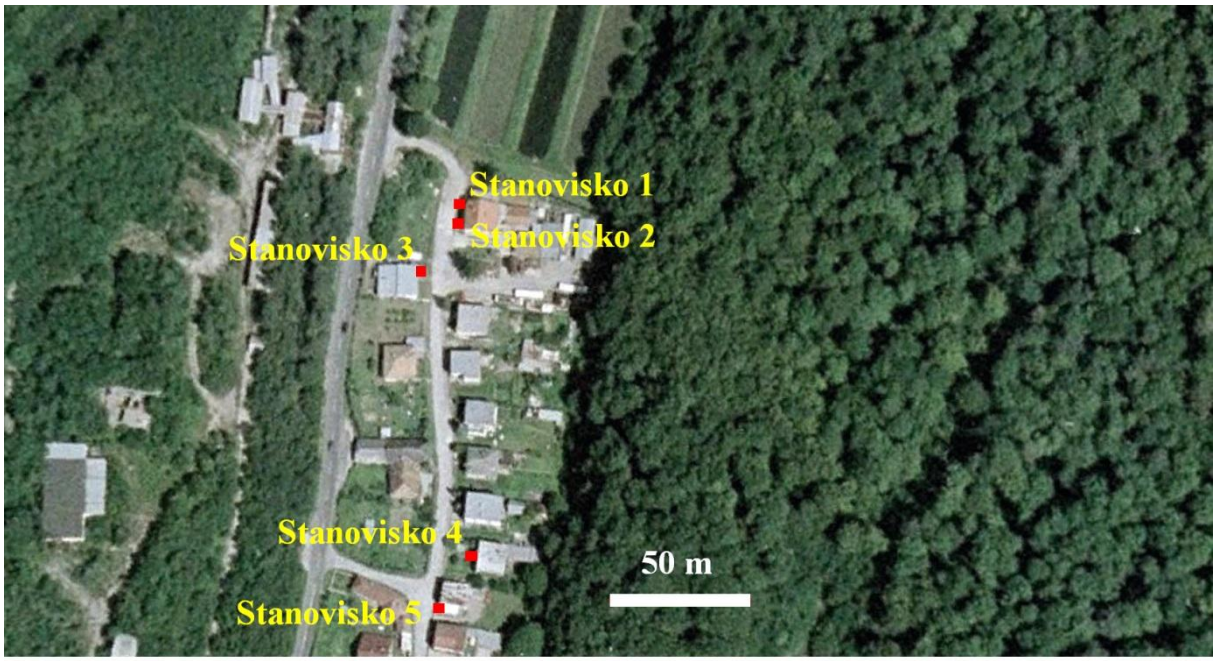
Obr. 3 Meracie stanovisko 2 umiestnenie seizmografu ABEM Vibraloc a seizmosnímače švédskej firmy ABEM na vodorovne uloženej oceľovej platni v prekope. Oceľová platňa stála na oceľových hrotoch pevne spojená s horninovým prostredím.

Obr. 4 Meracie stanovisko 4- umiestnenie seizmografov UVS 1504 a ABEM Vibraloc a seizmosnímače švédskej firmy ABEM a Nitro Consult na schodisku vo vchode do bytového objektu

Meracie stanoviská bolo situované tak, aby bolo možné posúdiť vplyv umelo vybudenej seizmicity odstrelom na bytové objekty. Meracie stanoviská boli situované tak, aby bolo možné stanoviť a prekontrolovať aj zákon útlmu seizmických vĺn. Vzdialenosti medzi snímačmi a odstrelom sú uvedené v tabuľke 1 a pozícia meracieho stanoviska voči odstrelu je na obrázku 6.



***Obr. 5** Pozícia meraného odstrelu na úrovni 6. horizontu v bani Mária a pozícia snímačov aparatúry VMS a ABEM. Seizmosnímač aparatúry VMS bol vo vzdialenosti 46 m od odstrelu. Seizmosnímače aparatúry ABEM Vibraloc boli vo vzdialenosti 148 m od odstrelu.*



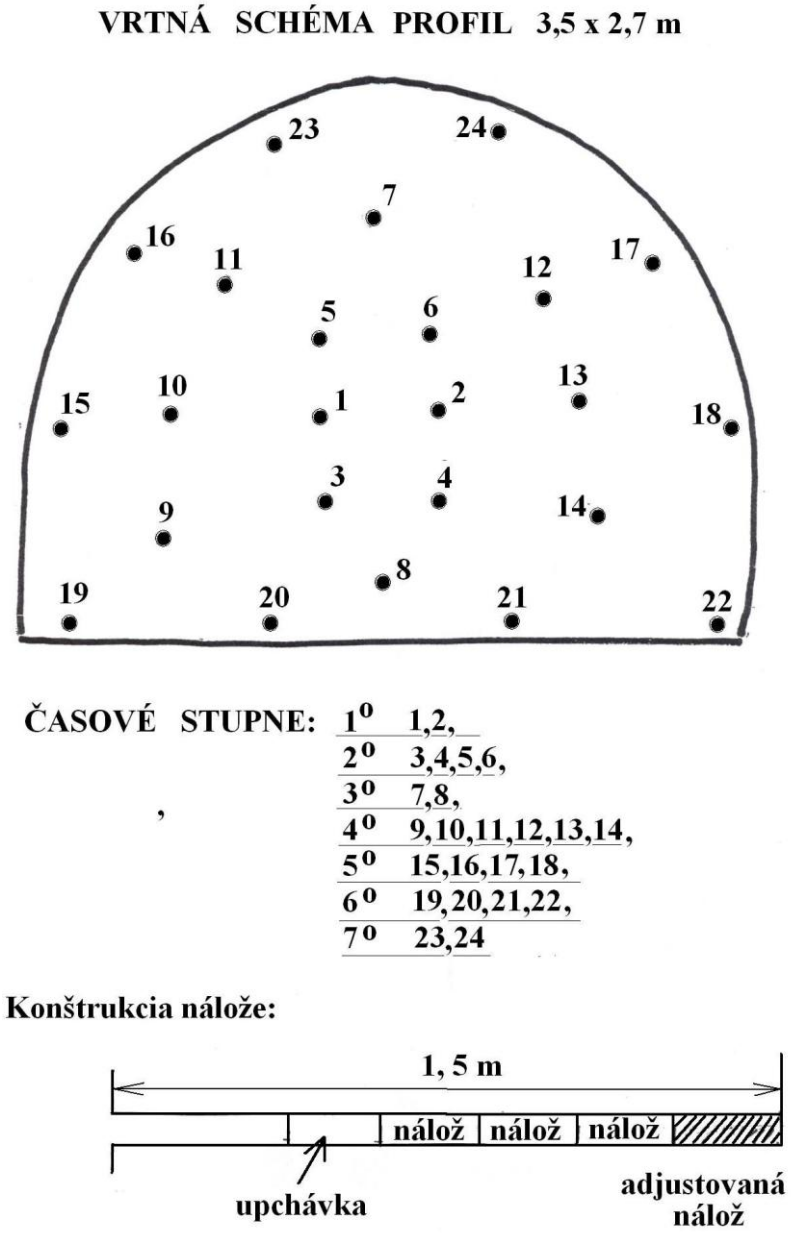
***Obr. 6** Pozícia meracích stanovísk v bytových objektoch. Seizmické aparatúry UVS 1504 a ABEM Vibraloc pri meraní seizmických účinkov odstrelu dňa 23.11.20012 boli umiestnené na stanovisku 4.*

Tabuľka 1 Údaje o vzdialenosti medzi stanoviskami merania a odstrelom

Stanovisko	**Číslo odstrelu a charakter stanoviska**	**Súradnice geofónov**			**Vzdialenosť od odpalu ku stanovisku v m**		**poznámka**
		x	**y**	**z**	**šikmá**	**horizontálna**	
6. obzor	VMS 2000 6. obzor					46	
6. obzor	ABEM 6. obzor					148	
4	rodinný dom Hrnčiarska 20				320		

3. Zdroj otrasov

Zdrojom seizmických účinkov bol odstrel malého rozsahu pri banskej činnosti v dobývacích priestoroch bane Mária v meste Rožňava.

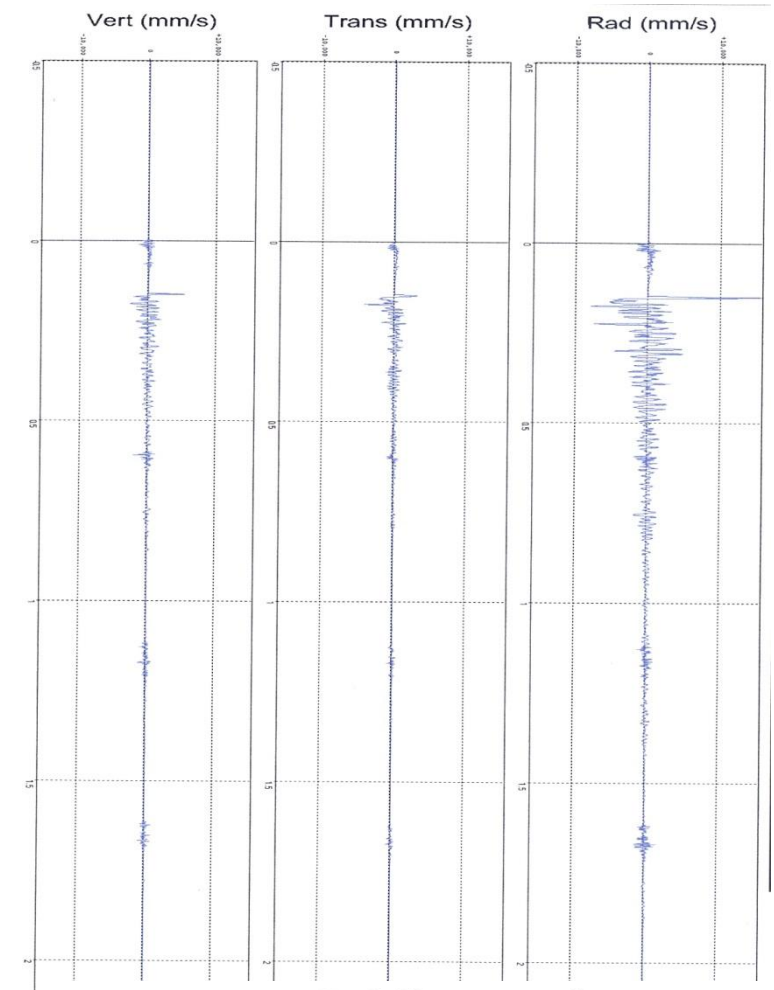


Obr. 7 Vrtná schéma, časovanie odstrelu a konštrukcia nálože monitorovaného odstrelu

Navŕtaných bolo 24 vrtov s dĺžkou 1,7 m. Maximálna nálož v jednom vrte bola 1 kg trhaviny. Na roznet bola použitá trhavina Ekodanubit. celková nálož trhaviny vo vrtoch 24 kg. Na jeden časový stupeň bolo použitých maximálne 4 kg trhaviny. Boli použité 500 ms rozbušky DEP.

4. Namerané hodnoty

Seizmograf VMS 2000 bol uložený na stanovisku v bani, 46 m od odstrelu (Obr. 2). Pred meraním bol kalibrovaný a prekontrolovaná bola jeho citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na stanovisku sú v tabuľke 3. Na stanovisku bol zaznamenaný grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia. Kanál č. **1** je zložka ***z***, kanál č. **2** je zložka y, kanál č. **3** je zložka x..



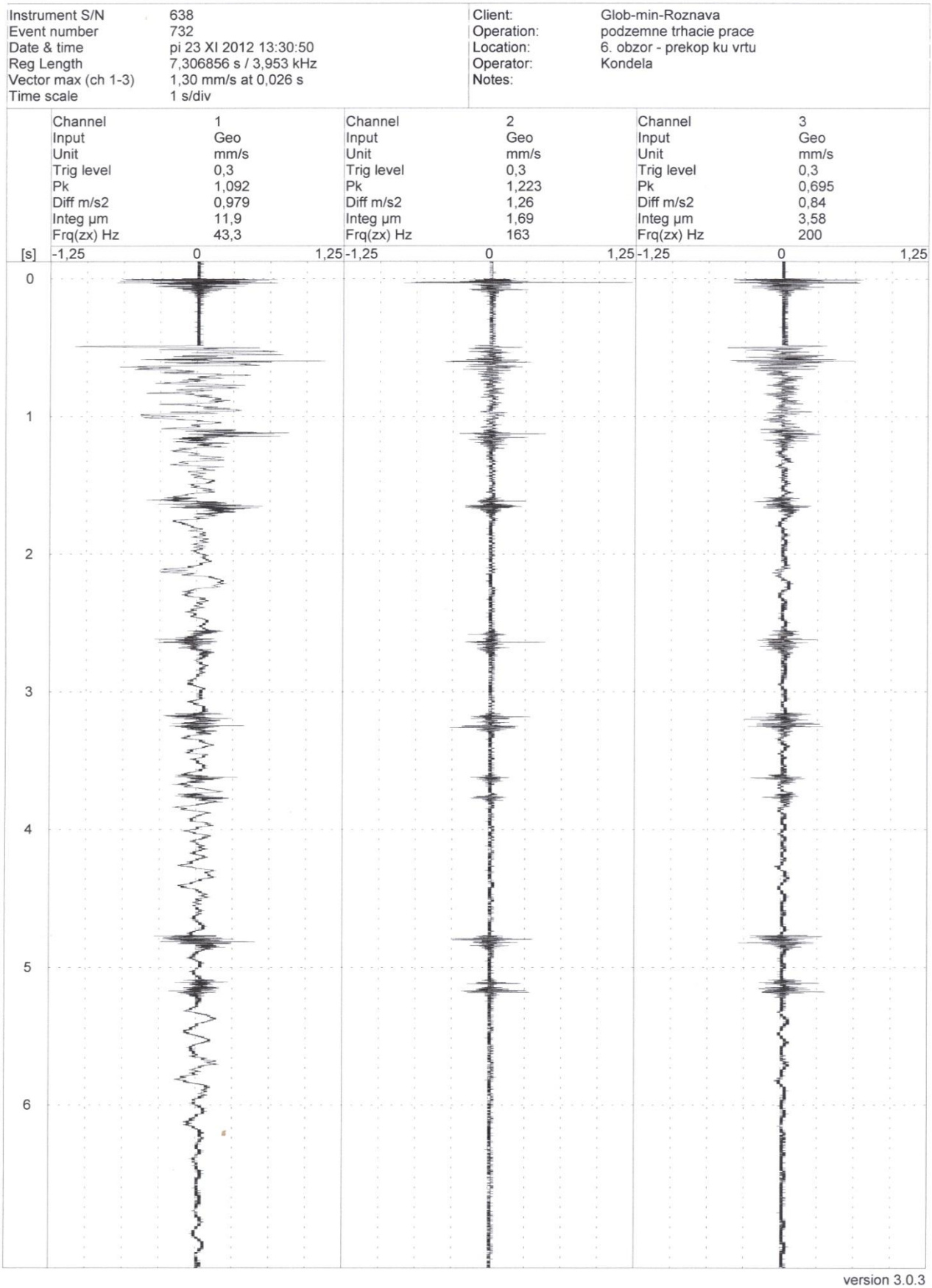
Peak Measurements

	Vertical	Transverse	Radial
PPV (mm/s)	5,30	4,20	15,68
Freq (Hz)	13,8	56,9	56,9
Time (ms)	149	175	151
PPA (g)	0,05	0,15	0,57
PPD (mm)	0,06112	0,01175	0,04386
PVS (mm/s)	15,966 @ 151,4ms		
PSPL (PA)	0,15 (77,718 dB) @ 0,0ms		
PSPL Freq	512,0Hz		
Sensor Test	Passed	Passed	Passed

Obr. 8 Grafický záznam jednotlivých zložiek vlnenia pri odstrele na meracom stanovisku 46 m od odstrelu – seizmograf VMS 2000 a namerané hodnoty.

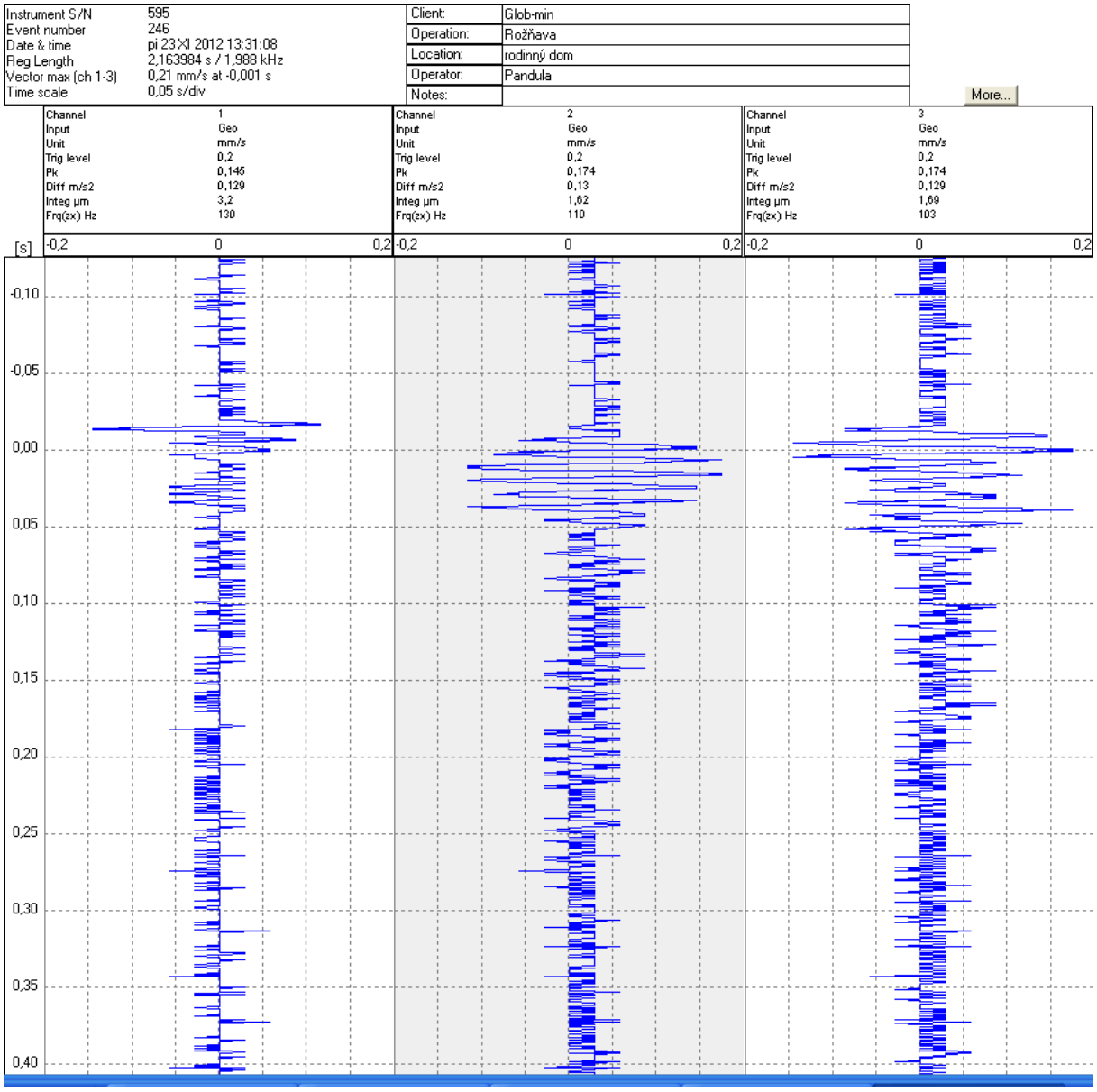
Seizmograf Abem Vibraloc bol uložený na stanovisku v bani vo vzdialenosti 148 m (Obr. 3). Pred meraním bol kalibrovaný a prekontrolovaná bola jeho citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na stanovisku sú v tabuľke 3. Na stanovisku č. 1 bol zaznamenaný

grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia. Kanál č. **1** je zložka **z**, kanál č. **2** je zložka x, kanál č. **3** je zložka y.



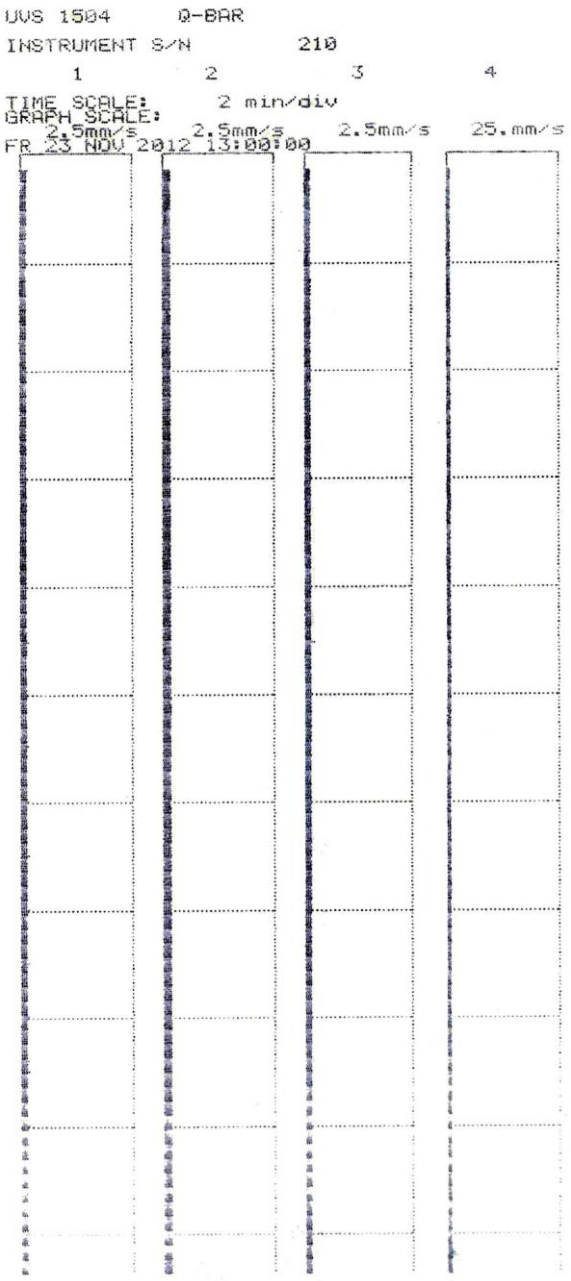
Obr. 9 Grafický záznam jednotlivých zložiek vlnenia pri odstrele dňa 23.11.2012.

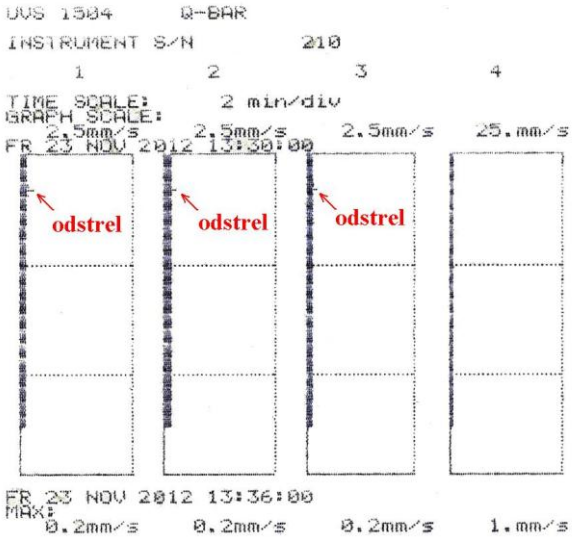
Druhy seizmograf Abem Vibraloc bol uložený na stanovisku 4 – schodisko bytového objektu č. 20 v Rožňave (Obr. 4). Pred meraním bol kalibrovaný a prekontrolovaná bola jeho citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na stanovisku sú v tabuľke 3. Na stanovisku č. 1 bol zaznamenaný grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia. Kanál č. **1** je zložka ***z***, kanál č. **2** je zložka x, kanál č. **3** je zložka y.



Obr.10 Grafický záznam jednotlivých zložiek vlnenia pri odstrele dňa 23.11.201 na stanovisku 4.

Seizmograf UVS 1504 bol uložený na stanovisku 4 – schodisko bytového objektu č. 255 v Rožňave (Obr. 2). Pred meraním bol kalibrovaný a prekontrolovaná bola jeho citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na stanovisku sú v tabuľke 3. Na stanovisku č. 1 bol zaznamenaný grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia a akustického vlnenia. Kanál č. **1** je zložka ***z***, kanál č. **2** je zložka y, kanál č. **3** je zložka x. Štvrá zložka je zvukový kanál.





Obr. 11 Grafický záznam jednotlivých zložiek vlnenia pri odstrele dňa 23.11.2012 na stanovisku 4.

Tabuľka 3 Namerané hodnoty rýchlostí a frekvencií pri CO 363

stanovisko	X Hz	Y Hz	Z Hz	4 Pa	X mm. s^{-1}	Y mm. s^{-1}	Z mm. s^{-1}	4 Pa
Baňa Mária VMS 2000	56,9	56,9	13,8		15,68	4,2	5,3	
Baňa Mária Abem Vibraloc	163	200	43,3		1,223	0,695	1,092	
Rodinný dom - ABEM Vibraloc	110	103	130		0,174	0,174	0,145	
Rodinný dom č. 255- UVS 1504	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	1 Pa

5. Seizmické účinky trhacích prác

Veľkosť intenzity otrasového účinku je priamo úmerná nasledovným parametrom nálože:

- *hmotnosti nálože,*
- *brizancii trhaviny,*
- *náložovej hustote trhaviny.*

Časť energie výbuchu výbušniny, ktorá sa nevyužije na rozpojenie, vniká do obklopujúceho prostredia ako rázový impulz, ktorým sa od miesta detonácia šíri všetkými smermi vo forme rôznych typov pružných rázových vĺn, z ktorých najvýznamnejšie sú povrchové vlny Rayleighove a Loveove. Rýchlosť šírenia týchto objemových vĺn napätia, pozdĺžnej (ťah – tlak) a priečnej (šmyk), je zhodná s rýchlosťou zvuku v danom prostredí.

Charakteristickými fyzikálnymi veličinami pre každé vlnenie (harmonický pohyb) a teda j pre seizmické vlny sú:

- *amplitúda,*
- *frekvencia vlnenia.*

Kmity vyvolané výbuchom výbušnín majú neperiodický priebeh a charakterizuje ich veľká amplitúda a energia. Na šírenie seizmickej vlny majú vplyv vlastnosti obklopujúceho prostredia, ktoré v mnohých prípadoch nie je možné úplne uspokojivo definovať. Napríklad v horninách prechádza seizmická vlna cez tektonické poruchy s veľkým utlmením, ale pozdĺž týchto porúch sa šíri pomerne ľahko a na veľké vzdialenosti. Rozkmitanie prostredia v okolí výbuchu nálože má pritom podobný charakter ako blízke zemetrasenie.

Obvyklé frekvencie budené výbuchom náloži sa pohybujú v rozmedzí 5-50 Hz. Frekvencie f >10 Hz zodpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou m_{ev} > 2000 kg, frekvencie f > 50 Hz zodpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou m_{ev}< 5 kg.

Podľa usporiadania môžu mať odstrely:

- *jednu nálož uloženú vo vrte alebo komore,*
- *viac náloží uložených vo vrtoch alebo komorách,*
- *príložnú nálož alebo nálože.*

Podľa časovania to môžu byť odstrely:

- *okamihové* (všetky nálože vybuchujú súčasne),
- *časované* (čiastkové nálože vybuchujú v rôzne odstupňovaných časových intervaloch).

V jednom časovom stupni môže súčasne vybuchovať viac náloží, ktoré považujeme za jednu čiastkovú nálož.

Pri časovanom odstrele uvažujeme s dvomi časovými intervalmi Δt:

- $\Delta t \geq 250$ **ms** (kmity utlmia ešte pred výbuchom ďalšej čiastkovej nálože),
- $\Delta t < 250$ **ms** (vzniká interferencia účinkov čiastkových náloží).

Potrebná dĺžka medzného intervalu časovania závisí od horninového prostredia a môže klesnúť z hodnoty 250 ms až na Δt = 10 ms.

Pri okamihovom odstrele sa vo výpočte uvažuje s celkovou hmotnosťou nálože trhaviny. Pri časovanom odstrele s intervalom časovania kratším ako 250 ms možno vplyv časovania zistiť experimentálne. Ak to nie je možné, uvažuje sa pri zhruba rovnakých jednotlivých náložiach najviac dvojnásobná hmotnosť čiastkovej nálože (hmotnosť v jednom časovom stupni – ekvivalentná hmotnosť nálože m_{ev}), prípadne pri náložiach rôznej veľkosti najviac súčet hmotností dvoch najväčších náloží. Ak prevyšuje hmotnosť jednej z náloží ostatné

aspoň štvornásobne, stačí uvažovať hmotnosť tejto najväčšej nálože. Podmienkou je normálne upnutie a obvyklé utesnenie náloží.

Najspoľahlivejší spôsob stanovenia a predpovede intenzity otrasov sú priame merania seizmických účinkov na konkrétnom stavebnom objekte pri odpálení nálože malej hmotnosti. Prístroje na meranie a záznam môžu byť:

- *mechanické,*
- *digitálne.*

Prístrojmi sa merajú, zaznamenávajú a u digitálnych aj vyhodnocujú amplitúda kmitov alebo rýchlosť kmitania. Zo záznamu amplitúdy sa odčíta maximálna výchylka, jej zodpovedajúca frekvencia a rýchlosť kmitania sa stanoví výpočtom. Efektívnejší spôsob je priame meranie rýchlosti kmitania. Ako elektrické snímače sa používajú 3 geofóny rozmiestnené a upevnené tak, aby boli snímané všetky tri priestorové zložky kmitania (dve horizontálne a jedna vertikálna). Rýchlosť kmitania sa určí zo záznamu ako maximálna hodnota jednej z troch zložiek.

Pre hrubý predbežný odhad seizmického pôsobenia odstrelu na blízky stavebný objekt sa používa upravený Kochov vzťah (STN 73 0036):

$$\acute{u} = K.\frac{\sqrt{m_{ev}}}{1000.l},$$

kde $\acute{u}$ je rýchlosť kmitania seizmickej vlny [m.s^{-1}],
m_{ev} je ekvivalentná hmotnosť nálože [kg],
l je najkratšia vzdialenosť miesta odstrelu od objektu [m],
K je súčiniteľ prenosu energie geologickým prostredím alebo funkcia prenosu energie stanovená seizmickým meraním, ktorá je závislá od vzdialenosti bodu merania od ťažiska odstrelu.

Orientačné hodnoty súčiniteľa prenosu energie K sú uvedené v tab 4.

Tabuľka 4 Informatívne hodnoty súčiniteľa prenosu energie K.

Vzdialenosť l	Súčiniteľ K [kg$^{-1/2}$. m^2. s^{-1}]	
	Podložie zo skalných a poloskalných hornín so strednou až veľmi malou hustotou diskontinuit	Ostatné horniny okrem hornín vo zvodnenom prostredí
10	350	250
50	250	150
200	150	120
500 a viac	120	100

Hodnoty uvedené v tabuľke platia pre rýchlosti kmitania do 30 mms^{-1}, neplatia pre vodou nasýtené prostredie.

Rýchlosť kmitania menšia ako 10 mm.s^{-1} nespôsobuje žiadne škody, pri rýchlosti 20 mm.s^{-1} sa prejavujú prvé známky ľahkých škôd pri vyšších rýchlostiach už vznikajú vážne až veľké poškodenia objektov vedúce až k úplnému narušeniu stability.

Seizmické účinky pripravovaného odstrelu možno podstatne znížiť:

- *rozdelením celkovej nálože do viacerých čiastkových náloží.* Veľmi účinne možno výsledný seizmický účinok znížiť milisekundovým časovaním odstrelu, u ktorého oneskorenie jednotlivých náloží spôsobuje interferenciu seizmických vĺn tak, že sa ich nežiadúce účinky vzájomne rušia. Je známy fakt, že otras je tým menší, čím

ľahšie nálož prekoná odpor záberu, preto v niektorých prípadoch je vhodné predimenzovanie hmotnosti nálože o 30 – 40%. Tým vzrastie amplitúda, ale zníži sa frekvencia kmitov a zmenší sa upnutie rozpojovaného materiálu. Výsledkom je menší seizmický účinok za cenu zväčšenia odhodenia a rozletu rozpojovaného materiálu.

- *vytvorením umelej prekážky (štrbiny) v ceste seizmických vĺn* pomocou metódy hladkého výlomu „presplit blassting“ (predštep).

Najväčší seizmický efekt sa docieli odpálením uzavretých náloží v geometricky neohraničenom prostredí, t.j. bez voľných plôch (otrasové trhacie práce), pri rozpojovaní na jednu voľnú plochu (zálomy) a pri veľkom upnutí náloží (rozpojovanie na ohraničenú šírku voľnej plochy). Najmenší seizmický efekt je pri druhotnom rozpojovaní, t.j. pri veľkom počte voľných plôch.

Niekde uprostred medzi týmito dvomi extrémami sa pohybuje väčšina odstrelov. Zvyšovaním počtu voľných plôch a znižovaním upnutia náloží požitím vhodných vrtných schém a organizácie odstrelu (geometria a časovanie) je možné účinky plánovaného odstrelu už v štádiu jeho projektovania posunúť do oblasti minimalizovaného seizmického účinku.

6. Odhad bezpečnej vzdialenosti od miesta odstrelu

Rýchlosť kmitania možno zistiť meraním (v smeroch x, y, z), pri odpálení menšieho množstva trhaviny ako bude mať vlastná nálož. Meranie sa musí uskutočniť na posudzovanom mieste alebo na mieste s podobnými geologickými pomermi. Skúšobná nálož nesmie mať menšiu hmotnosť ako 0,1 hmotnosti maximálnej čiastkovej nálože m_{ev}, ktorá bude použitá pri plánovanom odstrele.

Medzi rýchlosťami kmitania v_1 a v_2 od náloží o hmotnostiach m_1 a m_2 (ak $m_1 < m_2$) platí vzťah:

$$v_1 = v_2 . \left(\frac{m_1}{m_2} \right)^{\alpha_v} ,$$

kde $\alpha_v < 1$, (približne sa rovná 0,5).

Analogicky vzťah platí aj pre zložky rýchlosti u.

Pre danú triedu odolnosti (tab. 5) objektu a prípustný stupeň poškodenia sa bezpečná vzdialenosť *1* stavebného objektu od miesta odstrelu, ak nebolo možné vykonať skúšobný odstrel a meranie, približne určí zo vzťahu:

$$l = k_1 . m_{ev}^{k_2} ,$$

kde k_1 je súčiniteľ vyjadrujúci druh stavby, stupeň poškodenia a je závislý od ekvivalentnej hmotnosti nálože,
k_2 exponent závislý od hmotnosti nálože m_{ev},
m_{ev} ekvivalentná hmotnosť nálože.

Tabuľka 5 Triedy odolnosti stavebných objektov.

Trieda odolnosti objektu	Objekty bytové, občianske, priemyselné a poľnohospodárske	Objekty inžinierske	Objekty podzemné	Podzemné inžinierske siete a káble
A	Chatrné stavby nezodpovedajúce predpisom, zrúcaniny: historické budovy z neopracovaného kameňa alebo tehál s klenutými prekladmi, prieviakmi a plošným i klenbami nad miestnosťami prízemia a suterénu: kamenné a murované pomníky a fontány, budovy s rozsiahlou plastickou výzdobou, budovu v osobitnej pamiatkovej starostlivosti			
B	Bežné tehlové stavby, izolované alebo radové domčeky s pôdorysnou plochou do 200 m^2, najviac trojpodlažné			
C	Veľké budovy z tehál a tvárnic, dobre vystužené stavby panelové a montované so železobetónových prvkov, murivo na cementovú maltu	Kamenné mosty /sochy ozdoby), oporné a ochranné steny z kameňa a tehál, murované vodojemy	Keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemných objektoch metra a v podchodoch	Azbestocementové a kameninové potrubia, káblové spojky, rozvodné skrine na komunikačných kábloch
D	Budovy s monolitickým skeletom z ocele alebo železobetónu, drevené a hrazdené stavby s dobrým vystužením, prostý betón	Opory mostov z opracovaného kameňa, monolitické vodojemy	Tehlové, kamenné a tvárnicové výmurovky v podzemných objektoch	Liatinové a betónové potrubia, potrubia z umelých hmôt
E	Železobetónové a oceľové konštrukcie, výrobné a prevádzkové objekty, železobetónové silá a zásobníky	Železobetónové inžinierske stavby, oceľové stožiare	Betónové monolitické konštrukcie podzemných objektov, vymurované a monolitické štôlne kruhového a oválneho tvaru, stoky a technologické tunely z prefabrikátov a rúr s priemerom väčším ako 800 mm, podzemné železobetónové steny, kotvená výstuž, korene kotviev	Káble žilové a koaxiálne, komunikačné káble
F			Železobetónové a oceľové ostenia tunelov metra a kolektorov, úkryty civilnej obrany	Oceľové potrubia

6.1. Druhy základovej pôdy

Pre účely hodnotenia technickej seizmicity sa základová pôda zatrieďuje do troch kategórií:

- *kategória a*, patria sem horniny všetkých tried pri tabuľkovej návrhovej únosnosti $R_{dt} \leq$ 0,15 MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke od 1,0 do 3,0 m pod základovou škárou,
- *kategória b*, horniny všetkých tried pri tabuľkovej návrhovej únosnosti $R_{dt} \leq$ 0,15 MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke viac ako 3,0 m. Do tejto kategórie patria tiež horniny všetkých tried pri tabuľkovej návrhovej únosnosti R_{dt} >0,15 MPa, ak je hladina podzemnej vody trvalo v hĺbke od 1,0 do 3,0 m pod základovou škárou.
- *kategória c*, horniny všetkých tried pri tabuľkovej návrhovej únosnosti R_{dt} >0,15 MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke viac ako 3,0 m pod základovou škárou. Do tejto kategórie patria tiež horniny všetkých tried tabuľkovej návrhovej

únosnosti R_{dt} >0,6 MPa, ak je hladina podzemnej vody trvalo v hĺbke viac ako 1,0 m.

Individuálne posúdenie je potrebne urobiť pre horniny všetkých tried, ak je hladina podzemnej vody trvalo menej ako 1,0 m pod základovou škárou a v územiach náchylných na zosuvy. (Müncner, E a kol., 2000)

Závislosť stupňa poškodenia od maximálnej rýchlosti kmitania (max. *u*, max. *v*), druhu objektu a základovej pôdy je uvedená v tab. 6 **.**

Tabuľka 6 Závislosť stupňa poškodenia od maximálnej rýchlosti kmitania druhu objektu a základovej pôdy.

Maximá rýchlosti kmitania pre frekvenčnú oblasť			**Stupeň** poškodenia	**Trieda odolnosti objektu**	**Druh základovej pôdy**
f_k < 10 Hz	10 Hz<f_k<50 Hz	f_k > 50 Hz			
do 3	3 až 6	6 až 5	0	A	a
3 až 6	6 až 12	12 až 20	0	A	b,c
				B	a
6 až 10	10 až 20	15 až 30	0	B	b,c
				C	a
			1	A	a
8 až 15	15 až 30	20 až 30	0	C	b
				B	c
			1	A	b,c
				B	a
10 až 20	20 až 30	30 až 50	0	C	c
				D	a
			1	B	b
				C	a
			2	A	a
15 až 25	25 až 40	40 až 70	0	D	b,c
				E	a
			1	C	b
				B	c
			2	A	b,c
				B	a
20 až 40	40 až 60	60 až 100	0	E	b,c
				F	a
			1	C	c
				D	a
			2	B	b,c
				C	a
30 až 50	50 až 100	100 až 150	0	F	b,c
			1	D	b,c
				E	a
			2	C	b

1) Hodnoty v stĺpci pre f_k väčšie ako 50 Hz nemožno použiť pre potrubie uložené v zásype.

Tabuľka 7 Súčinitele k_1 a k_2.

Trieda odolnosti objektu	Stupeň poškodenia objektu	k_1 =2/3	k_2 =1/3
		m_{ev} = 1 až 10^3 kg	m_{ev} =10^3 až 5.10^3kg
		k_1	k_2
A až F	0	15	150
A	1	10	100
B až F	0	10	100
A	2	7	70
B	1	7	70
C až F	0	7	70
A	3	5	50
B	2	5	50
C	1	5	50
D až F	0	5	50
A	4	4	40
B	3	4	40
C	2	4	40
D	1	4	40
E, F	0	4	40
A	5	2	20
B	4	2	20
C	3	2	20
D	2	2	20
E	1	1	20

Spoľahlivá predpoveď seizmického účinku ľubovoľne veľkej nálože trhaviny na stavebný objekt v ľubovoľnej vzdialenosti neexistuje. Aj v rovnakom prenosovom prostredí a pri rovnakej technológii rozpojovania dávajú hodnoty súčiniteľov *K*, k_1 a k_2 (tab. 8) veľký rozptyl hodnôt a tým aj rôzne hodnoty *u, v*. To znamená, že výpočet nemôže dať jednoznačne spoľahlivú odpoveď, či plánovaný odstrel zaručí alebo nezaručí seizmickú bezpečnosť chráneného objektu.

Všetky vzťahy pre predbežný výpočet rýchleho kmitania môžu poskytnúť len približnú informáciu, t.j. môžu zdôrazniť potrebu konkrétnych meraní, alebo naopak môžu viesť k záveru, že vzdialenosť objektu od miesta plánovaného odstrelu je tak veľká, že merania nie sú vôbec potrebné.

Rozsah pôsobenia škodlivých seizmických účinkov na človeka i objekty, uvádza tab. 8.

Tabuľka 8 Škodlivé seizmické účinky v závislosti na rýchlosti kmitania.

Rýchlosť kmitania [mm.s^{-1}]	Charakteristika otrasov a ich účinkov
do 2	Človek otrasy nevníma, chvenie možno zistiť len prístrojom
2 – 5	Citlivé osoby vnímajú chvenie za ticha a kľudu, hodnota by nemala byť prekročená u pamiatkovo chránených budov (zrúcanín)
5 – 10	Otras je už človekom vnímaný, najmä osobami informovanými o odstrele
10 – 15	Otras je vnímateľný väčšinou ľuďmi, chvejú sa okenné tabule, v celkom výnimočných prípadoch sa môžu objavovať príznaky nepatrných poškodení
15 – 30	Prvé známky veľmi ľahkých škôd, odlupovanie maľby, výnimočné vlasové trhliny v omietke
30 – 75	Ľahké škody na už poškodených budovách, trhliny v omietke, opadávanie omietky výnimočné uvoľňovanie nesúrodých dielov
75 – 100	Možné škody na už poškodených budovách, ktoré boli v dobrom stave, tenké trhliny na stenách, trhliny v komínoch, opadávanie veľkých kusov omietky, opadávanie strešnej krytiny
100 – 200	Vážne škody, veľké trhliny v nosných stenách, trhliny v betóne, zbúranie komínov
200 – 400	Rozrušenie budov, rozpadávanie muriva, zrútenie časti stien, vážne škody v železobetónových konštrukciách
nad 400	Možné zbúranie budov a veľmi ťažké poškodenie objektov všetkých druhov

7. Eliminácia škodlivých účinkov trhacích prác

Pri trhacích prácach, ani pri najdokonalejších postupoch, sa nedá počítať s absolútnym využitím energie uvoľnenej výbuchom náloží trhaviny len pre vykonanie zamýšľanej práce. Je nutné počítať s tým, že časť energie sa prejaví v podobe, ktorú považujeme za nepriaznivý účinok.

Pri trhacích prácach, dnes už vykonávaných všade, sa môže nachádzať veľa rôznych objektov, rozvodov podzemných, resp. nadzemných, fauna, flóra, ktoré musíme premyslene chrániť, aby sme pri používaní energie výbuchu nespôsobili viac škôd ako užitočnej práce.

Predovšetkým je pri týchto prácach nutné očakávať:

- *rozlet materiálu,*
- *vzdušnú tlakovú vlnu, resp. rázovú vlnu vo vode,*
- *seizmické účinky.*

8. Kritérium a merítko seizmických účinkov

Účinky tzv. technickej seizmicity vyvolanej trhacími prácami sa merajú a posudzujú rýchlosťou kmitania častíc prostredia (rýchlosť amplitúdy) „v“ a to podľa maximálnej hodnoty jednej z jej troch zložiek x, y, z. Princíp seizmickej ochrany – seizmickej bezpečnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite možno vyjadriť vzťahom

$$\mathbf{v \leq v_d}$$

kde **v** je maximálna hodnota zložky rýchlosti kmitania vyvolaná zdrojom otrasov, nameraná na tzv. referenčnom stanovisku chráneného (posudzovaného) objektu; referenčné stanovisko sú základy prízemia budovy; hodnota „**v**“ závisí hlavne od maximálnej hmotnosti nálože trhaviny odpálenej v jednom časovom stupni $\mathbf{Q_č}$ **[kg**], ďalej od minimálnej vzdialenosti zdroja od receptora otrasov **L [m]** a od vlastností geologického prenosového prostredia medzi zdrojom a receptorom otrasov. Na úrovni súčasných poznatkov sa hodnota „**v**“ nedá vopred ani analyticky ani empiricky spoľahlivo vypočítať; najspoľahlivejšie sa stanoví konkrétnym meraním, ako je tomu v našom prípade, $\mathbf{v_d}$ je maximálna dovolená (medzná) rýchlosť kmitania pre posudzovaný (chránený) objekt; pri tejto rýchlosti kmitania nedôjde k nijakému poškodeniu objektu – **stupeň poškodenia je 0**; táto hodnota sa stanovuje nezávisle na odstrele (pred odstrelom) na základe praktických skúseností uvádzaných v rôznych normatívoch (u nás napr. STN 73 00 36), alebo na základe expertíznych posúdení špecialistami. STN 73 0036 uvádza vzťah medzi intenzitou kmitania vyjadrenou rýchlosťou kmitania jednotlivých zložiek a možnosťou poškodenia stavby. V zhode s normou a podľa skúsenosti získaných meraním a vyhodnocovaním seizmických účinkov v lomoch po celom Slovensku, je možne pre murované občianske stavby v priemernom stavebnom stave prijať tieto kritéria:

pri rýchlosti kmitania

a) v = 0 – 10 mm/s – nehrozí žiadne poškodenie stavby,
b) v = 10 – 30 mm/s - možnosť vzniku prvých známok škôd
c) v = 30 – 60 mm/s – možnosť vzniku ľahkých škôd.

9. Vzdušná tlaková vlna

Výbuchom nálože vzniká vzdušná tlaková vlna, ktorá pôsobí na prostredie veľkosťou pretlaku P v určitej vzdialenosti od miesta výbuchu. Je tvorená tenkou vrstvou stlačeného vzduchu, ktorá má v blízkosti zdroja (vybuchujúcej nálože) charakter rázovej vlny a vo väčšej vzdialenosti prechádza na vlnu zvukovú. Pri dobre utesnenej náloži je ohrozenie zdravia jej pôsobením oveľa menej pravdepodobné, než ohrozenie rozletom rozpojovaného materiálu. Silnejšou tlakovou vlnou sa prejavuje výbuch polouzavretých alebo príložných náloží.

V takých prípadoch môže rozsiahlejšie škody spôsobiť aj pomerne neveľká nálož. Intenzita tlakovej vlny sa meria tlakovými snímačmi alebo sonometrami s veľmi krátkou časovou základňou (niekoľko μs). Pre približný výpočet pretlaku sa používa vzťah:

$$P = k.\sqrt{\frac{Q}{L^3}}$$

kde P je pretlak v [Pa],
k je konštanta závislá od vplyvu prostredia v okolí nálože a od mernej energie výbušniny(pre priemyselné trhaviny so stabilizovanou detonačnou rýchlosťou je k =13 až 15, pre ostatné je menšia),
Q je hmotnosť nálože [kg],
L je vzdialenosť posudzovaného miesta od centra výbuchu.

Pre ľudský organizmus je škodlivý už pomerne nízky tlak. Ťažké, až smrteľné zranenia vznikajú už pri pretlaku nad 0,1 MPa. Veľmi intenzívne až bolestivo sú pociťované pretlaky nad 0,005 MPa. (Müncner, E a kol, 2000)

9.1. Účinky vzdušných tlakových vĺn

Podľa nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 549/2007 z.z. o ochrane zdravia pred hlukom a vibráciami pre posudzovanie škodlivosti hluku nezáleží len na intenzite a frekvenčnom spektre, ale i na dobe pôsobenia hluku. V prípade krátkeho časového pôsobenia hluku (1 až 200 ms), počas ktorého dochádza k maximálnemu vyžarovaniu zvukovej energie, hovoríme o impulznom zvuku. Stacionárnymi zdrojmi impulzného hluku sú predovšetkým strelne zbrane použitie, trhavín a výbušnín (napr. odstrely v lomoch), ale aj iné technológie, kedy dochádza k náhlemu uvoľneniu energie. Najvyššia prípustná maximálna hladina hluku L_{Amax} pre hluk impulzný s počtom impulzov menším ako 20 impulzov za sekundu a dobou trvania menej ako 1 s, z hľadiska pôsobenia na ľudský organizmus, je 130 dB. Tlak akustického vlnenia, z hľadiska pôsobenia na obytné objekty, môže spôsobiť poškodenia pri hodnotách nad 100 Pa.

Pretože pre posúdenie vplyvu na ľudský organizmus sa pôsobenie akustického tlaku vyjadruje pomocou hladín, ktoré sú vyjadrené v decibeloch, je možne akustický tlak prepočítať na hladiny podľa korelačného vzťahu medzi decibelom (dB) a pascalom (Pa) dB = 20 x ^{10} log (0,05 Pa x 10^6).

Tabuľka 9 Vzájomný vzťah medzi akustickým tlakom a hladinou akustického tlaku

Hladina akustické tlaku L_A (dB)	Akustický tlak p (Pa)
0	$2{,}0.10^{-5}$
50	$6{,}3.10^{-3}$
100	2,000
110	6,311
120	20,00
130	63
140	200,0
150	630,0

Pre bližšie dokreslenie, uvádzame hodnoty účinkov vzdušných tlakových vĺn v závislosti na pretlaku na čele vlny:

pretlak vzdušnej tlakovej vlny škodlivé účinky vzdušnej tlakovej vlny

- **198 dB ťažké a smrteľné zranenia,**
- **180 dB ťažké škody na bežných stavbách,**
- **174 dB väčšina okenných tabúľ rozbitá,**
- **154 dB niektoré okenné tabule rozbité,**
- **148 dB veľmi intenzívny vnem ľuďmi,**
- **143 dB neškodne pre stavebne objekty,**

- **140 dB** **niektoré veľmi veľké okenné tabule rozbité,**
- **138 dB** **najvyššia prípustná hodnota, v žiadnom prípade nedôjde k poškodeniu,**
- **134 dB** **maximálna prijateľná hodnota, nedôjde k poškodeniu.**

10. Dovolená rýchlosť kmitania pre stavebné objekty bytovej zástavby Rožňava

Vychádzajúc z odporúčaní STN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané pre clonové odstrely, ktoré predstavujú rádovo stovky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle **f < 10 Hz (potvrdené meraním)** a na základe odolnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite je možno posudzovaný rodinný dom v obci Vyšná Šebastová zaradiť do **triedy odolnosti B** (tab. 6).

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zatriediť do **kategórie a,** čo je najbližšie ku skutočnosti **(hladina podzemnej vody je menej ako 3 m pod úrovňou povrchu).**

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelov na Bani Mária a s ohľadom na charakter stavebných objektov, pre rozpojovanie odstrelmi na ložisku Baňa Mária a pre stavebné objekty v Rožňave, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou (tab. 7)

$$v_d \leq 3 \text{ mm/s.}$$

11. Namerané seizmické účinky clonových odstrelov a ich analýza

Tabuľka 10 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosti kmitania clonových odstrelov

L [m]	Q [kg]	$L_R = L/Q^{0,5}$ [m/kg^{0,5}]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	v_z [mm/s]
46	**4**	**23**	15,68	4,2	5,3
148	**4**	**74**	1,223	0,695	1,092
320	**4**	**160**	0,174	0,174	0,145
320	**4**	**160**	0,2	0,2	0,2

Ak podľa STN 730036 plati:

$$v = K.\frac{\sqrt{Q_{ev}}}{L},$$

kde „v“ je nameraná maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosti kmitania) generovaná odstrelom, [mm.s^{-1}],

- L je najkratšia vzdialenosť zdroja otrasov od ich receptora, [m],
- Q_{ev} je hmotnosť nálože na jeden časový stupeň, [kg],
- K je súčiniteľ závislý od podmienok odstrelu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,

potom z uvedeného vzťahu pre koeficient prenosového prostriedia **K** pre blízke okolie hradu Brekov platí:

$$K_1 = v.\,L / \sqrt{Q_{ev}} = 15{,}68.\,46 / \sqrt{4} = 358{,}8,$$
$$K_2 = v.\,L / \sqrt{Q_{ev}} = 1{,}223\,.\,148 / \sqrt{4} = 90{,}5,$$
$$K_3 = v.\,L / \sqrt{Q_{ev}} = 0{,}2\,.\,220 / \sqrt{4} = 22.$$

Na základe takto vypočítaného koeficientu prenosového prostredia je možne vypočítať maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{vmax} pre najbližšiu vzdialenosť zdroja - trhacích prác v Bani Mária a receptora – bytové objekty v Rožňave:

Pre vzdialenosť 100 m $Q_{vmax} = v^2.L^2/K^2 = 3^2.\,100^2 / 22^2 = 185$ **kg,**
Pre vzdialenosť 200 m $Q_{vmax} = v^2.L^2/K^2 = 3^2\,.\,200^2 / 22^2 = 743{,}8$ **kg,**
Pre vzdialenosť 300 m $Q_{vmax} = v^2.L^2/K^2 = 3^2\,.\,300^2 / 22^2 = 1673{,}5$ **kg,**

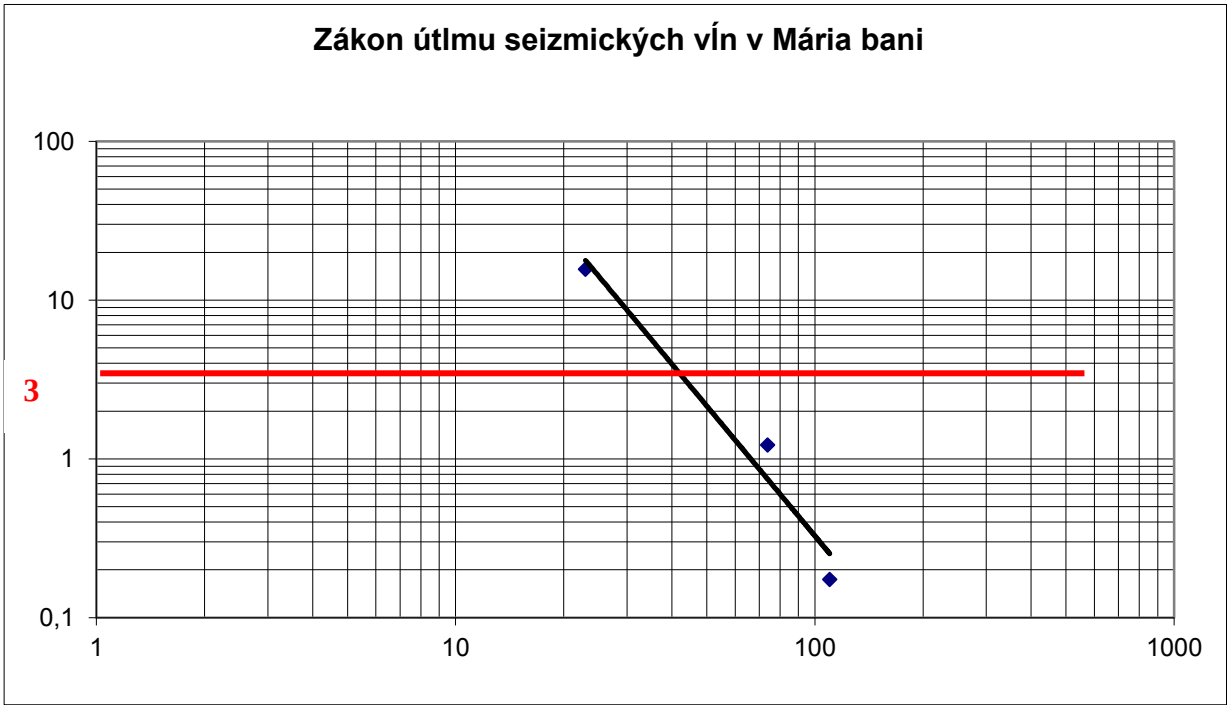
Pri celkovom hodnotení sme vychádzali aj z nameraných hodnôt pri trhacích prácach v predchádzajúcom období.

Na základe údajov z tabuľky 2 a 10 bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri clonových odstreloch. Graf na obr. 12 predstavuje tzv. zákon útlmu seizmických vĺn (Pandula a Kondela J., 2010) pre blízke okolie hradu Bane Mária, v ktorom bola použitá hodnota Q v tvare

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0,5}}\right) = K\left[\frac{L}{Q^{0,5}}\right]^n ,$$

kde „v“ je maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosti kmitania) generovaná odstrelom, [mm/s],

- $L/Q^{0,5}$ je tzv. redukovaná vzdialenosť, [m/kg^{0,5}],
- L je najkratšia vzdialenosť zdroja otrasov od ich receptora, [m],
- Q je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],
- K je súčiniteľ závislý od podmienok odstrelu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- n je ukazovateľ útlmu seizmických vĺn.



Obr. 12 Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri odstreloch v bani Mária dňa. 23.11:2012.

Z grafického priebehu zákona útlmu seizmických vĺn pre odstrely v Bani Mária na obr. 12 vyplýva, že dovolená rýchlosť kmitania 3 mm.s^{-1} pre frekvencie menšie ako 10 Hz, nebude prekročená pri uvedenej maximálne dovolenej náloži na jeden časový stupeň a uvedených vzdialenostiach. Červená čiara predstavuje hranicu maximálne povolených rýchlostí kmitania pre Baňu Mária.

12. Záver

Na základe rýchlostí kmitania seizmických vĺn nameraných pri odstrele dňa 23.11.2012 na Bani Mária je možne konštatovať, že hodnoty rýchlosti kmitania seizmických vĺn na stanovisku 4 neprekročili dovolenú rýchlosť kmitania stanovenú STN 730036 pre bytové objekty v Rožňave.

Zo zákona útlmu seizmických vĺn je možné stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože pri známej vzdialenosti, tak aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosti kmitania nepresiahli stanovené maximálne rýchlosti kmitania pre bytové objekty v Rožňave. Na základe meraní uskutočnených na Bani Mária pre ďalší postup trhacích prác stanovujeme maximálne nálože na jeden časový stupeň takto:

Pre vzdialenosť 100 m $Q_{vmax}= L^2/L_R^2=100^2 / 40^2 =$ 6,25 kg,
Pre vzdialenosť 200 m $Q_{vmax}= L^2/L_R^2=200^2 / 30^2 =$ 25 kg,
Pre vzdialenosť 300 m $Q_{vmax}= L^2/L_R^2=300^2 / 30^2 =$ 56,25 kg,
Pre vzdialenosť 400 m $Q_{vmax}= L^2/L_R^2=400^2 / 30^2 =$ 100 kg,
Pre vzdialenosť 500 m $Q_{vmax}= L^2/L_R^2=500^2 / 30^2 =$ 156,25 kg,

V Košiciach dňa 21.12.2012

- Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc.....
- Mgr. Julián Kondela, PhD.....

Správa bola vyhotovená v 3 origináloch.

Použitá literatúra

Dojčár, O. a kol., 1996: Trhacia technika, Montanex, a.s., Ostrava 1996, 421 s.
Jacko, S. ml., 1997: Prehľad stavby mezozoika humenských vrchov. Acta Montanistica Slovaca.
Müncner, E., a kol., 2000: Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov, SSTVP Banská Bystrica 2000, 201 s.
Pandula, B. a Kondela, J., 2010: Metodológia seizmiky trhacích prác, SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o., 156 s.
STN 730036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcii, Bratislava 1995