



## Posúdenie stability geoprostredia vo vzťahu k dobývaniu

*Michal Maras<sup>1</sup> a Viliam Bauer<sup>1</sup>*

### *Evaluation of the mining related geoenvironment's stability*

*The paper deals with the stability of the Silver vein of the Mária deposit in Rožňava in the connection with proposals of stoping methods, having the aim to safeguard the rational mining out the deposit. The stoping methods proposed respected all the conclusions of the model geomechanical investigation. For various parts of the vein, the stoping methods considering not only mining-technical and mining-geological conditions, but also the advance of selective extraction of blocks were proposed.*

**Key words:** stability, geomechanical investigation, mathematical modelling, mining, stoping methods.

### Úvod

Strieborná žila na ložisku Mária v Rožňave sa ukazuje na základe ekonomického posúdenia ako jedna z mála perspektívnych oblastí hlbinného dobývania nerastných surovín na Slovensku. Sledované kvantitatívne a kvalitatívne ukazovatele Striebornej žily, predovšetkým však vysoký obsah Ag-rudy a prognóza reálneho zrudnenia v celom rozsahu žily, zodpovedajú ekonomickým kritériám a požiadavkám pre rozvoj ťažobných aktivít v tejto ložiskovej oblasti. Napriek tomu, že ložisko Mária v Rožňave bolo v konzervácii už niekoľko rokov, na základe technicko-ekonomických štúdií, vypracovaných viacerými nezávislými inštitúciami doma a v zahraničí, sa postupne dospelo k názoru, že je možné obnoviť selektívnu ťažbu rudy - tetraedritov na Striebornej žile. Na posudzovaní racionálneho dobývania tejto žily sa podieľala aj Katedra dobývania ložísk a geotechniky F BERG (Hatala et al., 1996). Na našom pracovisku sa už niekoľko rokov venujeme modelovému výskumu dobývania rudných a nerudných ložísk, máme k dispozícii špecializované a univerzálne programové prostriedky pre modelovanie technicky a ekonomicky optimálnych návrhov dobývania, ako aj pre riešenie a modelovanie geomechanických a geotechnických problémov, súvisiacich s dobývaním ložísk. Táto skutočnosť umožnila pracovníkom našej katedry riešiť problematiku racionálneho vydobytia zásob Striebornej žily a navrhnúť taký systém dobývania, ktorý rešpektuje súčasný stav znalostí o ložisku a súčasné technické možnosti v etape prípravných, dobývacích a likvidačných prác.

### Stabilita geoprostredia

Možnosť racionálneho vydobytia Striebornej žily je daná overenými vysokými obsahmi medi a striebra, ktoré sú porovnateľné s obsahmi niektorých svetových ložísk týchto kovov. Žila Strieborná je súčasťou rožňavského rudného poľa, situovaného v južnej časti Spišsko-gemerského rudohoria. Bola zistená vyhľadávacím prieskumom v sideritovej žilnej výplni s veľkým zastúpením tetraedritu a overená v smernom rozsahu o dĺžke 1 350 m. Hĺbkový dosah bol stanovený na približne 500 m (obr.1). Pre modelovanie geomechanickej situácie na predmetnej žile, ktorá má rozhodujúci vplyv na optimálny model ťažby a rozvoj ťažobných aktivít, bolo predovšetkým potrebné stanoviť výškové ukončenie žily Strieborná. Po jeho určení, na základe priestorovej distribúcie úžitkových zložiek, bolo možné navrhnúť postup dobývania nad 8. a 7. obzorom, ktorý predstavuje kritickú hranicu ťažby na ložisku v jeho centrálnej časti.

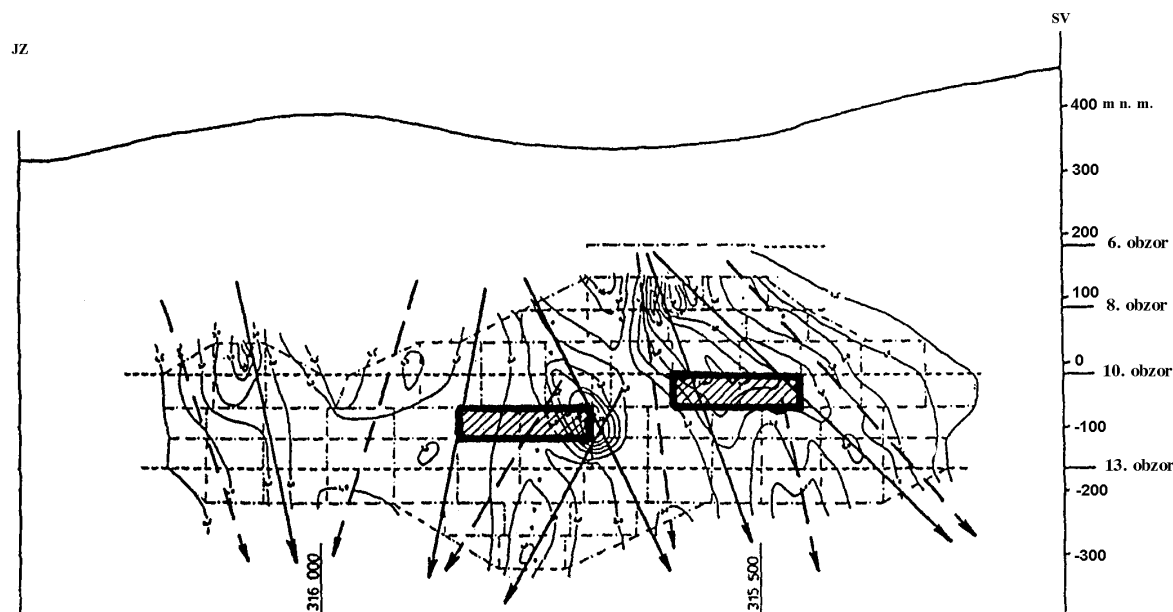
V súvislosti s výškovým ukončením žily bola upresnená horná hranica dobývania pod povrchom, ktorej minimálna hodnota je 180 m. Táto hodnota zároveň ovplyvnila výber dobývacích metód (DM) pre vyrúbanie zásob medzi 8. a 6. obzorom. Do úvahy prichádzali predovšetkým dve triedy dobývacích metód, a to:

- a) dobývanie s otvoreným vyrúbaným priestorom,
- b) dobývanie so zakladaním vyrúbaného priestoru.

Na základe modelového výskumu boli rozpracované návrhy dobývacích metód pre vyrúbanie zásob nad jednotlivými obzormi, až po kritické rúbanie nad siedmym obzorom. V prvej fáze bola navrhnutá dobývací metóda – výstupkové dobývanie s cudzou základkou, ktorá by svojou technológiou priamo zabezpečovala stabilitu povrchu. Vzhľadom k zmeneným výškovým pomerom zrudnenia, t.j. posunutiu výškovej hranice bližšie k povrchu, nebolo možné uvažovať s touto dobývacou metódou bez jej modelového overenia. Nakoľko ani technické, ani technologické parametre tejto dobývacej metódy by neumožnili zabezpečiť požadovanú vysokú výkonnosť rúbania v ťažobných blokoch, boli v modelovom výskume prehodnotené len varianty rúbania zásob s ponechaním otvoreného vyrúbaného priestoru.

<sup>1</sup> Ing. Michal Maras, CSc. a Doc. Ing. Viliam Bauer, CSc., Katedra dobývania ložísk a geotechniky Fakulty BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 19  
(Recenzovali: Prof. Ing. Ján Fabián, CSc. a Ing. Viliam Gonos)

Metódou konečných prvkov bol stanovený napäťovo-deformačný stav pre celé geoprostredie Striebornej žily, od povrchu, po 13. obzor, pre dva varianty jej odrubávania. Obidva navrhované varianty predstavujú rúbanie v ťažobných blokoch metódou bez zakladania vyrúbaných priestorov.



Obr.1. Pozdĺžny rez ložiskom s vyznačením bariérnych pilierov (Sasvári et al., 1996).

Variantne bolo posúdené rúbanie s ponechávaním tenkých technologických pilierov s obmedzenou časovou stabilitou a s ponechaním veľkorozmerových bariérnych pilierov.

Modelovým výskumom sa dokázalo, že predmetnú žilu je možné dobývať aj dobývacími metódami s otvoreným vyrúbaným priestorom. Na základe posúdenia geomechanickej situácie na ložisku bolo možné rozpracovať návrh niekoľkých variantov dobývacích metód. Pre modelové riešenia simulácie postupu ťažby na celom ložisku v rámci POPD sú zaujímavé tie varianty, ktoré svojou výkonnosťou a výrubnosťou spĺňajú predpoklady pre dosiahnutie požadovanej ročnej ťažby na ložisku. Sú to hlavne tie DM, pri ktorých sa môžu uplatniť výkonné dobývacie komplexy systému banskej bezkofajovej mechanizácie.

### Posúdenie stability geoprostredia pomocou matematického modelovania

Pri určovaní dosahu vplyvu dobývania na povrch, pri aplikácii dobývacích metód s otvoreným vyrúbaným priestorom, sa vychádzalo so stanovenia veľkosti napätí a deformácií v okolí vyrúbaných priestorov vo vzťahu k pevnostnej charakteristike hornín na kontakte s ložiskom. V prípravnej fáze modelovania bolo potrebné definovať petrografickú a geotechnickú charakteristiku horninového masívu v okolí Striebornej žily. Pri modelovom výskume sa ukázalo, že stabilitu povrchu pri dobývaní Striebornej žily bude ovplyvňovať hlavne hĺbka hranice dobývania pod povrchom, rúbaná hrúbka a úklon žily, pevnosť hornín nad hornou hranicou dobývania žily, charakter a pevnosť žilnej výplne a sprievodných hornín a navrhnuté dobývacie metódy, vrátane systému pilierov v ťažobných blokoch. Uvedené faktory bolo možné kvantifikovať hodnotami parametrov, ktoré sú potrebné pre modelové riešenie napäťovo-deformačného stavu v okolí vyrúbaných priestorov (Ďurove, 1994). Sú to predovšetkým objemová hmotnosť hornín  $\rho_o$ , pevnosť v prostom tlaku  $\sigma_{tl}$ , modul deformácie pri zaťažení jednoosovým tlakom  $M$  a Poissonovo číslo  $\mu$ . V tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty týchto parametrov pre hlavné horninové typy, ktoré majú rozhodujúci význam z hľadiska modelovania ochrany povrchu pred vplyvmi dobývania.

Tabuľka 1. Vstupné parametre geomechanického modelu.

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

Pevnostné a deformačné vlastnosti uvedených horninových typov bolo potrebné pre matematický model kvantifikovať a zvoliť metódu modelovania. Ako základná metóda bola zvolená metóda konečných prvkov (MKP), ktorá umožňuje zohľadniť nielen konfiguráciu terénu, ale tiež priestorovú polohu jednotlivých horninových

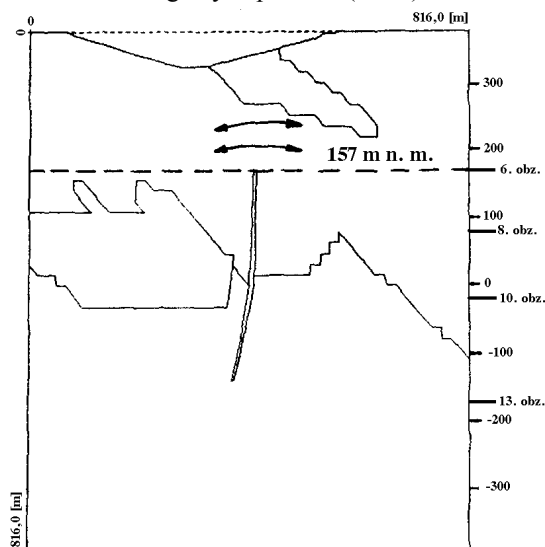
typov, pretvárne vlastnosti hornín, skutočný priebeh žilnej štruktúry a jej polohu vo vzťahu k povrchu. Použitý programový prostriedok je vhodný pre riešenie geomechanických a geotechnických úloh v priestore na základe definovaných rovinných rezov, ktoré sú účelovo delené sieťou konečných prvkov. Výsledkom riešenia je stanovenie veľkostí napätí v ťažisku každého prvku a veľkosť posunutia v dvoch smeroch vo všetkých rohoch prvku. Ako výstupné hodnoty riešenia pre úlohu posúdenia vplyvu dobývania na povrch boli sledované smery hlavných napätí a veľkosť maximálnych a minimálnych napätí pôsobiacich vo všetkých konečných prvkoch modelu. Nakoľko pri dobývaní Striebornej žily sa nepredpokladá aplikácia dobývacích metód so zakladaním vyrúbaného priestoru, boli modelované také varianty dobývania v ťažobných blokoch, ktoré uvažujú s technologickými ochrannými piliermi (medziblokové a stropné ochranné piliere, ako aj piliere výpustných systémov). Uvedené ochranné piliere však nebolo možné pri modelovaní považovať za trvalý, tiež prenášajúci nosný prvok s časovo neobmedzenou stabilitou. Riešenie bolo orientované na dva varianty modelov, ktoré zohľadnili najnepriaznivejší a čiastočne eliminovaný spôsob dobývania s ponechaním bariérnych pilierov. Obidve riešenia boli vzťahované na geomechanické parametre Striebornej žily a povrch. VARIANT 1 modeloval taký stav odubávania zásob, ktorý si nevyžaduje ponechávanie technologických ochranných pilierov. Bezpilierové rúbanie bolo modelované po celej úklonnej výške Striebornej žily. Výsledky modelovania potvrdili nasledovné závery:

- stabilita povrchu nie je ohrozená ani pri úplnom zavalení všetkých vyrúbaných priestorov na Striebornej žile,
- vytváraný vzperný efekt spevňuje tektonicky porušené nadložie, teda nedochádza k prejavom tektonického porušenia,
- nedochádza k porušeniu polohy jednotlivých horninových typov,
- existuje reálna možnosť kryhového posunu väčších blokov v nadloží (obr.2).

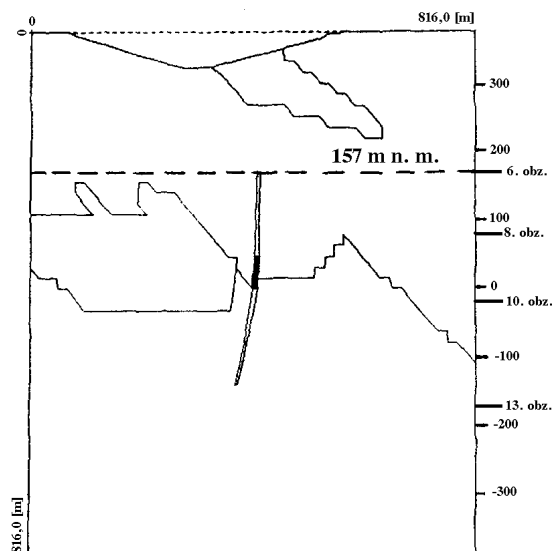
Z uvedených dôvodov bolo možné v prípade riešenia VARIANT 1 konštatovať, že dobývanie Striebornej žily spôsobom bez ponechania ochranných technologických pilierov nie je dovolené.

VARIANT 2 uvažoval vytvorenie dvoch rozmerných bariérnych pilierov, kvôli rozčleneniu vertikálneho úklonného dosahu žily. Ponechaním týchto pilierov v priestore najväčšieho hĺbkového dosahu Striebornej žily vznikli samostatné tlakovo izolované oblasti, ktoré bolo možné matematicky popísať a počítačovo modelovať. Tieto piliere boli navrhnuté v menej kvalitných častiach žily na celú výšku obzoru (medzi 11. a 10. obzorom, ako aj 12. a 11. obzorom). Z vyhodnotenia výsledkov riešenia VARIANT 2 vyplynuli nasledovné závery:

- bariérne piliere preberajú v podstatnom rozsahu zaťaženie z nadložia,
- bolo možné pozorovať vytváranie vzperného efektu, ale s menej výraznou koncentráciou napätí,
- docielila sa vysoká bezpečnosť a stabilita ponechaných bariérnych pilierov proti porušeniu tlakom (nepredpokladá sa teda vypadávanie hornín z kontaktnej plochy piliera),
- potvrdila sa možnosť odubávania zásob nad 10. a pod 11. obzorom aj bez ponechania ochranných technologických pilierov (obr.3).



Obr. 2. Bezpilierové rúbanie - VARIANT 1  
(Hatala et al., 1996)



Obr. 3. Rúbanie s ponechaním bariérneho piliera -  
VARIANT 2 (Hatala et al., 1996)

Pre navrhované technológie dobývania tetraedritovej rudy v ťažobných blokoch v obidvoch uvedených riešení vyplýva:

1. Ochrana povrchu pred vplyvmi dobývania je dostatočne zabezpečená aj pri dobývacích metódach s otvoreným vyrúbaným priestorom vtedy ak budú ponechané vymedzené bariérne piliere.
2. Smerný posun situovania navrhovaných dvoch bariérnych pilierov, resp. zvýšenie ich počtu, je možné len v prípade posúdenia geotechnického stavu, ktorý by vznikol iným usporiadaním pilierov.
3. V prípade preukázateľnej nestability dobývania s otvoreným vyrúbaným priestorom a následného prechodu na výstupkové dobývanie so základkou, nie je opodstatnené ponechanie bariérnych pilierov.

Získané výsledky umožnili optimálny výber dobývacej metódy, variantne aplikovateľnej pre rôzne časti Striebornej žily. Zároveň sa výskumom potvrdilo, že dobývanie otvorenou komorou (DOK) je vhodnou dobývacou metódou pre zvládnutie prejavov horninového masívu počas odrubávania zásob, ale s predpokladom ponechania bariérnych pilierov na zvolených obzoroch.

### Výber dobývacích metód

Súčasťou modelového výskumu dobývania Striebornej žily bolo tiež ekonomické posúdenie rozvoja baníckych aktivít so zreteľom na POPD (Plán otvárania, prípravy a dobývania) pomocou počítačového programu. Išlo o posúdenie ťažby tetraedritovej rudy na všetkých, z hľadiska zásob Ag-rudy overených a so ziskom ťažiteľných obzoroch, teda o dobývanie medzi 6. a 13.obzorom. Pri analýze ložiskovej situácie, ako aj pri analýze technicko-technologického stavu existujúcej konzervovanej bane bolo preukázané, že rozvoj ťažobných aktivít na Striebornej žile je možný len pri takom využití zásob dobývaného úžitkového nerastu, ktoré bude efektívne. To predpokladá selektívnu ťažbu a následnú výrobu koncentrátov, ktorá kompenzuje celkové náklady vynaložené na ťažbu a spracovanie rudy.

V prvej etape riešenia bola prehodnotená celková úžitková hodnota zásob Striebornej žily vo vzťahu k očakávanej realizácii všetkých baníckych aktivít v jednotlivých etapách banského podnikania - doprieskumné práce, otváarka, príprava ťažobných blokov, rúbanie blokov, ako aj následná likvidácia banskej činnosti v podzemí.

Súčasťou tohoto posúdenia bola tiež druhá etapa riešenia štúdie, vzťahovaná k spracovateľskej činnosti vyťaženej tetraedritovej rudy.

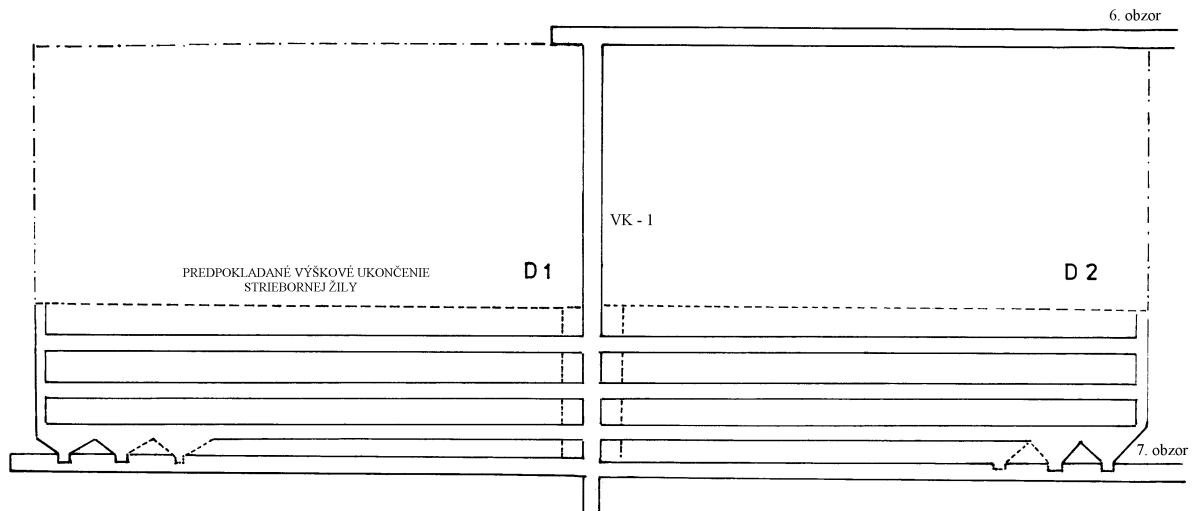
Z hľadiska takto chápaných cieľov bola štúdia zameraná na celkové ekonomické posúdenie rozvoja ťažby a komplexného metalurgického spracovania rúbaniny s výhľadom na niekoľko rokov dopredu. Simulačný počítačový model, použitý pri modelovom riešení, umožnil vyhodnotiť niekoľko variantov dobývania Striebornej žily a vybrať ten, ktorý by najlepšie zodpovedal požiadavkám ziskovej ťažby Ag-rudy. Vo všetkých simulovaných variantoch dobývania - VÝSKUM 1 (celé žilné ložisko po 13. obzor), VÝSKUM 2 (ložisko po 10.obzor) a VÝSKUM 3 (optimálny výber postupu dobývania počítačom na celom ložisku), bola prehodnocovaná ekonomická a technologická citlivosť viacerých navrhovaných postupov dobývania. Jednotlivé moduly počítačového simulačného modelu - projektovanie, plánovanie a hodnotenie všetkých navrhovaných aktivít, umožnili posúdiť všetky ekonomické aspekty plánovanej ročnej ťažby vo výške 120 kt rudy. Riešenie štúdie bolo v tejto etape zamerané predovšetkým na:

- a) *dobývanie a prípravu ťažobných blokov*  
(rozsah prípravných prác, voľba a výber dobývacej metódy, maximalizácia banského výkonu a porubového výkonu, organizácia banskej prevádzky, potreba ľudí),
- b) *realizáciu technických prác súvisiacich s dobývaním*  
(prehodnotenie existujúcich systémov bane – dopravného, vetracieho a čerpaceho, posúdenie energetickej spotreby, spotreby materiálov a zariadení),
- c) *prehodnotenie ekonomickej situácie dobývania vo vzťahu k investíciám*  
(obstarávanie banských strojov a zariadení, zabezpečovanie technologických podzemných, resp. povrchových objektov).

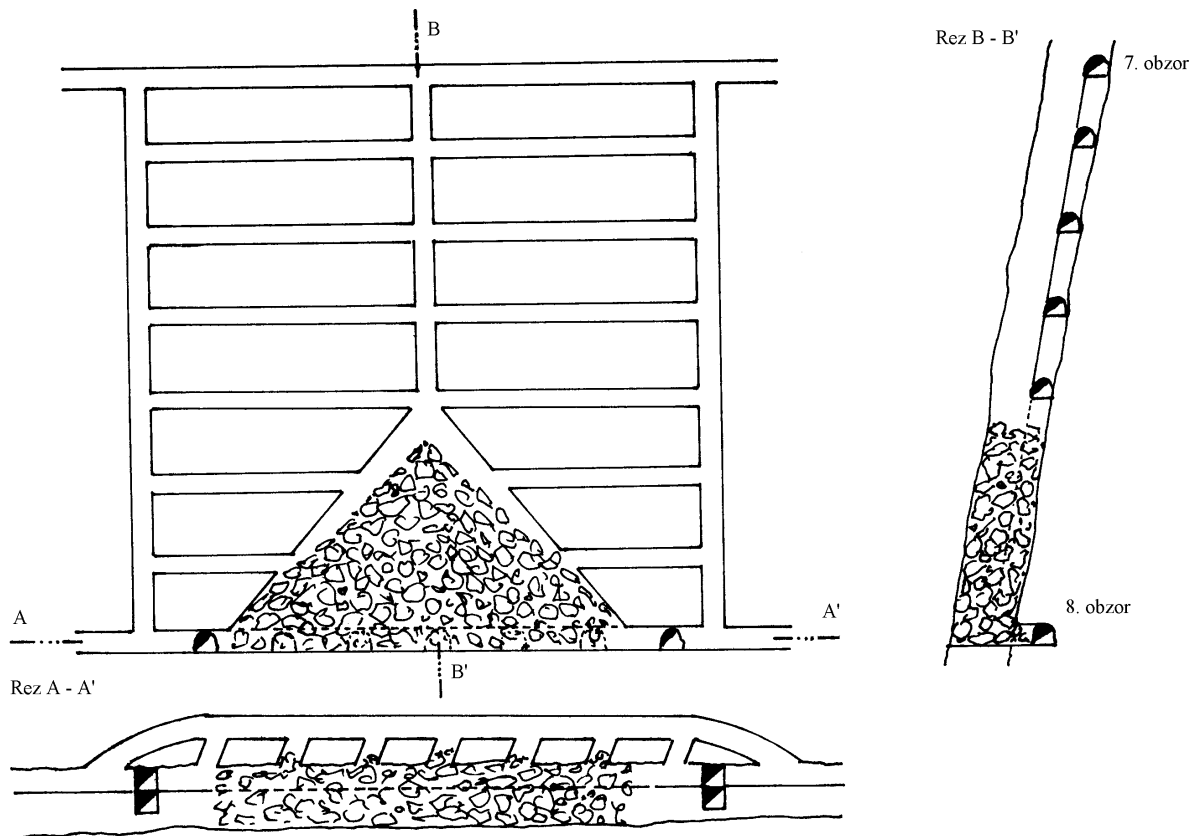
Pri hľadaní optimálneho spôsobu dobývania Striebornej žily boli rešpektované všetky závery modelového geomechanického výskumu. Pre rôzne časti žily boli navrhnuté DM, ktoré zohľadnili nielen bansko-technické a bansko-geologické podmienky rúbania, ale aj postup selektívneho odrubávania blokov, vyplývajúci z výškového a hĺbkového dosahu Striebornej žily. V rámci jednotlivých variantov dobývacích metód boli ekonomicky prehodnotené všetky technologické operácie a posúdené parametre racionality rúbania (výrubnosť, znečistenie, porubový výkon, smerné číslo prípravných prác). Návrh výkonných dobývacích metód sa premietol do celkových výkonových parametrov dobývania, ktoré sú požadované z hľadiska ročnej ťažby 120 kt.

Pre vydobytie zásob nad 7. obzorom, o predpokladanom smernom rozsahu cca 120 až 130 m a výškovom dosahu nad obzorom približne 20 m, bola navrhnutá dobývací metóda „Otvorená komora z medziobzorových chodieb s rozpojovaním krátkymi vrtmi (variant ALDERMAC)“ (obr. 4). Smerná dĺžka predpokladaného bilančného zrudnenia v tomto návrhu je rozdelená do 2 dobývacích blokov (D1 a D2). Výška medziobzoru je 5 m pre rozpojovanie krátkymi vrtmi.

Ako jedna z možných dobývacích metód pre dobývanie zásob na 8. obzore bolo navrhnuté „Dobývanie na skládku z medziobzorových chodieb s rovným dnom“ (obr. 5).



Obr.4. Dobývanie otvorenou komorou z medziobzorových chodieb - variant ALDERMAC (Hatala et al., 1996).



Obr.5. Dobývanie na skládku z medziobzorových chodieb krátkymi vrtmi (Hatala et al., 1996).

Dobývanie na skládku s rozpojovaním rudy z medziobzorových chodieb ja vysokovýkonnou a bezpečnou dobývacou metódou pre strmouklonené ložiská s úklonom nad  $60^\circ$ , s pevnými až stredne pevnými bočnými horninami a šírkou dobývky väčšou ako 2 m. Tento variant dobývania na skládku rieši niektoré nedostatky základného variantu, a to hlavne po bezpečnostnej stránke. Sú to najmä:

- bezpečnosť práce pri vŕtaní vrtov, pretože osádka odvráva vrty z medziobzorových chodieb a nie z uskladnenej rúbaniny,

- vrtanie vrtov do zásoby, čo priaznivo ovplyvňuje celkovú organizáciu dobývacieho cyklu (vrtanie a trhacie práce nie sú na sebe bezprostredne závislé),
- súbežné vykonávanie vrtacích prác v bloku a odťažba rúbaniny zo skládky (čo klasický variant nedovoľuje),
- bezpečná práca aj v prípade, keď je rúbanina v skládke náchylná na vytváranie vzperných klenieb pri jej vypúšťaní.

Na základe komplexnej analýzy dosiahnutých výsledkov modelovania dobývania, s prihliadnutím na zabezpečenie stability geoprostredia vyplýva, že na ložisku Strieborná žila je potrebné prehodnotenie organizácie práce a obsadzovania činných pracovísk. Modelový výskum svojimi výstupmi potvrdil, že je nutné:

- modifikovať dopravný systém bane (predstavuje úzke miesto z hľadiska toku rúbaniny z bane na povrch),
- zabezpečiť dvojsmennú prevádzku v bani a na povrchu počas nábehu ťažby s minimálnym počtom ľudí (znížením počtu pracovníkov v bani je možné zvýšiť bankský výkon),
- redukovať údržbárske a zabezpečovacie práce v podzemí.

### Záver

Výsledky modelových potvrdili opodstatnenosť ekonomického dobývania Striebornej – tetraedritovej žily na závode Rožňava. Obidva navrhnuté systémy dobývania rešpektujú súčasný stav znalostí o ložisku a vychádzajú zo súčasných možností technického zabezpečenia prípravných a rúbacích prác. Výskumom sa preukázalo, že napriek pomerne vysokým porubovým výkonom pri navrhovaných dobývacích metódach je výsledný bankský a celkový bankský výkon, vplyvom veľkej smennosti na obslužných činnostiach, relatívne nízky. Efektívnosť dobývania Striebornej žily možno posúdiť len na základe komplexného overenia úžitkových zložiek, vstupujúcich do hydrometalurgického procesu, ktoré je možné získať pri stanovených výkonových parametroch bane. Racionalizácia ťažby na Striebornej žile si vyžiada investície na rekonštrukčné práce v bani pri súčasnom dodržaní koncepcie selektívnej ťažby na všetkých obzoroch.

### Literatúra

- Bauer, V. a Čech, J.: Technicko-ekonomická štúdia rozvoja baníckych aktivít POPD na ložisku Ag – rudy Rožňava. *Správa zmluvného aplikovaného výskumu, TU Košice, 1997.*
- Đurove, J.: Analýza stability dlhých bankských diel uhoľných ložísk SR pomocou fyzikálneho modelovania. *Kandidátska dizertačná práca, F BERG TU v Košiciach, 1994.*
- Hataľa, J., Bauer, V., Sasvári, ., Sedlatý, V., Vrabec, F., Maras, M. a Vavrek, P.: Racionalizácia dobývania Striebornej žily na ložisku Mária Baňa na závode Rožňava. *Záverečná správa aplikovaného výskumu, TU Košice, 1996, 87 s.*
- Sasvári, T., Jančura, M. a Maťo, E.: Geologicko – štruktúrne a mineralizačné podmienky obnovenia ťažby na žile Strieborná v rožňavskom rudnom poli. *Acta Montanistica Slovaca, 1, Košice 1996, s. 5-16.*