

hmotnosti 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.

Najspoločnejší spôsob stanovenia a predpovede intenzity otriasov 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 rýchlosť 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 vlnenia nameraná na referenčnom stanovisku, t.j. na základoch objektu alebo najnižšom poschodi. Na iných miestach môžu byť namerané rýchlosť kmitania väčšie ako na referenčnom stanovisku (STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8).

Pre hrubý predbežný odhad seizmického pôsobenia odstrelu na blízky stavebný objekt sa používa upravený Kochov vzťah (STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8):

$$v = K \cdot \frac{\sqrt{Q_{ev}}}{l},$$

kde  $v$  je rýchlosť kmitania seismickej vlny [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $Q_{ev}$  je ekvivalentná hmotnosť nálože, t.j. hmotnosť nálože v jednom časovom stupni [kg],  
 $l$  je najkratšia vzdialenosť miesta odstrelu od objektu [m],  
 $K$  je koeficient prenosu energie geologickým prostredím alebo funkcia prenosu energie stanovená seismickým meraním, ktorá je závislá od vzdialenosťi bodu merania od fáziska odstrelu.

Orientečné hodnoty koeficienta prenosu energie  $K$  sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Informatívne hodnoty koeficienta prenosu energie  $K$  (STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8)

Vzdialenosť $l$	Súčinatel $K$ [ $\text{kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	
	Podložie zo skalných a poloskalných hornín so strednou až veľmi malou hustotou diskontinuít	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 rýchlosť kmitania do  $30 \text{ mms}^{-1}$ , neplatia pre vodou nasýtené prostredie.

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

Najväčší seismický 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 seismický efekt je pri druhotnom rozpojovaní, t.j. pri veľkom počte voľných plôch.

Zvyšovaním počtu voľných plôch a znižovaním upnutia náloží použitím vhodných vrtných schém a organizácie odstrelu (geometria a časovanie) je možné účinky plánovaného odstrelu už v štádiu jeho projektovania posunúť do oblasti minimalizovaného seismického 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  $Q_{ev}$ , ktorá bude použitá pri plánovanom odstrele.

Medzi rýchlosťami kmitania  $v_1$  a  $v_2$  od náloží o hmotnostiach  $Q_1$  a  $Q_2$  (ak  $Q_1 < Q_2$ ) platí vztah:

$$v_1 = v_2 \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^{\alpha_v},$$

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



*Tabuľka 5 Triedy odolnosti stavebných objektov (STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8)*

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, prievlakmi a plošnými klenbami nad miestnosťami prizemia a suterénu: kamenné a murované pomníky a fontány, budovy s rozsiahloou plastickou výzdobou, budovu v osobitnej pamiatkovej starostlivosti			
B	Bežné tehlové stavby, izolované alebo radové domčeky s pôdorysnou plochou do 200 m <sup>2</sup> , najviac trojpodlažné			
C	Veľké budovy z tehál a tvárníc, dobre vystužené stavby panelové a montované so železobetónových prvkov, murivo na cementovú maltu	Kamenné mosty /sochy ozdoby/ a kamenné obklady 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, kálové spojky, rozvodné skrine na komunikačných káblach
D	Budovy s monolitickým skeletom z ocele alebo železobetónu, drevené a hradzené stavby s dobrým vystužením, prostý betón	Oropy mostov z opracovaného kameňa, monolitické vodojemy	Tehlové, kamenné a tvárnicové vymurovky v podzemných objektoch	Latiatové 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 technologicke tunely z prefabrikátov a rúr s priemerom väčšim ako 800 mm, podzemné železobetónové steny, kotvená výstuž, korene kotvieb	Káble žilové a koaxiálne, komunikačné káble
F			Železobetónové a oceľové ostenia tunelov metra a kolektorov, úkryty civilnej obrany	Oceľové potrubia

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

$$I = k_1 \cdot Q_{ev}^{k_2},$$

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

Možnosť poškodenia pozemných stavieb v závislosti na rýchlosťi kmitania v je charakterizovaná v súlade s STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8 takto:

1. Ľahké škody – prvé známky škôd (odlupovanie maľby a vlasové trhlinky v omietke) vznikajú pri rýchlosti kmitania 10 až 30 mm/s. Najchúlostivejšie sú priečky kolmé k smeru šírenia sa seismického vlnenia a miesta, kde sa stýkajú rôzne stavebné dielce navzájom naviazané (oceľový nosník, drevený preklad alebo betónový prefabrikát na murive), ktoré pôsobením seismického vlnenia kmitajú rozdielne. Preto nachádzame často trhlinky v omietke na styku priečky s nosným múrom a v stropných častiach.

2. Mierne škody (trhlinky v omietke na pripojeniach priečok a v priečkach, trhlinky v okolí otvorov, opadávanie uvoľnenej omietky a uvoľnenie nejednotných dielcov) vznikajú pri rýchlosti kmitania od 30 do 60 mm/s.

3. Vážne škody (priebežné trhlinky v nosných múroch, opadávanie veľkých kusov omietky, komínového muriva a strenej krytiny, trhlinky v betóne) vznikajú pri rýchlosti kmitania od 60 do 100 mm/s.

1. Čiastočné zrútenie stavieb a trhlinky v železobetóne vznikajú pri rýchlosti kmitania nad 100 mm/s.

Jednotlivé stupne poškodenia stavebných objektov sú uvedené v tabuľke 6.

*Tabuľka 6 Stupeň poškodenia stavebných objektov (STN EN 1998-1/NA/ZI Eurokód 8)*

Stupeň poškodenia	Prejavy poškodenia na objekte
0	Bez poškodenia. Nevznikajú žiadne viditeľné poškodenia a funkcie stavebných objektov, ako napr. vodotesnosť nádrží sú plne zachované
1	Prvé známky poškodenia. Trhliny do šírky 1 mm na styku stavebných prvkov
2	Lahké porušenia s malými škodami. Trhliny šírky 5 mm v omietke, priečkach a kombinovanom murive, opadávanie omietky, uvoľnenie krytiny
3	Stredné porušenia s väzonymi škodami bez ohrozenia stability objektu. Trhliny širšie ako 5 mm v priečkach a nosnom murive. Opadávanie krytiny a časti komínov
4	Rozsiahle porušenie s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosnom murive a prekladoch ohrozujúce ich statickú funkciu. Zrútenie priečok, výplňového muriva a komínov. Trhliny v prostom betóne, porušenie stability
5	Úplné porušenie a destrukcia objektu. Zrútenie tehlových stavieb alebo ich časti s hlavnými nosnými prvkami. Trhliny aj v železobetóne

Tabuľka 7 Závislosť stupňa poškodenia od maximálnej rýchlosťi kmitania  $\text{mm.s}^{-1}$  druhu objektu a základovej pôdy (STN EN 1998-1/N/A/Z1 Eurokód 8)

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

1) Hodnoty v stĺpci pre  $f_k$  väčšie ako  $50 \text{ Hz}$  nemožno použiť pre potrubie uložené v zásype.

## 7. DRUHY ZÁKLADOVEJ PÔDY

Pre účely hodnotenia technickej seismicity sa základová pôda zatrieduje do troch kategórií:

- *kategória a*, patria sem horniny všetkých tried pri tabuľkovej návrhovej únosnosti  $R_{dt} \leq 0,15 \text{ MPa}$ , 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.

Závislosť stupňa poškodenia od maximálnej rýchlosťi kmitania ( $v_{max}$ ), druhu objektu a základovej pôdy je uvedená v tabuľke 7.

Spoľahlivá predpoved' seismického účinku ľubovoľne veľkej nálože trhaviny na stavebný objekt v ľubovoľnej vzdialosti neexistuje. Aj v rovnakom prenosovom prostredí a pri rovnakej technológii rozpojovania dávajú hodnoty koeficientov  $K$ ,  $k_1$  a  $k_2$  veľký rozptyl hodnôt a tým aj rôzne hodnoty  $v$ . To znamená, že výpočet nemôže dať jednoznačne spoľahlivú odpoved', či plánovaný odstrel zaručí alebo nezaručí seismickú bezpečnosť chráneného objektu (tab. 8).

Všetky vzťahy pre predbežný výpočet rýchlosťi kmitania môžu poskytnúť len približnú informáciu, t.j. môžu zdôrazniť potrebu konkrétnych meraní, alebo naopak môžu viest' k záveru, že vzdialenosť objektu od miesta plánovaného odstrelu je tak veľká, že merania nie sú vôbec potrebné.

Rozsah pôsobenia škodlivých seismických účinkov na človeka i objekty je uvedený v tabuľke 9.

## 8. 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*,
- *seismické účinky*.

Seismické účinky pripravovaného odstrelu možno podstatne znížiť:

- *rozdelením celkovej nálože do viacerých čiastkových náloží*. Veľmi účinne možno výsledný seismický účinok znížiť milisekundovým časovaním odstrelu, u ktorého oneskorenie jednotlivých náloží spôsobuje interferenciu seismických vĺn tak, že sa ich nežiaduce účinky vzájomne rušia. Je známy fakt, že otras je tým menší, čím ľahšie nálož prekoná odpor záberu, preto je v niektorých prípadoch vhodné predimenzovanie hmotnosti nálože o 30 – 40%. Tým vzrástie amplitúda, ale zníži sa

frekvencia kmitov a zmenší sa upnutie rozpojovaného materiálu. Výsledkom je menší  
výkon motoru a odpor pri oddeľovaní a rozbicie rozpojovaného materiálu.

- vytvorením umelej prekážky (štrbin) v ceste seismických vln pomocou metódy hladkého výlomu „presplit blasting“ (predstup).

Tabuľka 8 Koefficienty  $k_1$  a  $k_2$  (STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8)

Trieda odolnosti objektu	Stupeň poškodenia objektu	$k_1 = 2/3$	$k_2 = 1/3$
		$Q_{ev} = 1 \text{ až } 10^3 \text{ kg}$	$Q_{ev} = 10^3 \text{ až } 5 \cdot 10^3 \text{ kg}$
		$k_1$	$k_2$
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

*Tabuľka 9 Škodlivé seizmické účinky v závislosti na rýchlosťi kmitania.*

Rýchlosť kmitania [mm.s <sup>-1</sup> ]	Charakteristika otriasov 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 odstrelе
10 – 15	Otras je vnimatelný väčšinou ľudími, chvejú sa okenné tabule, v celom výnimočných prípadoch sa môžu objavovať príznaky nepatrnych 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 výnimočne 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 konštrukciach
nad 400	Možné zbúranie budov a veľmi ľahké poškodenie objektov všetkých druhov

Maximálne zníženie rýchlosťi kmitania sa dosiahne pri intervale časovania náloží:

$$\tau = \frac{10^5}{c_p} \quad [\text{ms}]$$

kde  $c_p$  je rýchlosť šírenia pozdĺžnych seizmických vln v horninovom prostredí medzi odstrelom a chráneným objektom [m.s<sup>-1</sup>]. V súlade s voľbou hodnoty  $\tau$ , môže byť celková hmotnosť nálože odstrelu:

$$Q_c = Q_t N^t, \text{ resp. } Q_c = Q_p \cdot N^t \quad [\text{kg}]$$

kde  $Q_c$  je prípustná nálož časovaného odstrelu (nálož na milisekundový časovací stupeň) [kg],  $N$  je počet náloží, resp. skupín náloží o hmotnosti  $Q_p$  odpálených s intervalom  $\tau$ ,  $t$  je exponent závislý na vlastnostiach masívu podľa tabuľky 10.

*Tabuľka 10 Hodnoty exponentov závisiacich na vlastnostiach masívu*

$c_p$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$\tau$ [ms]	$t$
do 1000	100	0,3
1000 ÷ 1500	70	0,45
1500 ÷ 2000	60	0,6
2000 ÷ 2500	50 ÷ 40	0,7
2500 ÷ 3000	40 ÷ 35	0,8
3000 ÷ 3500	35	0,9
3500 ÷ 4000	35	1,0
nad 4000	20 ÷ 10	1,0

Ak je dané  $Q_c$ , zo vzťahu sa vypočíta  $N$ . Vzťah platí pre  $N > 6 \div 12$ , v závislosti na vlastnostiach masívu. Stabilita spolupôsobenia výbuchov náloží a tým aj plné zníženie seizmického účinku sa v tvrdých horninách dosiahne iba pre  $N > 6 \div 8$ , a v horninách s  $c_p = 1000 \div 2000$  m.s<sup>-1</sup>, pre  $N > 10 \div 12$ .

Pre maximálne zníženie seizmického účinku pri milisekundovom časovaní je dôležité:

- celkovú nálož odstrelu deliť na maximálny počet časových stupňov, s narastaním počtu časových stupňov sa seizmický účinok odstrelu znižuje,
- celkovú nálož odstrelu deliť do časových stupňov (vrtov, skupín) rovnomerne tak, aby rozdiely hmotností náloží pripadajúcich na časový stupeň nepresiahli  $10 \div 15\%$ ,
- smer postupu roznetu orientovať od chráneného objektu,
- rozpojovaný blok horniny orientovať voči chránenému objektu užšou stranou,
- veľkú pozornosť venovať výberu schémy roznetu.

Minimálne seizmické účinky vykazujú jednoradové odstrely s postupným časovaním náloží. Vyššiu efektívnosť rozpojovania však zaručujú viacradové (mnohoradové) odstrely. V tomto prípade sú väčšinou nálože časované v skupinách – radoch, a to buď paralelne, alebo diagonálne (pod určitým uhlom) k priamke steny etáže. Zo všetkých hľadísk, teda i z pohľadu seizmiky trhacích prác, sa za najvhodnejší považuje diagonálny spôsob roznetu (odpálenia, iniciácie) náloží.

## 9. KRITÉRIUM A MERÍTKO SEIZMICKÝCH ÚČINKOV

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

$$v \leq v_d$$

kde  $v$  je maximálna hodnota zložky rýchlosťi kmitania vyvolaná zdrojom otriasov, 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 – ekvivalentná hmotnosť nálože  $Q_{ev}$  [kg], ďalej od minimálnej vzdialenosťi zdroja od receptora otriasov  $L$  [m] a od vlastnosti geologického prenosového prostredia medzi zdrojom a receptorom otriasov. Na úrovni súčasných poznatkov sa hodnota „ $v$ “ nedá vopred ani analyticky ani empiricky spoľahlivo vypočítať; najspôľahlivejšie sa stanoví konkrétnym meraním, ako je tomu v našom prípade,  $v_d$  je maximálna dovolená (medzná) rýchlosť kmitania pre posudzovaný (chránený) objekt; pri tejto rýchlosťi kmitania nedôjde k nijakému poškodeniu objektu – stupeň poškodenia je 0; táto hodnota sa stanovuje nezávisle na odstrelе (pred odstrelom) na základe praktických skúseností uvádzaných v rôznych normatívoch (u nás napr. STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8), alebo na základe expertíznych posúdení špecialistami. STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8 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 možné pre murované občianske stavby v priemernom stave prijať tieto kritéria:

pri rýchlosťi kmitania

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

## 10. VZDUŠNÁ TLAKOVÁ VLNA

Výbuchom nálože vzniká vzdušná tlaková vlna, ktorá pôsobí na prostredie veľkosťou pretlaku  $P$  v určitej vzdialosti od miesta výbuchu. Je tvorená tenkou vrstvou stlačeného vzduchu, ktorá má v blízkosti zdroja (vybuchujúcej nálože) charakter rázovej vlny a vo väčszej

vzdialenosť 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  $\mu$ s). Pre približný výpočet pretlaku sa používa vzťah:

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

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 vzdialosť posudzovaného miesta od centra výbuchu.

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

## 10. 1. ÚČINKY VZDUŠNÝCH TLAKOVÝCH VLN

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 výbušní (napr. odstrely v lomoch), ale aj iné technológie, kedy dochádza k náhlemu uvoľneniu energie. Najvyššia prípustná maximálna hladina hluku  $L_{Amax}$  pre hluk impulzny s počtom impulzov menším ako 20 impulzov za sekundu a dobu 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 možné akustický tlak prepočítať na hladiny podľa korelačného vzťahu medzi decibelom (dB) a pascalom (Pa)  $dB = 20 \times 10^{\log(0,05 \text{ Pa} \times 10^6)}$  tab. 12.

Tabuľka 12 Vzájomný vzťah medzi akustickým tlakom a hladinou akustického tlaku

Hladina akustického tlaku $L_A$ (dB)	Akustický tlak $p$ (Pa)
0	$2,0 \cdot 10^{-5}$
50	$6,3 \cdot 10^{-3}$
100	2,000
110	6,311
120	20,00
130	63
140	200,0
150	630,0

Výsledky merania tlaku  $p$  na čele vzdušnej tlakovej vlny pri odstrele sú uvedené obrázku ... a v tabuľke ... Maximálne namerané hodnoty sú ... Pa a sú pod hranicou 134 dB, ktorá predstavuje hranicu, kedy nedôjde k poškodeniu. Nad touto hranicou, by mohlo dôjsť

k poškodeniu okenných tabúľ na stavebných objektoch. Preto pri zmenšovaní vzdialenosť odstrelom od objektov rastie riziko poškodenia. Pre bližšie dokreslenie, uvádzame hodnoty účinkov vzdušných tlakových vln 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 ľud'mi,
- 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.
- 

## 11. DOVOLENÁ RÝCHLOSŤ KMITANIA PRE CHRÁNENÉ OBJEKTY BYTOVEJ ZÁSTAVBY SNEŽNICA A OŠKERDA

Vychádzajúc z odporúčaní *STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8* Seismické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané pre radové odstrely v lome Snežnica a frekvencie kmitov, ktoré boli podľa FFT analýzy blízko hodnoty  $f = 10 \text{ Hz}$  ( obr. 16, 17) a na základe odolnosti stavebných objektov voči technickej seismaticite je možno stavebné objekty v obci Snežnica a Oškerda zaradiť do triedy odolnosti B.

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristik a údajov, môžeme zatriediť do kategórie b, čo je najbližšie ku skutočnosti.

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelom na ložisku vápenca Snežnica a s ohľadom na charakter stavebných objektov, pre rozpojovanie rádovými odstrelmi na ložisku lom Snežnica a pre stavebné objekty v obci Snežnica a Oškerda, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosťi) stanoviť hodnotou

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

## 12. NAMERANÉ SEIZMICKÉ ÚČINKY ODSTRELU A ICH ANALÝZA

Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosťi kmitania rádového odstrelu v lome Snežnica sú v tabuľke 3. Ak podľa *STN EN 1998-1/NA/Z1 Eurokód 8* platí:

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

$v$  - je nameraná maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosťi kmitania) generovaná odstrelom, [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

potom z uvedeného vzťahu koeficient prenosového prostredia  $K$  pre blízke okolie v lome Snežnica má hodnotu:

$$K_1 = v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 170,73 \cdot 11,2 / \sqrt{40} = 1912,18 / 6,32 = 302,34$$

$$K_2 = v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 2,6 \cdot 194,6 / \sqrt{40} = 505,96 / 6,32 = 79,99$$

$$K_3 = v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 0,5 \cdot 461,9 / \sqrt{40} = 230,9 / 6,32 = 36,5$$

$$K_4 = v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 1,1 \cdot 432,4 / \sqrt{40} = 475,64 / 6,32 = 75,2$$

kde  $K_1, K_2, K_3, K_4$  sú hodnoty koeficientov prenosového prostredia pre meracie stanovisko 1, 2, 3 a 4. Najnižšia hodnota koeficientu prenosového prostredia bola vypočítaná pre stanovisko 3. Dochádza tu k najvyššiemu útlmu seismického vlnenia pravdepodobne preto, lebo uvedený stavebný objekt leží už na fluvialných sedimentoch potoka a nie priamo na skalnom masíve ako stanoviská 1, 2 a 4.

Na základe takto vypočítaného koeficientu prenosového prostredia je možné vypočítať maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož  $Q_{vmax}$  pre najbližšiu vzdialenosť zdroja - trhacích prác v lome Snežnica a receptora – obytné objekty v obci Snežnica a Oškerda.

$$\text{Pre vzdialenosť } 50 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 50^2 / 79,99^2 = 3,5 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 75 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 75^2 / 79,99^2 = 8,0 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 100 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 100^2 / 79,99^2 = 14,5 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 125 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 125^2 / 79,99^2 = 22,0 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 150 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 150^2 / 79,99^2 = 31,5 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 175 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 175^2 / 79,99^2 = 43,0 \text{ kg,}$$

$$\text{Pre vzdialenosť } 200 \text{ m } Q_{vmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 200^2 / 79,99^2 = 62,05 \text{ kg.}$$

kde „v“ je nameraná maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosťi kmitania) generovaná odstrelom, [mm.s<sup>-1</sup>],

- $v_d$  je maximálna dovolená rýchlosť kmitania meranej zložky,
- $L$  je najkratšia vzdialenosť zdroja otrássov od ich receptora, [m],
- $Q_{ev}$  je hmotnosť nálože na jeden časový stupeň, [kg],
- $K$  je súčinitel závislý od podmienok odstrelu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.

*. Tabuľka 13. Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosťi kmitania radového odstrelu*

$L$ [m]	$Q$ [kg]	$L_R = L/Q^{0,5}$ [m/kg <sup>0,5</sup> ]	$v_x$ [mm/s]	$v_y$ [mm/s]	$v_z$ [mm/s]
11,2	40	1,77	97,5	63,72	170,73
194,6	40	30,77	2,6	1,8	2,1
461,9	40	73,03	0,4	0,4	0,5
432,4	40	68,37	1,1	0,6	0,75

Namerané maximálne hodnoty seismických účinkov generované rádovým odstrelom v lome Snežnica sú uvedené v tabuľke 13. Tieto hodnoty nám poslúžili ako podklad na stanovenie zákona útlmu seismických vín v lome Snežnica.

Na základe údajov z tabuľky 13 bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosťi kmitania na redukovanej vzdialosti pri radovom odstrele. Graf na obr. 19 predstavuje tzv. zákon útlmu seismických vín pre lom Snežnica, v ktorom bola použitá hodnota  $Q$  v tvare

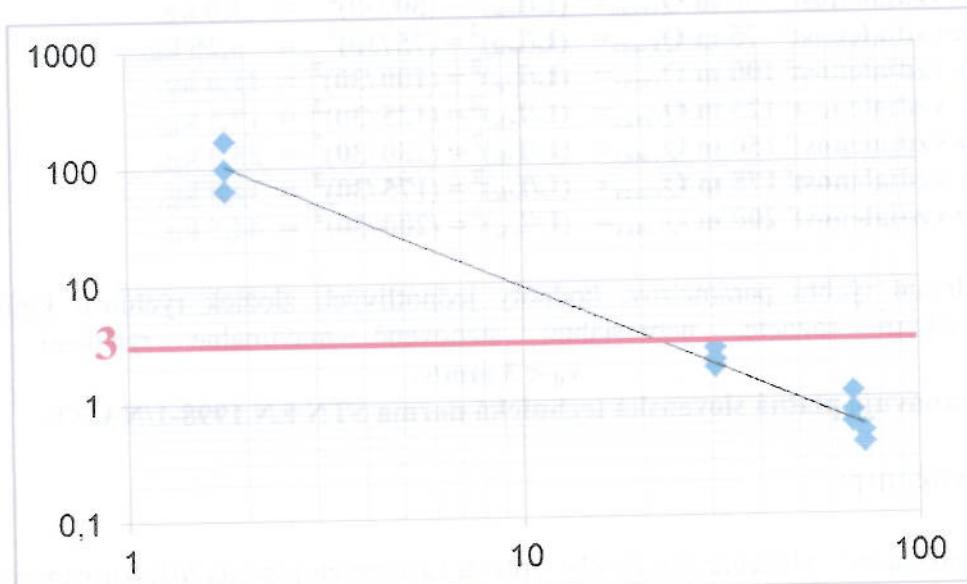
$$v = \left( \frac{L}{Q^{0,5}} \right) = K \left[ \frac{L}{Q^{0,5}} \right]^n,$$

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

- $L/Q^{0,5}$  je tzv. redukovaná vzdialenosť, [m/kg<sup>0,5</sup>],
- $L$  je najkratšia vzdialenosť zdroja otrássov od ich receptora, [m],
- $Q$  je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],

- K je súčinatel' závislý od podmienok odstrelu, 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 vzdialosti, tak aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosť kmitania nepresiahli stanovené maximálne rýchlosť kmitania.



Obr. 19 Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosť kmitania na redukovanej vzdialenosťi pri radovom odstrelu v lome Snežnica – zákon útlmu seizmických vln. Červená čiara označuje maximálnu bezpečnú dovolenú rýchlosť kmitania pre stavebné objekty obce Snežnica a Oškerda

Z grafického priebehu zákona útlmu seizmických vln pre lom Snežnica vyplýva (obr. 19), že dovolená rýchlosť kmitania  $3 \text{ mm.s}^{-1}$  pre frekvencie menšie alebo blízke 10 Hz (obr. 16 a 17), pri maximálne dovolenej náloži 200 kg a 50 kg na jeden časový stupeň nebude prekročená do redukovej vzdialenosťi  $L_R = 30$ . Na základe tejto redukovej vzdialenosťi je možné vypočítať maximálne prípustné hodnoty veľkosti náloži na časový stupeň. Červená čiara predstavuje hranicu maximálne povolených rýchlosť kmitania bytových objektov v obci Snežnica a Oškerda.

### 13. ZÁVER

Ťažba na lokalite lom Snežnica je uskutočňovaná radovými odstrelmi. Pri tejto technológií dobývania sú nálože v jednotlivých vrtoch 40 kg a maximálna nalož nepresahuje 200 kg. Tejto skutočnosti potom zodpovedá v závislosti na vzdialosti zdroj – receptor aj intenzita seizmických účinkov.

Výsledky merania seizmických účinkov radového odstrelu dňa 30. 07. 2015, ktoré boli uskutočnené v lome Snežnica potvrdili, že namerané hodnoty neprekročili hodnoty ktoré stanovuje platná slovenská technická norma STN EN 1998-1/NA/Z1 Seismické zaťaženie stavieb  $v_d < 3 \text{ mm/s}$  pre frekvencie menšie ako 10 Hz a nespôsobili žiadne poškodenie obytných objektov v obci Snežnica a Oškerda.

Na základe vyhodnotených meraní pri radovom odstrelе v lome Snežnica a prepočítaných koeficientov bol z pohľadu seismických účinkov uskutočnený odstrel bezpečný.

Maximálnu veľkosť nálože na jeden časový stupeň pri uvedenej vzdialosti a doterajšom spôsobe trhacích prác odporúčame na základe zákona útlmu seismických vln v lome Snežnica stanoviť takto:

$$\begin{aligned} \text{Pre vzdialenosť } 50 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (50/30)^2 = 3,0 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 75 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (75/30)^2 = 6,25 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 100 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (100/30)^2 = 11,0 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 125 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (125/30)^2 = 17,5 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 150 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (150/30)^2 = 25,0 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 175 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (175/30)^2 = 34,0 \text{ kg}, \\ \text{Pre vzdialenosť } 200 \text{ m } Q_{vmax} &= (L/L_R)^2 = (200/30)^2 = 44,5 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Pri dodržaní týchto parametrov, hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosť kmitania pri neelektrickom roznete, nepresiahnu stanovené maximálne rýchlosť kmitania

$$v_d < 3 \text{ mm/s},$$

ktoré stanovuje platná slovenská technická norma STN EN 1998-1/NA/Z1.

### Doporučenie:

Pre jednoznačné vylúčenie škodlivého vplyvu tiažobných prác na ložisku vápenca v lome Snežnica na zástavbu obce Snežnica a Oškerda, odporúčame kontrolné meranie seismických účinkov pri dodržaní odporúčaných parametrov trhacích prác. Pre zníženie seismických účinkov trhacích prác v lome Snežnica doporučujeme zmeniť časovanie na 17 ms medzi jednotlivými časovými stupňami.

V Košiciach dňa 11. 08. 2015

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

### POUŽITÁ LITERATÚRA

- Geologická mapa Slovenska 1: 50 000. Geologický Ústav Dionýza Štúra, Bratislava  
<http://www.geology.sk/new/sk/sub/Geois/gmsr50>, 2014.
- Dojčár, O. a kol., 1996: Trhacia technika, Montanex, a.s., Ostrava 1996, 421 s.
- Holzer, R., Laho, M., Wagner, P., Bednarik, M., 2009: Inžinierskogeologický atlas hornín Slovenska, ŠGÚDŠ, Bratislava, 2009.
- Mišík, M., Chlupáč, I., Cicha, I., 1985: Historická a stratigrafická geológia. SPN, Bratislava, 541 s.
- Muncner, E a kol., 2000: Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov, SSTVP Banská Bystrica 2000, 201 s.
- Pandula, B. a Kondela, J., 2010: Metodológia seismiky trhacích prác, SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o., 156 s.
- STN Eurokód 8, Navrhovanie konštrukcií na seismickú odolnosť. Časť 1, národná príloha, zmena 1 (STN EN 1998-1/NA/Z1).