

**POSÚDENIE STABILITY VNÚTROBLOKOVÝCH PILIEROV PRI
VÝSTUPKOVOM DOBÝVANÍ**

**INFLUENCE OF THE INTER-BLOCK PILLARS STABILITY ON THE
MECHANIZED OVERHEAD STOPPING METHOD**

Abstract

The paper focus on the geomechanical analysis of underground mining by extraction of the deposit of magnesite minerals in Slovakia. The biggest deposit near Jelšava is called Dubrava massif and is formed by a complex of three magnesit pods (Dúbrava, Miková, Jedľovec) at a length of cc 4.5 km, with the right thickness of up to 600 m. The main extraction technique up the eighthies of the last century was the method of open stope with mining railles mechanization. For selective mining since the nineties was used a new method of extraction: mechanized overhead stopping method, with the inter-block pillars of 5x5 m. The article presents examination of proposal the inter-block pillars for the 220 m level with mathematical modelling and analytical technique.

Key words: overhead stopping metod, inter-block pillar, stability

Úvod

Ťažba magnezitu má na Slovensku viac ako 130 ročnú históriu. Na Slovensku evidujeme celkovo 23 ložísk magnezitu, z ktorých priemyselný význam ma pätnásť (15) ložísk. Magnezit sa v minulosti ťažil na 8 ložiskách, v súčasnosti sa ťaží na ložiskách Jelšava, Lubeník a Mútnik-Hnúšťa s celkovou ťažbou na úrovni cca 1,5 mil. t. Najväčším ťažobným a spracovateľským závodom na Slovensku je podnik SMZ, a.s. Jelšava. Ťažba magnezitu prebieha na ložisku Dubravský a Mikovský masív, na ktorom sa v súčasnosti používajú dve dobývacie metódy a to:

- ☐ dobývanie otvorenou komorou z medziobzorových chodieb,
- ☐ mechanizované výstupkové dobývanie so zakladaním vyrúbaných priestorov.

Nosnou dobývacou metódou na ložisku je výstupkové dobývanie (VD), ktoré je charakterizované postupom dobývania od základného obzoru smerom nahor v pravidelných veľkoplošných vrstvách po tzv. lávkach. Umožňuje selektívne dobývanie iba v tých častiach bloku, ktoré kvalitatívne vyhovujú. Výhodou VD je zvýšenie výrubnosti, zníženie podielu prípravných prác, operatívne riadenie kvality ťaženej rúbany. Nevýhodou je pomerne vysoká pracnosť pri zakladaní vydobytého priestoru, vyššie náklady na odťažbu a vysoké nároky na riadenie a organizáciu práce.

Ochranné piliere plnia pri tejto dobývacej metóde dve funkcie:

- ☐ chránia mimoblokové banské diela pred nepriaznivými prejavmi horninových tlakov vznikajúcich ako dôsledok dobývania v bloku, najmä na dovrchnú chodbu, vetracie komíny a susedné dobývacie bloky a banské diela,
- ☐ chránia vlastný priestor dobývky tým, že podopierajú strop. Tieto vnútroblokové piliere majú rozmery 5x5 m a sú pravidelne

¹ Ing., PhD., F BERG, Technická univerzita v Košiciach, pavol.vavrek@tuke.sk

rozmiestňované v 12 m rozstupoch. Priestor medzi piliermi tvoria dobývacie pásy. Vnútroblokové piliere ako nosné prvky sú meračsky sledované a dokumentované na každej dobývacej úrovni.

Ťažba z vyšších horizontov 390 – 323 m n.m. sa presúva na horizont 220 m n.m. Otváranie nového horizontu vyvolalo úlohu prehodnotenia rozmerov vnútroblokových pilierov výstupkového dobývania, s ktorým sa uvažuje ako s jedinou dobývacou metódou na tomto horizonte. Pri riešení predmetnej problematiky bolo použité matematické modelovanie a analytický spôsob prepočtu.

Matematické modelovanie

Pri riešení vyššie uvedenej problematiky bol použitý modifikovaný matematický model z úloh „Prehodnotenie napätovo - deformačného stavu v okolí bariérneho piliera z hľadiska ďalšieho postupu dobývania“ (Vavrek, 2002), „Analýza napätovo-deformačných stavov a prepočet stability dobývaného sektoru B so zohľadnením aktuálnych stavov vnútroblokových pilierov, (Ďurove, Vavrek, 2004) a „Komplexný prepočet stabilitných podmienok a návrh stabilitného riešenia na sektore B a v oblasti bariérneho piliera“ (Ďurove a kol., 2005).

Matematický model bol riešený variantne pre premenlivú výšku výstupkov. Východnou výškou bola úroveň 220 m n.m., na ktorej sa založí nultá lávka. Ďalšími modelovanými výškami výstupku boli úrovne 243, 266, 290 m n.m.

Vstupné parametre modelu

Fyzikálno - mechanické vlastnosti hornín slúžia ako vstupné informácie, ktorých presnosť do značnej miery ovplyvňuje stupeň hodnovernosti výstupných parametrov modelu. Pri voľbe fyzikálno - mechanických vlastností, ktoré boli použité ako vstupné dáta pre modely z rokov 2002, 2004, 2005 sa vychádzalo z „Dielčej správy úlohy: Komplexné riešenie prechodu dobývania pod úroveň 400 m n.m.“. (Kyntera a kol., 1974).

Za účelom stanovenia Hoek – Brownových parametrov horninového masívu boli realizované triaxiálne skúšky na nepravom triaxáli T-500A (obr.1). Prevedené skúšky boli podkladom pre výpočet vstupných parametrov do matematického modelu, ktorý bol použitý pri riešení problematiky stability dobývok na horizonte 220 m n.m.



Obr. 1 Nepravý triaxiál T-500

Skúšky na nepravom triaxiálnom prístroji T – 500A sa realizovali na skúšobných telesách valcového tvaru. Bolo odskúšaných 6 vzoriek magnezitu s rovnakými rozmermi :

- ☐ $d = 35,0$ mm (priemer vzorky),
- ☐ $h = 37,0$ mm (výška vzorky).

Výsledky triaxiálnych skúšok boli podkladom pre stanovenie Hoek –Brownových parametrov:

- ☐ m_i – parameter,
- ☐ r – koeficient,
- ☐ σ_{ci} – prepočítana tlaková pevnosť intaktnej horniny.

Tektonické porušenie horninového prostredia v oblasti Dúbravského a Mikovského masívu je zohľadnené v H – B klasifikácii pomocou GSI indexu (Geological Strength Index). Pri zatriedení horninového masívu v záujmovej oblasti sa vychádzalo z blokovej štruktúrnej stavby vytvorenej systémom plôch nespojitosti , pretínajúcich sa najčastejšie v dvoch až troch smeroch.

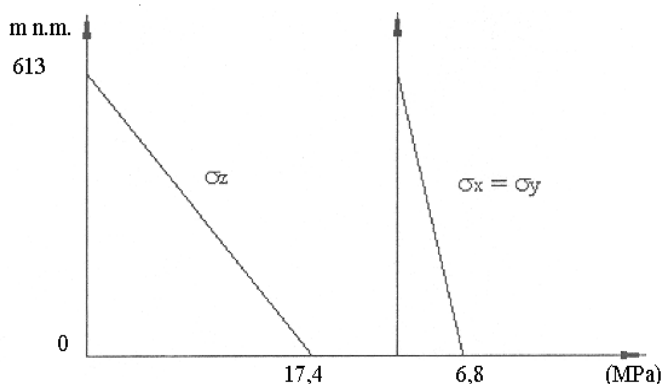
Druhý parameter klasifikácie GSI zohľadňuje stav povrchu diskontinuit, ktoré sú zatriedené do piatich skupín: veľmi dobrý, dobrý, priemerný, zlý, veľmi zlý povrch.

Na základe zhodnotenia výsledkov laboratórnych skúšok, štruktúro-tektonického porušenia masívu, zatriedenia Dúbravského masívu podľa GSI indexu boli použité vlastnosti horninového prostredia (tab. 1), ktoré sa implementovali do matematického modelu.

Tab. 1 Geotechnické vlastnosti hor. typov použitých v modeli

Hornina	Objemová hmotnosť ρ_o [kg.m ⁻³]	Pretvárne vlastnosti E_{def} , E [MPa]	Poissonov o číslo μ	Objemový modul K [MPa]	Šmykový modul G [MPa]	Uhol vnútornéh o trenia ϕ [°]	Súdržnosť c [MPa]	Pevnosť v ťahu σ_r [MPa]
Magnezit	2900	44266	0,282	33843	17265	44,3	10,8	3,6
Fylity	2500	8772	0,21	5041	3625	25	0,8	0,3

Okrajové podmienky modelu



Obr. 2 Primárny napätový stav

Hranice modelu vo vertikálnom smere siahajú od 0 m n.m. po 613 m n.m. Výška nadložia nad voľným priestorom v strede klenby je 68 m. Tiaž povrchu terénu nad kótou 613 m n.m. je nahradená zodpovedajúcimi silami, ktoré pôsobia na povrchu modelu.

Veľkosť modelu: v smere osi x – 800 m, v smere osi y – 700 m, v smere osi z – 613 m. Pri riešení sa používal gravitačný model, ktorý zohľadňuje nárast vertikálnych napätí so zväčšujúcou sa hĺbkou modelu v závislosti od objemovej hmotnosti (ρ_o) materiálov, z ktorých sa model skladá. Maximálne hlavné napätie z nulovej hodnoty na povrchu sa zväčšuje na hodnotu 17,4 MPa na spodnom okraji modelu. Horizontálne napätia z nulovej hodnoty na povrchu narastajú lineárne na hodnotu 6,8 MPa na spodnom okraji modelu.

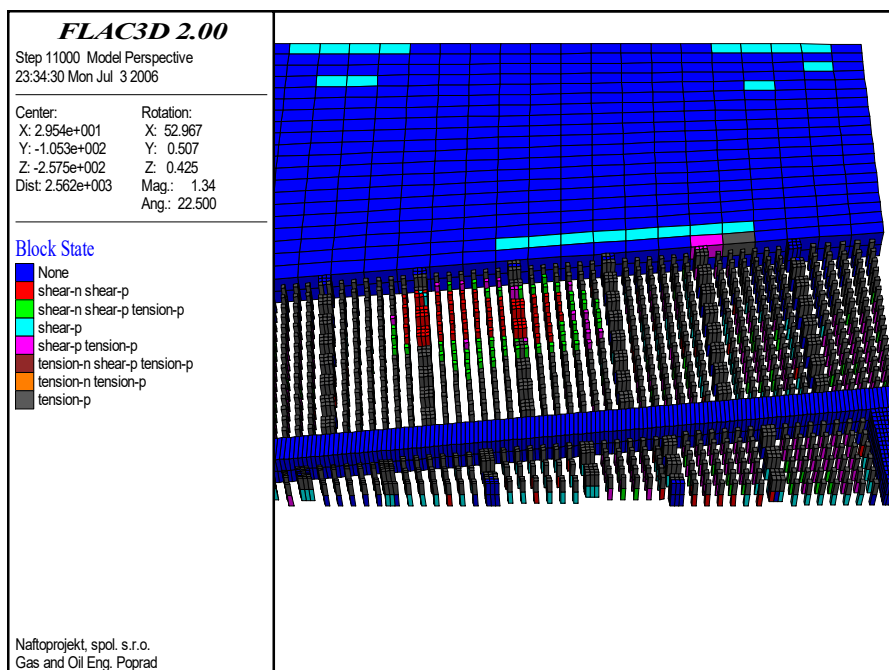
Výsledky matematického modelovania

Východiským modelom bolo rozfárание ložiska podľa týchto geotechnických zásad pre otváрку, prípravu a dobývanie pod úrovňou 323 m n.m.: výška vnútroblokových pilierov 70 m, šírka dobývacích pásov 12 m, hrúbka stropného piliera obzoru 220 m n.m. 15 m, rozmery blokových pilierov 15x 17 m.

1. Stav stability modelu

Použitý software má k dispozícii 10 materiálovo-konštitučných modelov, ktoré sa volia v závislosti od vlastností modelovaných geotechnických materiálov a od modelovanej situácie. Samotným modelom sú priradené aj kritéria medzného stavu tzv. kritéria porušenia, ktoré vyjadrujú medzné hodnoty pevnostných charakteristik

rôznorodých materiálov (teda aj hornín), pri prekročení ktorých dochádza k rôznym medzným stavom. V geotechnike je veľmi často používaným Mohr – Coulombove kritérium porušenia, ktoré sa používa pre generálne riešenia problémov v oblasti mechaniky zemín aj skalných hornín. Podľa tohto kritéria k porušeniu môže dôjsť šmykom (shear), ťahom (tension) alebo ich kombináciou.



Obr. 3 Stav stability modelu – výška VBP – 46 m

Implementovaná funkcia block state (stav zón, stav stability modelu) v programe FLAC 3D s Mohr – Coulombovou podmienkou medzného stavu bola použitá na posúdenie stavu stability modelovaných variant. Preddisponované plochy šmykového alebo ťahového porušenia sú označované symbolom –p. Stav na medzi porušenia šmykom alebo ťahom je symbolizovaný písmenom –n. Dvojica symbolov shear – p alebo tension – p symbolizuje inicializáciu plastického pretvorenia a dvojica symbolov shear – n a tension – n indikuje stav porušovania.

Stav stability modelovanej oblasti pre výšku vnútroblokových pilierov (VBP) – 46 m (obr. 3) poukazuje na rôznu intenzitu porušenia šmykom aj ťahom vnútroblokových aj blokových pilierov. Výpočty napäťového stavu, ktoré boli prevedené matematickým modelovaním priestorovou metódou konečných rozdielov dávajú základnú informáciu o vývojových trendoch napätí v záujmových oblastiach.

Kvôli lepšej prehľadnosti výsledkov modelovania je v tab. 2 uvádzaný percentuálny nárast alebo pokles porovnávaných napätí pre rôzne výšky vnútroblokových pilierov získaných z výstupov matematického modelovania.

Tab. 2 Percentuálny nárast alebo pokles porovnávaných napätí

	<i>bez VBP</i>	<i>VBP – 23 m</i>	<i>VBP – 46 m</i>	<i>VBP – 70 m</i>
<i>S_{min} (tlakové maximum)</i>	100 %	172 %	177 %	114 %
<i>S_{max} (ťahové maximum)</i>	100 %	18 %	153 %	174 %
<i>S_{xy} (šmykové maximum v rovine xy)</i>	100 %	38 %	61 %	33 %
<i>S_{xz} (šmykové maximum v rovine xz)</i>	100 %	48 %	83 %	59 %
<i>S_{yz} (šmykové maximum v rovine yz)</i>	100 %	171 %	139 %	143 %

Východzou bázou porovnania boli hodnoty napätí na úrovni horizontu 220 m n.m. bez jeho rozfárania (súčasný stav na ložisku – bez VBP). Rozfáranie ložiska systémom VBP na nulteť lávke spôsobuje priťaženie pilierov oproti východzie mu stavu (nerozfárané ložisko – bez VBP) cca o 70 %. Postupom dobývok na vyššie horizonty dochádza k odľahčovaniu VBP. Pri ťahových napätiach dochádza oproti východzie mu stavu najprv k odľahčeniu a následne k ich zvyšovaniu. Maximum ťahových napätí sa dosahuje pri výške VBP - 70 m kedy narastá ťahové zaťaženie oproti východzie mu stavu cca o 74 % (platí pre blokové piliere).

Šmykové napätia v rovine xy(horizontálna rovina) a xz (vertikálna rovina v smere S-J) s postupom na vyššie horizonty sa v porovnaní s východzie m stavom zmenšujú. Vývoj šmykových napätí v rovine yz je nepriaznivejší. Tu dochádza oproti východzie mu stavu k nárastu úrovne ťahového zaťaženia u blokových pásov aj pri blokových pilieroch.

Z hľadiska absolútnych hodnôt zaťaženia sú vnútroblokové piliere namáhané tlakovým napätím s maximom cca 70 MPa, hodnota maxim ťahových zaťažení dosahuje úrovne cca 5,9 MPa. Maximálne hodnoty šmykových napätí dosahujú úrovne cca 12 MPa. Maxima ťahových a šmykových napätí prekračujú medzné pevnosti modelovaného horninového prostredia (magnezit), čo dokumentuje aj stav stability modelov (block state). Pri rozfáraní ložiska pri pôdorys VBP – 5x5 m, šírke dobývacích pásov – 12 m, blokových pilieroch 15 x 17 m nie je zaručená bezpečnosť dobývok . V niektorých miestach dobývok dochádza k strate únosnosti vnútroblokových aj blokových pilierov. Zóny zvýšeného namáhania sa sústreďujú do oblasti styku rozfáraná a nerozfáraná časť ložiska v severnej časti, výrazná zóna ťahového namáhania je v oblasti pod B – sektorom v jeho západnej časti s deštruovanými vnútroblokovými piliermi.

Dimenzovanie vnútroblokových pilierov obzoru 220 m n.m. analytickým spôsobom

Dimenzovanie ochranných pilierov pri hlbinnom dobývaní ložísk užitočných nerastov patrí medzi najdôležitejšie úlohy z bezpečnostného aj ekonomického hľadiska. Pri dimenzovaní vnútroblokových pilierov výstupkového dobývania sa vychádza zo štvorcového prierezu o strane štvorca (d).

Stranu štvorcového prierezu d môžeme určiť z podmienky rovnováhy

$$\sum_{i=1}^n P_i = \frac{F_{kr} \cdot \sigma_t}{n}$$

σ_t je pevnosť horniny na tlak [Pa],

$\sum P_i$ sú sily pôsobiace na kritický prierez,

$$P_i = P_1 + P_2 + P_3$$

P_1 je sila vyvolaná hmotnosťou vnútroblokového piliera nad kritickým prierezom [N],

P_2 sila vyvolaná hmotnosťou stropného piliera [N],

P_3 sila vyvolaná hmotnosťou výplne (ochrannej podušky) nad stropným pilierom [N],

n stupeň bezpečnosti,

F_{kr} kritický prierez [m²],

$$F_{kr} = F \cdot K$$

$$F = d^2$$

d je hľadaná strana štvorca prierezu vnútroblokového prierezu [m].

Redukčný koeficient K zo štíhlostného pomeru býva vzťahovaný k dovoľnému namáhaniu, čo odpovedá podľa uvedených vzťahov redukcií prierezu [F].

$$P_1 = d^2 \cdot h_4 \cdot \rho_1 \cdot g$$

h_4 je vzdialenosť kritického miesta od stropného piliera [m],

ρ_1 objemová hmotnosť ložiskovej výplne [kg.m⁻³].

$$P_2 = (l + d)^2 \cdot h_1 \cdot \rho_1 \cdot g$$

l je vzdialenosť pilierov,

h_1 hrúbka stropného piliera [m].

$$P_3 = (l + d)^2 \cdot h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$$

h_2 je výška ochrannej podušky, podklenbovej výplne alebo základky [m],

ρ_1 objemová hmotnosť ochrannej podušky alebo základky [kg.m⁻³].

Jednoduchou úpravou vyššie uvedených vzťahov môžeme stanoviť napr. šírku vnútroblokového piliera, stupeň bezpečnosti apod.

Na základe vyššie uvedených vzťahov bol prepočítaný stupeň bezpečnosti n vnútroblokových pilierov. Pri výpočte sme vychádzali z týchto vstupných parametrov:

$$\sigma_{tl} = 100 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 15 \text{ m}$$

$$K = 0,7$$

$$h_2 = 200 \text{ m}$$

Pre model 5x5x12 m je vypočítaný stupeň bezpečnosti $n = 1,2$. Model 7x7x10 m má stupeň bezpečnosti $n = 2,4$. Pri výstupkovom dobývaní so zakladaním vydobytych priestorov odporúča Ilivickij minimálne stupeň bezpečnosti $n=2$. Z prevedených analytických výpočtov vyplýva, že túto podmienku spĺňa model 7x7x10 m. Pri modeli 5x5x12 m nie je dodržaný požadovaný stupeň bezpečnosti.

Záver

Z vykonaného matematického modelovania a z návrhu rozmerov vnútroblokových pilierov horizontu 220 m n.m. analytickým spôsobom je možno vysloviť nasledujúce závery:

- ❑ pôvodne navrhnuté pôdorysné rozmery vnútroblokových pilierov 5x5 m a šírka dobývacích pasov 12 m sú nedostatočné. Toto konštatovanie je potvrdené výsledkami matematického modelovania aj analytickým prepočtom podľa podmienky medznej rovnováhy.
- ❑ vyhovujúcim pôdorysným rozmerom vnútroblokových pilierov a šírky dobývacích pasov je raster 7x7x10 m. Pri tomto module je stupeň bezpečnosti dobývania, stanovený analytickým výpočtom $n = 2,4$.
- ❑ z hľadiska zvýšenia bezpečnosti dobývania na horizonte 220 m n.m. je potrebné jednotlivé dobývacie sektory oddeľovať súvislými blokovými pásmi. Sektory umiestniť paralelne s hlavnou tektonikou.
- ❑ šírka blokových pasov by mala byť minimálne 15 m pri dodržaní šírky dobývacích sektorov cca 100 m.
- ❑ pri väčšej šírke dobývacích pasov je potrebné prepočítať šírku blokových pilierov vzhľadom na účinok pritlačenia od vzperných klenieb vznikajúcich nad dobývacími sektormi.

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0447/08.

Literatúra

- [1] Ďurove, J., Vavrek, P. (2004): Analýza napätovo-deformačných stavov a prepočet stability dobývacieho sektoru B so zohľadnením štruktúrnych podmienok a aktuálnych stavov vnútroblokových pilierov. Výsk. správa k bodu č.2 z I. etapy riešenia ZoD zo dňa 26. 3. 2004 (zodp. riešiteľ prof. Sasvári). F BERG TU v Košiciach, november 2004.
- [2] Ďurove, J., Vavrek, P., Čížik, J. (2005): Komplexný prepočet stabilitných podmienok a návrh stabilitného riešenia na sektore B a v oblasti barierného piliera. Výsk. správa k bodu č. 4 z II. etapy riešenia ZoD zo dňa 26.3.2004 (zodp. riešiteľ prof. Sasvári). F BERG TU v Košiciach, október 2005.
- [3] Filipponi, M. (2003): Die Stabilität von Karstholräumen am Beispiel der A.F. Linder - Halle im Abisso di Trebiciano, 2003.
- [4] Hatala, J., Trančík, P. (1989): Mechanika hornín a masívu. ALFA Bratislava, 1989.
- [5] Hoek, E. (2000): Practical Rock Engineering, 2000.
- [6] Hoek, E. (2002): A brief history of the Hoek – Brown criterion, Program: „Roc Lab“, 2002.
- [7] Ilivickij, A. A. (1962): Metody rasčeta meždukamernych celikov i potoločin pri razrabotke krutopadajuščich mestoroždenij. Zborník Metody opredelenija razmerov meždukamernych celikov i potolčin. IAN, Moskva, 1962.
- [8] Kyntera, F. a kol. (1974): „Dielčia správa úlohy: Komplexné riešenie prechodu dobývania pod úroveň 400 m n.m.“, ÚVR Košice, 1974.
- [9] Mužík, L. a kol. (1979): Určení napětovo-deformačních stavů na magnezitovém ložisku Miková. Závěrečná správa, Ústav geologie a geotechniky ČSAV Praha, 1979.

- [10] Záhoranský, G. a kol. (1983): Prehodnotenie postupu likvidácie na obzore 450 - 400 m n.m. na závode Jelšava. Závěrečná správa, ÚVR, Košice, jún 1983.
- [11] Vavrek, P. (2002): Prehodnotenie napäťovo-deformačného stavu v okolí barierného piliera z hľadiska ďalšieho postupu dobývania. Výskumná správa, časť matematické modelovanie, Košice, F BERG TU v Košiciach, máj 2002.

