

## Teoretické aspekty nových variantov medziobzorového závalu s čelným vypúšťaním rúbaniny

Ladislav Kačmár<sup>1</sup>

### *Theoretical aspects of new options of sublevel caving methods*

*The article deals with the proposal of the SMZ Jelšava a.s. exploitation issue. Author refers to possible options of the new methods application, which rises of the theory of gravity flow loose and blasting rocks. With mentioned methods the safety of exploitation could be higher, especially in bigger depths.*

**Key words:** draw, sublevel caving, theory of gravity flow

### Úvod

Vzhľadom na rôznorodosť vlastností klastického materiálu a zložitosť jeho pohybu, nedokážeme v požadovanom rozsahu a s požadovanou presnosťou vyjadriť zákonitosti gravitačného toku matematickým modelom. Najčastejšie sa študujú na fyzikálnych modeloch, z ktorých boli odvodené mnohé dôležité závery teoretického i praktického charakteru.

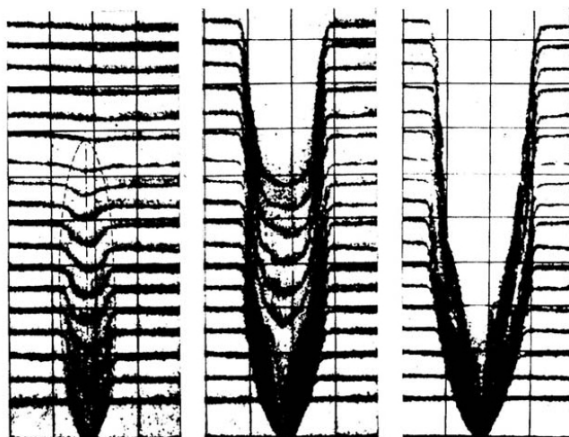
Z pozorovaní pohybu sypkej náplne zásobníka pri vypúšťaní výpustom umiestneným v strede jeho dňa, bolo dokázané, že pohybujúce sa častice môžu vykonávať

- pohyb primárny,
- pohyb sekundárny.

Primárny pohyb vzniká v dôsledku vlastnej tiaže častíc a častíc nachádzajúcich sa nad nimi pri vertikálnom zriadení materiálu. Častice, ktoré vykonávajú primárny pohyb, nemenia podstatne svoju vzájomnú polohu. Je charakteristický tým, že ho vykonáva značná časť náplne zásobníka súčasne.

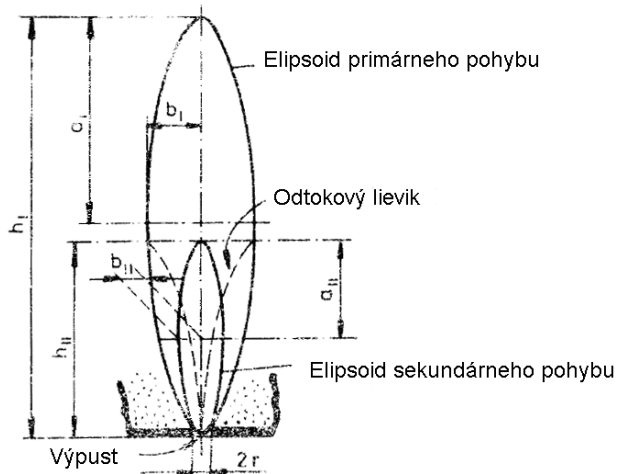
Sekundárny pohyb vykonávajú tie častice, ktoré okrem zložky primárneho pohybu vykonávajú svoj vlastný samostatný pohyb. Pri tomto pohybe jednotlivé časti menia svoju vzájomnú polohu, vychýľujú sa a otáčajú, čím dochádza k zhutneniu materiálu

Na obr. 1 sú zobrazené tri štádiá postupného vypúšťania náplne zásobníka. Z obrázka je zrejmé, že krivka ohraničujúca tú časť náplne, ktorá sa pri vypúšťaní dostala do pohybu, má v rovine tvar elipsy a v priestore tvar rotačného elipsoidu. Z výsledkov modelového výskumu vyplýva, že bezprostredne nad výpustom sa vytvára podobný elipsoid, v rámci ktorého častice vykonávajú pohyb sekundárny. Bolo dokázané, že v spodnej časti elipsoidu primárneho pohybu sa vytvára odtokový lievik, ktorého výška je totožná s výškou elipsoidu sekundárneho pohybu, (obr. 2) [3,5].



Obr. 1. Štádiá postupného vypúšťania náplne zásobníka, Kvapilov model [5].  
Fig. 1. Kvapil's model.

<sup>1</sup> Ing. Ladislav Kačmár, Ústav montánných vied a ochrany životného prostredia, Fakulta BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 042 00 Košice  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13. 3. 2009)



Obr. 2. Hlavné parametre elipsoidov [3].  
Fig. 2. General parameters of ellipsoids.

Metodologickým východiskom pre navrhovanie a projektovanie závalových dobývacích metód je všeobecne platná teória toku sypkých materiálov v zásobníkoch rudy. Projektovanie medziobzorového dobývania na zával (MODZ) vždy rešpektuje konkrétne bansko-geologické podmienky na ložisku a vychádza z predpokladu uzavretého systému dobývania v ťažobnom bloku. Charakteristickým znakom tejto dobývacej metódy je využitie frontálneho závalu v niekoľkých odťažbových chodbách súčasne. Technologické operácie vŕtania, rozpojovania a odťažby rúbaniny, s využitím výkonných mechanizmov systému BBM, sú realizované v odťažbových chodbách. Špecifickým znakom MODZ – variant dobývania bez akumuláčného priestoru (BAP) - je, že neumožňuje dosiahnuť vysokú hodnotu výrubnosti a znečistenie je vplyvom pôsobenia závalu väčšie ako pri iných dobývacích metódach. Zároveň dochádza k trvalým stratám rúbaniny pri dobývaní v podložných klinoch. Základné parametre dobývania medziobzorovým závalom pri romboidnom usporiadaní odťažbových chodieb prehľadne uvádza tab. 1 [6].

Tab. 1. Prehľad základných parametrov MODZ [6].  
Tab. 1. View on basic parameters of MODZ.

GEOMETRICKÉ PARAMETRE	PARAMETRE TOKU RÚBANINY A ZÁVALU	PREVÁDZKOVO – TECHNOLOGICKÉ PARAMETRE
Šírka odťažbovej chodby	Výstrednosť elipsoidu odťažby	Dobývanie bez akumuláčného priestoru
Zvislá výška medziobzoru	Odchýlka zvislej osi elipsoidu	Ukazovatele racionality
Výška odťažby rúbaniny	Šírka miesta odťažby	dobývania:
Osová vzdialenosť chodieb	Fragmentácia rúbaniny a závalu	-výrubnosť
Výška odťažbovej chodby	Hĺbka záberu lyžice nakladača	-znečistenie
Vzdialenosť odťažbových komínov od hranice ťažobného bloku	Uhol vnútorného trenia rúbaniny a hlušiny	-porubový výkon
Projektovaný záber vejárov	Koeficient nakyprenia	-prípravné práce
-úklon vejárov	Objemová hmotnosť úžitkového nerastu	Percentuálny podiel zásob na medziobzore
-uhol ústupu		Percentuálny podiel rudy z prípravných

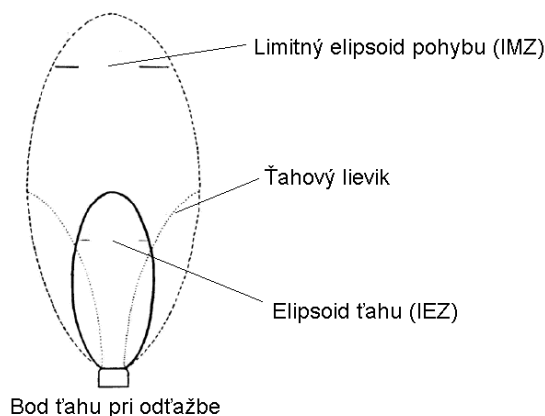
Výskumu toku rozpojenej horniny v závalových baniach sa venujú dva hlavné spôsoby opisujúce tvary, ktoré sú formované materiálom pohybujúcim sa vo vnútri dutiny. Rozliční autori opisujú tieto tvary rozličnými spôsobmi.

Prvý spôsob opisuje obrys alebo kontúry okolia pôvodnej polohy materiálu, ktorý bol ťahaný z bodu v čase. Ten bol definovaný ako elipsoid pohybu, elipsoid ťahu, elipsoid extrakcie, teleso ťahu, oblasť ťahu, plášť ťahu alebo ťahová zóna. Autor sa pridržiaval používanej terminológie z literatúry, avšak pre svoju vlastnú prácu budem používať termín *Izolovaná extrakčná zóna (IEZ)*.

Druhý koncept sa zaoberá obrysom alebo kontúrou okolia pôvodného umiestnenia materiálu, ktorý bol premiestnený z pôvodného miesta (avšak nie nevyhnutne bol premiestnený z bodu ťahu) na nejaký stanovený bod v čase. Ten bol pomenovaný medzi iným ako limitný elipsoid, elipsoid (na)kyprenia, elipsoid pohybu, alebo obal posunu. Opäť tu však pre svoju vlastnú potrebu termín *Izolovaná pohybová zóna (IMZ)*.

Tretím spôsobom je interakcia. Interakcia medzi dvoma alebo viacerými susednými bodmi ťahovej alebo pohybovej zóny je stanovená tak, že tieto zóny expandujú z ich izolovaného stavu vplyvom ťahového

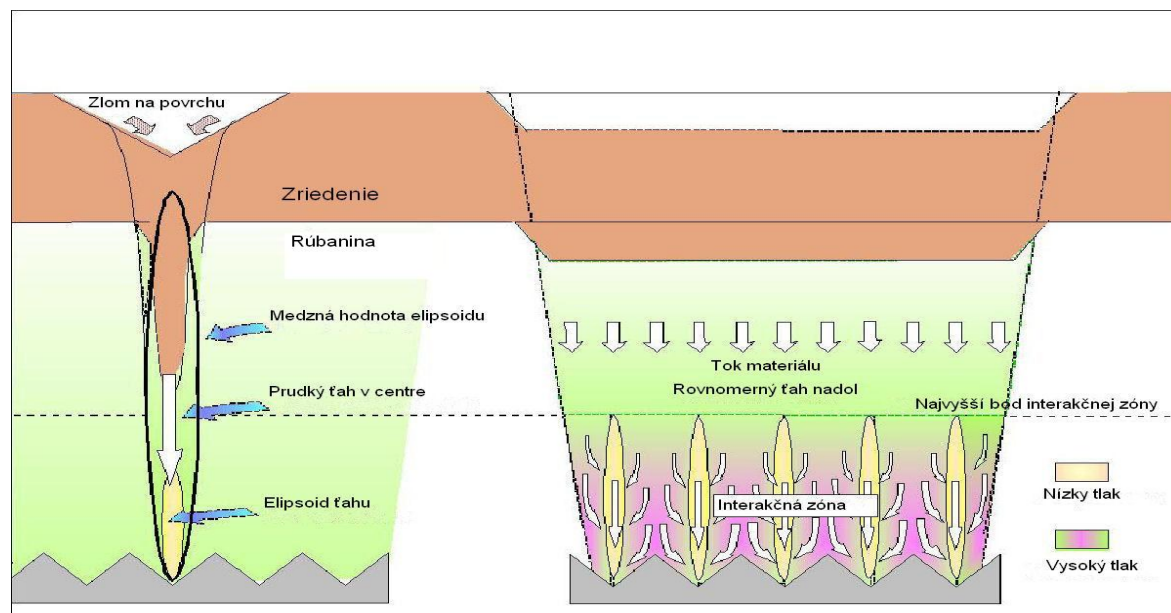
procesu, ako výsledok ťahania susediacich bodov ťahu. Ak sa tieto zóny nepretnú, vtedy sú definované ako izolované. Tieto dva spôsoby sú zobrazené na obr. 3 [4].



Obr. 3. Obalová krivka pohybu a ťahu [4].  
Fig. 3. The draw and movement envelopes.

Ďalšou teóriou, tzv. interaktívnou teóriou toku sa zaoberal Laubscher. Laubscher, Heslop a Marano vykonali experiment pri ktorom boli body ťahu rozložené po šírke izolovanej zóny ťahu (IDZ). Uvádzajú, že zóna je založená na modelových skúškach a interpretácii napätia v okolí podzemného hĺbenia. Vzájomné pôsobenie nastane, keď body ťahu sú rozložené na 1,5 násobku šírky izolovanej zóny ťahu. To znamená, že IDZ sa rozširuje. Mechanizmus pred rozširovaním bol opísaný ako porucha (zlyhanie) piliera lámaného materiálu medzi zónami IDZ. Táto porucha bola príčinou zvyšujúceho sa vertikálneho napätia a znižujúceho sa priečneho napätia vo vnútri piliera, čo viedlo k indukovaniu bočného tlaku porušeného materiálu vo vnútri piliera. Oba vertikálne aj priečne tlaky boli odmerané v modeli dynamometrom. Bolo stanovené, že tento výsledok bol potvrdený pozorovaním materiálu vyťaženého z bane a vlastnosťami materiálu zo zásobníka [4].

Týmto mechanizmom sa vytvára akási rovnomerná intenzita, rýchlosť poklesu, alebo tok hmoty alebo stály ťah nadol, zobrazený na obr. 4 [4].



Obr. 4. Laubscherova teória interaktívneho toku.  
Fig. 4. Laubscher's interactive flow theory.

Odporúčané aplikácie:

- krehké steny a tvrdá rúbanina, krehká rúbanina,
- strmý úklon,
- pokiaľ možno, rúbanina a hornina by mali byť ľahko separovateľné,
- povrch by mal byť poddajný na zosuv (nie obývaný, ani by to nemalo byť rozvodie oblasti).

## Razenie:

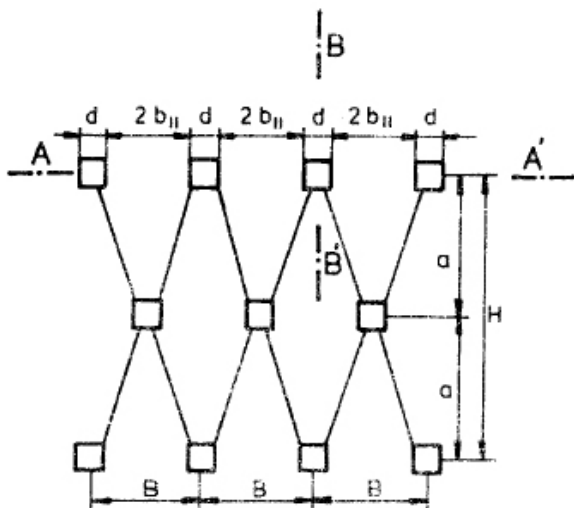
- významné, skoro 20 % rúbaniny je ťažené počas razenia,
- medziobzory sú zavedené na 7,6 – 12,2 m vertikálne a okolo 10,7 m horizontálne, (vertikálny interval závisí od presnosti vŕtania a od úklonu ložiska, horizontálna a vertikálna vzdialenosť má vplyv na excentricitu kaverny)
- veľkosť a tvar produkčného prekopy ovplyvňuje ťah (prekop má byť taký široký, ako sa len dá; má poskytovať podporu nadložíu a čelbe, ak je nadložie klenuté, tok je prevažne v centre a nie po stranách),
- vybudované chodby sú razené na konci nadložia produkčného prekopy na celú cestu nahor na ďalšie úrovne
- ťažobné obzory sú razené v sutine
- rampy majú byť razené na 15-18° produkčného obzoru na zabezpečenie prístupu

## Produkcia:

- dlhé vrty vŕtané 70-80° (celkovo 8 vrtov , v okruhu 100 metrov),
- bočné vrty, mali by byť strmšie ako 70°,
- ak nie je vŕtanie presné, mostík/klenba môže byť ponechaná vo vydobytom priestore,
- dobré vetranie je nutné pretože všetky čelby sú vlastne slepé uličky.

Efektívna šírka ťažobnej otvárkovej závisí na tvare a šírke medziobzorových prekopy. Ploché nadložie má za následok širšiu efektívnu ťažobnú šírku ako pri ťažbe s klenutým nadložíom. Očakávané zriedenie prinesie znečistenie rúbaniny okolo 50 %.

Dôležitým bodom pre výber inej dobývacej metódy sú zložité geomechanické, geotechnické aj štruktúrno-tektonické podmienky, kde môžeme očakávať veľmi sťažené až ťažké podmienky dobývania ložiska. Bude potrebné zmeniť doteraz používanú technológiu dobývania- VDZ v uvažovanej časti ložiska medzi prekopmi P1-P6, na inú pravdepodobne kombinovanú dobývaciu metódu, ktorou bude možné technologicky prechádzať aj zóny zvýšenej tektonickej instability a zvýšenej blokovej deformácie dobývacieho priestoru v predpokladaných ťažobných blokoch [1]. Komplikáciou pri likvidácii pilierov sú ťažkosti spôsobené ľudským faktorom. Preto bez riešenia úlohy "umelej" regulácie závalu nebude možné rozvinúť stratégiu nových dobývacích obzorov a sektorov v nich. Výber optimálnej dobývacej metódy z viacerých variant sa vo svetle nových poznatkov stáva nevyhnutnosťou a nie iba možnosťou [2]. Na obr. 5 je znázornené rozfárание mohutného ložiska pre dobývanie medziobzorovým závalom s romboïdným tvarom porubov.



Obr. 5. Rozfárание ložiska s romboïdným tvarom porubov [3].  
Fig. 5. View on rhombic shape of gate in deposit.

Rozmiestnenie medziobzorových chodieb zodpovedá zákonitostiam gravitačného toku pri čelnom vypúšťaní rúbaniny. Vymedzené romboïdy v zjednodušenej forme nahradzujú elipsoidy sekundárneho pohybu vznikajúce pri odťažbe rúbaniny po celej šírke chodby  $d$  vo vertikálnom reze vedenom kolmo na pozdĺžnu os porubových chodieb.

Rozhodujúcim parametrom pre rozfárание bloku v tomto prípade je výška elipsoidu  $h$ , ktorú volíme v závislosti na optimálnom dosahu dostupnej vrtacej techniky. Vo všeobecnosti výška  $h$  sa doporučuje maximálne v rozmedzí 25-30 m s ohľadom na technické možnosti dodržania stanoveného rozmiestnenia

vrtoV pre trhacie práce. Výška medziobzorov je polovičnou hodnotou zvolenej výšky romboidu  $h$ . Vzdialenosť medziobzorových chodieb je

$$B = 2c = d + 2b_{II} \quad (1)$$

kde  $d$  je šírka medziobzorovej chodby. Ďalší dôležitý parameter porubov- hrúbka naraz odstrelenej rúbaniny  $S$  vyplýva zo zvislého pozdĺžneho rezu vedeného pozdĺžnou osou medziobzorovej chodby. Pri odťazbe rúbaniny po celej šírke chodby nakladačom s hĺbkovým dosahom " $d_o$ " v rozpojenej rúbanine vyvinie sa časť elipsoidu gravitačného toku o celkovej šírke

$$S = b + \frac{d_o}{2} = b_{II} + d_o \quad (2)$$

z čoho vyplýva, že hĺbkový dosah nakladača  $d_o$  predstavuje jeden rozmer výpustu a šírka chodby  $d$  druhý rozmer obdĺžnikového výpustu.

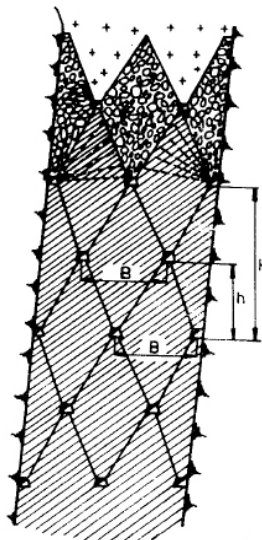
Tento variant medziobzorového závalu možno aplikovať aj v žilných ložiskách, predovšetkým pri väčšej hrúbke a väčšom úklone ložiska. Pri väčších hrúbkach ložiska ložisko rozdelíme po úklone na 2, resp. 3 rovnako hrubé časti. Z výšky romboidu stanovíme  $b_{II}$  a potom šírku naraz rozpojenej rudy  $S$ . Šírka romboidu  $B$  je daná nepravou hrúbkou ložiska, alebo jeho častí(pri väčšej hrúbke) a nemusí zodpovedať šírke zo vzťahu (1). Čím väčší rozdiel bude medzi šírkou a nepravou hrúbkou ložiska, tým bude aj nižšia výťažnosť rúbaniny v bloku.

Graf na obr. 7 udáva veľkosť strát a znečistenia v závislosti na pomere nepravej hrúbky ložiska  $B$  a výške romboidu(zvislá vzdialenosť nadložia a podložia).

Na obr. 6 je znázornené rozfárание bloku medziobzorovými chodbami pri úklone väčšom ako  $80^\circ$  v závislosti na hrúbke ložiska. Z grafu vyplýva, že optimálny pomer  $B/h$  z hľadiska veľkosti strát a znečistenia je 1: 2,25. Potom zo známej hodnoty  $B$  určíme výšku romboidu

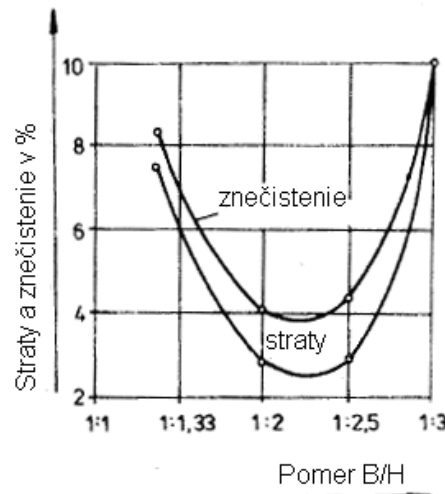
$$h = 2,25B \quad (3)$$

Zvislá vzdialenosť medziobzorov je polovičnou hodnotou výšky romboidu  $h$ .



Obr. 6. Rozfárание bloku medziobzorovými chodbami (romboidný spôsob).

Fig. 6. View on sublevel drifts(rhombic net).



Obr. 7. Graf veľkosti strát a znečistenia v závislosti na hrúbke ložiska.

Fig. 7. Graph size of losses and contamination in dependency of size of deposit.

### Záver

Úspešnosť aplikácie variantov medziobzorového závalu je závislá predovšetkým na precízności rozfárání bloku, na správnom určení parametrov gravitačného toku (vyžaduje modelové overenie pre konkrétne bansko-technické podmienky), na kvalitnej vrtacej technike s možnosťou presnej orientácie vrtov, na hĺbkovom dosahu nakladača, na prevedelnej odťažbe po celej šírke chodby [3]. Prednosti týchto variantov sú vysoká koncentrácia ťažby v bloku, možnosť súčasnej ťažby na viacerych medziobzoroch s požadovaným odstupom, možnosť súčasnej ťažby na vyšších a prípravných medziobzoroch, maximálne možné využitie mechanizmov- metóda je flexibilná, pohyb osádky je pod zabezpečeným a kontrolovaným stropom medziobzorovej chodby. Avšak všetko platí za predpokladu použitia tejto metódy pri kvalitne putujúcom závale. Negatíva tejto metódy sú: vysoké nároky na mechanizáciu práce, vysoká koncentrácia (merná spotreba) neťažných (prípravných) prác, vysoké nároky na presnosť vrtných prác, vysoké smerné číslo (razenie vnútroblokových príprav), vysoké zmiešanie odpadom z kaverny [4].

### Literatúra - References

- [1] Bauer, V., Šofranko, M., Stavníkovič, M.: Dobývanie zásob magnezitu na úrovni 220 m n.m.- technológie, metódy a systémy dobývania. *Košice 2006*.
- [2] Ďurove, J., Čížik, J.: Komplexný prepočet stabilitných podmienok a návrh stabilitného riešenia na sektore B a v oblasti bariérneho piliera., *Košice 2005*.
- [3] Hatala, J., Trančík, P.: Mechanika hornín a masívu, *Bratislava 1987*.
- [4] Halim, A.: 3D large scale physical modeling for studying interactive drawing and drawpoint spacing in Block Caving Mines.
- [5] Guest, A. R.: The Difference between interaction and interactive draw.
- [6] Bauer, V.: Stanovenie vhodnej výšky medziobzoru pri dobývaní na zával.