

Seizmický monitoring trhacích prác v lome Maglovec

Seismic monitoring of blasting in Maglovec quarry

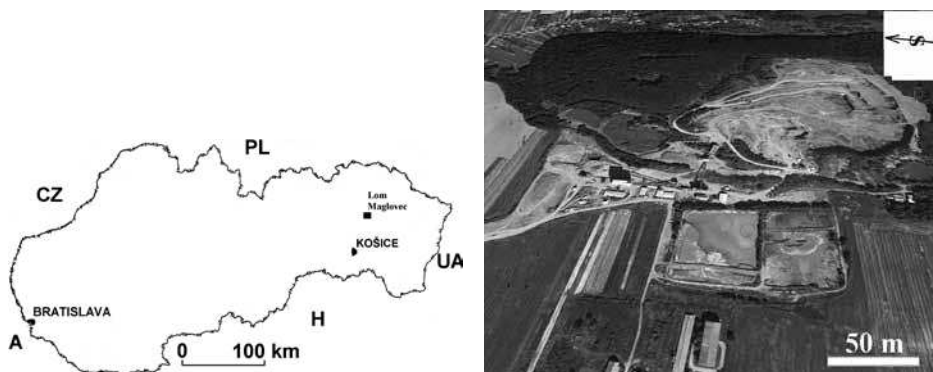
Pandula Blažej, Kondela Julián, Kamenská Katarína

Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, SK

Abstract: *The impact of blasting operations is accompanied by positive and also negative after-effects. Vibrations, activated by explosion, help to disturb the rocks what represents a positive effect on one hand and endanger surrounding buildings and other properties on the other hand as a negative effect. If the vibrations are large enough, than the ambient objects could be damaged or destroyed. Negative effects depend on their range and strength. Vibration intensity of seismic waves is proportional to weight of the explosive used. Recently, negative effects of the blasting operations and quantification of the seismic safety is highly actual and challenging problem. The article represents results of the blasting operation monitoring in Maglovec quarry.*

Keywords: *blasting operations, monitoring.*

Lom dioritového porfyritu Maglovec sa nachádza severnej časti Slanských vrchov, asi 35 km na severovýchod od Košíc (obr. 1). V blízkosti lomu asi (800 m na JZ) sa nachádza obec Výšná Šebastová a smerom na SZ obec Severná.



Obr. 1. Pozícia lomu Maglovec a letecký pohľad na lom.

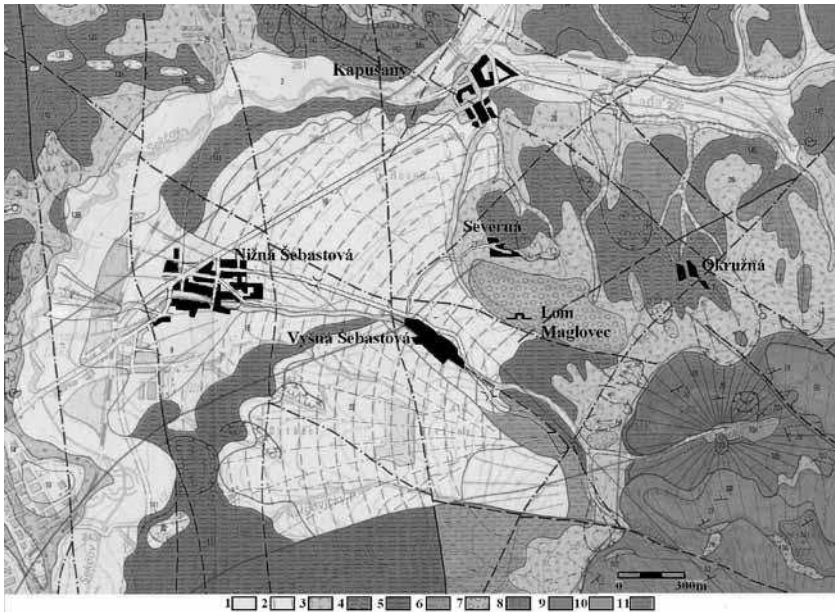
Na príklade monitoovania trhacích prác, ktoré sme skúmali v lome Maglovec, je možné popísať metodológiu seizmiky trhacích prác [4].

1. Prenosové prostredie

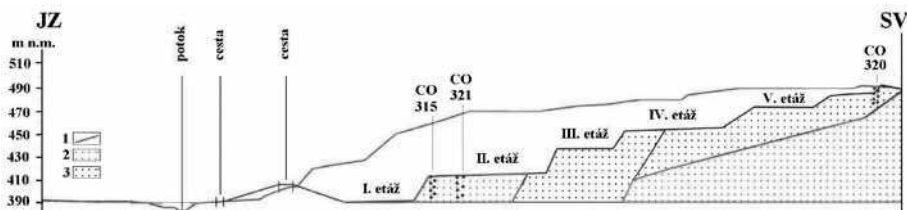
Lom dioritového porfyritu Maglovec sa nachádza severnej časti Slanských vrchov, asi 35 km na severovýchod od Košíc. V blízkosti lomu asi (800 m na JZ) sa nachádza obec Výšná Šebastová a smerom na SZ obec Severná. Semiintruzívne teleso dioritového porfyritu Maglovec je neogéneho veku (stredný sarmat $12 \pm 0,3$ Ma) a vniklo do prostredia neogénnych sedimentov spodného miocénu. Práve v horninovom prostredí dioritového porfyritu je situovaný lom Maglovec. Intrúzie dioritových porfyritov (lakolity, sily) prenikali v období stredného sarmatu na rozhraní sedimentov spodného miocénu a spodnosarmatského vulkanického komplexu. Horniny sú tmavo až svetlosivé, s výraznými výrastlicami tmavých minerálov (obr. 1). Najčastejšie výrastlice tvoria plagioklas (An_{34-36}), hyperstén, augit a amfibol. Štruktúra je porfyrická s holokryštalickou, mikroalotriomorfne

až hypidiomorfne zrnitou základnou hmotou. Ide o amfibolicko-pyroxenický až pyroxenicko-amfibolický dioritový porfýrit [2].

Hrúbka zvetralového plášťa kolíše od 5 m do 40 m. Postupujúca ťažba v lome odkryla vnútornú stavbu telesa dioritového porfýritu. Tá je podstatne zložitejšia ako predpokladal prieskum na základe hodnotenia vrtného prieskumu. V súčasnosti ťažená časť ložiska Vyšná Šebastová odkryla tektonickú líniu s generálnym priebehom SSV–JJZ. Geneticky je vznik tektonickej línie spájaný s konsolidáciou podložných ílovitých sedimentov po ich pritlačení utuhnutým telesom. Ide o poruchovú zónu, ktorá deštruuje časť ložiska, a rozdeľuje ložisko na dve časti (obr. 2).

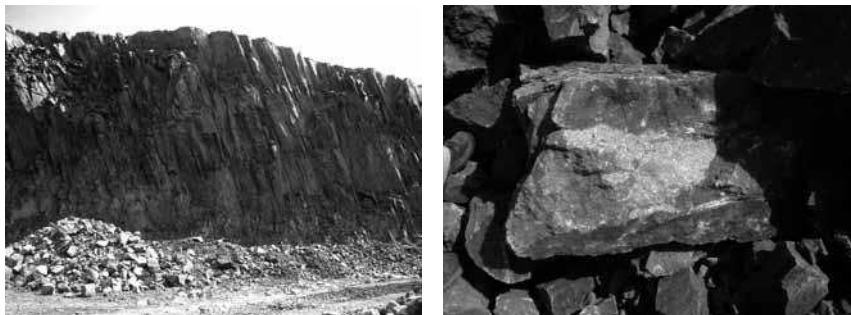


Obr. 2. Geologická mapa okolia lomu Maglovec s vyznačenými najbližšími obcami (Kaličiak, et al., 1991)-upravené. 1-fluviálne sedimenty: hliny, piesky, íly; 2 - proluviálne sedimenty: piesčité štrky s pokryvom sprašových hĺ; 3 - deluviálne sedimenty: nečlenené-hlinito-kamenité; 4 - mirkovské súvrstvie: monotónne, sivé vápnité ílovce; 5 - kladzianske súvrstvie: zelenosivé prachovité ílovce s spoločnými jemnozrnných pieskocov; 6 - zuberecké súvrstvie: striedanie pieskocov, prachocov s vložkami intraformačných zlepcov, Mn-oxidicko-karbonátových rúd a pestrých ílovcov; 7 - intrúzie amfibolicko-pyroxénického dioritového porfýritu; 8 - Čelovské súvrstvie: svetlosivé prachovce až jemnozrnné peskovce; 9 - formácia Šebastovka: lávové prúdy amfibolicko-pyroxenického andezitu; 10 - formácia ŠŤavica: lávové prúdy augiticko-hyperstenického andezitu, hyperstenicko-augitického andezitu, pyroxenického andezitu s rôznym podielom augitu a hyperstenu; 11 - Čelovské súvrstvie: svetlosivé, zelenosivé sfudnaté ílovce.



Obr. 3. Schématický geologický rez lomu Maglovec s pôvodnou morfológiou povrchu, zvýraznenou tektonickou zónou a miestami odstrelov. 1 - pôvodná morfológia lomu; 2 - slabo porušený dioritový porfýrit; 3 - tektonická zóna intenzívne porušeného dioritového porfýritu.

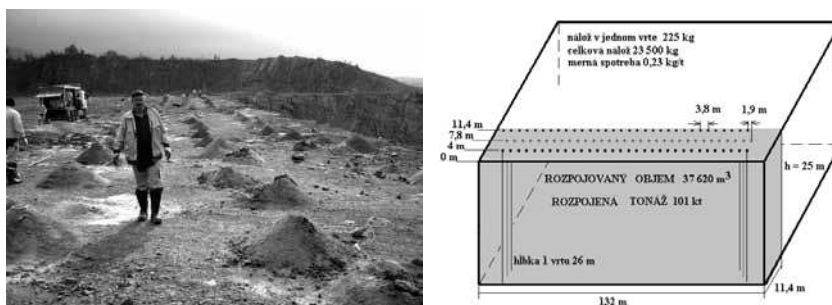
Miesto odstrelu CO 320 bolo situované na najvyššej piatej etáži (453 ÷ 473) m n. m. V tejto časti lomu je horninový masív čiastočne navetraný. Z pohľadu tektonického porušenia je horninový masív dominantne rozpukaný v jednom smere (obr. 4), ale na tejto etáži je rozpukanie všesmerné. Smer rozpukania kopíruje smer hlavnej tektonickej štruktúry prechádzajúcej z pohľadu odstrelu medzi obcou Vyšná Šebastová a odstrelom. Znamená to, že vybudená seizmická vlna musí pred príchodom do obce prekonať aj túto poruchu.



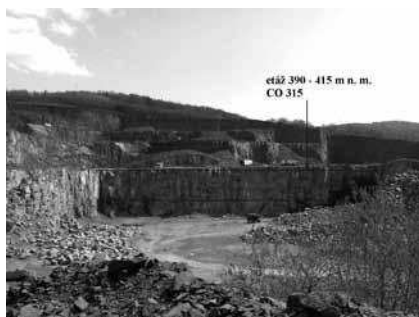
Obr. 4. Rozpukaný masív na etáži (453 ÷ 473) m n. m. (vľavo), a čiastočne navetraný dioritový porfyrit na piatej etáži (vpravo).

Zdroj otrasov

Zdrojom seizmických otrasov bol trojradový clonový odstrel 315, 320 a 321 (obr. 6,7). Navrtných bolo 100 vrto. Hĺbka jedného vrtnu bola 26 m .Nálož v jednom vrte bola 225 kg trhaviny *titan 7000*. Celková nálož trhaviny vo vrtoch 22 500 kg. Na roznet bolo použité 367,5 kg trhaviny *austrogel*, 100 kusov rozbušiek M_s 475/27_M, 100 kusov rozbušiek M_s 500/78_M, 66 kusov M_s 42/4,8_M, 30 kusov rozbušiek M_s 17/4,8_M, 2 kusy M_s 25/4,8_M, 2 kusy M_s 0/4,8_M. Schéma rozmiestnenia vrto a časovania odstrelu sú na obr. 5.



Obr. 5. Schéma rozmiestnenia vrto a parametre nálože pri 315 clonovom odstrel na etáži (390 ÷ 415) m n. m.



Obr. 6. Miesto odpalu pri CO 315 etáž (390 ÷ 415) m n. m.



Obr. 7. Miesto odpalu pri CO 320 na etáži (453 ÷ 473) m n. m.

2. Použitá aparátúra a metodika merania

Pre účely merania seizmických účinkov pri 315 clonovom odstrele (ďalej len 315 CO) boli na 5-tich stanoviskách (tab. 1) použité registračné seizmické aparátúry ZEB/SM-3C so seizmosnímačmi 3E, firmy Orica Mining Services, SRN (obr. 8). Seizmosnímače boli umiestnené na podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom. Na meranie seizmických účinkov na stanovisku 6 (tab. 1) bol použitý digitálny štvorkanálový seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult (obr. 4). Seizmograf poskytuje digitálny a grafický záznam všetkých troch zložiek rýchlosti kmitania častíc prostredia, horizontálna pozdĺžna – v_x , horizontálna priečna – v_y , vertikálna – v_z . Seizmograf UVS 1504 pracuje autonómne, automaticky testuje kanály bez zásahu a vplyvu operátora do nameraných a zaregistrovaných charakteristík kmitania. Seizmograf UVS 1504 má AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá $(0,05 \div 250) \text{ mm s}^{-1}$. Pre tieto merania boli použité elektrodynamické UVS geofóny s frekvenčným rozsahom $(1 \div 1000) \text{ Hz}$ a citlivosťou $20 \text{ mV (mm s)}^{-1}$. Geofóny boli umiestnené na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom.



Obr. 8. Stanovisko č. 6 (senník JRD) - seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult a stanovisko č. 2 (obytný dom č. 243 Výšná Šebastová) s registračnou seizmickou aparátúrou ZEB/SM-3C a seizmosnímačom firmy Orica Mining Services, SRN.

3. Kritérium seizmických účinkov pre daný receptor

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:

$$v \leq v_d ,$$

kde v je maximálna hodnota zložky rýchlosti kmitania vyvolaná zdrojom otrasov, nameraná na tzv. referenčnom stanovisku chráneného (posudzovaného) objektu; referenčné stanovisko sú základy prízemí budovy; hodnota „ v “ závisí hlavne od maximálnej hmotnosti nálože trhaviny odpálenej v jednom časovom stupni Q_k [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, 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 odstreloom) 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 skúseností získaných meraním a vyhodnotením

seizmických účinkov v lomoch po celom Slovensku, je možné pre murované občianske stavby v priemernom stavebnom stave prijať tieto kritéria:

pri rýchlosti kmitania

- $v = 0 - 10 \text{ mm s}^{-1}$ – nehrozí žiadne poškodenie stavby,
- $v = 10 - 30 \text{ mm s}^{-1}$ - možnosť vzniku prvých známk škôd,
- $v = 30 - 60 \text{ mm s}^{-1}$ – možnosť vzniku ľahkých škôd.

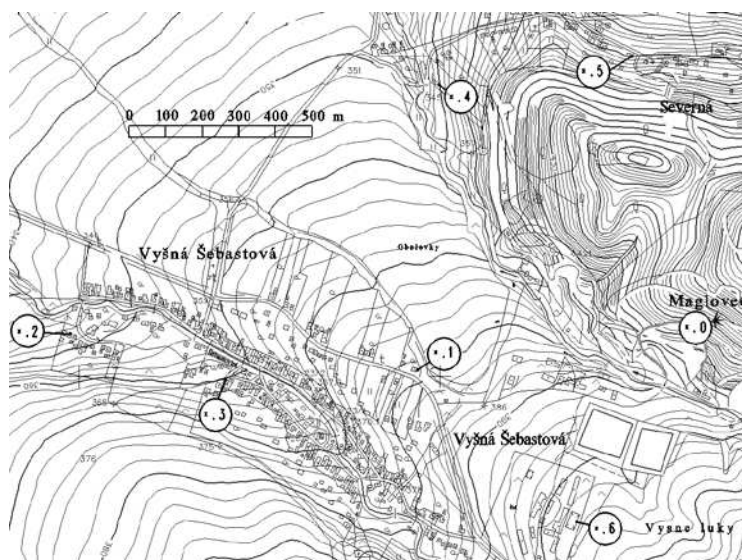
Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobější charakter odstrelov na ložisku dioritového porfyritu lom Maglovec a s ohľadom na charakter stavebných objektov, pre rozpojovanie clonovými odstreli na ložisku lom Maglovec a pre stavebné objekty v obci Vyšná Šebastová, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou $v_d \leq 6 \text{ mm s}^{-1}$.

Tab. 1. Geodetické údaje o polohe geofónov pri jednotlivých odpaloch a charakteristika stanísk. Vysvetlivky: VŠ - Vyšná Šebastová; S - Severná.

Číslo staniska	Charakteristika staniska	Súradnice geofónov			Vzdialenosť od odpalu ku stanisku		Poznámka
		x	y	z	šikmá	horizontálna	
0	etáž 390-415	1206848,46	255243,2	391,15	0	0	odpal 315
1	dom č. 167 VŠ	1206938,33	256064,22	379,54	832,11	832,02	
2	dom č. 243 VŠ	1206883,07	257025,57	347,94	1783,25	1782,71	
3	dom č. 205 VŠ	1207008,66	256593,69	360,20	1360,31	1359,96	
4	dom č. 178 S	1206203,42	256003,44	344,82	998,08	997,02	
5	dom č. 197 S	1206124,86	255467,73	370,15	757,92	757,63	
6	seník JRD	1207398,85	255621,32	403,32	667,87	667,76	

0	etáž 453- 473	1206842,10	255008,70	453	0	0	odpal 320
1	dom č. 255 VŠ	1207346,18	256026,65	381,51	1138,16	1135,92	69,8
2	dom č. 207 VŠ	1207132,80	256034,18	383,20	1068,17	1065,89	71,49

0	etáž 390-415	1206848,46	255243,2	391,15	0	0	odpal 321
1	dom č. 255 VŠ	1207346,18	256026,65	381,51	-	962	69,8



Obr. 9. Mapa rozmiestnenia šiestich meracích stanísk pri CO 315 (čierne krúžky) a bod clonového odstreli (červený krúžok).

4. Namerané hodnoty a ich analýza

Namerané maximálne hodnoty seizmických účinkov generované clonovými odstreliami, ktoré boli uskutočnené v predchádzajúcom období až doteraz v lome Maglovec sú nižšie uvedené. Tieto hodnoty nam poslúžili ako podklad na stanovenie zákona útlmu seizmických vln v lome Maglovec [1,5].

Pristroje uložené na jednotlivých stanoviskách boli pred meraním kalibrované a prekontrolovaná bola ich citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelov na jednotlivých stanoviskách, ktoré sú znázornené na obrázku 10, sú v tabuľkách 1, 2, 3, a 4. Na stanovisku č. 6 bol zaznamenaný aj grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia. Kanál č. 1 je zložka z, kanál č. 2 je zložka y, kanál č. 3 je zložka x a kanál č. 4 zaznamenal zvukové vlnenie vyvolané odstreliom.

Tab. 2. Namerané hodnoty rýchlostí s frekvencií pri CO 315.

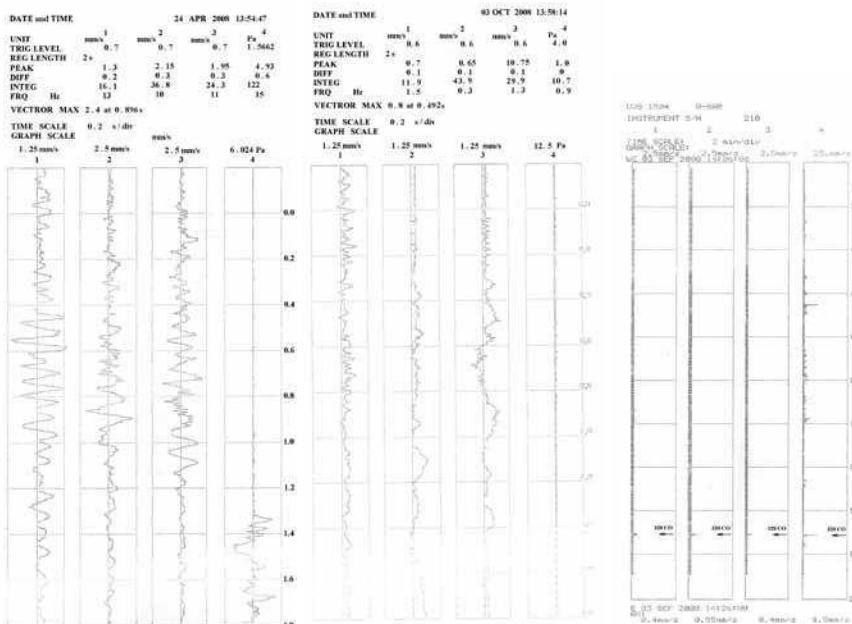
Stanovisko	x [Hz]	y [Hz]	z [Hz]	Stanovisko	x [mm s ⁻¹]	y [mm s ⁻¹]	z [mm s ⁻¹]
1 (č.d. 167)	11	7	18	č.d. 167	0,56	0,70	0,98
2 (č.d. 243)	-	-	-	č.d. 243	-	-	-
3 (č.d. 205)	4	5	42	č.d. 205	0,31	0,21	0,38
4 (č.d. 178)	2	3	3	č.d. 178	0,40	0,29	0,58
5 (č.d. 197)	5	7	8	č.d. 197	0,90	1,20	0,90
6 (seník JRD)	11	10	13	seník JRD	1,95	2,15	1,30

Tab. 3. Namerané hodnoty rýchlostí s frekvencií pri CO 320.

Stanovisko	x [Hz]	y [Hz]	z [Hz]	x [mm s ⁻¹]	y [mm s ⁻¹]	z [mm s ⁻¹]
č. 1- obytný dom číslo 255	1,3	0,3	1,5	0,60	0,65	0,75

Tab. 4. Namerané hodnoty rýchlostí CO 321.

stanovisko	x [mm s ⁻¹]	y [mm s ⁻¹]	z [mm s ⁻¹]
č. 1- obytný dom číslo 255	0,40	0,55	0,40



Obr. 10. Grafické záznamy z merania pri CO 315, CO 321, CO 320.

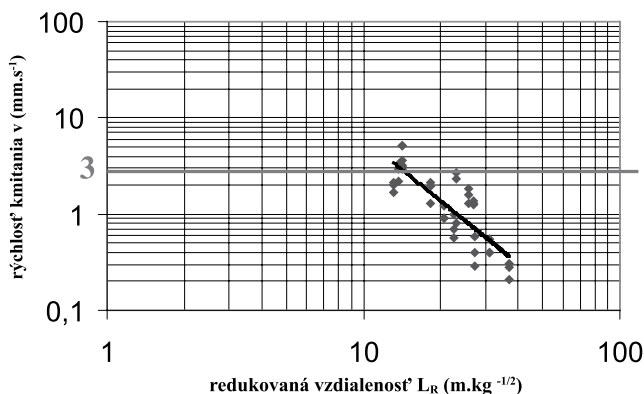
Na základe nameraných údajov bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri clonových odstreloch. Graf na obr. 11 predstavuje tzv. zákon útlmu seizmických vln pre lom Maglovec, v ktorom bola použitá hodnota Q v tvare

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0.5}} \right) = K \left[\frac{L}{Q^{0.5}} \right]^n,$$

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

- $L/Q^{0.5}$ je tzv. redukovaná vzdialenosť, [$\text{m kg}^{-0.5}$],
- L je najkratšia vzdialenosť zdroja otrasov od ich receptora, [m],
- Q je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],
- K je súčiniteľ závislý od podmienok odstreloom, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- n je ukazovateľ útlmu seizmických vln.

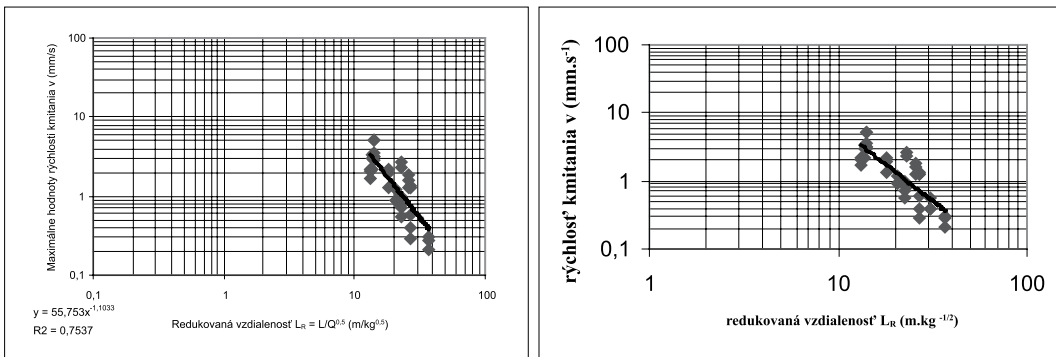
Zo zákona útlmu seizmických vln je možné stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože pri známej vzdialenosti, tak aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosti kmitania nepresiahli stanovené maximálne rýchlosti kmitania.



Obr. 11. Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri clonových odstreloom v lome Maglovec – zákon útlmu seizmických vln.

Z grafického priebehu zákona útlmu seizmických vln pre lom Maglovec vyplýva, že dovolená rýchlosť kmitania 3 mm s^{-1} pre frekvencie menšie ako 50 Hz a väčšie ako 10 Hz , pri maximálne dovolenej náloži 2440 kg na jeden časový stupeň nebude prekročená do vzdialenosti 1150 m . Na grafe na obrázku 11 sú červeným bodom označené namerané hodnoty rýchlostí kmitania pri clonovom odstreloom 321 . Červená čiara predstavuje hranicu maximálne povolených rýchlostí kmitania pre typ základovej pôdy **a (hladina podzemnej vody je menej ako 3 m pod úrovňou povrchu)**.

Na obr. 12 je dokumentovaný útlm seizmických vln medzi zdrojom a receptorom. Zdrojom seizmických vln boli odstreloom v rôznych geologických prostrediach. Parametre zdroja a receptor boli vo všetkých prípadoch identické (trojradové clonové odstreloom). Prenosové prostredie a vzdialenosti medzi zdrojom a receptorom boli menené. V prvom prípade (CO 315) bol zdroj (odstreloom) situovaný v nezvetranom a v slabo porušenom prostredí



Obr. 12. Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlostí kmitania na redukovanej vzdialenosti pri CO 315 vľavo a CO 321 vpravo v lome Maglovec.

dioritového porfyritu (I. etáž). V druhom prípade (CO 321) bol zdroj (odstreľ) situovaný v identickom horninovom prostredí. Zmenila sa len vzdialenosť medzi zdrojom a receptorom. Obidva odstrely CO 315 a CO 321 boli umiestnené tak, že seizmické vlny prichádzajúce k receptoru neboli tlmené tektonickou poruchou.

V treťom prípade bol zdroj situovaný v silne zvetranom a porušenom dioritovom porfyrite a za výraznou tektonickou líniou, ktorá rozdeľuje ložisko. V tomto prípade (CO 320) seizmické vlny boli silne zvetraným prostredím a výraznou tektonickou líniou utlmené. Merací prístroj nevyhodnotil grafický záznam vlnenia, lebo intenzita seizmických vln bola pod hranicu citlivosti prístroja. Pretože frekvencia seizmického vlnenia pri CO 320 nebola prístrojom zaznamenaná predpokladáme, že útlm seizmického vlnenia bol oveľa výraznejší, ako v predchádzajúcich prípadoch. Na základe uskutočnených meraní predpokladáme významný vplyv fyzikálne odlišného litologického prostredia (zóna zvetrávania) a vplyv tektonickej zóny na rýchlosť kmitania a útlm seizmického vlnenia generovaného pri trhacích prácach v lome.

Po vyhodnotení CO 315 (obr. 11) sme stanovili dovoľenú rýchlosť kmitania $v_d < 6 \text{ mm s}^{-1}$ a bezpečnú vzdialenosť zdroja od receptora 750 m.

Po vyhodnotení merania CO 320 sme zistili, že v lome Maglovec sa nachádza aj litologické prostredie, v ktorom útlm seizmických vln je úplne odlišný ako sme stanovili pri CO 315. Preto bolo potrebné uskutočniť ďalšie meranie aby sme spresnili predikciu škodlivých účinkov seizmických vln pri clonových odstreloch v lome Maglovec na okolitú zástavbu obce Vyšná Šebastová.

Po vyhodnotení CO 321 (obr. 12) sme stanovili dovoľenú rýchlosť kmitania $v_d < 3 \text{ mm s}^{-1}$ a bezpečnú vzdialenosť zdroja od receptora 1150 m, pri zachovaní rovnakých parametrov trhacích prác.

5. Záver

Merania pri jednotlivých odstreloch CO 315, CO 320, CO 321 preukázali významný vplyv stupňa porušenia a zvetrania horninového masívu na útlm seizmických vln generovaných pri trhacích prácach. Zistili sme, že zákon útlmu seizmických vln stanovený na základe jediného merania, nezahŕňa vplyvy spôsobujúce rôznorodosť horninového prostredia.

V horninovom prostredí s rôznou litológiou, aj pri zachovaní rovnakých parametrov zdroja a receptora, je potrebné na predikciu negatívnych účinkov seizmických vln uskutočniť viac meraní tak, aby sme túto rôznorodosť horninového prostredia, pomocou zákona útlmu seizmických vln, zaznamenali.

Príspevok vznikol za podpory grantového výskumu č. 1/0361/09.

Literatúra

- [1] Bartoš, L., Zpráva o provedení seizmického merení pri 191. CO v lome Maglovec. Brno 1991, 9 s.

- [2] Kaličiak, M., Baňacký, V., Jacko, S., Janočko, J., Karoli, S., Molnár, J., Petro, L., Priechodská, Z., Syčev, V., Škvarka, L., Vozár J., Zlinská, A., Žec, B., Vysvetlivky ku geologickej mape severnej časti Slanských vrchov a Košickej kotliny. GÚDŠ, Bratislava 1991, 231 s.
- [3] Kotulák, P., *Projekt seizmických meraní pri CO 315*. GSP Spišská Nová Ves s.r.o. 2008.
- [4] Pandula, B., Kondela, J., Kotulák, P., Meranie vplyvu technickej seizmicity v lome Maglovec na okolitú zástavbu obce Vyšná Šebastová. Výskumná správa ÚGV F BERG TU v Košiciach, Košice 2008, 9 s.
- [5] Podel, R., Zpráva o provedení seizmického měření při 60. CO v lome Maglovec, Brno 1980, 5 s.
- [7] STN 730036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcii. Bratislava 1995.