

## Model distribúcie užitočných zložiek a škodlivín, ako základných kvalitatívnych parametrov magnezitového ložiska Bankov – Košice a jeho prezentácia v prostredí GIS

Peter Blišťan<sup>1</sup> a Marek Pauco<sup>1</sup>

### *Model of distribution of valuable minerals and harmful pollutants as basic qualitative parameters of magnesite deposit Bankov – Košice and its presentation by GIS*

*Magnesite deposits are in principle the only non-ore mineral deposits in Slovakia, which are mined economically using underground methods. Their reserves and output represent an important part of the world reserves and output. Therefore it is necessary to pay attention to the analysis and modeling of geological-economical and environmental parameters influencing the mining of Slovak magnesite deposits.*

*The quality of raw material or deposit is in the first place among factors influencing the industrial output of magnesites. This parameter significantly influences the mining and processing technology. New methods of prospecting, exploration and reserve calculations need a re-evaluation of existing criteria for the determination of economical importance. Modern technologies are also capable utilizing previous noneconomical parts of deposit what causes a need for the re-evaluation of existing methods of the ore reserves determination and for the introduction and testing of modern methods of the ore reserves determination.*

*The usage of new computer methods in these areas will enable the automatization and rationalization of the mineral deposit extraction. This will have a positive influence on the effectivity of the mineral deposit extraction. Using GIS methods in geology in recent years increased considerably because of improving the hardware equipment but also creating the pressure of competition on the quality of outputs. Another reasons are the increasing personnel qualification and accessibility of vector and raster basic data. Unfortunately analytical possibilities are often not used sufficiently and a work is concentrated at the area of creation of graphical geological phenomenon and their presentation in the paper-form. The return of an investment put into purchasing of expensive hardware and software technologies can only be achieved of GIS data created within the range of the project.*

**Key words:** geology, magnesite, mining, geostatistic, kriging, GIS.

### Úvod

Vzhľadom na nízke svetové ceny kovov, vysoké výrobné náklady súvisiace s hlbinným spôsobom ťažby a súčasnú situáciu na trhu, je ťažba na slovenských rudných ložiskách na hranici ekonomickej efektívnosti. Magnezit je jedným z mála nerastov, ťažených na Slovensku, ktorého ťažba sa v posledných rokoch nielenže neznižila, ale má aj stúpajúcu tendenciu. Napriek týmto priaznivým podmienkam sa ďalšia otvárka, príprava a dobývanie výhradného ložiska Bankov pre negatívny hospodársky vývoj a nepriaznivú finančnú situáciu v organizácii KOMAG a.s. Košice úplne zastavila ešte v roku 1999.

Cieľom tohto príspevku je poukázať na moderné geoštatistické metódy výpočtu zásob, určovanie a overovanie hlavných ukazovateľov ložiska, ktorými sú kvalita a stav zásob. Tieto metódy sa u nás žiaľ využívajú len zriedka napriek tomu, že sú efektívnejšie a často aj presnejšie a objektívnejšie ako zaužívané postupy. Je to predovšetkým z dôvodu neznalosti ich princípu a nezaujmu mnohých riešiteľským tímom prejsť na novú, náročnejšiu metodiku.

Pojem *výpočet zásob* zahŕňa široké spektrum interdisciplinárnych činností bez explicitného vymedzenia. Patrí sem zhromažďovanie vstupných údajov a preverovanie ich presnosti a hodnovernosti, zostavovanie geologických modelov ložiskových objektov, numerické odhady množstva zásob nerastnej suroviny, resp. užitočných zložiek v ložisku alebo jeho častiach, oceňovanie presnosti odhadov zásob, ohodnocovanie geologických, banských, technických a hydrogeologických pomerov a ich vplyv na technológie využitia, atď.

Z týchto činností je práve *numerický odhad množstva zásob suroviny* kritickým miestom, ktorého výsledkom sú alebo nie sú miliardové investície. Teoretické nástroje pre odhady poskytuje dnes v uspokojujúcej miere geoštatistika. Tieto nástroje sú však pre praktické použitie zväčša zakomponované v komplexných, avšak nesmierne drahých softwarových systémoch.

### Geoštatistické spracovanie chemizmu

Z hľadiska štúdia popisu a modelovania predstavujú geologické telesá zložitý systém, pozostávajúci z relatívne samostatných čiastkových elementov, usporiadaných do priestorovej štruktúry. To znamená, že

<sup>1</sup> Ing. Peter Blišťan, PhD a Ing. Marek Pauco, Katedra geografických informačných systémov, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 9. 5. 2005)

v geologickom telese musí existovať určitá zákonitosť priestorového rozmiestnenia hodnôt veličín, ktoré ho charakterizujú.

Medzi hodnotami veličiny v rôznych bodoch poľa existuje určitý vzájomný vzťah – kontinuita, ktorú je možné vyjadriť pomocou štruktúrnych funkcií a to kovariancie a variogramu. Variogram je teda základný štruktúrny nástroj, ktorý umožňuje kvantitatívne popísať zmeny v priestore regionálnej premennej. Semivariogram je štruktúrna funkcia, popisujúca očakávaný rozdiel v hodnotách medzi párami vzoriek vzdialených od seba o  $h$  a s danou vzájomnou orientáciou. Túto funkciu môžeme popísať vzťahom:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (U(v_i + h) - U(v_i))^2 \quad (1)$$

kde :  $n(h)$  – počet párov vstupujúcich do výpočtu experimentálneho semivariogramu na vzdialenosti  $h$ ,  
 $h$  – vektor v  $n$ -rozmernom priestore,  
 $(v_i + h)$  – nesie v sebe priestor,  
 $U(v_i)$  – je konkrétna hodnota.

V mnohých oblastiach štúdia regionálnych premenných je možné stretnúť nie len kvantitatívne, ale veľmi často aj kategoriálne premenné. V takomto prípade vzniká problém odhadu pravdepodobnosti výskytu pre každú kategóriu v rámci náhodnej premennej v študovanej oblasti. Použitím indikátorového prístupu, ktorý navrhol v roku 1982 A. Journel, je možné odhadnúť takúto pravdepodobnosť. Indikátory pre danú prahovú hodnotu definujú pravdepodobnosť výskytu študovanej náhodnej premennej  $Z(x)$  nad túto prahovú hodnotu pomocou indikátora  $I[Z(x) \geq z] = 1 - I[Z(x) < z]$  pre rôzne prahové hodnoty  $z$ . Rozdelením náhodnej funkcie  $Z(x)$  rôznymi cut-off kritériami vzniknú náhodné súbory, ktorých počet je rovný počtu aplikovaných cut-off indikátorov a ktorých štruktúra sa vzťahuje k štruktúre náhodnej funkcie  $Z(x)$ . Tieto súbory sú vzájomne závislé a ich vzájomné priestorové rozloženie je veľmi dôležitou štruktúrnou charakteristikou študovanej premennej.

Ako zo základnej geoštatistickej teórie vyplýva, priestorová štruktúra študovaného regionalizovaného javu je modelovaná na základe variogramu vypočítaného z dvojíc hodnôt, oddelených vektorom  $h$  (1). Každá dvojica hodnôt vzoriek vstupujúcich do výpočtu variogramu bude  $\{0,0\}$ , ak sú obe vzorky menšie ako diskriminačná cut-off, hodnota,  $\{1,1\}$ , ak sú obe vzorky väčšie ako cut-off hodnota,  $\{0,1\}$  alebo  $\{1,0\}$ , ak je jedna vzorka väčšia a druhá menšia ako daný cut-off. (Inak povedané, hlavnou myšlienkou je, že „pôvodné hodnoty sa nahradia hodnotou 1, pokiaľ spĺňajú stanovenú podmienku - napr.  $MgO = 42\%$ , alebo hodnota presahuje zvolený limit, a hodnotou 0,“ pokiaľ tomu tak nie je. Transformované pole hodnôt slúži ako vstup pre krigovanie.)

### Konštrukcia a popis experimentálneho semivariogramu

Pri konštrukcii semivariogramu (Clark, 1979) sa vychádza zo siete prieskumných bodov, v bodoch siete je meraný chemizmus, vytvárajú sa dvojice párov vo zvolenom smere, pričom výpočet robíme podľa vzťahu (1).

Postup zostavenia experimentálneho semivariogramu je nasledovný:

- vypočítame hodnoty  $\gamma(h)$  pre rôzne vzdialenosti  $h$ ,
- pri dodržaní pravidla, že  $h$  je maximálne  $\frac{1}{2}$  diagonálnej dĺžky skúmaného územia.

Výpočtom vznikne tabuľka hodnôt  $\gamma(h)$  a  $h$ , z ktorej sa následne zostrojí graf experimentálneho semivariogramu tak, že na horizontálnej osi sú hodnoty  $h$  a na vertikálnej  $\gamma(h)$ . Vzniknuté body sa potom prepoja jednoduchou čiarou. Pravidlom je, že takýmto postupom vypočítame semivariogramy pre viac smerov a z nich sa vyberie ten, ktorý sa dá najlepšie popísať niektorým z teoretických modelov.

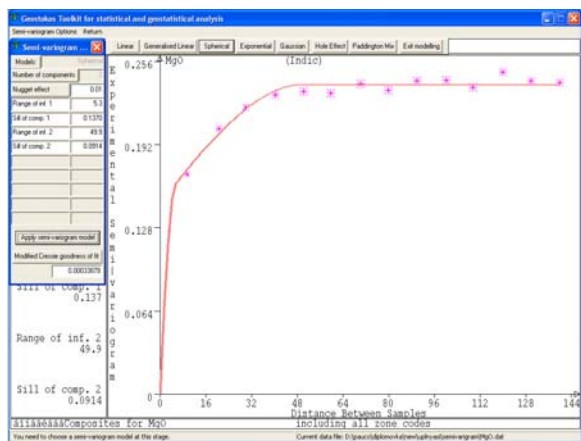
Z odhadnutých parametrov a modelu štruktúrálnej funkcie sa vypočíta priebeh teoretického semivariogramu a preveruje sa jeho zhoda s vypočítanými hodnotami semivariogramu (tj. s experimentálnym semivariogramom). Parametre a model sa upravujú až kým sa dosiahne uspokojivý výsledok.

### Nastavenie teoretického modelu na experimentálny variogram

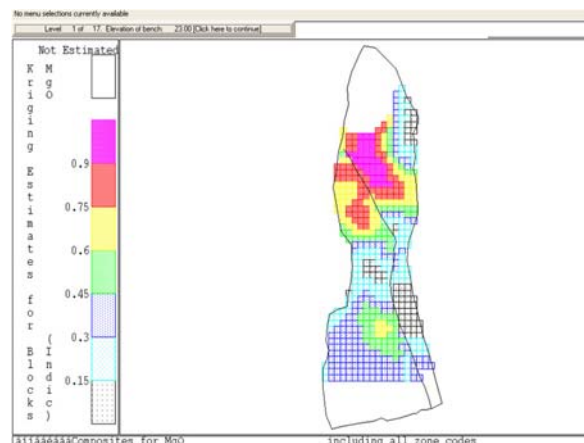
Skúsenosti dokazujú, že pri popise experimentálneho semivariogramu a jeho nahradení teoretickým modelom musia byť rešpektované nasledujúce parametre semivariogramu:

- *nugget efekt*,
- *sklon v počiatku*,
- *dosah vplyvu*,
- *prah alebo celkový rozptyl*.

Správanie sa v počiatku - nugget efekt a sklon, hrá dôležitú úlohu v nastavovaní teoretického modelu variogramu na vypočítaný experimentálny variogram a má veľký vplyv aj na výsledný odhadovací systém rovníc a jeho numerickú stabilitu. Sklon a nugget efekt sú interpolované vizuálne z prvých bodov experimentálneho variogramu. Prah je taktiež nastavovaný vizuálne na hodnotu, pre ktorú je experimentálny variogram stabilizovaný. Dosah vplyvu sa nastavuje odhadom mysleného priesečníka tangenty z počiatku experimentálneho variogramu s celkovým prahom variogramu.



Obr. 1. Semivariogram MgO 42%.  
Fig. 1. Semivariogram MgO 42%.



Obr. 2. Krigovací proces v programe Geostokos Toolkit.  
Fig. 2. Kriging process in the Geostokos Toolkit software.

### Odhad chemizmu metódou krigingu

Krigovanie je jednou z moderných a výkonných metód, vhodných na odhad chemizmu v ložisku, resp. v jednotlivých blokoch, preto že najlepšie vystihuje častú vektorovú podobu zmien parametrov distribúcie chemických prvkov. Z týchto dôvodov bola pre stanovenie obsahu úžitkových zložiek a škodlivín v ložisku vybratá práve metóda krigingu. Pri výpočtoch sa vychádzalo zo záverov geoštatistickej analýzy, popisujúcich charakter priestorovej distribúcie úžitkových zložiek a škodlivín v ložisku. Z rôznych typov krigovaní bolo ako najvhodnejšie, vzhľadom na charakter prieskumnej siete a požadovanú formu výstupu, vybraté indikátorové krigovanie.

Pre krigovanie platí vzťah:

$$T^* = \sum_{i=1}^n w_i g_i \quad (2)$$

kde:  $T^*$  - odhadovaná hodnota v konkrétnom bode B,  
 $g_i$  - známa hodnota sledovanej veličiny v  $i$ -tom bode (vzorka),  
 $w_i$  - váha pozorovania v  $i$ -tom bode.

Kritériom vhodnosti odhadu  $T^*$  voči skutočnej hodnote  $T$  je rozptyl odhadu

$$\sigma_\varepsilon^2 = 2 \sum_{i=1}^n w_i \bar{\gamma}(g_i, A) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \bar{\gamma}(g_i, g_j) - \bar{\gamma}(A, A) \quad (3)$$

kde:  $\bar{\gamma}(g_i, A)$  - priemerný semivariogram medzi každým bodom  $g_i$  zo známych hodnôt sledovanej veličiny a odhadovanou oblasťou A,

$\bar{\gamma}(g_i, g_j)$  - priemerný semivariogram medzi bodmi v množine bodov zo známych hodnôt sledovanej veličiny,

$\bar{\gamma}(A, A)$  - priemerný semivariogram medzi každým bodom v odhadovanej oblasti A.

Konkrétna hodnota sledovanej veličiny, vypočítaná krigovaním závisí od:

- geometrie vzoriek v odhadovanej oblasti,
- modelu semivariogramu,
- váh pridelených vzorkám.

Pre zaistenie optimálneho odhadu je potrebné minimalizovať chybu rozptylu odhadu:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 - \min \rightarrow \frac{\partial \sigma_{\varepsilon}^2}{\partial w_i} = 0 \quad (4)$$

Úpravou vzťahu (4) dostaneme tvar:

$$\frac{\partial \left( \sigma_{\varepsilon}^2 - \lambda \left( \sum w_i - 1 \right) \right)}{\partial w_i} = 0 \quad (5)$$

Ak položíme všetky parciálne derivácie rovné nule, dostaneme sústavu rovníc a ako výsledok získame váhy  $w_1 \dots w_n$ , pričom platí základná podmienka  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Toto metodikou bol vykonaný odhadu chemizmu na 3., 4. a 5. obzore ložiskového telesa Bankov. Ako vstupné dáta boli pre účely výpočtu zásob magnezitovej suroviny použité vzorky z prieskumných diel (vrty a banské diela), ktoré boli realizované v záujmovej časti územia v rámci predchádzajúcich geologicko-prieskumných činností. Spolu pre účely výpočtu množstva a kvality zásob magnezitovej suroviny bolo použitých 4502 vzoriek.

Odhad chemizmu bol realizovaný pre mikrobloky rozmerov 15x15x3 m. V záujmovej časti ložiska bolo pri odhade chemizmu spolu definovaných 29 795 mikroblokov. Výsledky výpočtu boli spracované do ložiskovej databázy, použitej pre vytvorenie GIS projektu.

### Výpočet zásob

Cieľom výpočtu zásob bolo na základe odhadov hodnôt chemizmu v jednotlivých mikroblochoch vypočítať kubatúry a tonáž zásob. Výpočet bol realizovaný podľa nasledujúcich empirických vzťahov:

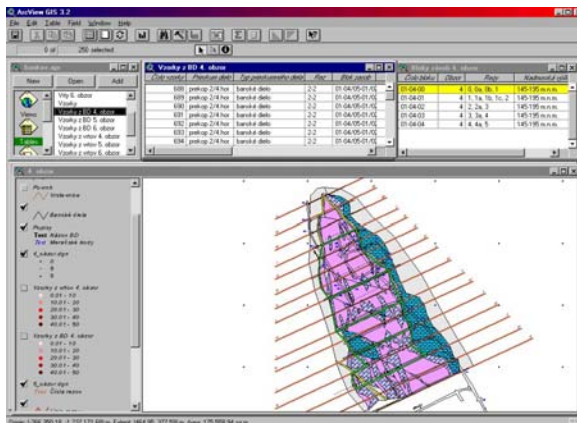
- množstvo zásob  $Q=V.v$  [t] (6)

kde:  $V$  - je celkový objem mikrobloku [ $m^3$ ]  
 $v$  - je priemerná objemová hmotnosť suroviny [ $t.m^{-3}$ ].

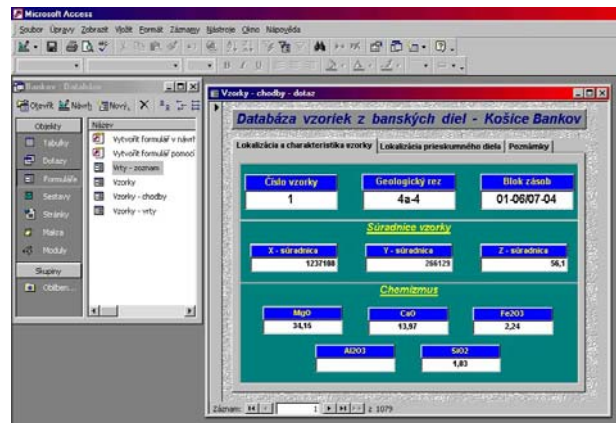
- zásoby úžitkovej zložky  $S=Q.c$  [t] (7)

kde:  $c$  - je priemerný obsah úžitkovej zložky [%].  
 $Q$  - množstvo zásob [t].

Výsledné hodnoty výpočtu zásob (objem zásob, tonáž a obsah MgO, CaO a SiO<sub>2</sub>) z ložiskovej časti Bankov boli taktiež doplnené do ložiskovej databázy.



Obr. 3. Baňa Bankov - 4. obzor.  
 Fig. 3. Mine Bankov - 4th level.



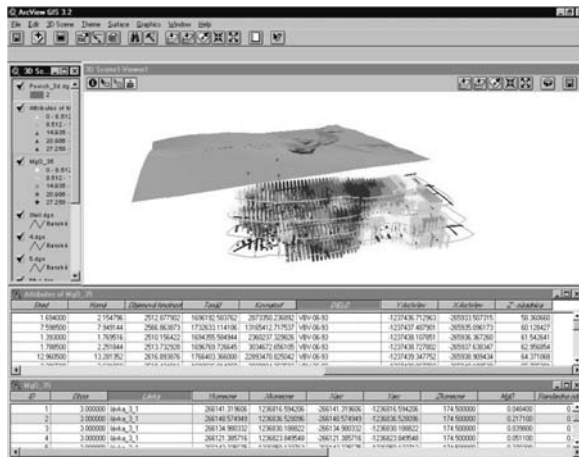
Ob. 4. Databáza vzoriek z ložiska Bankov.  
 Fig. 4. Database of samples from Bankov deposit.

### Prezentácia výsledkov výpočtu zásob v GIS

Vyrcholením celej práce bolo vytvorenie geografického informačného systému (expertného systému) ložiskových údajov, založeného na spracovaní všetkých dostupných textovo-numerických a grafických dát. Tento GIS systém využíva pri svojej práci digitálne bansko-geologické mapy (obr. 3) spolu s databázou

ložiskových dát (obr.4). Bol navrhnutý tak, aby ponúkal čo najširšie spektrum informácií o ložisku Bankov a zároveň umožnil svojim používateľom vykonávať rôzne druhy analýz nad ponúkanými dátami. Je vytvorený v prostredí ArcView, ktoré patrí v súčasnosti k profesionálnym GIS systémom, ponúkajúcim používateľom celý rad nástrojov na spracovanie a analýzu vstupných dát.

Zavedenie GIS systému do bežnej geologickej praxe by znamenalo krok vpred voči klasickým metódam spracovania a analýzy dát. Takmer neobmedzené možnosti, ktoré ponúka táto nová informačná technológia, patriaca k moderným vedným odborom súčasnosti, sú nenahraditeľnou devízou a predurčujú ju na to, aby sa v blízkej budúcnosti stala neoddeliteľnou súčasťou bežnej praxe.



Obr. 5. 3D model kvality - ložisko Bankov-Košice, časť Bankov. Prezentácia v GIS systéme.

Fig. 5. 3D modell of raw material quality in the deposit Bankov-Košice, part Bankov. The presentation in the GIS system.



Obr. 6. Zobrazenie ložiska Bankov v 3D (Mižák a Pauco, 2002).

Fig. 6. Representation of the Bankov deposit in 3D (Mižák a Pauco, 2002).

## Záver

Koncept indikátorových transformácií je jeden z najjednoduchších a (pravdepodobne) najelegantnejších v modernej geoštatistike. Žiaľ, napriek tomu sa metodika odhadu indikátorovým krigovaním (ako v podstate všetky geoštatistické metodiky) na Slovensku nepoužíva. Práve touto metódikou bol pokusne realizovaný výpočet zásob na ložiskovej časti Bankov ložiska Bankov – Košice. Na základe znalosti geologickej stavby a z dostupných dát boli na ložisku (ložisková časť Bankov) vypočítané odhady jednotlivých chemizmov pre ťažobné jednotky (mikrobloky). Z týchto hodnôt boli nakoniec vypočítané zásoby magnetitu.

Výsledky výpočtu zásob, ako aj pozícia bankových diel, geologická stavba a pod. boli spracované vo forme GIS projektu a prezentované v prostredí ArcView. Vytvorený projekt je príkladom moderného prístupu k problematike spracovania geologických dát. Zvolená forma prezentácie umožňuje podstatne efektívnejšie narábať s primárnymi ložiskovými dátami (databáza vzoriek, geologické mapy a pod.), ale predovšetkým ponúka nové možnosti pri prezentácii výsledkov výpočtu zásob. Je to hlavne vďaka analytickým a prezentačným možnostiam, ktoré obsahujú GIS systémy.

Takto realizovaný výpočet zásob a jeho prezentácia v GIS je teda novým pohľadom na ložisko a ostáva nám len dúfať, že výsledky výpočtu, ako aj samotný GIS projekt prispievajú k zlepšeniu obrazu o tomto významnom slovenskom ložisku a pomôžu pri rozhodovaní o jeho ďalšom využití.

*Táto práca bola realizovaná v rámci grantových úloh „Analýza a modelovanie geologicko-technologických parametrov nebilančných hnedouhoľných ložísk a overenie možnosti ich využitia pre podzemné splyňovanie“ agentúra VEGA, č. grantu 1/9359/02 a „Monitorovanie a modelovanie geotektonických recentných pohybov v košickej kotline v GIS z hľadiska ochrany životného prostredia“, agentúra VEGA, č. grantu c.g.: 1/2166/05*

## Literatúra - References

- Clark, I.: Practical geostatistics. Elsevier Applied Science Publishers, London 1979, 129s.  
 Mižák, J., Pauco, M.: Tvorba GIS ložiska magnetitu - semestrálny projekt. *Manuskript, archív GaM, 2002, Košice.*