

INTERPRETÁCIA TEKTONICKEJ PORUŠENOSTI POMOCO SEIZMICKÝCH VĹN NA LOŽISKU JELŠAVA

INTERPRETATION OF THE TECTONIC DEFORMATIONS BY SEISMIC WAVES IN THE JELŠAVA DEPOSIT

Julián Kondela¹, Blažej Pandula², Tibor Sasvári³, Martina Friedmannová⁴, Katarína Pacholka⁵

Abstrakt

Jednou z ekonomicky najvýznamnejších nerastných surovín na Slovensku je magnezit. Najväčšie ložiská magnezitu na Slovensku sú situované v karbónskych karbonátových súvrstviach v Západných Karpatoch v gemeriku. Chemický čistý, nekontaminovaný magnezit MgCO_3 obsahuje 47,8 % MgO a 52,2 % CO_2 . Takéto zloženie býva zriedkavé. Najčastejšie obsahuje rôzne prímеси ako karbonáty, oxidy a silikáty hlavne vápnika, železa, mangánu a hliníka. Exploatované magnezitové ložiská na Slovensku majú pomerne stálu kvalitu s obsahom MgO od 40,2 do 43,5 %, Fe_2O_3 kolíše medzi 1,5-4 %, CaO 1,5 až 4,8 %, SiO_2 0,7-2,5 %, MnO 0,1-0,4 %. V súčasnosti ťažba magnezitu prebieha na dvoch ložiskách podzemným spôsobom. Najväčšie a najvýznamnejšie je ložisko Jelšava-Dúbravský masív, ktoré dobýva magnezit z hĺbky viac ako 400 m pod povrchom. Aktuálne bola začatá otvárka ložiska na úrovni horizontu 220 m n. m. S postupom ťažby do hĺbky je stále väčší dôraz kladený na bezpečnosť pri ťažbe. Súčasne sa komplikujú aj podmienky dobývania. Problémy bývajú spojené so stabilitou vnútroblokových a medziblokových pilierov. Práve tektonická porušenosť uvedených pilierov má zásadný vplyv na možnosti otvárky a bezpečnosti ťažby na ložisku. V predložennom článku sú prezentované prvé výsledky merania skrytej porušenosti na vnútroblokových pilieroch.

Abstract

Magnesite is one of the most economically important mineral resources in Slovakia. The largest deposits of magnesite are situated in carboniferous carbonate layers in Gemericum of Western Carpathians. Chemically pure, non-dirty magnesite MgCO_3 contains 47, 8 % MgO a 52, 2 % CO_2 . Such composition use to be rare. Magnesite often contains various impurities such as carbonates, oxides and mainly silicates of calcium, iron, manganese and aluminium. Harvested magnesite deposits in Slovakia have rather constant quality with content of MgO from 40,2 up to 43,5 %, Fe_2O_3 varies between 1,5-4 %, CaO 1,5-4,8 %, SiO_2 0,7-2,5 %, MnO 0,1-0,4 %. Currently, magnesite exploitation is realised at two localities by underground mining. Jelšava-Dúbravský massif deposit is the largest and the most important deposit. Magnesite is mined from the depth more than 400 m under surface. Nowadays, the deposit is mined at horizon 220 m above sea level. The deeper mining the biggest risk of instability of mining workings and conditions of mining are getting complicated. The biggest problem is related to the stability of inter-block pillars. The tectonic fracture of these pillars has the main influence at possibility of open-pit

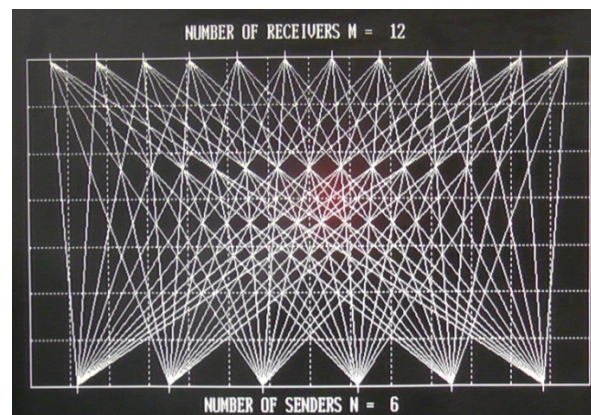
and the safety of mining in deposit. The presented article includes the first results of measurement of the hidden fractures at inter-block pillars.

Kľúčové slová

seizmická tomografia, tektonická porušenosť, stabilita vnútroblokových pilierov

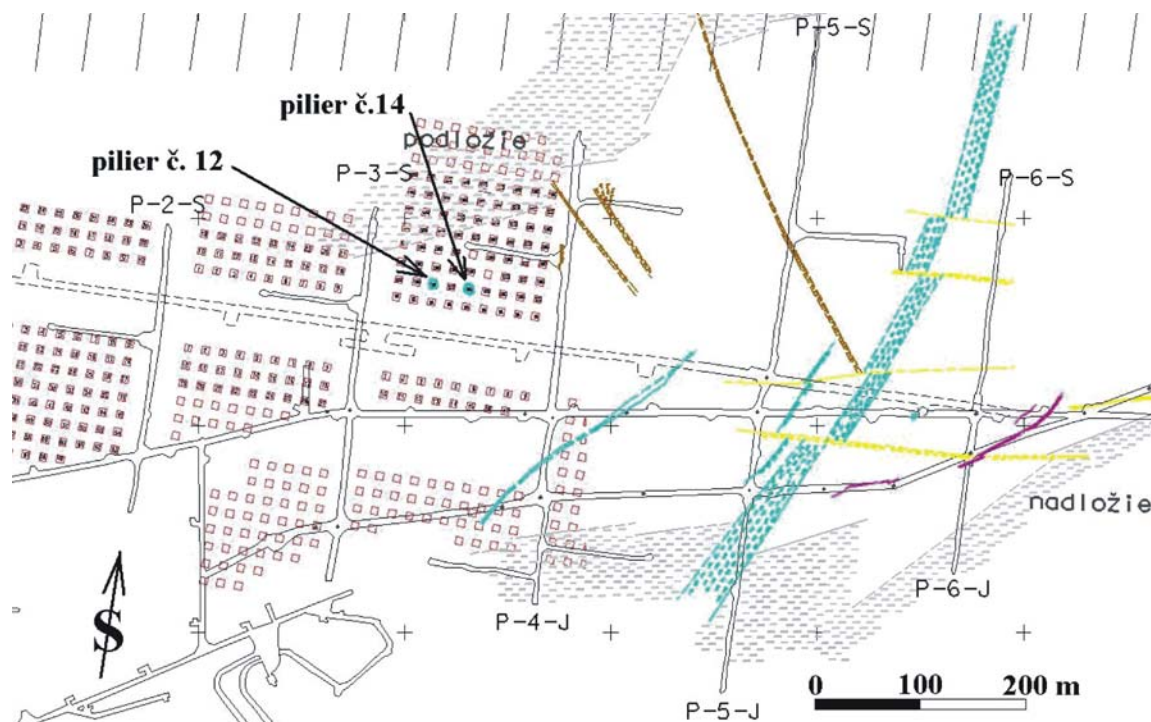
1 Úvod

Ložisko magnezitu v blízkosti mesta Jelšava (obr. 1) patrí k významným svetovým ložiskám, ktoré z hľadiska množstva geologických bilančných zásob garantuje životnosť ložiska pri súčasnej ťažbe na cca 100 rokov. V minulosti bolo dobývané povrchovým spôsobom. V 70-tych rokoch sa po rozsiahlej investičnej výstavbe závodu začalo s ťažbou podzemným spôsobom. Začiatkom 80-tych rokov minulého storočia sa začalo postupne presadzovať výstupkové dobývanie so zakladaním vyrúbaného priestoru, ktoré je v súčasnosti nosnou dobývacou metódou (Lipták, 2009). Výstupkové dobývanie umožňuje vyššiu selektivitu ťažby, ale zvyšuje nároky na stabilitu vnútroblokových a medziblokových pilierov v podzemí pri dobývaní. Poznanie porušenia pilierov je východiskové pre bezpečnú otváрку a ťažbu v podzemí. Na stanovenie stupňa porušenia a kvality časti horninového prostredia jedného petrografického zloženia sa v praxi najviac používajú seizmické geofyzikálne metódy napr. refrakčná seizmika, seizmické profilovanie, seizmická tomografia (Bláha a Müller, 2001) a iné. Seizmické metódy sú nedeštruktívne, preto sú vhodné na stanovenie stupňa porušenia vnútroblokových pilierov (Pandula a Kondela, 2010). Proces spracovania seizmického signálu metódou seizmickej tomografie, umožňuje zvýšiť možnosti impulzových dynamických metód pri hodnotení horninového masívu (Leššo et al., 2007).



Obr.1 Pozícia ložiska Jelšava a princíp zostavovania tomografickej mapy.

2 Metodika merania



Obr. 2 Pozícia meraných vnútroblokových pilierov č. 12 a č. 14 v rámci ložiska na úrovni prvej lávky horizontu 220 m n. m. v dobývacom sektore S3.

mapovania posúdené ako neporušený (pilier č. 14) a porušený (pilier č. 12). Jednotlivé body situovania zdrojov a snímačov na pilieroch boli geodeticky zamerané totálnou stanicou TOPCON GPT 2006.

3 Namerané hodnoty, ich analýza a interpretácia

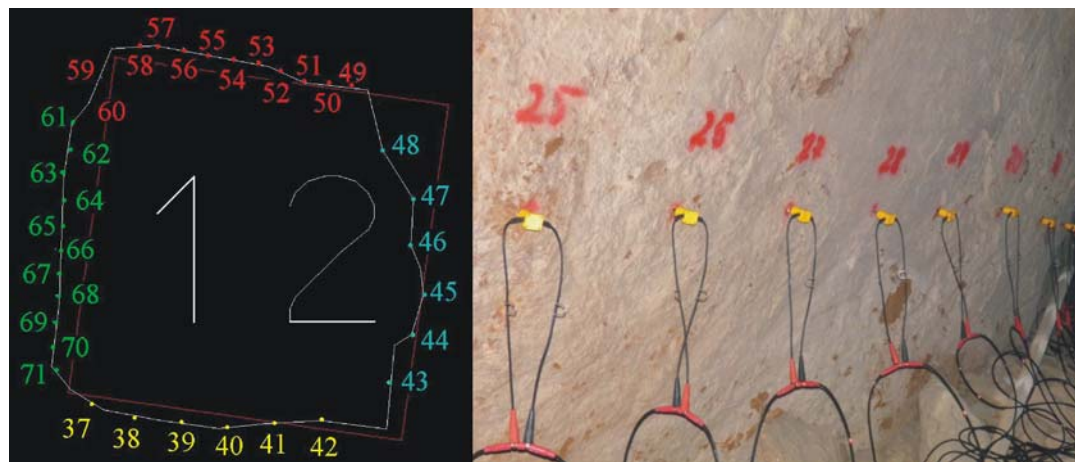
Merania aparátúrou Terralock Mark 8 boli uskutočnené na pilieroch č. 12 a č. 14 v dvoch na seba kolmých smeroch. Jedenkrát v pozícii, kedy zdroje boli v postavení žltých bodov a snímače v pozícii červených bodov. Druhé merania boli uskutočnené v pozícii, kedy zdroje boli v postavení modrých bodov a snímače v postavení zelených bodov (obr. 4).

Namerané hodnoty rýchlostí seizmických vln (obr. 5) boli vynesené v programovom prostredí SeisTomo (Szabó, 1992) formou histogramov na obrázku 6A a 6B. Maximálna nameraná rýchlosť seizmických vln bola $8,8 \text{ km.s}^{-1}$. Naopak najnižšia nameraná rýchlosť seizmických vln bola $1,6 \text{ km.s}^{-1}$. Pri zhodnotení početností jednotlivých rýchlostí seizmických vln je na oboch histogramoch

Na stanovenie posúdenia skrytej porušenia vnútroblokových pilierov v dobývacom sektore S3 na úrovni 220 m n. m. na ložisku Jelšava (obr. 2) sme použili metódu seizmickej tomografie. Seizmická tomografia je metóda riešenia integrálnych vzťahov s cieľom ohodnotenia poľa rýchlostí alebo poľa absorpcie časti horninového prostredia preťaťého seizmickými vlnami (Bláha a kol., 1991, Pandula, 1995). Výsledkom merania je tomografická mapa, na ktorej sú farebne odlíšené bunky na základe rozdielnych rýchlostí seizmických vln prechádzajúcich horninovým prostredím (obr. 1). Na meranie rýchlostí pozdĺžnych vln v_p bola použitá 12 kanálová aparátúra Terralock Mark 8 od firmy ABEM (obr. 3). Pred meraním bol nastavený interval vzorkovania $25 \mu\text{s}$ s krokom vzorkovania 2048 vzoriek. Na budenie signálu bolo použité kladivo (obr. 3). Na registráciu seizmického signálu bolo použitých 12 geofónov SM-4B 10 Hz od firmy ABEM. Rozostup medzi zdrojmi signálu bol 1 m a rozostup medzi geofónmi 0,5 m (obr. 4). Merané boli piliere č. 12 a 14 na dobývke S3, na prvej lávke (obr. 2). Tieto piliere boli na základe geologického štruktúrneho

sledovateľná paralela v oblasti nižších rýchlostí. Rozdiel je viditeľný len pri rýchlostiach nad 6 km.s^{-1} , kedy v histograme A bolo nameraných viac hodnôt so zvýšenou rýchlosťou ako v histograme B. Rozdielne výsledky boli namerané na pilieri č.14. Z histogramu C je viditeľný nízky počet hodnôt znížených rýchlostí pod $5,8 \text{ km.s}^{-1}$. V podstatnej miere prevažujú hodnoty rýchlostí nad $5,8 \text{ km.s}^{-1}$. Výrazné zmeny potom sú viditeľné na mapách rýchlostí seizmických vln na pilieri č. 12 obr. 7A a 7B oproti mapám rýchlostí na pilieri č. 14 na obrázku 7C. Pestrofarebná mozaika jednotlivých polí rýchlostí na tomografických mapách vystihuje výrazne premenlivé podmienky – vysokú nehomogenitu vo vnútri piliera č. 12. Naopak identifikované polia rýchlostí na tomografických mapách v pilieri č. 14 naznačujú výrazne homogénnejšie horninové prostredie. Je to však v rozpore so štruktúrnym hodnotením na základe geologického mapovania, ktoré vychádzalo z priebehu viditeľných tektonických štruktúr.

Namerané hodnoty rýchlostí seizmických vln sa menili od minimálnych $1,6 \text{ km.s}^{-1}$ po $8,9 \text{ km.s}^{-1}$. Maximálne rýchlosti odpovedajú aj doteraz zisteným meraniam (Sasvári et al., 2007, Kovanič, L., 1981, Krišťáková, Z., 1991). Pretože v podmienkach magnezitového ložiska



Obr. 4 Schéma rozmiestnenia geofónov (červenou, zelenou) a zdrojov (žltou, modrou) na pilieri č. 12 a umiestnenie geofónov SM-4B pri meraniach.

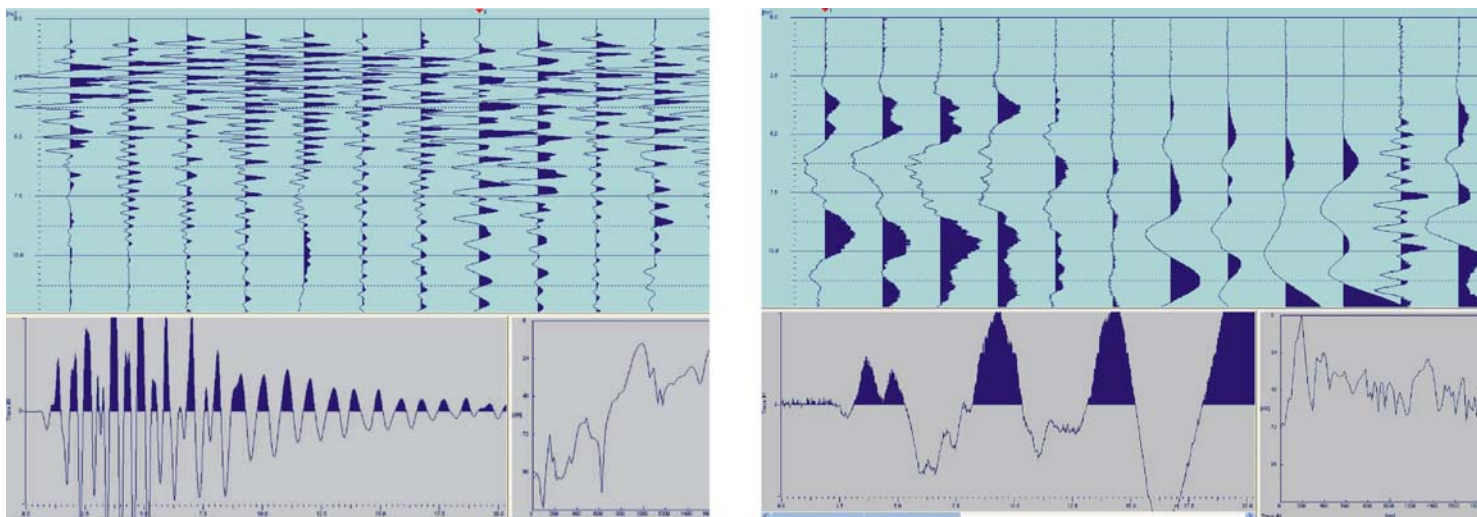


Obr. 3 Spôsob budenia signálu kladivom a registrácia signálu meracou aparátúrou Terralock Mark 8.

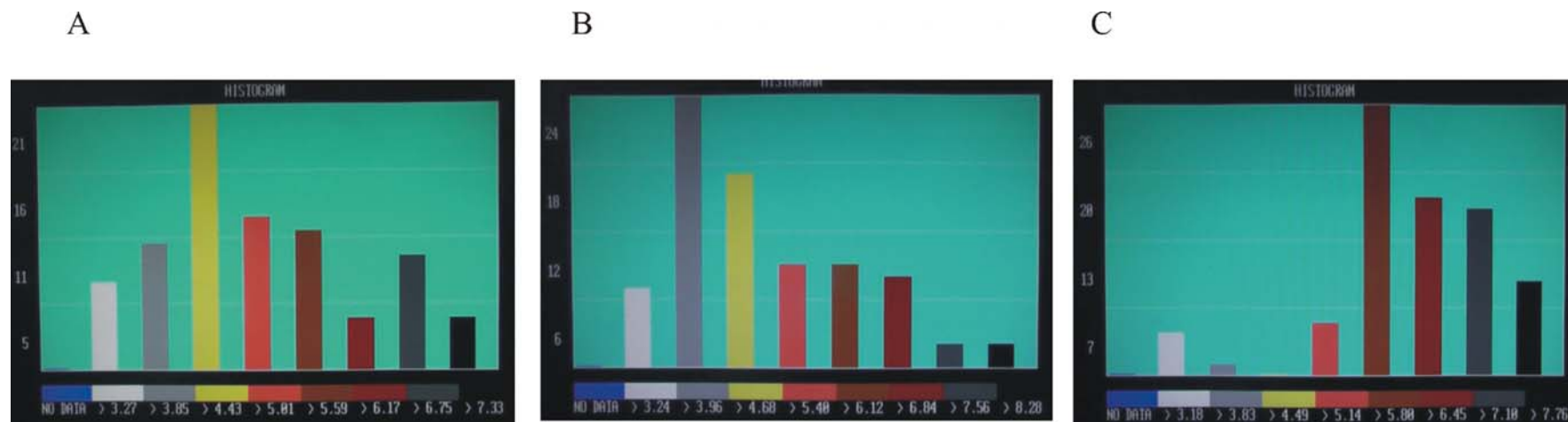
zatiaľ boli uskutočňované seizmické merania na vnútroblokových pilieroch len pokusne, pokúsili sme sa nadefinovať pre zjednodušenie interpretácie porušenosť nasledujúce tri kritériá:

- horninový masív s rýchlosťami do $4,5 \text{ km.s}^{-1}$ (1/2 zistených maximálnych rýchlostí seizmických vln) sme nadefinovali ako zónu so značnou porušenosťou - v mapách na obrázku 7 označovaných ako **broken areas**,
- horninový masív s rýchlosťami od $4,5$ do $6,5 \text{ km.s}^{-1}$ sme definovali ako zónu stredne porušeného horninového prostredia – v mapách na obrázku 7 označovaných ako **current areas**,
- horninový masív s rýchlosťami nad $6,5 \text{ km.s}^{-1}$ ako zónu s čiastočnou porušenosťou až zónu s pevným horninovým masívom - v mapách na obrázku 7 označovaných ako **solid areas**.

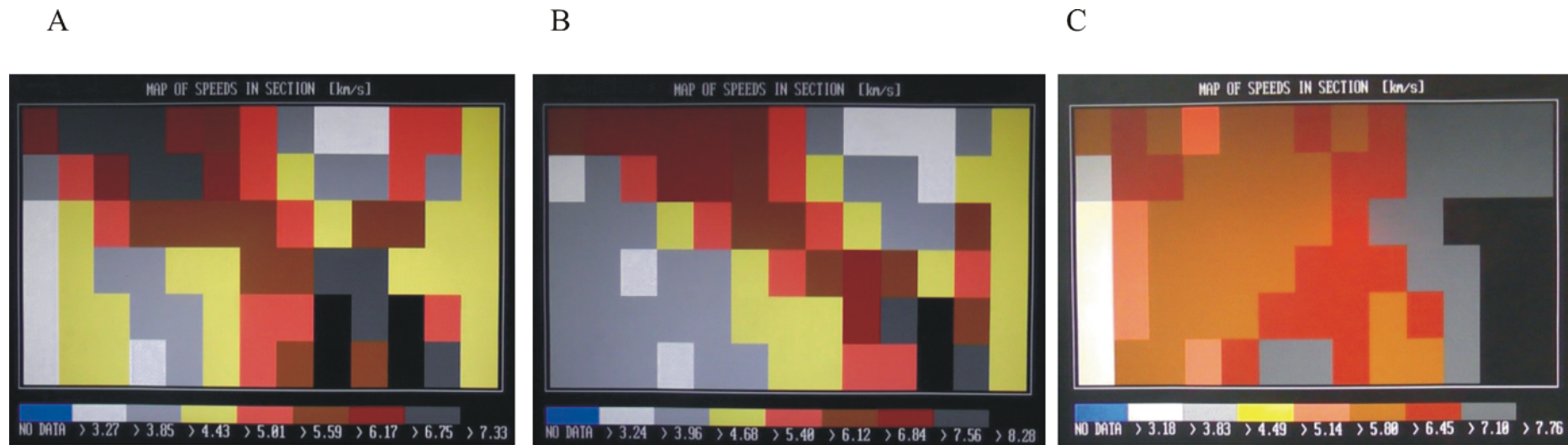
Na základe definovaných kritérií sme zostrojili finálne mapy rýchlostí seizmických vln (Ivančo, 1991). Na takto zjednodušených kritériách sa výrazne ukázali predominantné smery - zóny rôzneho stupňa skrytej porušenosti v zostrojených mapách (obr. 8).



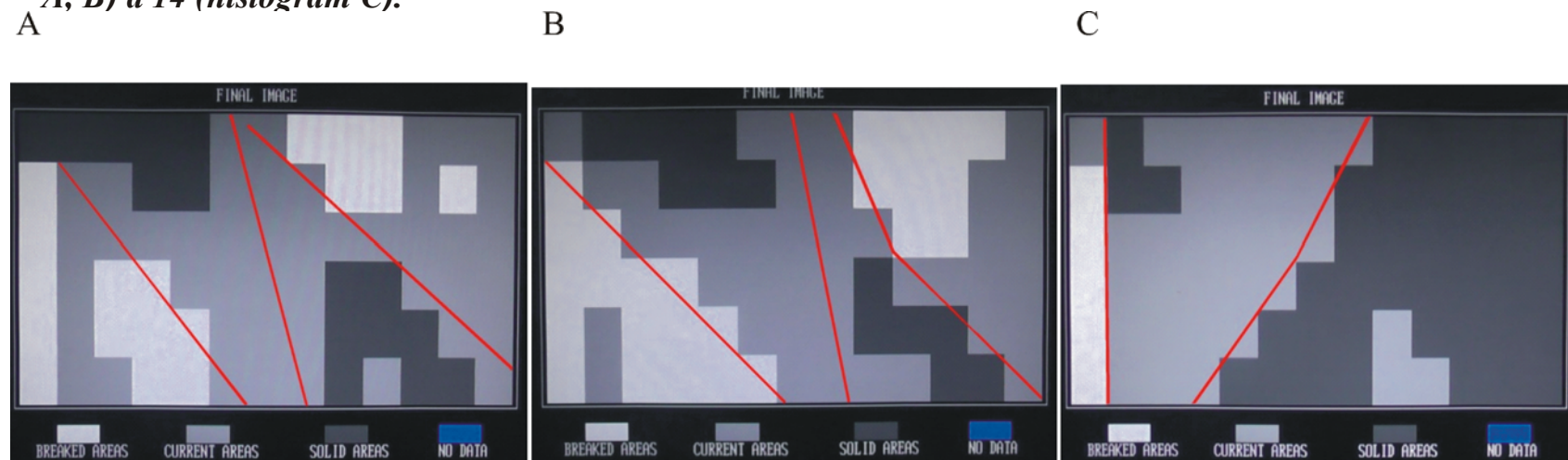
Obr. 5 Záznam z 12-tich kanálov seizmického vlnenia, ktoré prešlo cez kvázi homogénnu časť piliera (vľavo). Záznam utlmeného seizmického vlnenia po prechode cez porušenú časť piliera (vpravo)



Obr. 6 Histogramy početností rýchlostí v jednotlivých prepočítaných bunkách na pilieroch č.12 (histogramy A, B) a č.14 (histogram C).



Obr. 7 Tomografické mapy rýchlostí seizmických vln v jednotlivých prepočítaných bunkách na pilieroch 12 (histogramy A, B) a 14 (histogram C).



Obr. 8 Mapy interpretovanej porušenia s možným priebehom tektonických štruktúr na meraných pilieroch č. 12 a č. 14.

4 Záver

Ak vychádzame z predpokladu, že výrazné zmeny rýchlostí seizmických vln prechádzajúcich pilierom sú odrazom rozdielnych fyzikálno-mechanických vlastností častí piliera, môžeme na základe uskutočnených meraní metódou seizmickej tomografie predikovať skrytú porušenosť v pilieri. Merania preukázali výrazné kontrasty v rýchlostiach, na základe ktorých je možné interpretovať možné plochy

nespojivosti vo vnútroblokových pilieroch v dobývacom sektore S3 na úrovni horizontu 220 m n. m. na ložisku v Jelšave. Kombináciou výsledkov štruktúrno-geologického mapovania na úrovni horizontu 220 m n. m. a výsledkov nameraných seizmickou tomografiou na viacerých pilieroch je možné dotvoriť obraz porušenia v dobývacom sektore S3. Na základe takto získaných informácií je možné s vysokou mierou pravdepodobnosti predikovať oblasti nestability v uvedenom dobývacom sektore. Toto poznanie je rozhodujúce pre zabezpečenie bezpečnosti pri postupe ťažobných prác.

Pod'akovanie

Tento článok, bol vytvorený realizáciou projektu Centrum excelentného výskumu získavania a spracovania zemských zdrojov ITMS 26220120017 na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

References

- BLÁHA, P., KOTTAS, J., SOCHOR, J. Seizmická tomografia. *Geologický průzkum*, 1991, č.10, str. 298-301.
- BLÁHA, P., MÜLLER, K. *Uplatnění geofyzikálních metod v geotechnice a stavebnictví*. EGRSE, VIII.,1-2, ČAAG-Praha, 2001, p 24-28, ISSN 1211-359X
- IVANČO, J. Algoritmus postupu určovania skrytej porušenia horninového prostredia tomografickými metódami. *Manuskript*, Katedra matematiky UPJŠ Košice, 1991, 7s.
- KOVANÍČ, L. Overenie možnosti použitia seizmickej aparatury Bison v podmienkach magnezitových ložísk za účelom sledovania napätovo – pretvarných zmien v ochranných pilieroch dobývok. *Výskumná správa*, Banický ústav SAV, Košice, 1981, 105 s.
- KRIŠŤÁKOVÁ, Z. Správa o možnostiach využívania seizmických metód na zisťovanie napätovo deformačných zmien v v dobývacom sektore A1 ložiska Dúbravský masív. *Výskumná správa*, Banický ústav SAV, 1991, 89 s.
- LEŠŠO, I., FLEGNER, P., PANDULA, B., HOROVČAK, P. New Principles of process control in geotechnics by acoustic methods. *Metallurgija* 46 (2007) 3, p.165 – 168.
- LIPTÁK, V. Nakladanie s ťažobnými odpadmi na úložiskách SMZ a.s. Jelšava – zámer. *Manuskript*, SMZ Jelšava, Teplá Voda 671, Jelšava, 2009, 21 s.
- PANDULA, B. Určovanie porušenia hornín seizmickými a seizmoakustickými metódami a ich aplikácia pri rozpojovaní hornín výbuchom. *Kandidátska dizertačná práca*. F BERG TU Košice, 1995, 157 s.
- SASVÁRI, T., ORMOS, T., PANDULA, B., KONDELA, J. Možnosti použitia seizmickej tomografie na hodnotenie porušenia horninového masívu na ložisku Dúbravský masív. In: *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*. Vol. 7, no. 2 (2007), p. 293-302, ISSN 1213-1962
- SZABÓ, Š. Grafické programy pre modelovanie horninového prostredia a výbuchu. *Uhlí - Rudy* 1/2, 1992, s.47 - 50.

Autori

- ¹ Mgr. Julián Kondela, PhD., Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, julian.kondela@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 prof. Ing. Tibor Sasvári, CSc., Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, tibor.sasvari@tuke.sk
- ⁴ Ing. Martina Friedmannová, Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, martina.friedmannova@tuke.sk
- ⁵ Ing. Katarína Pachocka, Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, katarina.pachocka@tuke.sk