

## 2. Prehodnotenie vplyvu ťažobných prác na Striebornej žile v Rožňave na stabilitné pomery na povrchu

*Prof. Ing. Jozef Hatala, CSc.*

Na základe písomného vyžiadania námestníka Železorumných baní, š.p. Spišská Nová Ves Ing. Vladimíra Dugasa zo dňa 15.4.1992 zodpovedný riešiteľ tejto úlohy Prof. Ing. Jozef Hatala, CSc. vypracoval expertízne posúdenie "Zhodnotenie vplyvu ťažobných prác na Striebornej žile v Rožňave na stabilitné pomery povrchu". Vypracované posúdenie malo slúžiť pre vymedzenie a schválenie dobývacieho priestoru Štátnou banskou správou.

Pre vypracovanie expertízneho posúdenia ako podkladový materiál bola poskytnutá záverečná správa úlohy Rožňava - Strieborná žila a výpočet zásob s komplexnou mapovou a geologickou dokumentáciou, zhrňujúcou vtedajšie poznatky prieskumných prác realizovaných na Striebornej žile.

Zadanie pre vypracovanie posudku požadovalo navrhnúť dobývaciu metódu pre vyrúbanie zásob Striebornej žily a stanoviť hornú hranicu dobývania tak, aby umožňovala vyrúbanie zásob v celom výškovom dosahu zrudnenia, ktoré sa predpokladalo v celom výškovom rozsahu dobývok nad 6. obzorom. Horná hranica dobývania stanovená uvedeným expertíznym posúdením je vynesená na vertikálnych priečných profiloch 7-7', 8-8', 9-9' a pozdĺžnom vertikálnom profile A-A' (prílohy 1, 2, 3 a 4) červenou čiarkovanou čiarou na kóte 230 m n.m. Z profilov 9-9' a A-A' vidieť, že najmenšia hĺbka takto stanovenej hornej hranice dobývania je len 105 m pod povrchom.

Ďalším závažným faktorom, ktorý v rozhodujúcom rozsahu ovplyvnil výber dobývacej metódy pre túto predpokladanú hĺbku dobývania bola požiadavka urobiť tento výber len na základe poskytnutých podkladových materiálov geotechnickým odhadom bez ďalšieho rozsiahlejšieho výskumu.

Za týchto okolností a predpokladov spracovateľ expertízneho posudku navrhoval technológiu výstupkového dobývania so zakladaním vyrúbaného priestoru cudzou základkou. Tento návrh dobývacej metódy zabezpečoval stabilitu povrchu bez toho, aby bolo nutné zdôvodňovať ho výsledkami hlbšieho výskumu rozloženia napätí v okolí vyrúbaných priestorov matematickým modelovaním.

Následný postup prehodnotenia podmienok efektívneho využitia zásob užitočného nerastu Striebornej žily popísaný v úvode tejto správy jednoznačne preukázal, že pri súčasnej úrovni cien na svetových trhoch tých užitočných zložiek, ktoré z ložiska možno získať a pri cenovej úrovni materiálových, energetických a ostatných vstupov do procesu dobývania a nadväznej úpravy, efektívnosť ťažby nemožno zabezpečiť výkonnými parametrami výstupkového dobývania s cudzou základkou, hlavne nad 8. obzorom.

Z týchto dôvodov rozhodujúcou požiadavkou na spracovanie predloženej štúdie bolo prehodnotiť závery už citovaného expertízneho posúdenia a realizovať výskumné práce, ktorými by boli overené možnosti dobývania technológiami s ponechávaním otvorených vyrúbaných priestorov, bez ich vplyvu na stabilitu povrchu.

Rovnako ako expertízne posúdenie z 29.10.1992 a doplnok z 15.12.1992 aj jeho prehodnotenie predkladané v tejto štúdii posudzuje dosah



rúbania Striebornej žily na povrch v celom hĺbkovom aj smerovom rozsahu. Vychádza z poskytnutej geologickej a mapovej dokumentácie a využíva "Geologicko štruktúrne a mineralogické prehodnotenie Ag-tetraedritu na Žile Strieborná pre účely začatia ťažobných prác" spracované Doc.Ing. Tiborom Sasvárim, CSc. v rámci tejto štúdie.

## 2.1. Úprava výškového dosahu rúbania Striebornej žily

Z uvedeného geologicko - štruktúrneho a mineralogického prehodnotenia spracovaného Doc. Ing. Tiborom Sasvárim, CSc. pre spracovanie predloženej štúdie bola upresnená horná hranica dobývania vo výškovej polohe 20 m nad úrovňou 7.obzoru, čiže na kóte cca 157 m n.m. (stanovená z pozdĺžneho rezu A-A' - príloha 4). Touto úrovňou je vymedzený strop dobývok. Systém odrúbania zásob vo výškovom rozsahu 20 m nad úrovňou 7.obzoru musí byť zvolený tak, aby nevyžadoval razenie horizontálnych banských diel nad úrovňou 157 m n.m. Takto upravená horná hranica dobývania v pozdĺžnom reze A-A' a v priečných rezoch 7-7', 8-8' a 9-9' je vynesená plnou červenou čiarou. Nad touto úrovňou bude razený len vetrací komín zabezpečujúci ovetranie dobývok na Striebornej žile.

Touto úpravou dochádza k podstatnému zvýšeniu hĺbky hornej hranice dobývania pod povrchom, ktorej minimálna hodnota sa zvýši zo 105 na 178 m. Považujeme ju za rozhodujúci predpoklad všetkých ďalších úvah o možnosti dobývania s otvoreným vyrúbaným priestorom.

## 2.2. Petrografická a geotechnická charakteristika horninového masívu v okolí Striebornej žily

Základným predpokladom exaktného posúdenia dosahu dobývania s ponechávaním otvorených vyrúbaných priestorov na povrch je stanovenie veľkosti napätí a deformácií v okolí vyrúbaných priestorov vo vzťahu k pevnostnej charakteristike hornín, hlavne na kontakte s ložiskom.

Horninový masív od povrchu po celom hĺbkovom a smerovom rozsahu je budovaný 3 horninovými typmi. Podpovrchovú polohu, v ktorej ukončuje vertikálny vývoj žilnej štruktúry tvoria masívne metapsamity kremenného zloženia a sericitické kvarcity (ďalej označované ako kvarcity). Pod polohou tohto horninového typu žila je vyvinutá v kremitých sericitických fylitoch a svoj hĺbkový vývoj ukončuje v porfyroidoch. Pomerné zastúpenie týchto bočných hornín po vertikálnom a smernom priebehu žily je veľmi premenlivé. Pokiaľ v severovýchodnej časti ako bočné horniny prevládajú porfyroidy, v juhozápadnej časti žila je v prevládajúcom rozsahu vyvinutá v sericityckých fylitoch.

Tak ako bolo zdôraznené v expertíznom posúdení z 29.10.1992 stabilitu povrchu pri hlbinnom dobývaní žilného ložiska, čiže aj Striebornej žily ovplyvňujú hlavne tieto faktory:

- hĺbka hornej hranice dobývania pod povrchom
- dobývaná hrúbka žily
- úklon žily
- charakter a pevnosť bočných hornín, ale hlavne pevnosť hornín nad hornou hranicou dobývania
- pevnosť vlastnej ložiskovej výplne



- použitá dobývacia metóda, systém ponechávaných ochranných pilierov a ich dlhodobá stabilita.

Základnú predstavu o pevnostných a pretvárných vlastnostiach ložiskovej výplne i sprievodných hornín poskytuje pomerne rozsiahly výskum fyzikálnych a mechanických vlastností, ktorý bol realizovaný Katedrou dobývania ložísk Baníckej fakulty VŠT Košice v rámci riešenia štátnej úlohy základného výskumu v rokoch 1965 - 1970. Výsledky tohto výskumu zhrňuje záverečná správa: Trančík, P., Hatala, J., Vrabec, F.: Mechanické a fyzikálne vlastnosti hornín Spišsko-gemerského rudohoria" (marec 1970).

Pre riešenie tejto úlohy z uvedenej záverečnej správy preberáme výsledky pre rovnaké horninové typy stanovené na vzorkách odobratých na žile Rožňava - Mária. Preberáme hodnoty tých parametrov, ktoré sú potrebné pre matematické modelovanie napäťovo-deformačných stavov v okolí vyrúbaných priestorov a to

- objemová hmotnosť -  $\rho_0$

- pevnosť v prostom tlaku -  $\sigma_H$

- modul deformácie pri zaťažení jednoosovým tlakom - M.

Ďalší, pre matematické modelovanie potrebný parameter Poissonovo číslo  $\mu$  stanovujeme odhadom (v popísanom výskume nebolo stanovené). Možná nepresnosť výsledkov, ktorá by mohla byť vyvolaná nepresnosťou tohto odhadu je zanedbateľná.

Na žile Rožňava - Mária boli stanovené vlastnosti ložiskovej výplne (sideritu), kvarcitov a porfyroidov. Pretože neboli stanovené vlastnosti sericitických fylitov, ako orientačné hodnoty volíme hodnoty stanovené na chloritických fylitoch z ložiska Rudňany, aj keď treba predpokladať, že pevnosť kremeňitých sericityckých fylitov na Striebornej žile je pravdepodobne oveľa vyššia ako pevnosť chloritických fylitov z ložiska Rudňany. V nasledujúcej tabuľke uvádzame priemerné hodnoty uvedených parametrov

Tabuľka 2.1

Hornina	$\rho_0$ [kg m <sup>-3</sup> ]	$\sigma_H$ [MPa]	M [MPa]	$\mu$
Kvarcity	2 730	98	17 000 <sup>+</sup>	0,2 <sup>+</sup>
Sericitické fylity	2 700	58	10 000 <sup>+</sup>	0,26 <sup>+</sup>
Porfyroidy	2 770	102	20 000	0,2 <sup>+</sup>
Hrubozrný siderit	3 670	124	23 000	0,2 <sup>+</sup>

Hodnoty M označené + sme stanovili odhadom so vzájomnej proporcionality pevnosti v prostom tlaku  $\sigma_H$  a modulu deformácie M, ktoré boli stanovené u porfyroidov a sideritov.

Z tabuľky 1 vidieť, že hodnoty pevnosti v prostom tlaku u odskúšaných typov hornín sú pomerne vysoké. Nižšiu pevnosť predpokladáme len u sericitických fylitov, zdôrazňujeme však, že nemala by byť menšia ako hodnota, ktorú sme odhadli v tabuľke 2.1.



Z hľadiska ochrany povrchu pred vplyvmi dobývania na Striebornej žile najväčší význam pripisujeme pevnostnej charakteristike kvarcitov, ktoré sa nachádzajú nad hornou hranicou dobývania, a to hlavne od priečneho rezu 6-6' až po priečny rez 9-9', kde v dôsledku konfigurácie terénu sa horná hranica dobývania najviac približuje k povrchu. Smerom na juhovýchod od rezu 6-6' a smerom na juhozápad 9-9' vzdialenosť dobývok od povrchu narastá v dôsledku sklonových pomerov, predpokladanej hornej hranice dobývania (viď pozdĺžny rez A-A').

Z hľadiska ochrany povrchu menší význam pripisujeme pevnostným vlastnostiam sericityckých fylitov a porfyroidov, ktoré vo vyššie vymedzenej oblasti tvoria podložie aj nadložie žily. Na ich pevnostnej charakteristike a ich stabilite bude závisieť hlavne stupeň znečistenia rúbaniny pri zvolených metódach dobývania.

Popísané obecné konštatovanie o dobrej ochrane povrchu pred vplyvmi dobývania rozhodli sme sa kvantifikovať a upresniť matematickým modelovaním. Z existujúcich matematických metód modelovania sme zvolili metódu konečných prvkov. Táto metóda umožňuje zohľadniť priestorovú polohu jednotlivých horninových typov, ich pretvárne vlastnosti, skutočný priebeh žilnej štruktúry i jej polohu voči povrchu. Rovnako umožňuje zohľadniť aj konfiguráciu terénu.

### 2.3. Stručná charakteristika matematického modelu

Katedra dobývania ložísk a geotechniky vlastní špecializovaný výpočtový systém metódy konečných prvkov predurčený pre riešenie geomechanických a geotechnických úloh pod označením GEM22.

Je koncipovaný pre riešenie úloh rovinnej deformácie, čiže takých úloh, u ktorých napäťovo-deformačný stav možno riešiť rovinným rezom. Pri jeho aplikácii na problematiku riešenú v tejto štúdii budeme uvažovať s vertikálnym rovinným rezom o hrúbke 1 m vedeným priečne na smer ložiska. Z toho vyplýva, že model bude modelovať geologickú i geometrickú situáciu v jednom z priečných rezov, ktorý pre riešenie bude zvolený a situáciu s predpokladom, že je rovnaká na veľkej smernej dĺžke. Pretože v tomto prípade smerná dĺžka nie je tak veľká, z modelu obdržíme napäťový stav s vyššími hodnotami než bude v skutočnosti pôsobiť. Z toho vyplýva, že bezpečnosť povrchu proti prejavom dobývania na povrch bude v skutočnosti vyššia než bezpečnosť interpretovaná z matematického modelu.

Pre stanovenie napäťovo-deformačného stavu v okolí a nad rúbanou Striebornou žilou sme zvolili priečny vertikálny rez 7-7', ktorý prechádza približne v strede dĺžky najvyššej hranice dobývania stanovenej v úvode tejto kapitoly. Rozmer modelovaného bloku v profile 7-7' je vyneseny zelenou čiarou. Priečne rozmery modelu sme zvolili tak, aby priebeh napätí nebol ovplyvnený zvolenými podmienkami na okrajoch modelu, tiež tak, aby bolo možné modelovať definitívnu odrúbanú konfiguráciu žily v tomto reze, čiže stav po úplnom odrúbaní žily. Zdôrazňujeme, že každý iný stav modelujúci nedorúbanie žily až po jej spodné vyklínenie je bezpečnejší oproti stavu, ktorý vyplýva z realizovaného modelu.

Z dôvodu lepšieho pochopenia výsledkov obdržaných z matematického modelu aj tou skupinou odborníkov, ktorí bližšie nepoznajú



princíp metódy konečných prvkov, uvádzame aspoň stručne jej charakteristiku.

Modelovaná plocha rezu o hrúbke 1 m v profile 7-7' je delená sieťou konečných prvkov tak, aby v maximálne možnej miere vystihovala kontúry povrchu a kontaktov pevnostne a defomačne odlišných typov hornín. Po vytvorení siete konečných prvkov ako vstupné údaje sa zadajú objemová hmotnosť modelovaných horninových typov, hodnoty ich modulov deformácie a Poissonovho čísla. Pre vyrúbanú plochu sa zadajú nulové hodnoty týchto parametrov. Výsledkom riešenia je stanovenie veľkostí napätí v ťažisku každého prvku a veľkosť posunutia v dvoch smeroch vo všetkých rohoch prvku.

Z hľadiska posúdenia vplyvu dobývania na povrch ako vystupné hodnoty z riešenia sme zvolili smery hlavných napätí a veľkosť maximálnych a minimálnych hlavných napätí pôsobiacich vo všetkých konečných prvkoch modelu.

*Poznámka:* Nemodelovaná časť pod povrchom na ľavej a pravej strane modelu bola nahradená priťažiením povrchu modelu ťažou, ktorá svojou veľkosťou nahradila ťaž nemodelovanej časti pod povrchom.

#### **2.4. Modelované varianty, ich zdôvodnenie a vyhodnotenie výsledkov**

Zadanie pre spracovanie tejto štúdie jednoznačne vylučuje možnosť dobývania so základaním vyrúbaných priestorov. Všetky ostatné v úvahu prichádzajúce dobývacie metódy uvažujú s technologickými ochrannými piliermi, či už ide o piliere v okolí blokových komínov, piliere výpustných systémov alebo stropné piliere. Rozmery týchto pilierov volia sa čo najmenšie tak, aby zabezpečovali stabilitu dobývky počas jej rúbania a zároveň zamedzili presypávaniu závalových hornín do činných dobývok. Ak by na tieto piliere bola kladená aj požiadavka ich dlhodobej stability ich rozmery museli by byť tak veľké, aby nedošlo k ich oslabeniu účinkom trhacích prác a k postupnej ich dezintegrácii a vypadávaniu umocnenému seizmickými účinkami veľkého počtu odstrelov v okolitých dobývkach. Z týchto dôvodov technologické ochranné piliere nemožno považovať za trvalý nosný prvok s časovo neobmedzenou stabilitou.

#### **VARIANT 1**

Z uvedených dôvodov ako variant 1 zvoleného systému odrúbania Striebornej žily sme zvolili najnepriaznivejší variant, ktorý modeluje stav bezpilierového rúbania po celej úklonnej výške Striebornej žily v priečnom profile 7-7'.

Aby sme vo vstupných údajoch zohľadnili vplyv štruktúrneho zoslabenia horninového masívu upravili sme vstupné údaje stanovené v laboratórnych podmienkach na neporušených vzorkách tak, že hodnoty modulu deformácie sme znížili súčiniteľom cca 0,6 a zadali sme ich hodnotami

- kvarcity M = 10 000 MPa
- porfyroidy M = 12 000 MPa
- sericitické fylity M = 6 000 MPa
- ložisková výplň M = 14 000 MPa



Ako výstupné hodnoty z riešenia tohto variantu v prílohe 5 je výpis maximálneho hlavného napätia ( $\sigma_1$ ) a v prílohe 6 výpis minimálneho hlavného napätia ( $\sigma_2$ ).

Poznámka: - tlakové napätia majú znamienko mínus

- ťahové napätia znamienko +

Výpisy veľkosti napätí sú v MPa pričom ide o hodnoty zaokruhlené od 0,5 smerom dole, od 0,51 smerom hore. Zvýšenie presnosti výpisu by spôsobilo neprehľadnosť čítania. Z toho vyplýva, že v prvkoch kde je napätie -0 v skutočnosti je tam napätie ťahové v rozsahu 0 až -0.5.

Zároveň upozorňujeme, že maximálne hlavné napätie  $\sigma_1$  v okolí žily nemožno stotožňovať s vertikálnym napätím a minimálne  $\sigma_2$  s horizontálnym napätím. Jednoznačnú orientáciu poskytuje grafický výstup smerov hlavných napätí, ktoré udávajú dve navzájom kolmé úsečky a svojou veľkosťou zároveň graficky zobrazujú veľkosť napätí. Zobrazit' v čitateľnom rozsahu smery hlavných napätí s veľkosťou úsečiek odpovedajúcou veľkosti napätí nie je možné v celom rozsahu modelu kde veľkosť napätí sa pohybuje od 0 do 20 MPa. Z tohto dôvodu v prílohe 7a sú zobrazené smery hlavných napätí nad hornou hranicou dobývania na detaile, ktorého polohu v modeli identifikuje malá lokalizačná schéma (poloha a veľkosť detailu v modeli je vynesená čiarkovane). Rovnako, ale v inom merítku, je zobrazený priebeh napätí v oblasti spodnej hranice dobývania (7b).

Z dôvodu lepšej čitateľnosti aj číselnej veľkosti napätí na detailoch v prílohách 7c a 7d je výpis hodnôt  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  v desiatkach kPa v oblasti hornej hranice dobývania (v týchto prílohách napr. hodnota -775 odpovedá -7,75 MPa).

Z dokladovaných výsledkov modelovania variantu 1 vyplývajú tieto podstatné závery:

1. V nadloží takto odrúbavanej žily sa vytvára odľahčená zóna klenbovitého tvaru, ktorá z ideálneho tvaru klenby je deformovaná tým, že v nadloží žily sa nachádzajú 3 nepravidelne kontúrované typy hornín s rozdielnymi hodnotami modulu deformácie a Poissonovho čísla. Odľahčenú oblasť možno vymedziť ako oblasť, v ktorej v dôsledku rúbania žily sa indukujú ťahové napätia (kladné hodnoty  $\sigma_2$  v prílohe 6 okontúrované idealizovanou klenbou čiarkovane). Za odľahčenú možno však považovať širšiu zónu, v ktorej došlo k zníženiu veľkosti  $\sigma_2$  v porovnaní s napäťovým stavom pred rúbaním (schematicky je zobrazená plnou čiarou vychádzajúcou z koncových bodov odrúbanej plochy a prebiehajúcou paralelne s čiarkovaným priebehom).

Ak berieme do úvahy konštatovanie Doc. Ing. T.Sasváriho, CSc., že bridličnatosť prebieha subparalelne so smerom žily (čím vzniká dojem že ide o ložnú žilu), potom treba predpokladať, že pri bezpilierovom rúbaní na väčšej úklonnej hĺbke bez základky bude dochádzať k opadávaní nadložia (pri strmom úklone aj podložia) a k znečisťovaniu rúbaniny. Sú splnené všetky predpoklady preto, aby postupným opadávaním došlo k úplnému vyplneniu vyrúbaného priestoru závalom. Možno predpokladať, že na opadávanie budú náchylné sericitické fylity i porfyroidy.

Aký vplyv zavaľovanie nadložia by malo na stabilitu povrchu možno s dostatočnou presnosťou odhadnúť z tejto úvahy. Koeficient okamžitého nakyprenia závalu z týchto hornín nebude menší než 1,4 až 1,5. Po vyplnení priestoru závalom dôjde v dôsledku jeho odporu proti stlačeniu k podopretiu



nadložia a k zastaveniu ďalšieho opadávania. Ak predpokládame, že konsolidáciou závalu dôjde k zníženiu koeficientu okamžitého nakyprenia na hodnotu trvalého nakyprenia o veľkosti  $k_t = 1,3$  až  $1,4$  potom pri priemernej odrúbanej hrúbke žily  $2,51$  m (prevzatá z výpočtu zásob) vyrúbaný priestor dokáže svojim nakyprením vyplniť a podoprieť zavalenú hrúbku nadložia o veľkosti  $6,3$  až  $8,3$  m.

Z toho vyplýva, že i pri tomto najnepriaznivejšom variante bezpilierového dobývania ani plné zavalenie vyrúbaného priestoru nemôže ovplyvniť stabilitu povrchu.

2. Ďalším veľmi podstatným záverom, ktorý možno sledovať na detaile v oblasti hornej hranice dobývania je vytváranie vzperného klenbového efektu bezprostredne nad hornou hranicou dobývania. Najvyššie hodnoty  $\sigma_1$  (príloha 7c), ale hlavne  $\sigma_2$  (príloha 7d) sa nachádzajú na vertikále nad žilou a so vzdialenosťou od tejto vertikály sa postupne zmenšujú. Vzperný klenbový efekt je schematicky zobrazený v prílohe 7a (kopíruje smer hlavného napätia). Túto skutočnosť v priebehu napätí považujeme za najpodstatnejší faktor ovplyvňujúci stabilitu nadložia nad Striebornou žilou i stabilitu povrchu. Ak totiž bližšie študujeme interpretáciu hustoty a priebehu smerných tektonických porúch nutne vzniká otázka do akej miery môžu svojou existenciou ovplyvniť stabilitu povrchu.

Z matematického modelu vysledovaný vzperný efekt v nadloží je zobrazený aj v modelovanom priečnom vertikálnom reze  $7-7'$ . Zvýšeným, hlavne horizontálnym napätím, dochádza k zovretiu kontaktov tektonických porúch, a tým k podstatnému zvýšeniu odporu proti ich vzájomnému pohybu. Vytváraný vzperný efekt spevňuje tektonicky porušené nadložie, pričom prevládajúci tlak pôsobí kolmo aj na bridličnatosť prebiehajúcu paralelne so žilou.

3. Tretí podstatný záver vyplýva z porovnania hodnôt pôsobiacich napätí s hodnotami pevnosti skúmaných typov hornín. Pre toto porovnanie sme aplikovali najčastejšie používanú Mohrovú podmienku medzného stavu porušenia. Predpokladá, že k porušeniu dochádza ak je splnená nerovnosť

$$\sigma_1 > \sigma_2 K + \sigma_{II}$$

kde  $K = 1 + \sin \varphi / 1 - \sin \varphi$ , kde  $\varphi$  je uhol vnútorného trenia.

U hornín vystupujúcich v riešení uhol vnútorného trenia nebol stanovený. Existuje však celý rad údajov, ktoré potvrdzujú, že u týchto hornín sa môže pohybovať v rozmedzí  $35$  až  $40^\circ$  (horniny bez mäkkých ílových minerálov s prevládajúcim kremeňom). Vo výpočte uvažujeme s  $\varphi = 35^\circ$ . Najvyššie hodnoty napätí nad hornou hranicou dobývania sa nachádzajú v elemente nad žilou a dosahujú

$$\sigma_1 = 9,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 5,8 \text{ MPa}$$

Z tabuľky 1 pre kvarcity  $\sigma_{II} = 98 \text{ MPa}$ . Po dosadení do podmienky medzného stavu obdržíme



$$9,8 < 5,8 \times 3,69 + 98$$

$$9,8 < 182$$

Z pomeru ľavej a pravej strany môžeme stanoviť stupeň bezpečnosti proti porušeniu tlakom

$$N = 182 / 9,8 = 18,6.$$

Proti tejto úvahe možno namietat', že uvažované hodnoty  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  pôsobia v ťažisku elementu, čiže vo väčšej vzdialenosti od obvodu dobývky. Ak pripustíme, že na obvode  $\sigma_1$  dosiahne dvojnásobnú hodnotu a  $\sigma_2 = 0$  aj v tomto prípade dosiahneme dostatočnú bezpečnosť.

$$2 \times 9,8 < 98$$

$$19,6 < 98$$

$$N = 98 / 19,6 = 5$$

K porušeniu by mohlo dôjsť len vtedy, ak by pevnosť horninového masívu v dôsledku štruktúrneho oslabenia bola menšia než 1/5 laboratórne stanovenej pevnosti, čo u tohto horninového typu nemožno predpokladať. Z uvedeného vyplýva, že aj v krajnom prípade bezpilierového rúbania poloha pevných kvarcitov zabezpečuje stabilitu povrchu.

V súvislosti s popísanou kontrolou možnosti vzniku porušenia polohy kvarcitov tlakom nad hornou hranicou dobývania treba zdôrazniť, že skutočné hodnoty napätí obdržané z modelu sú väčšie než tie, ktoré budú v skutočnosti pôsobiť. Ešte raz pripomíname, že model ako rovinný rez modeluje stav, ktorý by bol plne reálnym len za predpokladu rúbania modelovaného priestoru je na veľkej smernej dĺžke, a to aspoň 2 krát väčšej ako je modelovaná hĺbka. Razením smernej otvárkovej chodby na 8.obzore bola jednoznačne overená smerná dĺžka žily len cca 210 m a predpokládame, že na 7.obzore nebude väčšia.

4. Okrem smernej tektoniky, ktorá je v oblasti Striebornej žily dominantnou, ložisko je porušené aj druhým priečnym tektonickým systémom so smerom V-Z. Obidva systémy vytvárajú blokovú stavbu a nemožno vylúčiť, že pri bezpilierovom rúbaní alebo pri rúbaní s ponechávaním len technologických ochranných pilierov s krátkou časovou stabilitou nedôjde ku kryhovému pohybu väčších blokov z nadložia aj keď len s obmedzenou veľkosťou posunu danou odrúbanou hrúbkou. Z týchto dôvodov tento postup odrúbavania neodporúčame.

## VARIANT 2

Druhý variant postupu odrúbavania Striebornej žily eliminuje v podstatnom rozsahu nedostatky popísané vo vyhodnotení 1. variantu. Uvažuje s ponechaním dvoch bariérnych pilierov veľkých rozmerov, ktoré



dobývateľnú úklonnú hĺbku rozčleňujú na tlakovo izolované oblasti, a to v centrálnej oblasti smerného rozsahu žily, kde táto hĺbka je najväčšia.

Ponechanie bariérnych pilierov sme navrhli v geologických blokoch, v ktorých bol prieskumom overený menší obsah úžitkovej zložky. Veľkosť bariérnych pilierov navrhujeme v celom výškovom rozsahu obzoru. Pilieri sme situovali do geologických blokov, ktoré sa nachádzajú medzi rudnými stĺpmi interpretovanými Masarčíkom (1994) a Sasvárim (1996) (viď kapitola 1) a to:

1. bariérny pilier medzi 11. a 10.obzorom v geologických blokoch (10-11)-09 a (10-11)-10
2. bariérny pilier medzi 12. a 11.obzorom v geologických blokoch (11-12)-06 a (11-12)-07.

U obidvoch bariérnych pilierov veľkosť nosnej plochy je 50 x 200 m. Predpokladáme, že svojím odporom proti stlačeniu vytvoria trvalú časovo neobmedzenú podporu medzi nadloží a podloží žily a zamedzia možnosti vzniku závalu blokového charakteru.

Vplyv ponechania týchto pilierov na napäťovo-deformačný stav v nadloží a podloží žily, ale hlavne nad hornou hranicou dobývania sme rovnako ako u variantu 1 modelovali metódou konečných prvkov v tom istom priečnom profile 7-7°.

Matematický model variantu 2 sa od variantu 1 odlišuje tým, že medzi 10. a 11.obzorom je ponechaný bariérny pilier o výške 50 m.

Výstupnými parametrami z tohto variantu sú tie isté parametre ako u variantu 1. V prílohe 8 a 9 je veľkosť maximálneho a minimálneho napätia v celom modele v [MPa]. Na detailoch v prílohe 10a sú smery hlavných napätí v oblasti hornej hranice dobývania a bariérneho piliera, v prílohe 10b v oblasti bariérneho piliera a spodnej hranice dobývania. Prílohy 10c a 10d udávajú veľkosť  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  v oblasti hornej hranice dobývania, prílohy 10e a 10f veľkosť  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  nad a pod bariérnym pilierom v desiatkach kPa.

Z vyhodnotenia výsledkov modelu vyplývajú tieto dôležité závery:

1. Ponechaním bariérneho piliera dochádza k rozdeleniu tlakového poľa v nadloží a podloží Striebornej žily na dve relatívne samostatné oblasti. V nadloží nad vyrúbanými blokmi nad 10.obzorom sa podobne ako u variantu 1 vytvára odľahčená oblasť a vzperný klenbový efekt, ktorý smermi hlavných napätí najlepšie ilustrujú prílohy 10a, 10b. Zaťaženie z nadložia v podstatnom rozsahu preberá na seba bariérny pilier. Aj u tohto variantu treba predpokladať opadávanie nadložia a znečisťovanie rúbaniny a vyplnenie vyrúbaného priestoru závalom. Ochrana rúbaniny pred nadmerným znečistením si pravdepodobne vyžiada ponechávanie technologických ochranných pilierov, či už vo forme nadchodbových pilierov alebo stropných pilierov o takej hrúbke, ktorá bude garantovať ich stabilitu aspoň po dobu odťaženia zásob rúbaniny z aktívnych dobývok.

2. Aj u tohto variantu možno pozorovať vytváranie vzperného efektu nad hornou hranicou dobývania. Rozdiel oproti variantu 1 je v tom, že koncentrácia napätí nie je tak výrazná ako u variantu 1. Z príloh 10c a 10d možno vyčítať, že najvyššie hodnoty napätí nad hornou hranicou dosahujú

$$\sigma_1 = 6,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 4,67 \text{ MPa}$$



Z tohto dôvodu stupeň bezpečnosti proti porušeniu tlakom u tohto variantu sme nestanovili.

3. Bezpečnosť ponechávaných bariérnych pilierov proti porušeniu tlakom je tiež veľmi vysoká. Najvyššia hodnota  $\sigma_1$  je pri spodnom okraji piliera  $\sigma_1 = 16,52$  MPa a jej odpovedajúca hodnota  $\sigma_2 = 5,14$  MPa. Pevnosť v tlaku ložiskovej výplne (z tabuľky 1)  $\sigma_{II} = 124$  MPa a uhol vnútorného trenia stanovujeme hodnotou  $\varphi = 35^\circ$ .

Z týchto hodnôt možno písať podmienku medzného stavu porušenia

$$16,52 < 5,14 \times 3,69 + 124$$

a z nej stupeň bezpečnosti proti porušeniu tlakom

$$N = 143 / 16,52 = 8,65$$

Túto hodnotu stupňa bezpečnosti považujeme za dostatočne vysokú aj za predpokladu, že pevnosť ložiskovej výplne je nižšia než pevnosť stanovená v laboratórnych podmienkach na hrubokryštalickom siderite.

Tlak na bariérny pilier z nadložia sa prenáša cez kremíto sericitické fylity. Z tohto dôvodu treba posúdiť ich stupeň bezpečnosti proti porušeniu tlakom. Najvyššie hodnoty v nich pôsobia pri hornom okraji bariérneho piliera a dosahujú hodnoty

$$\sigma_1 = 9,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 5,09 \text{ Mpa}$$

Pevnosť v prostom tlaku z tabuľky 1 je  $\sigma_{II} = 58$  MPa.

Uhol vnútorného trenia predpokladáme nižší  $\varphi = 30^\circ$ .

$$9,86 < 5,09 \times 3 + 58$$

$$N = 73,3 / 9,86 = 7,4$$

Z výpočtu vyplýva, že nebude dochádzať k porušovaniu a vypadávaní hornín z kontaktnej plochy piliera s nadložím.

Podobne vysoký stupeň bezpečnosti dosiahli by sme aj pri kontrole porušenia porfyroidov na kontakte s pilierom.

4. Z výsledkov modelovania a ich rozboru vyplýva, že pri ponechaní bariérnych ochranných pilierov dobývacie bloky nad 10.obzorom a pod 11.obzorom bolo by možné vyrábať aj bez ponechávania technologických pilierov. Upozorňujeme však, že v prípade likvidácie týchto pilierov bude dochádzať k opadávaniu nadložia i podložia a k znečisťovaniu rúbaniny. Preto je viac pravdepodobné, že táto skutočnosť si vynúti ponechanie stropných pilierov dobývok, ktoré budú zabráňovať presypávaniu závalu z vyšších na nižšie obzory a tiež podstatne ovplyvňovať stabilitu bezprostredného nadložia a podložia.

#### POZNÁMKA:

V závere vyhodnotenia výsledkov matematického modelovania považujeme za potrebné zdôrazniť, že



dosiahnuté výsledky a ich číselné hodnoty nemožno absolutizovať a považovať ich za rovnako presné pre všetky časti smerného rozsahu žily. Ak by sme rovnako odmodelovali ďalšie priečne rezy s iným priestorovým rozložením horninových typov a s inou konfiguráciou žily obdržali by sme odlišné výsledky. Pretože sme pre modelovanie vybrali rez, ktorý považujeme za najnepriaznivejší vo vzťahu k ochrane povrchu pred vplyvmi dobývania konštatujeme, že v ostatných rezoch výsledky by boli priaznivejšie (väčšia hĺbka pod povrchom, menší výškový rozsah žily).

## 2.5. ZÁVER

1. Ochrana povrchu pred vplyvmi dobývania je dostatočne zabezpečená aj pri dobývaní s otvoreným vyrúbaným priestorom za podmienky ponechania vymedzených bariérnych ochranných pilierov.

2. Smerný posun situovania bariérnych pilierov, resp. ich členenie na väčší počet smerovo kratších pri zachovaní ich celkovej smernej dĺžky (vzhľadom na upresnenie obsahu užitočnej zložky) je možný len po opätovnom geotechnickom posúdení, a to riešiteľmi tejto štúdie.

3. V prípade nutnosti prechodu na výstupkové dobývanie so základkou z dôvodu nestability otvoreného priestoru už v procese rúbania dobývky, a tým neúnosného znečisťovania rúbaniny nutnosť ponechania bariérnych pilierov nie je opodstatnená.