

**VPLYV NEŽIADÚCICH SEIZMICKÝCH ÚČINKOV TRHACÍCH PRÁC PRI
REALIZOVANÍ TUNELA BÔRIK**

**THE INFLUENCES OF UNDESIRABLE SEISMIC EFFECT OF BLASTING BY
DRIVING OF BORIK TUNNEL**

Abstract

The results of seismic effects analysis of Tunel Bôrik is discussed. The attenuation of seismic waves in surroundings of the tunnel based on analysis of seismograms are presented.

Key words: tunnel blasting, seismic waves, seismic effect analysis

Úvod

Trhacie práce majú a oddávna mali rozhodujúcu úlohu v živote človeka. Pokúsme si len predstaviť aká obrovská energia je ukrytá v malom množstve výbušniny. Na jednej strane môže táto energia vykonať pre človeka veľa užitočnej práce, ale na druhej strane môže pri nesprávnom využití spôsobiť materiálne škody.

Neužitočné formy mechanickej práce výbuchu predstavujú nutné sprievodné účinky trhacích prác, preto sa nedajú vylúčiť, dajú sa len po určité hranice znížiť. V závislosti od podmienok a parametrov rozpojovania, môžu prekročiť únosné – bezpečné hranice kedy sa stávajú škodlivými a môžu zapríčiniť veľké škody. Medzi nežiadúce – škodlivé účinky trhacích prác zaradujeme

1. porušovanie horninového masívu v pilieri – za výlomom,
2. nadmerné odhodenie a rozlet horniny,
3. vzdušná tlaková vlna a zvukový efekt,
4. jedovaté splodiny výbuchu [5,6,7].

Výšetrenie týchto škodlivých účinkov a stanovenie seizmickej bezpečnosti je v súčasnej dobe veľmi aktuálny a nevyhnutný problém. Je potrebné nájsť ekonomicky výhodnú cestu, ktorá by na jednej strane zabezpečovala istotu neporušenia objektu a na druhej strane by určovala čo najefektívnejšiu technológiu trhacích prác [3]. Technický neodôvodnená – vysoká seizmická bezpečnosť vedie ku zmenšovaniu náloží a odstrelom, čím sa znižuje hospodárnosť rozpojovania a dobývania. Naopak, podcenenie seizmických účinkov môže spôsobiť veľké materiálne škody [1,2,4,7].

Tento článok popisuje merania seizmických účinkov trhacích prác, ktoré boli uskutočnené pri razení ľavej a pravej tunelovej rúry, na východnom portáli Tunela Bôrik.

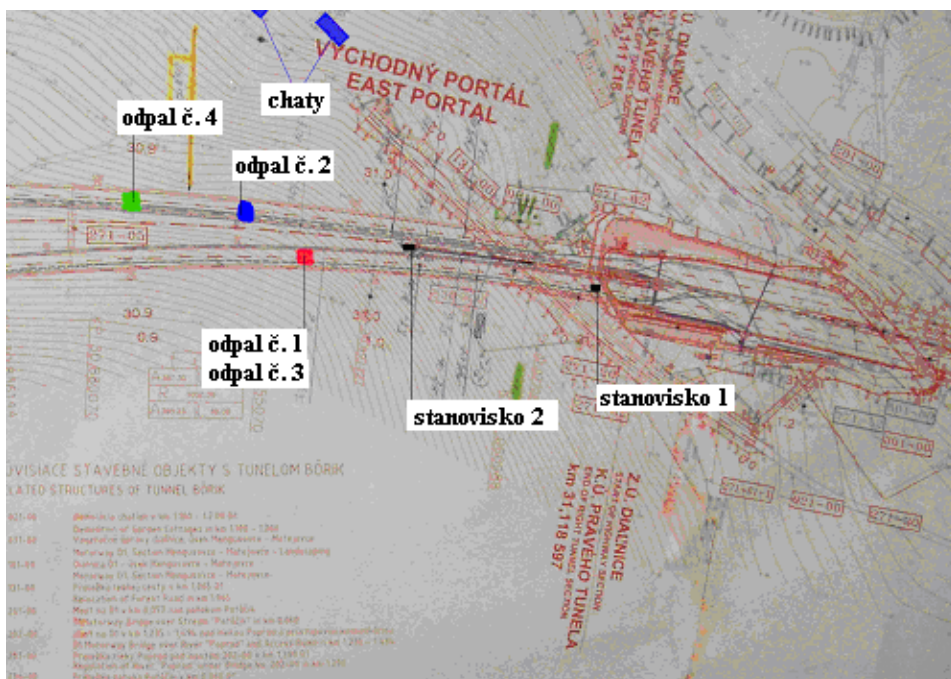
Predmetom meraní seizmiky trhacích prác, bolo posúdenie ich účinkov na vyhotovované konštrukcie definitívneho ostien tunela, ako aj okolitú najbližšiu chatovú výstavbu. Konkrétne meranie seizmických účinkov má dať odpoveď na otázku,

¹ Ing., TUBAU a.s. Generálne riaditeľstvo, Bytčická 89, 010 09 Žilina

² Doc., RNDr., PhD., ÚGaET F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovenská republika

či energia seizmických vln vyvolaná odstrelní môže spôsobiť škody na sekundárnom (definitívnom) ostení Tunela Bôrik, ktorého realizácia začala ešte počas razenia oboch tunelových rúr, ako aj na chatových objektoch nachádzajúcich sa v bezprostrednej blízkosti pravej (severnej) tunelovej rúry.

Merania seizmických účinkov odstrelov boli realizované na troch odstreloch lavice a na odstrele kaloty pravej tunelovej rúry.



Obr. 1 Situačná mapa východného portálu s pozíciou odpalov a meracích stanovísk

Zdroj otrasov

Zdrojom seizmických účinkov boli 3 odstrelý lavíc v ľavej a pravej tunelovej rúre a jeden odstrel celého profilu v pravej tunelovej rúre.

Odstrel č.1: lavice v južnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 09:19 v staničení 165,00 bm. Tvorili ho valcové nálož s dĺžkami vrtov 4m priemeru 52 mm. Počet vrtov 39, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 2, 4, 5, 9, 15, 16 a 20. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 32,4 kg trhavín.

Odstrel č.2: lavice v severnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 11:14 v staničení 191,20 bm. Tvorili ho valcové nálož s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 33, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 4, 8 a DeD SICCA stupne 2 až 12. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 15,2 kg trhavín.

Odstrel č.3: lavice v južnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 14:16 v staničení 169,00 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 29, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour a rozbuškami DeM SICCA stupne 1 až 17. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 22,8 kg trhavín.

Odstrel č.4: celého profilu v severnej tunelovej rúre bol uskutočnený 29.07.2007 v čase 15:38 v staničení 251,10 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 142, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 2, 4, 5, 9, 15, 16 a 20. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 32,4 kg trhavín.



Obr. 2 Vítanie lavice pre odstrel č. 1- stena pred odstrelom (vľavo) a stena po odstrele (vpravo)

Prenosové prostredie

Chránená krajinná oblasť Bôrik sa nachádza v katastrálnom území obcí Mengusovce a Lučivná. Dolomity vytvárajú výrazný horský relief terénu. V úseku oboch tunelových rúr je masív budovaný komplexom dolomitických hornín s rôznym stupňom zvetrania a alterácie a polohami ílu až piesku ílovitého premenlivej mocnosti. Hydrogeologické pomery za veľmi jednoduché, v celom úseku tunelových rúr neboli zaregistrované podstatné prítoky podzemnej vody. Hladina podzemnej vody je predpokladaná v hĺbke 14 m pod niveletou tunelových rúr. Geologická stavba územia pozostáva z hornín pre vodu nepriepustných alebo veľmi málo priepustných. Vrstevnatosť dolomitov je veľmi premenlivá, celé súvrstvie je mierne zvlnené, čo spôsobuje rozdielne hodnoty smeru sklonu vrstevnatosti. Tektonické pomery v tunelových rúrach reprezentujú systémy puklín a zlomov, väčšinou majúci nepriaznivý priebeh vzhľadom na smer razenia, nakoľko sú buď smerné alebo priečne s úklonom do výrubu.



Obr. 3 Dolomit rozložený – odkop stavebnej jamy pred tunelovými rúrami



Obr. 4 Meracie stanovisko 1 – základová doska č.100P – pravá tunelová rúra
hlbená časť - Seizmograf UVS 1504

Meracie stanoviská

Meracie stanovisko č. 1 sa nachádzalo na železobetónovej doske bloku č. 100P v hlbenej časti tunela na východnom portáli. Doska má hrúbku 0,85 m a je realizovaná z betónu triedy C25/30. Seizmosnímače boli umiestnené vo vzdialenosti –18 m od zarážkového bodu tunelových rúr. Na meracom stanovisku bol umiestnený 3 –zložkový seizmosnímač.

Meracie stanovisko č. 2 bolo v pravej tunelovej rúre v staničení 50,053 m od zarážkového bodu tunela. Seizmosnímač bol umiestnený vo výklenku železobetónového ochranného (stredového) piliera, realizovaného pred začiatkom razenie oboch tunelových rúr v dĺžke 60 m. Na meracom stanovisku bol umiestnený 3 –zložkový seizmosnímač NOMIS mini SUPERGRAPH.



Obr. 5 Meracie stanovisko 2 – pravá tunelová rúra ochranný stredový pilier - Seizmograf NOMIS mini SUPERGRAPH

Použitá seizmická aparatúra

Pre meranie seizmických účinkov boli použité štvorkanálový seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult. Seizmograf poskytuje digitálny a grafický záznam všetkých troch zložiek rýchlosti kmitania častic prostredia, horizontálna pozdĺžna – vx, horizontálna priečna – vy, vertikálna – vz. Štvrtý kanál bol v tomto prípade použitý na meranie vertikálnej zložky rýchlosti kmitania - vz1. Seizmograf UVS 1504 pracujú autonómne, automaticky uskutočňuje test kanálov 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 toto meranie boli použité elektrodynamické UVS geofóny s frekvenčným rozsahom $1 \div 1000 \text{ Hz}$ a citlivosťou 20 mV/mm.s^{-1} : trojzložkový snímač (x, y, z) na meracom stanovisku 1 a samostatný vertikálny jednozložkový snímač (z1). Geofóny boli umiestnené na betónovom podklade na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom a dobrý prenos energie seizmického vlnenia..

Seizmograf NOMIS mini SUPERGRAPH má AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá $0 \div 254 \text{ mm.s}^{-1}$. Zabudovaný LCD

display poskytuje informácie o maximálnej hodnote meranej zložky rýchlosti kmitania a frekvencii seizmického a zvukového vlnenia po trhavých prácach alebo inom zdroji pružného vlnenia. Pre toto meranie boli použité elektrodynamické Nomis geofóny (x, y, z) s frekvenčným rozsahom $2 \div 400$ Hz a citlivosťou 20 mV/mm.s-1. Seizmosnímače boli uložené na betónovom základe na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s betónovým podkladom a dobrý prenos energie seizmického vlnenia.

Kritérium a merítka seizmických účinkov trhavých prác

Pri výbuchu v ľubovoľnom prostredí vzniká a šíri sa v prostredí celý rad vln, nazývaných výbuchové vlny. V horninovom prostredí sú to napäťové vlny, nazývané aj seizmické vlny. Pri pozemnom výbuchu sa v horninách šíria vlny objemové pozdĺžne P a priečne S, povrchové vlny Rayleighove R, Loveove a atmosférou sa šíri vzdušná rázová vlna, ktorá indukuje v hornine indukovanú tlakovú vlnu [5,6]

Silový účinok tlakových vln sa prejavuje tlakmi, prípadne ťahmi, ktorými seizmické vlny pôsobia na konštrukcie. Zvláštnym spôsobom sa silový účinok seizmických vln prejavuje u nadzemných stavieb. Napäťová vlna výbuchu, šíriaca sa v podloží stavieb, naráža na ich základy, prechádza nimi do muriva, dochádza k odrazom, lomom a difrakcii vln u voľných povrchov muriva, okenných, dverových, komínových a iných otvorov, vznikajú ťahové vlny a charakteristické trhlinky v murive, vychádzajúce najmä z rohov okenných a iných otvorov [5,6,8,9,10,11].

Účinky tzv. technickej seizmicity vyvolanej trhavými prácami sa merajú a posudzujú rýchlosťou kmitania častíc prostredia „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 prízemia budovy; hodnota „v“ závisí hlavne od maximálnej hmotnosti nálože trhaviny odpálenej v jednom časovom stupni Q [kg], ďalej od minimálnej vzdialenosti zdroja od receptora otrasov L [m] a od vlastností geologického prenosového prostredia medzi zdrojom a receptorom otrasov, 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. Pre bežné prípady, akým je aj tento prípad, hodnoty v_d odporúčajú príslušné technické normy, v Slovenskej republike napr. STN 73 00 36 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. V špeciálnych prípadoch je potrebné tieto hodnoty stanoviť na základe expertíznych posúdení špecialistami [5,6,7,11].

Hodnoty v_d v súlade s STN 730036 závisia od triedy odolnosti objektu (hlavne veľkosť, konštrukcia, vek), na druhu základovej pôdy a na prevládajúcom frekvenčnom rozsahu vibrácií [5,6].

Triedy odolnosti objektov

A: Chatrné stavby, historické budovy, pomníky a pod.

B: Bežné tehlové stavby, izolované alebo radové domy s pôdorysnou plochou do 200 m², najviac trojposchodové.

C: Veľké budovy z tehál a tvárnic, dobre ztužené stavby panelové a montované z betónových prvkov, kamenné mosty, oporné a ochranné múry z kameňa, tehál, murované vodojemy a pod.

D: Budovy s nosnou kostrou železobetónovou a oceľovou, konštrukcie z monolitného betónu, montované budovy pre prevádzku a výrobu,

E: Železobetónové konštrukcie pre výrobné a prevádzkové objekty, železobetónové silá a zásobníky,

F: Železobetónové a oceľové ostenia tunelov, metra a kolektorov, úkryty civilnej ochrany.

Vplyv seizmických účinkov na banské diela

Pre diela budované horninovým masívom je kritérium pevnosti pomerná dynamická deformácia ϵ_0 , pričom hodnoty $\epsilon_0 = 0,000\ 2$ až $0,000\ 3$ sú ešte v medziach pružnosti. Merítkom je opäť rýchlosť kmitania. Doporučuje sa deliť povrchové a banské diela do štyroch tried v závislosti na ich dobe životnosti t a dovolenej hodnote ϵ_0 .

- 1) Trieda banského diela:
- 2) Zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 1$: hydrotechnické štôlne, jamy, hlavné banské diela, tunely, odvodňovacie a iné diela, stabilné svahy zárezov a pod.
- 3) Dôležité diela životnosti od 5 do 10 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 2$: naráziská, prekopy, stropné piliere, svahy etáži a hald a pod.
- 4) Diela s kratšou životnosťou od 1 do 5 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 3$: chodby, komory a pod.
- 5) Diela so životnosťou do jedného roka, $\epsilon_0 = 0,000\ 5$: dobývky, svahy pracovných etáži a pod.

Dovolená rýchlosť kmitania je funkciou pružnostných vlastností hornín a doby životnosti t a zjednodušene sa môže vyjadriť empirickým vzťahom

$$v_d = 1,85 \cdot 10^{-5} c_{pe} \cdot 2,3 \cdot 1,16 \cdot t \quad (\text{m.s}^{-1})$$

c_p – rýchlosť šírenia pozdĺžnych vĺn v masíve (m.s^{-1}),

t – doba životnosti diela (rok).

Tento vzťah dobre poskytne prvé – orientačné hodnoty.

Druh základovej pôdy

Kategória a: Horniny všetkých tried pri únosnosti $\leq 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke od 1 m do 3 m pod základovou škárou.

Kategória b: Horniny všetkých tried pri únosnosti $\leq 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke väčšej ako 3 m pod základovou škárou.

Kategória c: Horniny všetkých tried pri únosnosti $> 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke väčšej ako 3 m pod základovou škárou.

Dominantné frekvencie

Obvyklé frekvencie od trhacích prác sú od 5 do 50 Hz. Frekvencie $f < 10$ Hz zodpovedajú náloziam s ekvivalentnou hmotnosťou $m > 2\ 000$ kg, frekvencie $f > 50$ Hz zodpovedajú náloziam s ekvivalentnou hmotnosťou $m < 5$ kg. Trhacie práce pri razení tunelov, šácht sú charakterizované prevažne frekvenciami kmitov nad 50 Hz [5,6].

Dovolená rýchlosť kmitania pre chatovú zástavbu a stavebné konštrukcie

Vychádzajúc z odporúčaní STN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané v Tuneli Bôrik, ktoré predstavujú rádovo desiatky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle $f > 10$ Hz, na základe odolnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite je možno sledované stavebné konštrukcie v Tuneli Bôrik zaradiť do triedy odolnosti E až F.

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zatriediť do kategórie b, čo s vysokou pravdepodobnosťou bude najbližšie ku skutočnosti.

Stupeň poškodenia vo všetkých prípadoch uvažujeme bez poškodenia – 0.

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelov na Tuneli Bôrik pre rozpojovanie valcovými náložami a pre sledované stavebné objekty, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou

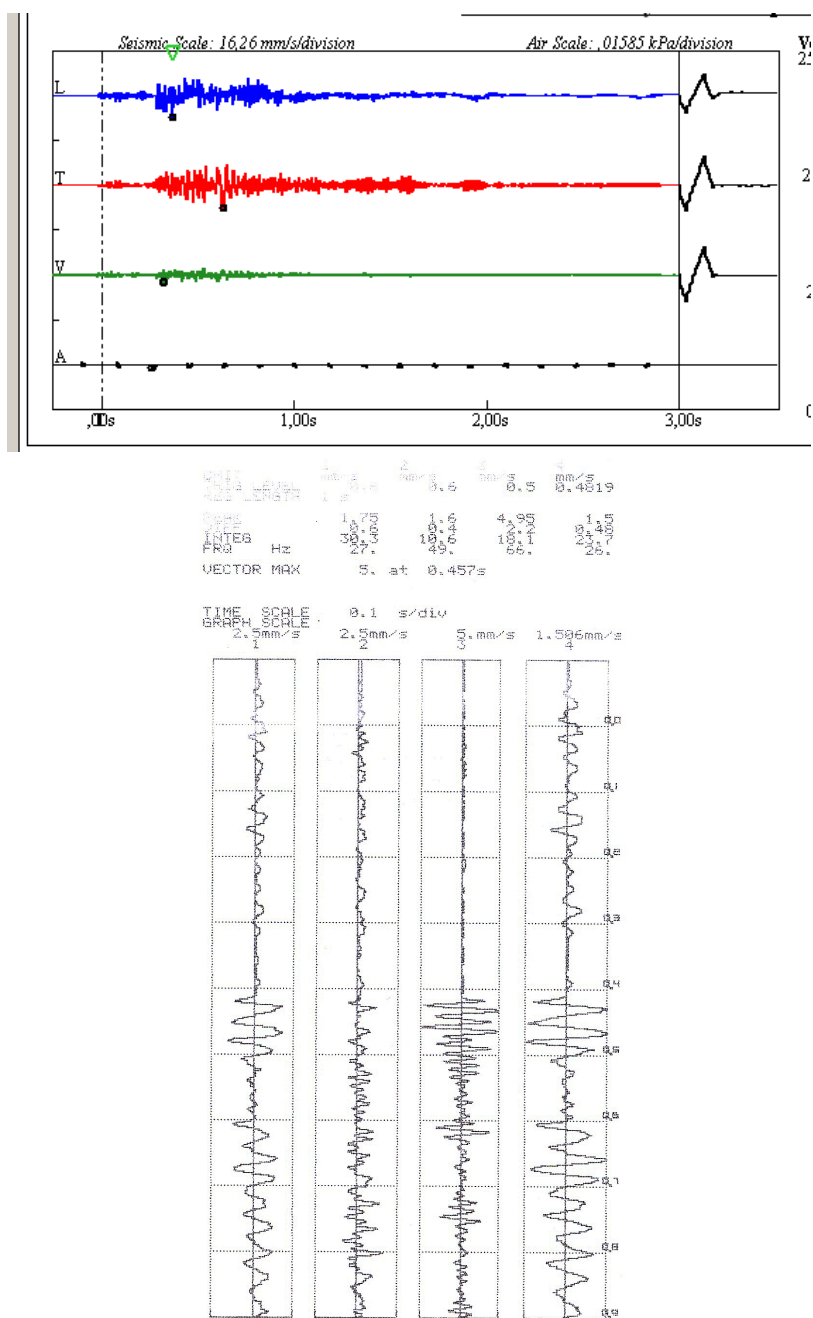
$vd \leq 60$ mm/s pre vyhotovené stavebné konštrukcie a

$vd \leq 10$ mm/s pre príahľú chatovú zástavbu.

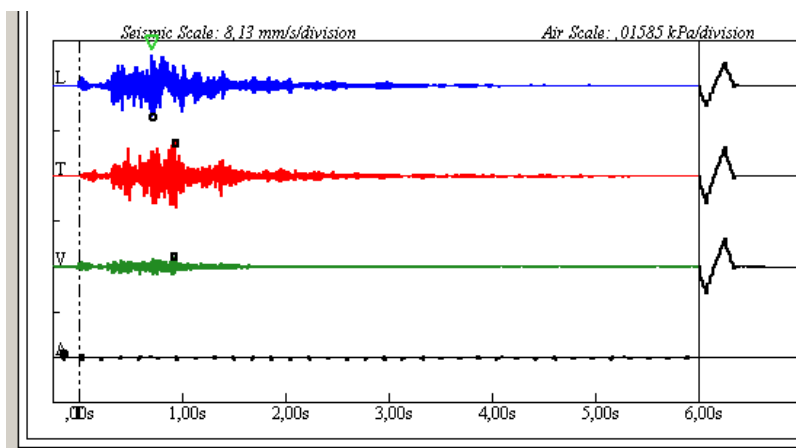
Namerané seizmické účinky a ich analýza

Seizmické účinky boli merané pri štyroch odstreloch. Tým sa získala množina hodnôt rýchlosti kmitania "v" (obr. 6, 7) v závislosti na vzdialenosti L od zdroja otrasov a veľkosti nálože Q na časový stupeň.

Digitálne záznamy na obr. 6 a 7 predstavujú priebežne hodnoty seizmického vlnenia od začiatku odstrelu až po jeho ukončenie. Prístroje priebežne merané hodnoty vyhodnocujú v milisekundových intervaloch a digitálne zobrazujú maximálnu hodnotu výchylky rýchlosti kmitania v štyroch meraných zložkách z_1 , y , x a z_2 . (UVS 1504) a x , y , z (Nomis). Namerané maximálne hodnoty seizmických účinkov generované odstrelními sú uvedené v tabuľke 1. Na obr. 6 je záznam prvého odstrelu, ktorý bol uskutočnený štandardným spôsobom v súlade s projektom. Na zázname sú viditeľné v čase 0,4 ms nasadenia odrazených vln, ktorých amplitúdy a rýchlosti kmitania boli oveľa väčšie ako od jednotlivých časových stupňov odstrelu. V druhom odstrele sme znížili veľkosť náloží na časový stupeň a zmenili časovanie. Namerané hodnoty rýchlosti kmitania nedosiahli spúšťačiu úroveň grafického záznamu a tak grafický záznam nebol k dispozícii. Pri treťom odstrele sme naprojektovali maximálne prípustné veľkosti náloží na jeden časový stupeň pri nezmenenom časovaní. Grafický záznam je na obr. 7. Z porovnania obidvoch záznamov je vidieť, že aj napriek zvýšeným náložiam na časový stupeň nebola prekročená dovolená rýchlosť kmitania, pri frekvenciách nad 50 Hz, čo je z hľadiska bezpečnosti taktiež priaznivé. V štvrtom odstrele, ktorý sa uskutočnil na celom profile tunelovej rúry sme použili odskúšané časovanie a namerané hodnoty na stanovisku č.1 boli oveľa nižšie ako dovolené ($v_y=5,4$ mm/s pri frekvencii 52 Hz - Tabuľka 1). Hodnoty frekvencii 0,2 Hz pri štvrtom odstrele pre zložky kmitania z a z_1 boli pod hranicou merateľnosti a prístroj ich nevedel vyhodnotiť. Na stanovisku č. 2 pri odstrele č. 4 nebolo uskutočnené meranie. Takýmto postupom bolo možné bezpečne uskutočniť trhacie práce v Tuneli Bôrik aj v mieste najbližšom k sledovaným objektom.



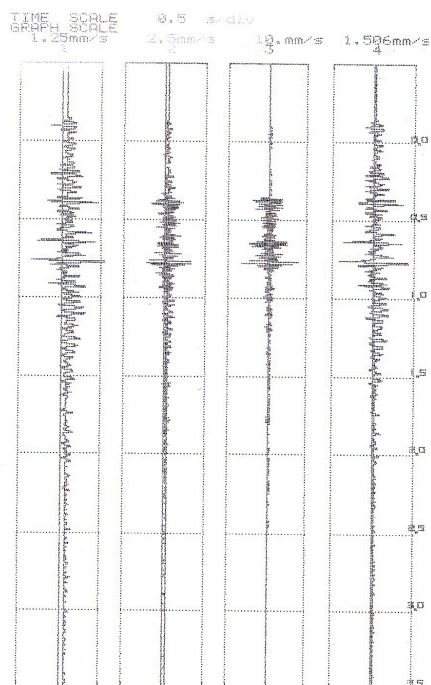
Obr. 6 Grafické záznamy rýchlosti kmitania a frekvencie v troch meraných zložkách x, y, z pri odstrele č. 1 na stanovisku 1 (vľavo) a na stanovisku 2 (vpravo)



```

INSTRUMENT S/N 000
COUNTR # 000
DATE & TIME 14 JUL 1987 14:16:51
UNIT 1 mm/s 2 mm/s 3 mm/s 4 mm/s
TRIG LEVEL 4 8.6 8.6 8.6 8.6
REG LENGTH 4 8.6 8.6 8.6 8.6
PEAK 1.0 1.0 1.0 1.0
INTEG 2.0 2.0 2.0 2.0
FREQ HZ 2.0 2.0 2.0 2.0
VECTOR MAX 7.3 at 0.75/s

```



Obr. 7 Grafické záznamy rýchlosti kmitania a frekvencie v meraných zložkách x, y, z pri odstrele č. 3 na stanovisku 1 (vľavo) a na stanovisku 2 (vpravo)

Tab 1 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosti kmitania pri odstreloch v Tuneli Bôrik

Odstrel/ stanovi sko	Hmotnosť nálože Q [kg]	Vzdialenosť L [m]	Redukovaná vzdialenosť $L/Q^{0,5}$ [m.kg^{0,5}]	Meraná zložka	Frekvencia f [Hz]	Rýchlosť „v“ [mm.s⁻¹]
1/1	32,4	183	32,15	x	66,0	4,95
				y	49,0	1,6
				z	27,0	1,75
				z ₁	26,0	1,5
1/2	32,4	115	20,203	x	42,6	7,94
				y	22,2	8,26
				z	512,0	2,67
				z ₁	-	-
2/1	15,2	209,2	53,659	x	-	1,00
				y	-	1,05
				z	-	0,45
				z ₁	-	0,30
2/2	15,2	141,2	36,217	x	85,3	1,14
				y	73,1	0,95
				z	256,0	0,76
				z ₁	-	-
3/1	22,8	187	39,162	x	57,0	7,15
				y	57,0	1,60
				z	27,0	1,30
				z ₁	27,0	1,26
3/2	22,8	119	24,92	x	64,0	5,26
				y	51,2	5,97
				z	512,0	1,78
				z ₁	-	-
4/1	32,4	269,1	47,276	x	57,0	1,15
				y	52,0	5,4

				z	0,2	0,35
				z ₁	0,2	0,30
4/2	32,4	-	-	x	-	-
				y	-	-
				z	-	-
				z ₁	-	-

Na základe týchto údajov bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti. Graf na obr. 8 predstavuje tzv. zákon útlmu seizmických vln pre Tunel Bôrik, zostrojený z hodnôt nameraných pri realizovaní odstrelov č. 1, 2, 3 a 4, 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 LR, [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 na podmienkach odstrelu, vlastnostiach 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 dovolenú rýchlosť kmitania vd.

Tento vzťah umožňuje pre danú celkovú nálož na odstrel a pre minimálnu vzdialenosť L od posudzovaného objektu, stanoviť očakávanú rýchlosť kmitania vygenerovanú odstreloom na posudzovanom (chránenom) objekte.

Druhý, oveľa dôležitejší spôsob použitia zákona útlmu seizmických vln je nasledovný. Pre vopred stanovenú dovolenú rýchlosť kmitania posudzovaného stavebného objektu vd v grafe na obr. 8 stanovíme maximálne dovolenú redukovanú vzdialenosť LRd, z ktorej pri známej vzdialenosti L vypočítame celkovú maximálnu dovolenú nálož na odstrel Qcd

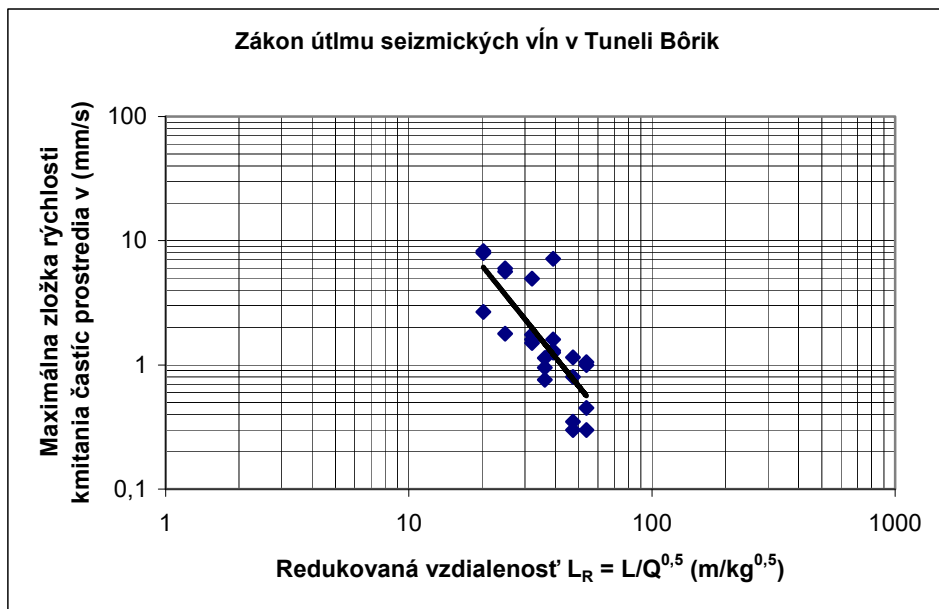
$$Q_{cd} = (L/L_{Rd})^2 \quad (\text{kg})$$

Takto pre Tunel Bôrik, kde $vd \leq 10 \text{ mm/s}$, z grafu na obr. 8 máme dovolenú redukovanú vzdialenosť $LRd = 15 \text{ m.kg-0.5}$.

Uvedený spôsob a postup hodnotenia seizmickej bezpečnosti trhavých prác na Tuneli Bôrik platí pre rozpojovanie valcovými náložami, pre:

- ☐ dĺžky postupov na jeden krok 4 m,

- nálože, alebo skupiny náloží, resp. odstrel časovaný rozbuškami DeM, DeD a DeP.



Obr. 8 Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri odstreloch v Tuneli Bôrik – zákon útlmu seizmických vln

PodĎakování

Článok bol riešený v rámci grantovej úlohy Vega 1/3295/6.

Záver

Seizmické účinky trhacích prác na stavebné objekty sa posudzujú podľa rýchlosti kmitania častíc prostredia „v“. Na sledované stavebné objekty v Tuneli Bôrik je možno pri primárnom rozpojovaní prijať maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania $v_d = 60$ mm/s. Pri odstreloch bola na referenčných meracích stanoviskách nameraná maximálna hodnota rýchlosti kmitania $v_x = 7,94$ mm/s pri frekvencii 42,6 Hz, t.j. dovolená hodnota rýchlosti kmitania nebola prekročená a preto možno konštatovať, že seizmické účinky sledovaných radových odstrelov nezapríčinili žiadne poškodenie na vyhotovované konštrukcie definitívneho ostenie tunela, ako aj okolitú najbližšiu chatovú výstavbu.

Literatúra

- [1] Pandula, B., Bocan, J., Kondela, J., Sasvari, T. a Jelšovská, K. (2007): Seizmika komorového odstrelu. Zborník Trhacia technika 2007, Stará Lesná 2007, s.114 – 121.
- [2] Pandula, B. a Bocan, J.(2006): Vyhodnotenie seizmických účinkov KO v lome Dubina - Kvetnica. Výskumná správa KDLaG F BERG, Košice 2006, 8 s.
- [3] Pandula, B., Mockovčiaková, A., Cehlár, M. a Jelšovská, K. (2001): Hodnotenie porušenia horninového masívu pomocou impulzových dynamických metód

- z pohľadu ekonomickej efektívnosti ťhacích prác, *Acta Avionica* ročník III/2001 č. 4, VLA Košice s. 116 – 121.
- [4] Onderka, Z. et. al. (2003): Pomiar drgaň seismometrycznych przy strzelaniu komorowym w kamieniolome Dubina-Kvetnica kolo Popradu, Wydział gorniczy AGH- Krakow, 2003, 8 s.
 - [5] Pandula, B. (2003): Seizmika ťhacích prác – perspektívy rozvoja, Habilitačná práca, Košice 2003, 157 s.
 - [6] Dojčár, O. et. al. (1996): Ťhacia technika. Montanex Ostrava 1996, 421 s.
 - [7] Dojčár, O. a Pandula, B. (1998): Výskum technickej seizmicity v lome VSŽ Včeláre, Výskumná správa, TU Košice 1998.
 - [8] Janotka, V., Viskup, J. and Bukov, D. (1997): Rock environment geological models for accelerogram and seismic response spectra computation. Proceedings of the 3rd International Conference „Soil-Structure Interaction“. Slovak Technical University, Department of Geotechnics 1997, p. 27÷32.
 - [9] Purcz, P. (2003): Asymptotical Behaviour of the Communication Complexity of one Parallel Algorithm, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3019, 5th International Conference PPAM 2003, Czestochova, Poland, pp.201—206.
 - [10] Purcz P. (2001): Parallel Algorithm For Spatially One- And Two-Dimensional Initial-Boundary-Value Problem For A Parabolic Equation, *Kybernetika*, Prague, vol.37, No.2, 2001, pp.171-181.
 - [11] Pandula, B. a Varga, T. (2008): Vplyv otrasov a vibrácií od nákladnej dopravy na občianské stavby. Zborník Ťhacia technika 2008, Stará Lesná 2008, s.10 – 17.

