

SLEDOVANIE PORUŠENOSTI HORNÍN SEIZMICKOU APARATÚROU TERRALOC MK8

MONITORING OF ROCK FRACTURING BY SEISMIC DEVICE TERRALOC MK8

Martina Friedmannová¹, Blažej Pandula², Julián Kondela³

Abstrakt

Medzi najpodstatnejšie zložky geologického prostredia, ako dynamického a zložitého prírodného systému patrí aj horninové prostredie. Horninové prostredie predstavuje vo všeobecnosti priestor vyplnený horninami vrátane diskontinuit, pórov a dutín a ich výplne, pričom môže zahŕňať aj sedimenty antropogénneho pôvodu. Pri charakterizovaní horninového prostredia sa uplatňujú rôzne metódy, medzi ktoré patrí aj geologický a geofyzikálny prieskum. Pri posudzovaní porušenosti majú spolu so štruktúrnymi nerovnosťami, podstatnú úlohu aj faktory ako hrúbka, charakter uloženia horninových telies s odlišnými mechanickými vlastnosťami, ich vrstevnatosť, tektonická stavba, stupeň tvrdosti a zvetrania, hydrogeologické podmienky a podobne. Na mapovanie je možné použiť aj plytkú refrakčnú a reflexnú seizmiku. Základom je, že porušené zóny sa dajú identifikovať pomocou výrazných znížených rýchlostí seizmických vln. Pri interpretácii porušenosti horninového prostredia bola použitá seizmická aparatura Abem Terraloc Mk8.

Abstract

Among the most important component of the geological environment as dynamic and complex natural system is a rock environment. The geological environment of space is generally filled with rocks, including discontinuities, pores and cavities and fillings, and may include deposits of anthropogenic origin. The characterization of the ground to apply different methods, which include geological and geophysical exploration. In assessing rock disturbances have together with the structural inequalities and the essential role of factors such as thickness, nature of deposit of rock specimens with different mechanical properties, their foliation, tectonic structure, hardness and weathering, hydrological conditions and the like. The mapping damaged areas can also use a shallow seismic reflection and refraction. The basis is that it violated the zone can be identified by significant reduction in the rate of seismic waves. The interpretation of the ground, his rock disturbances, seismic equipment Abem Terraloc Mk8 was used.

Kľúčové slová

porušenosť, rýchlosť seizmických vln, horninový masív, pilier

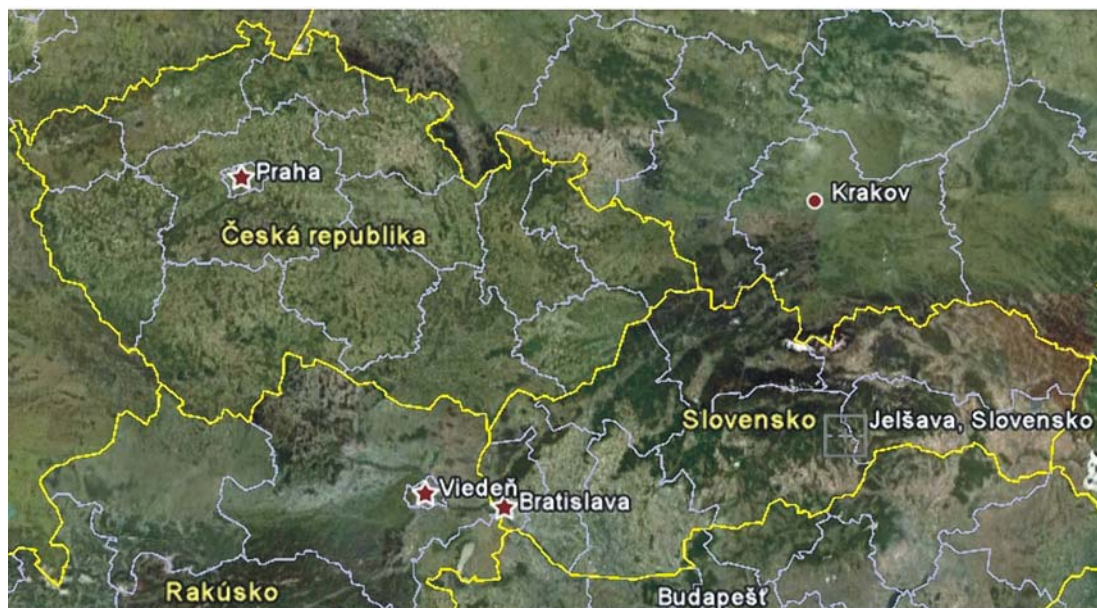
Key words

rock disturbance, velocity of seismic waves, solid rock mass, craunch

1 Úvod

Rozvoj známych poznatkov o horninovom prostredí je založený na využití nových poznatkov základného a aplikovaného výskumu, pričom súčasťou je aj poznanie reálneho stavu horninového masívu. Prirodzený horninový masív obsahuje množstvo systémov puklín, trhlín a zlomov. Sledovanie a výskum porušenia horninového masívu je aktuálnejší najmä v oblastiach baníctva, geológie, stavebníctva a všade, kde vstupuje do technologického procesu horninové prostredie. Vlastnosti horninového masívu sú závislé od podmienok ich vzniku, stupňa nehomogenity a anizotropie. Prirodzenú nehomogenitu tvoria mikropukliny a makropukliny, tektonické dislokácie, diskontinuity, atď. Vyjadrením rozdielu medzi mechanickými a fyzikálnymi vlastnosťami horniny v rôznych smeroch v dôsledku štruktúry a textúry horniny a prítomnosti nespojitosti je anizotropia horniny. Aj napriek týmto odlišnostiam sa v praxi vyčleňujú v horninovom masíve kvázihomogénne celky, staticky homogénne prostredia, ktoré sú obmedzené rozmerovo zodpovedajúcimi plochami nespojitosti (dikontinuitami). Avšak pri umelom zásahu dochádza k násilnému uvoľneniu akumulovanej energie a ku vzniku nového napäťového systému daného horninového masívu, ktorý zapríčiňuje jeho deformáciu v okolí zásahu (Pandula a Kondela, 2010).

2 Zisťovanie porušenia horninového masívu



Obr. 1 Lokalizácia bane Jelšava, Slovensko

výbuchy náloží trhavín a otrasy, vyvolané rôznymi špeciálne upravenými zariadeniami. Tieto zdroje vlnenia využíva metóda priamych vln, metóda odrazených vln (reflexná seizmika), metóda lomených vln (refrakčná seizmika) a metóda kanálových vln. (Müller a kol., 1985).

Existujú viaceré spôsoby ako zistiť porušenie horninového masívu, pričom jedným zo spôsobov je jeho mapovanie. Zisťovanie a hodnotenie horninového masívu touto metódou však nie je veľmi presné, pretože nevieme určiť aká je porušenosť vo vnútri masívu. Druhým spôsobom je hodnotenie porušenia sledovaného horninového masívu seizmickými a seizmoakustickými metódami. Podstatou týchto metód je, že do horninového prostredia sa vyšle signál a čaká sa na jeho odozvu, čo umožňuje diagnostikovať všetky poruchy vo vnútri horninového masívu. Prístroje, ktoré sa využívajú na takéto merania pracujú s vysokou presnosťou.

Seizmickými metódami, ktoré sa využívajú v horninovej geofyzike, sa skúma šírenie pružných infrazvukových, ultrazvukových a zvukových vln, horninovým masívom. Zdrojom vlnenia je náhle narušenie horninového masívu pri kritických stavoch napätosti, pričom zdrojom môžu byť

Rýchlosť šírenia sa seizmických vln v horninách závisí v značnej miere na porušenosti prostredia (tab. 1), ktorá ovplyvňuje rýchlosť šírenia pozdĺžnych a priečných vln (Pandula a kol., 2002).

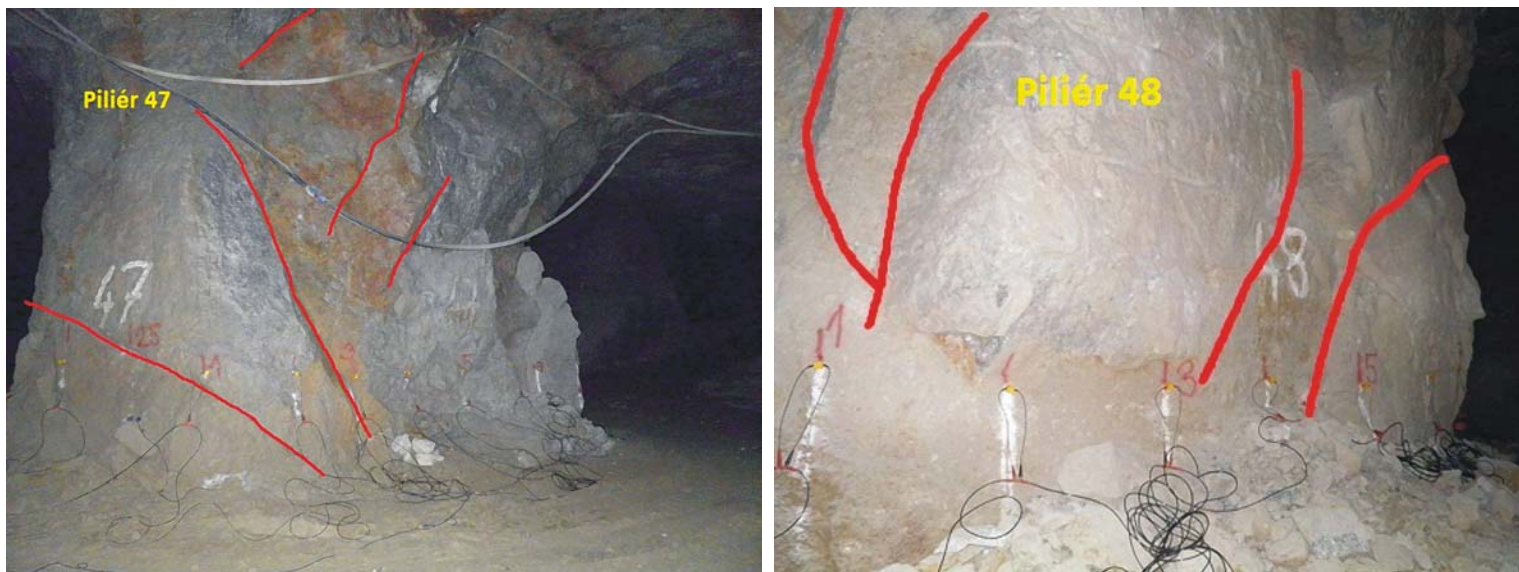
Pri meraniach na zvolených lokalitách bol použitý seizmický prístroj TERRALOC Mk8 firmy ABEM. ABEM Terraloc Mark8 je 24 kanálový digitálny seizmograf pre refrakciu, reflexiu, tomografiu, meranie vibrácií a iných seizmických javov a je možné ho používať za všetkých poveternostných podmienok. Pri použití prístroja je možné nastaviť rôzne parametre, ktoré prístroj ponúka. Nastaví sa počet kanálov, čiže počet geofónov, ktoré budú pripojené. Je možné si vybrať medzi 12 a 24 kanálmi.

Vzorkovací interval prístroja je 25, 50, 100, 250, 500, 1000 a 2000 μ s. Ďalej je možné si navoliť dĺžku záznamu, ktorá je od 3,2 ms do 32,7 ms, je to ekvivalentné s 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 alebo 16384 vzorkami. Taktiež je nastaviteľný aj počet úderov (number of stacks) a počet dráh. Doba oneskorenia (delay time), ktorá predstavuje maximálne oneskorenie a súvisí so vzorkovacím intervalom, sa môže voliť od 0 až do 0,8 s na 25 μ s.

Údaje, ktoré získame pri jednotlivých meraniach sa ukladajú priamo v prístroji na pevnom disku. Pomocou zabudovaných USB portov sa namerané údaje dajú preniesť na spracovanie do osobného počítača. Pre základné spracovanie získaných údajov a ich filtrovanie sa môže použiť vnútorný softvér SeisTW. Tento softvér riadi a kontroluje funkcie prístroja a slúži na spracovanie seizmických údajov.

3 Experimentálne merania

Merania boli uskutočnené v podmienkach magnezitového ložiska Jelšava. Baňa Jelšava patrí medzi najväčšie ložiská magnezitu na svete. Cieľom uskutočnených meraní bolo zistiť skrytú porušenosť a porušenosť jednotlivých pilierov na magnezitovom ložisku v Jelšave, obr.1, pomocou seizmických vln. V podmienkach magnezitového ložiska Jelšava, konkrétnejšie sektor C, obzor 350 m, boli prístrojom ABEM Terraloc Mk8 zmerané dva piliere, a to pilier číslo 47 a pilier číslo 48. Výber pilierov bol urobený na základe prítomnosti viditeľných porúch (obr. 2). Na meraných pilieroch bolo rozmiestnených 24 geofónov. Vzdialenosť medzi jednotlivými geofónmi bola 1 m. Technici do naznačených bodov, ktoré boli označené sprejom, navrtali otvory



Obr. 2 Baňa Jelšava, sektor C, obzor 350, piliere č. 47 a 48

do ktorých boli umiestnené geofóny. Geofóny boli následne zapájané do sústavy a pripojené k prístroju Terraloc Mk8 (obr. 3). Celkovo bolo na pilieri č. 48 vyznačených 26 meracích bodov a na pilieri č. 47 bolo 25 meracích bodov. Jednotlivé body na pilieroch boli geodeticky zamerané totálnou stanicou TOPCON GPT 2006. Presné znázornenie meracích bodov je zobrazené na obrázku číslo 4. Na obrázku 5 je znázornená schéma prechodu seizmických vln oboma piliermi.

Meranie na pilieroch prebiehalo za rovnakých podmienok. V oboch prípadoch sa menil vzorkovací interval a aj počet vzoriek. Prvé

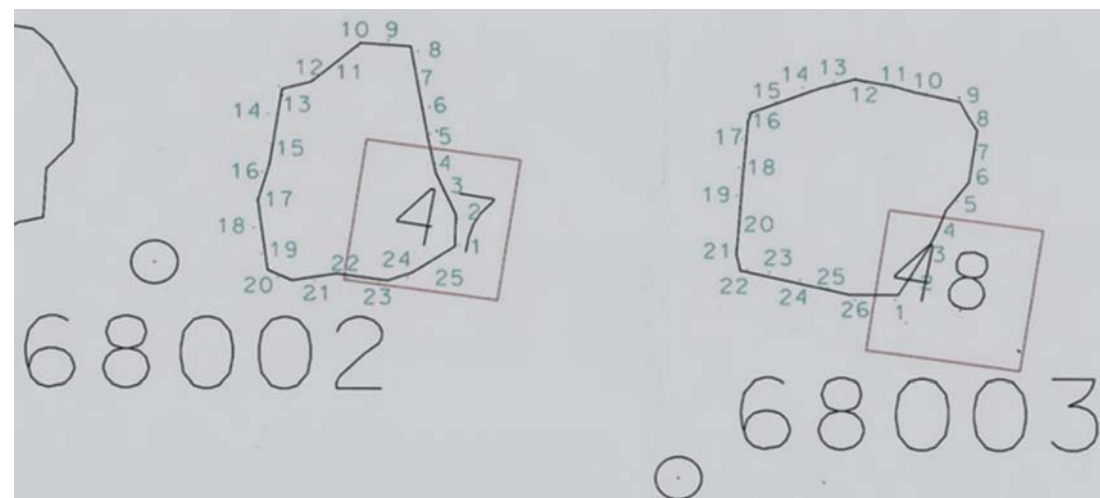


Obr. 3 Meranie pomocou prístroja Terraloc Mark 8

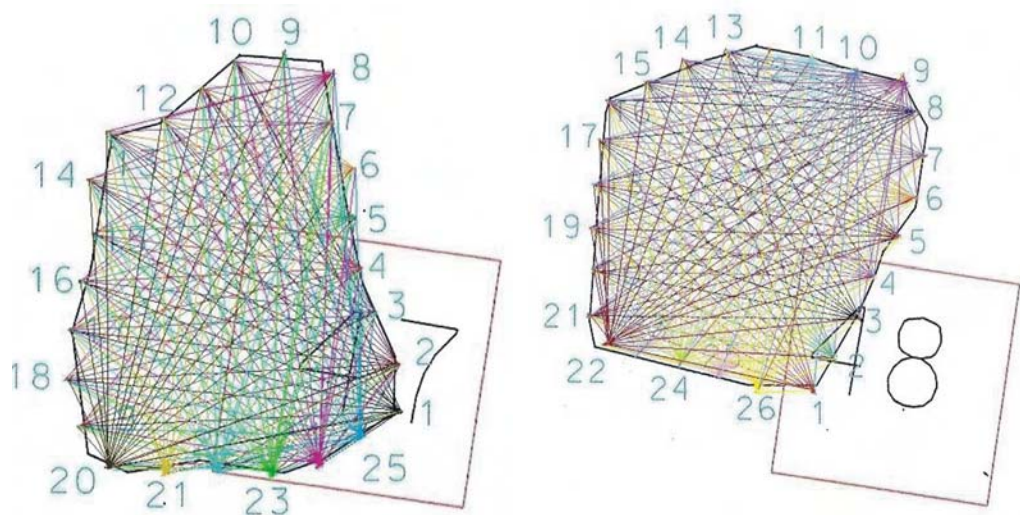
4 Spracovanie výsledkov merania

Pre meranie na pilieri 47 boli zvolené 3 rôzne nastavenia prístroja. Menil sa vzorkovací interval a počet vzoriek. Zmeny jednotlivých nastavení boli volené pre zistenie, pri ktorom nastavení je najlepšia interpretácia nameraných vln. Pri jednotlivých nastaveniach, bol zdrojom vlnenia úder kladivom, pri meracích bodoch po obvod piliera a seizmickým prístrojom ABEM Terraloc Mk8 boli získané záznamy jednotlivých meraní, ktoré boli následne spracované v programe SeisTW. Geologickým mapovaním porušenosti jednotlivých pilierov bola zistená porušenosť v blízkosti meracích bodov č. 1, 3, 21 a 23. Namerané údaje boli zapisované do tabuliek spolu s časom nasadenia seizmickej vlny, ktorý bol určený zo záznamov pre

meranie na pilieri 48 prebiehalo pri zvolenom vzorkovacom intervale $50 \mu s$ a počte vzoriek 4096. Pri druhom meraní bol opäť zvolený vzorkovací interval $50 \mu s$, počet vzoriek bol 8192. Posledné meranie sa uskutočnilo pri zvolenom vzorkovacom intervale $100 \mu s$ a počte vzoriek 8192. Pri každom nastavení bolo pri každom geofóne, úderom kladiva vybudené seizmické vlnenie, ktoré prešlo cez celý pilier k jednotlivým geofónom. Každý úder sa uskutočnil pri inom geofóne od 1 do 24. Rovnako sa postupovalo aj pri meraní na pilieri č. 47, kde sa taktiež uskutočnili 3 merania s rôznymi, už spomínanými nastaveniami prístroja.



Obr. 4 Schéma rozmiestnenia meracích bodov na pilieroch č.47 a č.48



Obr. 5 Schématické znázornenie prechodu seizmických vln pilierom číslo 47 a 48

Pri umiestnení zdroja pri geofone č. 1, najnižšie rýchlosti šírenia seizmických vln boli pozorované na geofónoch č. 9, 10, 14 a na geofóne č. 18. Tu sa rýchlosti pohybovali okolo 900 m/s, čo je veľmi nízka rýchlosť šírenia seizmickej vlny (tab. 2). Na základe týchto výrazne nižších rýchlostí sa dá usudzovať, že pilier č. 47 je značne porušený a poruchy, ktoré boli zistené vizuálne, pokračujú aj vo vnútri piliera. Najvyššia rýchlosť prechodu seizmickej vlny cez pilier č. 47 pri tomto nastavení bola medzi zdrojom a geofónom č. 15 a dosahovala hodnotu 1734 m/s, čo zodpovedá veľmi porušenému prostrediu.

Pri umiestnení zdroja pri geofone č. 3, najnižšia rýchlosť šírenia seizmickej vlny medzi zdrojom a geofónom bola zaznamenaná pri geofóne č. 14. Pri nastavení vzorkovacieho intervalu 50 μ s a počte vzoriek 8192 bola vypočítaná rýchlosť šírenia 1717 m/s, týmto spôsobom sa spresnilo meranie. Keďže v tejto časti piliera bola zistená najmenšia rýchlosť prechodu seizmického vlnenia, je zrejmé, že v tejto časti je pilier veľmi porušený. Naopak najmenšie porušenie piliera je medzi geofónom č. 15 a zdrojom, pretože tu bola vypočítaná rýchlosť šírenia seizmického vlnenia najväčšia a má hodnotu 3181 m/s. Táto rýchlosť šírenia seizmických vln ukazuje, že pilier je vo vnútornej časti porušený, pretože táto rýchlosť zodpovedá porušenému prostrediu. Rýchlosť v neporušenom horninovom prostredí sa pohybuje okolo 7000 m/s (tab. 1).

jednotlivé geofóny. Rýchlosť šírenia seizmickej vlny cez meraný úsek piliera bola vypočítaná na základe času nasadenia vlny a vzdialenosti zdroja od jednotlivých geofónov.

Zostavené a vyhodnocované tabuľky boli pre merania na pilieri č. 47, kedy bol zdroj v blízkosti geofónu č. 1, č. 3, č. 21 a pri geofóne č. 23, kde práve v týchto miestach bola vizuálna porušenosť piliera. Pri všetkých meraniach bolo používaných 24 geofónov a merania boli opakované 3 krát pri rôznych nastaveniach prístroja. Zo získaných záznamov bol odčítaný čas nasadenia seizmických vln a vypočítaná rýchlosť ich šírenia.

- Prvé nastavenie prístroja: vzorkovací interval - 50 μ s a počet vzoriek - 4096
- Druhé nastavenie prístroja: vzorkovací interval - 50 μ s a počet vzoriek - 8192
- Tretie nastavenie prístroja: vzorkovací interval - 100 μ s a počet vzoriek - 8192

Tab. 1 Rýchlosť šírenia seizmických vln v závislosti od porušenia vzorky magnezitu (Genderová, 2012)

Porušenosť vzorky magnezitu	Rýchlosť šírenia vln v [m/s]
Vzorka bez poruchy	7066,7
Vzorka s 1 poruchou	6752,1
Vzorka s 2 poruchami	6378,6
Vzorka s 3 poruchami	5728,6

Tab.2 Zdroj pri geofóne č. 1 na pilieri č. 47

Číslo kanála	Vzdialenosť od zdroja v [m]	Čas nasadania seizmickej vlny v [ms] pre 1. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 1. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 1. nastavenie prístroja	Čas nasadania seizmickej vlny v [ms] pre 2. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 2. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 2. nastavenie prístroja	Čas nasadania seizmickej vlny v [ms] pre 3. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 3. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 3. nastavenie prístroja
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,6	1666	11,5	0,7	1428	9,7	0,8	1250	4,9
3	2,5	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4	3,7	0,95	3894	28	0,8	4625	30,3	0,8	4625	30,7
5	5,2	3,85	1350	9,1	8,65	601	4,2	4,3	1209	8,2
6	6	7,3	821	4,6	7,8	769	5,1	7,7	779	4,4
7	7,2	8,2	878	6	13,3	541	3,8	8,2	878	6
8	8,4	8,2	1024	5,4	9,7	866	5,1	9	933	5,6
9	9,2	10,2	901	6,5	10,75	855	6,1	10	920	6,6
10	9,4	10,2	921	6,5	10,75	874	6,2	10,3	912	6,5
11	9	6,25	1440	8,7	5,25	1714	10,6	6,4	1406	8,7
12	9	6,45	1395	9,6	5,5	1636	11,4	6,4	1406	9,6
13	9,8	7	1400	9,4	6,2	1580	10,8	6	1633	11,4
14	9,5	11,05	859	5,7	12,55	757	4,9	11,7	811	5,3
15	8,5	4,85	1752	11,8	4,9	1734	11,8	4,7	1808	12,3
16	8	5,95	1344	7,6	5,35	1495	9,3	4,9	1632	10,1
17	8,2	6,5	1261	8,3	7,05	1163	7,6	6,7	1223	7,9
18	8,3	9,05	917	6,3	7,95	1044	7,1	7,7	1077	7,3
19	8	7,4	1081	7,8	7,9	1012	7	7,6	1052	7,3
20	7,4	7,85	942	6,3	7,5	986	6,7	8,2	902	6,1
21	6	6,75	888	6	6,1	983	5,2	5,5	1090	1,4
22	4,7	4,2	1119	6,2	5,7	824	5,3	5	940	6,1
23	3	2,6	1153	7,6	3,4	882	5,8	2,7	1111	7,2
24	2	3,05	655	2,9	2,8	714	4,9	3,1	645	4,5

Pri umiestnení zdroja v blízkosti geofónu č. 21, boli namerané nízke rýchlosti šírenia seizmických vln pri geofónoch č. 2, 6, 17, 18 a 19. Najnižšia rýchlosť bola medzi zdrojom a geofónom č. 2. Pri všetkých troch nastaveniach dosahovala rýchlosť okolo 1000 m/s.

Z výsledkov vyplýva, že v tejto časti je pilier veľmi porušený. Naopak najmenšie porušenie piliera je medzi zdrojom a geofónom č. 11, kde rýchlosť šírenia seizmických vln dosahovala 6219 m/s. Táto maximálna rýchlosť poukazuje na málo porušené prostredie.

Tab.3 Zdroj pri geofóne č. 1 na pilieri č. 48

Číslo kanála	Vzdialenosť od zdroja v [m]	Čas nasadenia seizmickej vlny v [ms] pre 1. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 1. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 1. nastavenie prístroja	Čas nasadenia seizmickej vlny v [ms] pre 2. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 2. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 2. nastavenie prístroja	Čas nasadenia seizmickej vlny v [ms] pre 3. nastavenie prístroja	Rýchlosť šírenia seizmickej vlny v [ms] pre 3. nastavenie prístroja	Vlnová dĺžka λ v [m] pre 3. nastavenie prístroja
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,3	3333	2,29	0,2	5000	3,3	0,2	5000	33,6
3	2	0,5	2000	1,2	0,25	8000	5,9	0,4	5000	3,8
4	3	0,75	4000	4,8	0,65	4615	3,2	0,7	4285	30,4
5	4	1,2	3333	4,5	1,3	3076	2	1,6	2500	4,5
6	5	1,2	4166	2,6	0,8	6250	3,3	1	5000	3,2
7	6	1,2	5000	2,8	0,95	6315	19,6	1,6	3750	2,6
8	7	1,4	5000	3,4	1,15	6087	47	1,5	4666	3,1
9	9	1,8	5000	26	1,65	5454	27,7	1,8	5000	25
10	9	1,3	6923	20,8	1,3	6923	20,8	1,3	6923	18,4
11	9,3	1,75	5314	35,7	1,7	5470	36,7	1,9	4894	33,7
12	9,5	1,65	5757	38,6	1,5	6333	42,5	1,9	4894	33,7
13	9,5	2,45	3877	24,7	2,1	4523	60,7	2,4	3958	2,2
14	9,5	4,4	2159	14,9	3,9	2435	16,3	4,1	2317	15,6
15	9,5	2,55	3725	3,9	2,55	3725	3,7	3	3166	3,7
16	10	4,8	2083	14	4,65	2150	1,3	5	2000	2,3
17	9	4,65	1935	13,7	4,65	1935	6	2,3	3913	4,5
18	8,5	3,75	2266	7,5	2,25	3777	26	2,1	4047	13,6
19	8	1,9	4210	29,8	1,8	4444	30,6	1,9	4210	29,8
20	7	2,25	3111	21,4	2,35	2978	20,5	2,4	2916	20,7
21	6,7	1,95	3435	1,8	1,65	4060	2,5	1,7	3941	27,9
22	6	1,35	4444	2,3	1,4	4285	2,6	1,3	4615	5,3
23	5	1	5000	3,1	0,85	5882	3,6	1,5	3333	3,9
24	4	0,55	7272	7,2	0,5	8000	55,1	1,1	3836	2,4

Nízke rýchlosti šírenia seizmických vln medzi zdrojom a geofónom, boli v prípade úderu pri geofóne č. 23 zaznamenané pri geofónoch č. 5, 6, 7, 8, 14, 15 a 18. Najnižšia vypočítaná rýchlosť dosahovala hodnoty 482 m/s. Výsledky poukazujú na to, že v tejto časti bol pilier najviac porušený. Menej porušený pilier je medzi geofónom č. 19 a zdrojom, pretože tu dosahovala rýchlosť hodnotu 1851 m/s. Táto hodnota rýchlosti šírenia seizmických vln poukazuje na porušené prostredie vnútri piliera. Teda pilier je v tejto časti značne porušený.

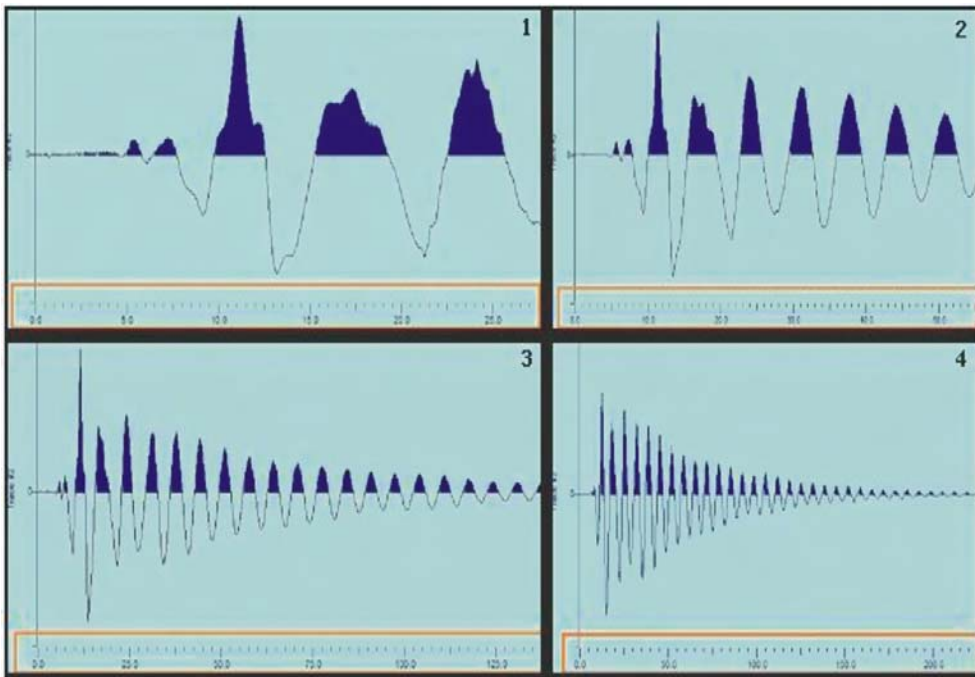
Rovnakým spôsobom sa postupovalo pri meraniach na pilieri č. 48. Opätovne sa menil vzorkovací interval a počet vzoriek. Zdrojom vlnenia, bol úder kladiva pri meracích bodoch po obvode piliera. Pre toto experimentálne meranie bolo zapojených 24 geofónov, ktoré boli od seba rozmiestnené vo vzdialenosti 1 m. Na základe výsledkov geologického mapovania porušenosti pilierov bola zistená porušenosť v blízkosti meracích bodov č. 1 a 3 a medzi meracími bodmi 4 a 5. Prvé meranie na pilieri č. 48 bolo pri geofóne č. 1. Namerané a vypočítané hodnoty sú v tabuľke č. 3. V tomto mieste bol pilier vizuálne porušený. Najnižšia rýchlosť bola zaznamenaná medzi zdrojom a geofónom č. 14 a dosahovala hodnotu 2159 m/s. Z toho vyplýva, že v tejto časti je pilier značne porušený. Najvyššia nameraná rýchlosť bola medzi zdrojom a geofónom č. 10 s hodnotou 6923 m/s. Táto rýchlosť poukazuje na málo porušené prostredie, pretože v neporušenom prostredí sú namerané rýchlosti šírenia seizmických vln 7066 m/s (tab. 1). Nasledujúce experimentálne meranie bolo pri geofóne č. 3, kde bol pilier taktiež vizuálne porušený. Najnižšia nameraná rýchlosť šírenia seizmickej vlny 1789 m/s, medzi zdrojom a geofónom, bola zaznamenaná pri geofónoch č. 14 a č. 15. Táto rýchlosť naznačuje, že pilier bol v tejto časti značne porušený. Najvyššia rýchlosť šírenia seizmickej vlny bola medzi zdrojom a geofónom č. 23 a dosahovala hodnotu 5109 m/s, čo zodpovedá stredne porušenému prostrediu. Preto usudzujeme, že poruchy viditeľné na povrchu piliera, sú aj vo vnútri pilira. Pri umiestnení zdroja pri geofóne č. 4, bola najnižšia rýchlosť šírenia seizmického vlnenia medzi zdrojom a geofónom č. 14 s hodnotou 1616 m/s. Výsledky poukazujú na to, že v tejto časti bol pilier značne porušený. Najmenej porušený pilier je medzi zdrojom a geofónom č. 10. Tu boli meraním a výpočtom zistené najvyššie rýchlosti šírenia seizmického vlnenia pri každom nastavení prístroja okolo 7500 m/s. Nasledujúce meranie sme zvolili tak, že zdroj vlnenia bol pri geofóne č. 5. Najnižšia rýchlosť 1290 m/s bola zistená medzi zdrojom a geofónom č. 14. Zo zistených výsledkov merania vyplýva, že pilier je v tejto časti veľmi porušený, pretože rýchlosti šírenia seizmického vlnenia v porovnaní s rýchlosťou šírenia seizmických vln v neporušenom prostredí sú veľmi nízke. Naopak málo porušený pilier je medzi zdrojom a geofónom č. 24. V tejto časti sa zistili rýchlosti šírenia seizmického vlnenia 6434 m/s. Táto rýchlosť poukazuje na málo porušené prostredie.

Tab.4 Zmeny frekvencie pri rôznych vzorkovacích intervaloch a počtoch vzoriek (Leššo, 2004)

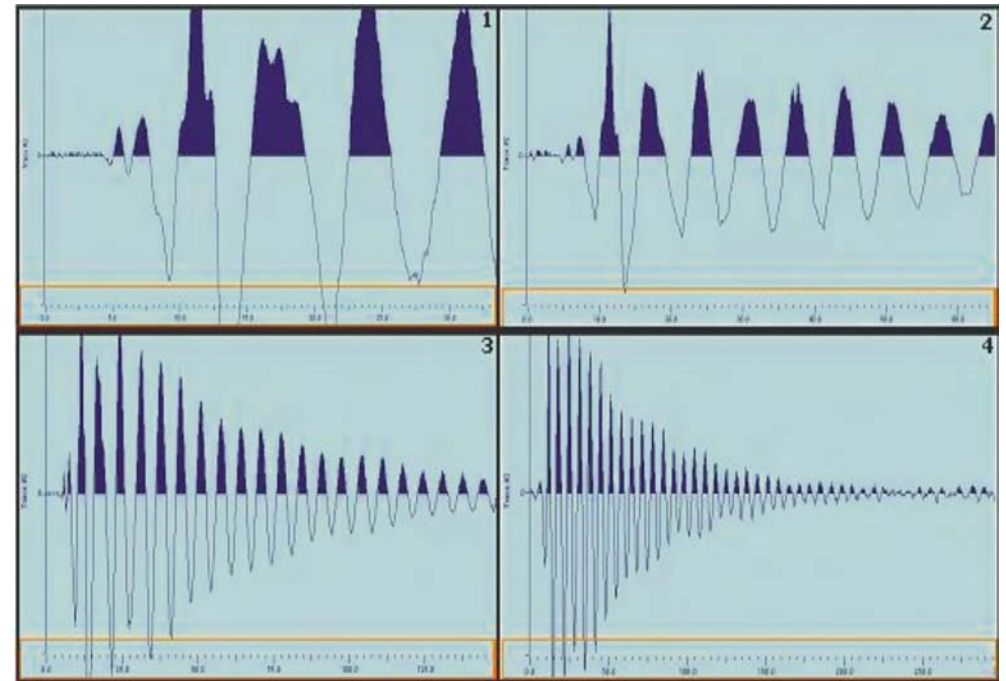
Vzorkovací interval [μs]	Počet vzoriek [n]	Frekvenčné rozlíšenie $\Delta f = 1/(nT_{vz})$ [Hz]	$f_{max} = f_{vz}/2$ [Hz]
25	2048	20	4000
50	2048	10	4000
100	2048	5	4000
250	2048	2	2000
500	2048	1	1000
50	4096	5	4000
100	4096	2	4000
250	4096	1	2000
500	4096	0	1000

- Prvé nastavenie prístroja: vzorkovací interval - 50 μs a počet vzoriek - 4096
- Druhé nastavenie prístroja: vzorkovací interval – 50 μs a počet vzoriek – 8192
- Tretie nastavenie prístroja: vzorkovací interval – 100 μs a počet vzoriek - 8192

Vzorkovací interval (sampling interval) predstavuje čas medzi dvoma vzorkami. Tento parameter je možné v prístroji Terraloc Mk 8 nastaviť na 25, 50, 100, 250, 500, 1000 a 2000 μs . Počet vzoriek, ktoré majú tvoriť analyzovaný záznam je v prístroji Terraloc Mk 8 možné nastaviť na 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 a 16384. Zmena vzorkovacích intervalov v priebehu experimentálneho merania znamenala zmenu frekvencie vzorkovania (sampling frequency) a prejavila sa zmenou frekvenčného rozsahu aj frekvenčného rozlíšenia daného merania. (tab. 4).



Obr.6 Porovnanie záznamov seizmických vln pri rôznych vzorkovacích intervaloch: 1 - 50 μs , 2 - 100 μs , 3 - 250 μs a 4 - 500 μs (počet vzoriek 2048)



Obr.7 Porovnanie záznamov seizmických vln pri rôznych vzorkovacích intervaloch: 1 - 50 μs , 2 - 100 μs , 3 - 250 μs a 4 - 500 μs (počet vzoriek 4096)

Pri meraní a následnom zobrazení tej istej seizmickej vlny pri vzorkovacích intervaloch 50, 100, 250 a 500 μs pozorujeme zmenu škály (časové rozlíšenie) na časovej osi, ktorá je udaná v ms (obr. 6 a 7). Pri vzorkovacom intervale 50 μs je horizontálna os, znázorňujúca čas t v $1 \cdot 10^{-3}$ s, rozdelená veľkými dielikmi po $5 \cdot 10^{-3}$ s a malými dielikmi po $0,5 \cdot 10^{-3}$ s. Porovnávaním bolo zistené, že najlepšia presnosť odčítania prvého nasadenia, bola dosiahnutá pri vzorkovacom intervale $50 \cdot 10^{-3}$ s. Ďalšie skrátenie vzorkovacieho intervalu, ktoré umožňuje

prístroj, sa negatívne prejavilo na frekvenčnom skreslení, vplyvom poklesu frekvenčného rozlíšenia. Pri porovnaní záznamu pri počte vzoriek 2048 a 4096 môžeme pozorovať zníženie šumu a spresnenie záznamu, je to v dôsledku zlepšenia frekvenčného rozlíšenia. Toto frekvenčné rozlíšenie súčasne predstavuje prvú striedavú zložku zachytenú v spektre ($f_{\min}$) meraného vlnenia.

Pri počte vzoriek 2048 a vzorkovacím intervale 50 μ s je hodnota $f_{\min} = 10$ Hz a pri počte vzoriek 4096 a vzorkovacím intervale 50 μ s, $f_{\min} = 5$ Hz. Frekvencia vzorkovania, čiže počet vzoriek signálu, získaná za sekundu, závisí od nastavenia vzorkovacieho intervalu T_{vz} . Maximálnu frekvenciu seizmickej vlny, ktorú prístroj zaregistruje pri takomto nastavení T_{vz} resp. f_{vz} , vypočítame podľa vzorca: $f_{\max} = \dots$ Zo vzorca vyplýva, že so zväčšovaním hodnoty vzorkovacieho intervalu sa bude $f_{\max}$ pri rovnakom počte vzoriek znižovať, čo má za následok stratu vyšších frekvenčných zložiek meraného vlnenia. Dodržanie Shannon - Kotelníkovej teóremy zabezpečí prítomnosť zložky s frekvenciou $f_{\max}$ v nameranom spektre, ale jej efektívna hodnota bude nižšia ako efektívna hodnota skutočnej zložky s danou frekvenciou. Preto výrobca nepriamo doporučuje zvýšiť použitú frekvenciu vzorkovania, nad hodnotu vyplývajúcu z teóremy, teda skrátiť časový interval vzorkovania určitým koeficientom, čím sa zvýši počet nameraných vzoriek na perióde kritickej vzorky s frekvenciou $f_{\max}$ a získané spektrum bude presnejšie. Iná otázka je, akým spôsobom ovplyvnia výsledok merania, frekvencie signálu, prípadné ďalšie zložky signálu, ktorých frekvencia presahuje Nyquistovu frekvenciu $f_{vz}/2$, tieto zložky totiž môžu poškodiť dolnú časť meraného spektra (tzv. aliasing). Je predpoklad, že meracia aparátúra Terraloc Mk8 obsahuje predradený antialiasingový analógový filter, ktorý odstráni zo vstupného signálu všetky zložky, ktorých frekvencia presahuje nastavenú hodnotu.

Podobne ako nastavovaný parameter T_{vz} , má na spektrum získaného priebehu signálu, vplyv aj druhý nastavovaný parameter, a to počet vzoriek n , v analyzovanom zázname. Frekvenčný krok, s ktorým pracuje použitý algoritmus harmonického rozkladu signálu, je totiž závislý na tomto parametri, podľa vzťahu $\Delta f = 1/(n \times T_{vz})$ [Hz]. Aj v prípade, že pri využití tejto seizmickej aparátúry sledujeme časový priebeh seizmickej vlny a jej nasadenie, príliš veľká hodnota parametra Δf znamená skreslenie aj tohto časového priebehu.

5 Diskusia nameraných výsledkov

Cieľom meraní bolo hodnotenie porušenia na pilieroch magnezitového ložiska v Jelšave. Pri určovaní porušenia bolo najskôr uskutočnené banské mapovanie, ktorým sa zistila vizuálna porušenosť pilierov. Následne pomocou seizmického prístroja ABEM Terraloc sa uskutočnili merania, ktorým sa zisťovala skutočná porušenosť pilierov.

Merania porušenia sa uskutočnili v sektore C, na obzore 350 m. n. m na pilieroch č. 47 a č. 48. Pri vyhodnocovaní nameraných údajov bolo zistené, že rýchlosť seizmických vln, ktoré prešli cez poruchu boli nižšie ako rýchlosť seizmických vln v neporušenej časti piliera. Najvyššie rýchlosti šírenia seizmických vln v pilieri č. 47 sa pohybovali od 1851 m/s do 6219 m/s a najmenšie namerané rýchlosti dosahovali hodnoty 482 m/s až 1666 m/s. Z toho vyplýva, že pilier č. 47 je značne porušený. Na pilieri č. 48 namerané najvyššie rýchlosti šírenia seizmických vln dosahovali veľkosti od 5909 m/s až po 7500 m/s. Táto rýchlosť zodpovedá rýchlosti šírenia v málo porušenom horninovom prostredí. Najnižšie rýchlosti šírenia seizmických vln v pilieri č. 48 boli v intervale od 1290 m/s až po 1914 m/s. Tieto rýchlosti poukazujú na porušenie piliera, ktorá je v častiach, kde boli namerané tieto hodnoty.

Celkovo zo získaných údajov vyplynulo, že pilier č. 47 bol viac porušený, ako pilier č. 48, čo zodpovedalo aj banskému mapovaniu porušenosti na povrchu pilierov. Porovnaním záznamov seizmických vĺn pri vzorkovacích intervaloch 50, 100, 250 a 500 μ s (obr. 7) sa zistilo, že najpresnejší čas nasadenia seizmickej vlny je možné určiť zo záznamu so vzorkovacím intervalom 50 μ s, no najlepšie zobrazenie seizmickej vlny pozorujeme pri vzorkovanom intervale 100 μ s. Vzorkovacia frekvencia (počet vzoriek za sekundu) sa so zväčšovaním času medzi jednotlivými vzorkami (vzorkovacími intervalmi) znižuje.

Zmenou nastavenia vzorkovacieho intervalu v seizmografe, sa mení aj frekvencia vlnenia, pri ktorej je prístroj schopný vybudnúť seizmickú vlnu zaregistrovať.

PodĎakovanie

Tento článok, bol vytvorený realizáciou projektu Nové detekčné metódy a technológie pre získavanie nekonvenčných energetických zdrojov Zeme ITMS 26220220031 na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

GENDEROVÁ, I. *Porovnávanie metód seizmiky a štruktúrnej geológie na ložisku v Jelšave*. Košice, TU, 2012, 50 s.

LEŠŠO, I. *Teória signálov pre priemyselnú informatiku*. Košice, TU, 2004, 316 s.

MÜLLER, M., OKÁL, M., HOFRICHTEROVÁ, L. *Základy hornické geofyziky*. Alfa, Praha, 1985, 224 s.

PANDULA, B., KONDELA J. *Metodológia seizmiky trhacích prác*. Banská Bystrica, Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce – ZSVTS, 2010, 156 s.
ISBN 978- 80-970265-0-9

PANDULA, B., Blaško, F., Jalčova, V. *Úvod do aplikovanej geofyziky*. Elfa, Košice, 2002, 98 s.

Autori

¹ Ing. Martina Friedmannová, Ústav Geovied F - BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, martina.friedmannova@tuke.sk

² doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Ústav Geovied F - BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, blazej.pandula@tuke.sk

³ Mgr. Julián Kondela, PhD., Ústav Geovied F - BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, julian.kondela@tuke.sk