

Julián KONDELA¹, Blažej PANDULA², Katarína KAMENSKÁ³

**VPLYV PORUŠENOSTI HORNINOVÉHO PROSTREDIA NA ŠÍRENIE
SEIZMICKÝCH VĹN PRI TRHACÍCH PRÁCACH**

**EFFECT OF ROCK ENVIRONMENT DEFORMATION ON PROGRADATION OF
SEISMIC WAVES DURING BLASTING OPERATIONS**

Abstrakt

Vliv odstřelů trhavin je doprovázen pozitivními, ale i negativními jevy. Vibrace vyvolané odstřelem trhavin pomáhají rozrušovat horniny, což představuje pozitivní účinek, z druhé strany, jsou ohroženy budovy v okolí a další vlastnosti, což je efekt negativní. Rychlost šíření seizmických vln a jejich útlum závisí nejen na zdroji vibrací, ale též na horninovém prostředí, ve kterém se vlny šíří. Deformace pevného horninového masivu nebo změny v litologii mohou významně ovlivňovat projevy ve sledovaném místě (při stejných zdrojových podmínkách). Příspěvek popisuje výsledky vlivu deformace horninového masivu na šíření seizmických vln po odstřelu trhavin.

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. Velocity of propagation of seismic waves and their attenuation is dependent not only on source of vibration but also on rock environment where the waves propagate. Deformation of solid rock mass or lithological changes of the rock environment through which the waves pass can significantly change the effect on a receptor under identical conditions of vibration source. The article represents results of effect of rock environment deformation on seismic waves propagation during blasting operations.

¹ Mgr. Julián Kondela, PhD., Katedra geológie a mineralógie, F BERG Technická univerzita Košice, Park Komenského 19, Košice, Slovensko, e-mail: julian.kondela@tuke.sk

² Doc. RNDr. Blažej Pandula, PhD., Katedra geológie a mineralógie, F BERG Technická univerzita Košice, Park Komenského 19, Košice, Slovensko, e-mail: blazej.pandula@tuke.sk

³ Ing. Katarína Kamenská, Katedra geológie a mineralógie, F BERG Technická univerzita Košice, Park Komenského 19, Košice, Slovensko

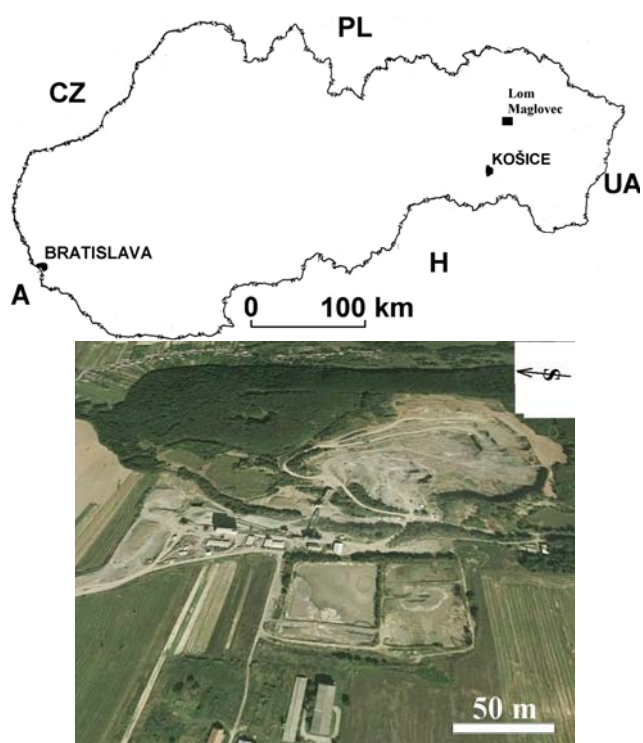
Úvod

Horninový masív je zložený z horninového materiálu a je prirodzeným agregátom blokov a úlomkov tohoto materiálu. Horninovým masívom možno označiť pevnú časť zemskej kôry v pôvodnom uložení, vytvorenú horotvornou činnosťou, vrátane diskontinuit a ich výplne, ktoré vznikli pri geologickom vývoji zemskej kôry. Horninový masív spoločne s diskontinuitami vytvára prostredie, v ktorom sa šíria seizmické vlny vyvolané otasmi. Útlm seizmických vln závisí od stupňa porušenia horninového prostredia, v ktorom sa uskutočňujú trhacie práce (Dojčár, et al., 1996, Münchner, 2000). Vplyv porušenia horninového prostredia na šírenie seizmických vln pri trhacích prácach sme skúmali v lome Maglovec (Pandula, et al., 2008, Bartoš, 1991, Podel, 1980). 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 Vyšná Šebastová a smerom na SZ obec Severná.

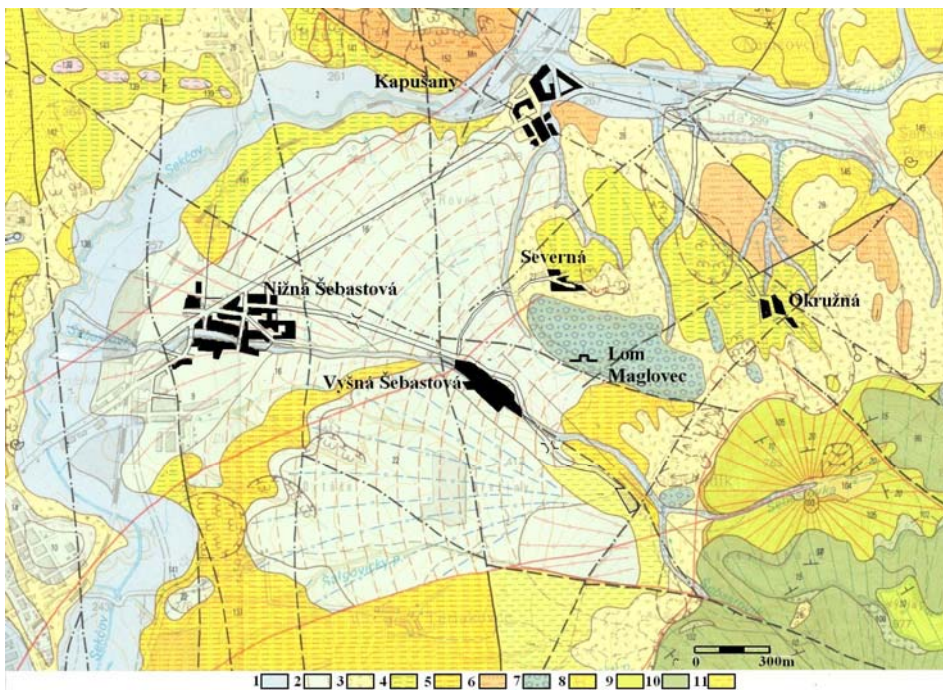
Geologická stavba lomu Maglovec a jeho okolia

Semiintrúzívne teleso dioritového porfyritu Maglovec je neogénneho 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. 2). Najčastejšie výrastlice tvorí plagioklas (An₃₄₋₃₆), hyperstén, augit a amfibol. Štruktúra je porfyrická s holokryštalickou, mikroalotriomorfne až hypidiomorfne zrnitou základnou hmotou. Ide o amfibolicko-pyroxenický až pyroxenicko-amfibolický dioritový porfyrit (Kaličiak, et al., 1991).

Hrúbka zvetralného plášťa kolíše od 5 do 40 m. Postupujúca ťažba v lome odkryla vnútornú stavbu telesa dioritového porfyritu. Tá je podstatne zložitejšia ako predpokladal prieskum na základe hodnotenia vrtného prieskumu. V súčasnosti ťažená časť ložiska (resp. dobývacieho priestoru) Vyšná Šebastová odkryla tektonickú líniu s generálnym priebehom SSV–JJZ. Geneticky je vznik tektonickej línie spájaný s konsolidáciou podložných ílovitých sedimentov po ich priľahnutí utuhnutým telesom. Ide o poruchovú zónu, ktorá deštruuje časť ložiska a rozdeľuje ložisko na dve časti (obr. 3).



Obr. 1 Pozícia lomu Maglovec a letecký pohľad na lom (Pandula et al., 2008)

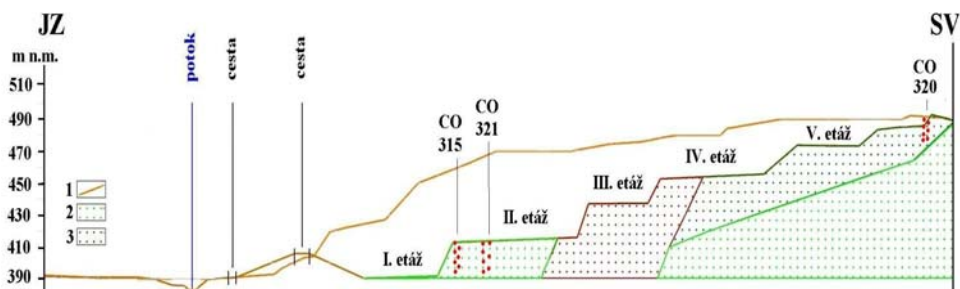


Obr. 2 Geologická mapa okolia lomu Maglovec s vyznačenými najbližšími obcami (Kaličiak, et al., 1991)-upravené.

- 1-fluviálne sedimenty: hliny, piesky, íly,
- 2-proluviálne sedimenty: piesčité štrky s pokryvom sprašových hĺn,
- 3-deluviálne sedimenty: nečlenené-hlinito-kamenité,
- 4-mirkovské súvrstvie: monotónne, sivé vápnité ílovce,
- 5-kladzianske súvrstvie: zelenosivé prachovité ílovce s spoločnými jemnozrnných pieskovcov,
- 6-zuberecké súvrstvie: striedanie pieskovcov, prachovcov s vložkami intraformačných zlepcov, Mn-oxidicko-karbonátových rúd a pestrých ílovcov,
- 7-intrúzie amfibolicko-pyroxénického dioritového porfyritu,
- 8-Čelovské súvrstvie: svetlosivé prachovce až jemnozrnné peskovce,
- 9-formácia Šebastovka: lávové prúdy amfibolicko-pyroxénického andezitu,
- 10-formácia Šľavica: lávové prúdy augiticko-hyperstenického andezitu, hyperstenicko-augitického andezitu, pyroxénického andezitu s rôznym podielom augitu a hyperstenu,
- 11-Čelovské súvrstvie: svetlosivé, zelenosivé sľudnaté ílovce.

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. 4). 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 – vx, horizontálna priečna – vy, vertikálna – vz. 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 mV/mm.s^{-1} . Geofóny boli umiestnené na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom.



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 (Kotuľák, 2008)



Obr. 4 Stanovisko č. 6 (senník JRD) - seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult a stanovisko č. 2 (obytný dom č. 243 Vyšná Šebastová) s registračnou seizmickou aparátúrou ZEB/SM-3C a seizmosnímačom firmy Orica Mining Services, SRN

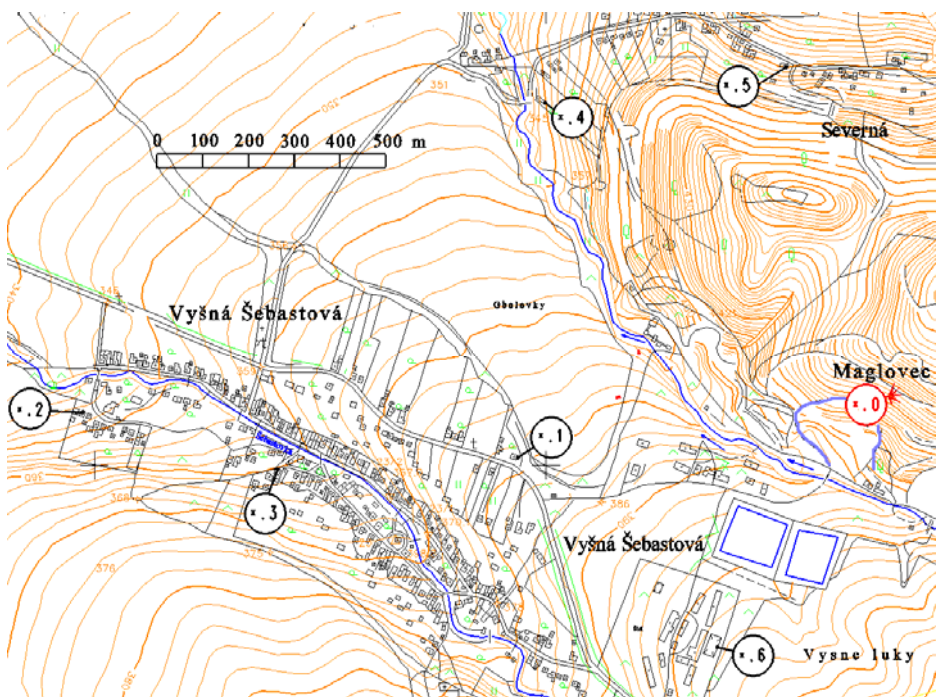
Tab 1 Geodetické údaje o polohe geofónov pri jednotlivých odpaloch a charakteristika stanovísk

vysvetlivky: VŠ- Vyšná Šebastová, S-Severná

Číslo stanoviska	Charakteristika stanoviska	Súradnice geofónov			Vzdialenosť od odpalu ku stanovisku		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. 5 Mapa rozmiestnenia šiestich meracích stanovísk pri CO 315 (čierné krúžky) a bod clonového odstrelu (červený krúžok) (Pandula, et al., 2008)

Parametre zdroja otrasov



Obr. 6 Miesto odpalu pri CO 315 etáž 390-415 m n. m

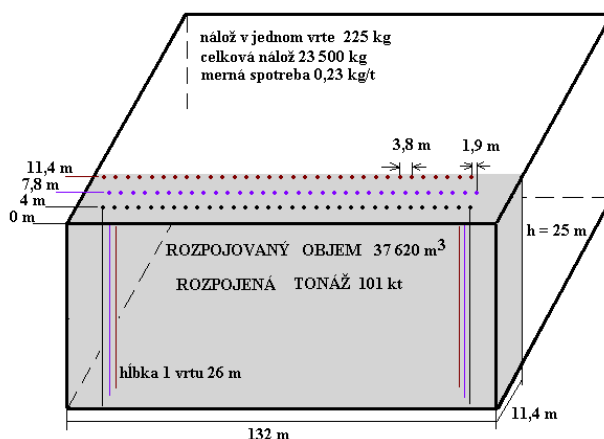


Obr. 7 Miesto odpalu pri CO 320 na etáži 453-473 m n. m.



Obr. 8 Miesto odpalu pri CO 321 na etáž 390 - 415 m n. m.

Zdrojom seizmických otrasov bol trojradový clonový odstrel 315 (obr. 6, lokace odstrelou 320 a 321 na obr. 7 a 8). Navŕtaných bolo 100 vrtov. Hĺbka jedného vrtu bola 26 m .Nálož v jednom vrte bola 225 kg trhaviny titan 7000. Celková nálož trhaviny vo vrtach 22 500 kg. Na roznet bolo použité 367,5 kg trhaviny austrogel, 100 kusov rozbušiek Ms 475/27M, 100 kusov rozbušiek Ms 500/78M, 66 kusov Ms 42/4,8M, 30 kusov rozbušiek Ms 17/4,8M, 2 kusy Ms 25/4,8M, 2 kusy Ms 0/4,8M. Schéma rozmiestnenia vrtov a časovania odstrelu sú na obrázku 9.



Obr. 9 Schéma rozmiestnenia vrto v nálože pri 315 clonovom odstrelé na etáži 390 - 415 m n. m.

Namerané hodnoty

Prístroje uložené na jednotlivých stanoviskách boli pred meraním kalibrované a prekontrolovaná bola ich citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na jednotlivých stanoviskách sú v tabuľke 2, 3 a 4 a na obrázku 10. Na stanovisku č. 6 bol zaznamenaný aj grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia (obr. 10). 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 odstrelom.

Tab 2 Namerané hodnoty rýchlostí a frekvencií pri CO 315

stanovisko	x Hz	y Hz	z Hz	stanovisko	x mm/s	y mm/s	z mm/s
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 a frekvencií pri CO 320

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

Tab 4 Namerané hodnoty rýchlostí CO 321

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	0,75	0,65	0,70

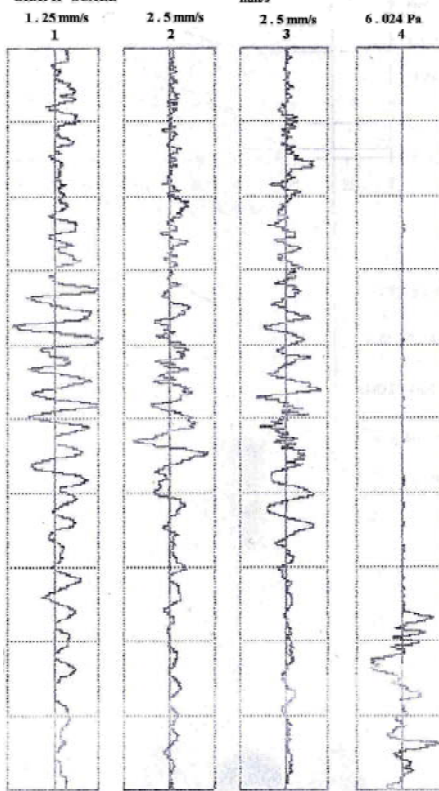
DATE and TIME 24 APR 2008 13:54:47

UNIT	1	2	3	4
TRIG LEVEL	mm/s 0.7	mm/s 0.7	mm/s 0.7	Pa 1.5662
REG LENGTH	2s			
PEAK	1.3	2.15	1.95	4.93
DIF	0.2	0.3	0.3	0.6
INTEG	16.1	36.8	24.3	122
FRQ Hz	13	10	11	15

VECTROR MAX 2.4 at 0.896s

TIME SCALE 0.2 s/div

GRAPH SCALE



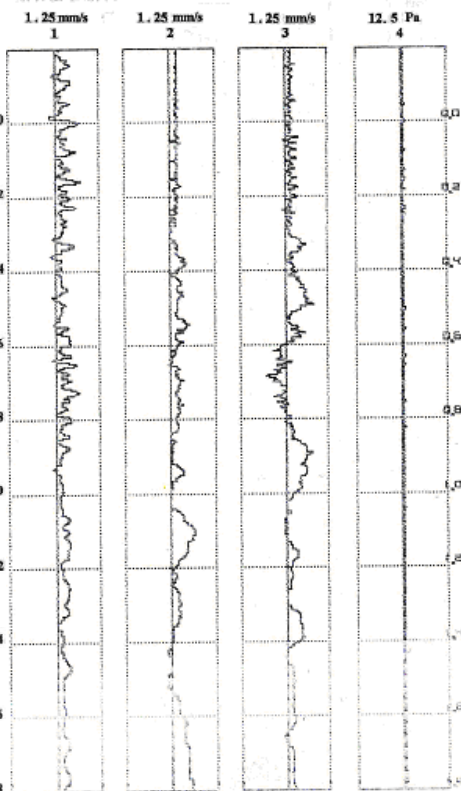
DATE and TIME 03 OCT 2008 13:58:14

UNIT	1	2	3	4
TRIG LEVEL	mm/s 0.6	mm/s 0.6	mm/s 0.6	Pa 4.0
REG LENGTH	2s			
PEAK	0.7	0.65	0.75	1.0
DIF	0.1	0.1	0.1	0
INTEG	11.9	43.9	29.9	10.7
FRQ Hz	1.5	0.3	1.3	0.9

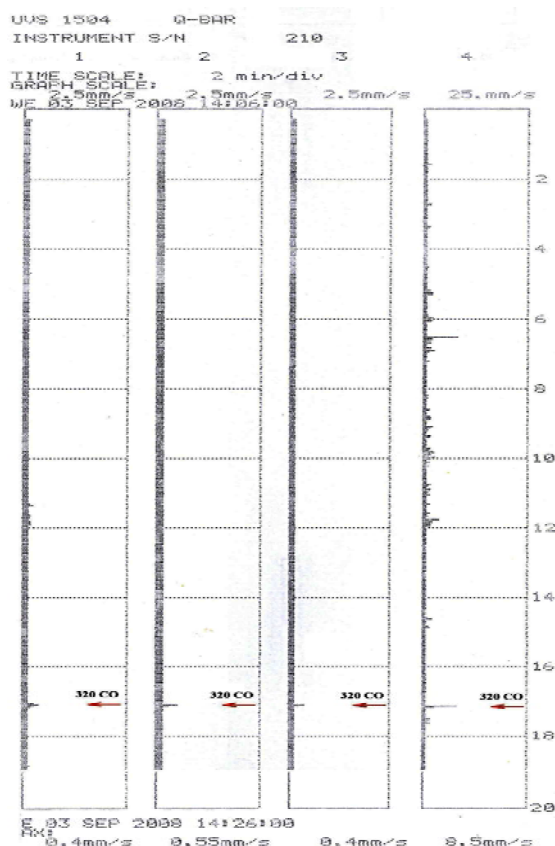
VECTROR MAX 0.8 at 0.492s

TIME SCALE 0.2 s/div

GRAPH SCALE



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



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

Vyhodnotenie a diskusia

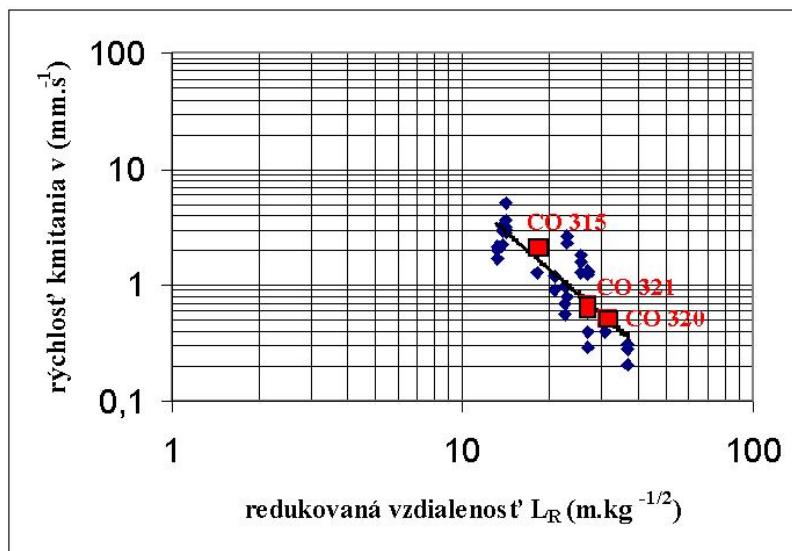
Obr. 11 a 12 dokumentujú grafický útlm seizmických vln medzi zdrojom a receptorom. Zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek kmitania predstavuje zákon útlmu seizmických vln podľa vzťahu:

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

kde „v“ je maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosti kmitania) generovaná odstreľom, [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 odstreľu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- ☐ n je ukazovateľ útlmu seizmických vln.

Zdrojom seizmických vln boli odstrelý v identickom horninovom prostredí dioritového porfyritu, s rôznym stavom porušenia. Parametre zdroja a receptora boli vo všetkých prípadoch identické (trojradové clonové odstrelý). Prenosové prostredie a vzdialenosti medzi zdrojom a receptorom boli menené. V prvom prípade CO 315 (obr. 6) bol zdroj (odstrel) situovaný v nezvetranom a v slabo porušenom prostredí dioritového porfyritu (I. etáž). V druhom prípade CO 321 (obr. 8) bol zdroj (odstrel) situovaný v identickom horninovom prostredí. Zmenila sa len vzdialenosť medzi zdrojom a receptorom. Obidva odstrelý CO 315 a CO 321 boli umiestnené tak, že seizmické vlny prichádzajúce k receptoru neboli tlmené tektonickou poruchou (tab. 2, 4).



Obr. 11 Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti CO 315, CO 320 a CO 321 v lome Maglovec

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 (obr. 7) seizmické vlny boli silne zvetraným prostredím a výraznou tektonickou líniou utlmené (tab. 3). 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 ťhacích prácach v lome.

Po vyhodnotení CO 315 (obr. 11) sme stanovili v súlade s STN 730036 dovolenú rýchlosť kmitania $v_d < 6$ mm/s 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.

Výsledky merania seizmických účinkov CO 321, ktoré boli uskutočnené v lome Maglovec potvrdili, že zákon útlmu seizmických vln bol pre lom Maglovec z predchádzajúcich meraní stanovený správne. Namerané hodnoty frekvencií boli 10 – násobne nižšie ako pri odstrele CO 315 a podľa platnej slovenskej technickej normy STN 730036 Seizmické zaťaženie stavieb pre frekvencie menšie ako 10 Hz a pre základovú pôdu typu a je dovolená rýchlosť kmitania $v_d < 3$ mm/s. Pri odstrele CO 321 výška hladiny podzemnej vody bola 1,8 m pod úrovňou povrchu, preto bol zvolený typ základovej pôdy a (STN 730036). Znížené hodnoty frekvencií seizmických vln pri odstrele CO 321 boli spôsobené prechodom vln cez poruchovú zónu.

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.

Literatúra

- [1] BARTOŠ, L. Zpráva o provedení seizmického merení pri 191. CO v lome Maglovec, Brno, 1991, 9 s.
- [2] DOJČÁR, O., HORKÝ, J. & KOŘÍNEK, R. (1996): *Trhacia technika*. Montanex, a.s., Ostrava, 421 s.
- [3] Kaličiak, M., Baňacký, V., Jacko, S., Janočko, J., Karoli, S., Molnár, J., Petro, Ľ., Priehodská, 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.
- [4] KOTULÁK, P. *Projekt seizmických meraní pri CO 315*. GSP Spišská Nová Ves s.r.o., 2008, 4s.
- [5] MÜNCNER, E. Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov. SSTVP Banská Bystrica, 2000, 201 s.
- [6] 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, 20008, 9 s.
- [7] PODEL, R. Zpráva o provedení seizmického merení pri 60. CO v lome Maglovec, Brno, 1980, 5 s.
- [8] [STN 730036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, Bratislava 1997

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

Oponentský posudek vypracoval:

Doc. Ing. Robert Kořínek, CSc., VŠB – Technická univerzita Ostrava, FAST