

VZŤAH MAGNEZITOVÉHO ZRUDNENIA K ŠTRUKTÚRNEJ STAVBE

RELATION OF THE MAGNEZITE ORE TO THE STRUCTURAL CONDITIONS

Ladislav Vizi¹, Julián Kondela², Tibor Sasvári³, Blažej Pandula⁴

Abstrakt

Predkladaný článok sa zaoberá priestorovým modelovaním sledovaných vnútorných kvantitatívnych obsahov úžitkovej zložky MgO, a škodlivín CaO a Fe₂O₃ magnezitovej mineralizácie na ložisku Jelšava. Prezentovaný priestorový model sa sústreďuje na styk dúbravskej a mikovskej časti ložiska na úrovni obzoru 220 m n. m. Model bol vytvorený v dvojrozmernom priestore na základe geoštatistickej analýzy a geoštatistického modelovania založeného na hodnotách analýz zásekových vzoriek a jadier horizontálnych vrtov vrtných vejárov, realizovaných na stanovištiach v prekopoch obzoru 220. Výsledný model porovnáva vplyv zavedenia výsledkov geologického a štruktúrneho mapovania a interpretácie štruktúrnej stavby na úrovni obzoru 220 v podobe dvojrozmerných máp priestorovej distribúcie sledovaných vnútorných atribútov magnezitovej mineralizácie študovanej časti ložiska.

Abstract

This paper deals with the spatial modelling of quantitative contents of MgO, CaO and Fe₂O₃ in the magnesite ore on Jelšava deposit. Presented spatial models focused on eastern part (Miková) of level 220 m a. s. l. The model is created in 2D space by geostatistical analysis and modelling, based on analysis results of channel chips and cores of the horizontal drilled holes from survey drilling fans. The model compares the influence of introduction of results of the structural mapping and interpretation of the structural pattern of studied part of level 220. Comparison is based on 2D maps of the spatial distribution of the studied internal attributes of the magnesite ore of studied part of the deposit.

Kľúčové slová

štruktúrny vzorok, geoštatistika, regionalizácia, modelovanie, variabilita

1 Úvod

Geoštatistické metódy priestorového modelovania majú oproti deterministickým metódam priestorových interpolácií veľké výhody v tom, že umožňuje priamo integrovať externé geologické informácie do procesu modelovania. Geologické informácie, ako je napríklad priebeh zlomov v horninovom masíve, zvyšujú schopnosť správne interpretovať štruktúrne znaky priestorovej variability vnútorných kvantitatívnych znakov horninového masívu. Geoštatistické modely sú samo o sebe skôr popisného ako interpretačného charakteru. Na rozdiel od geologických modelov nemodelujú priamo geologické objekty, ale skôr modelujú tieto objekty na základe ich matematických

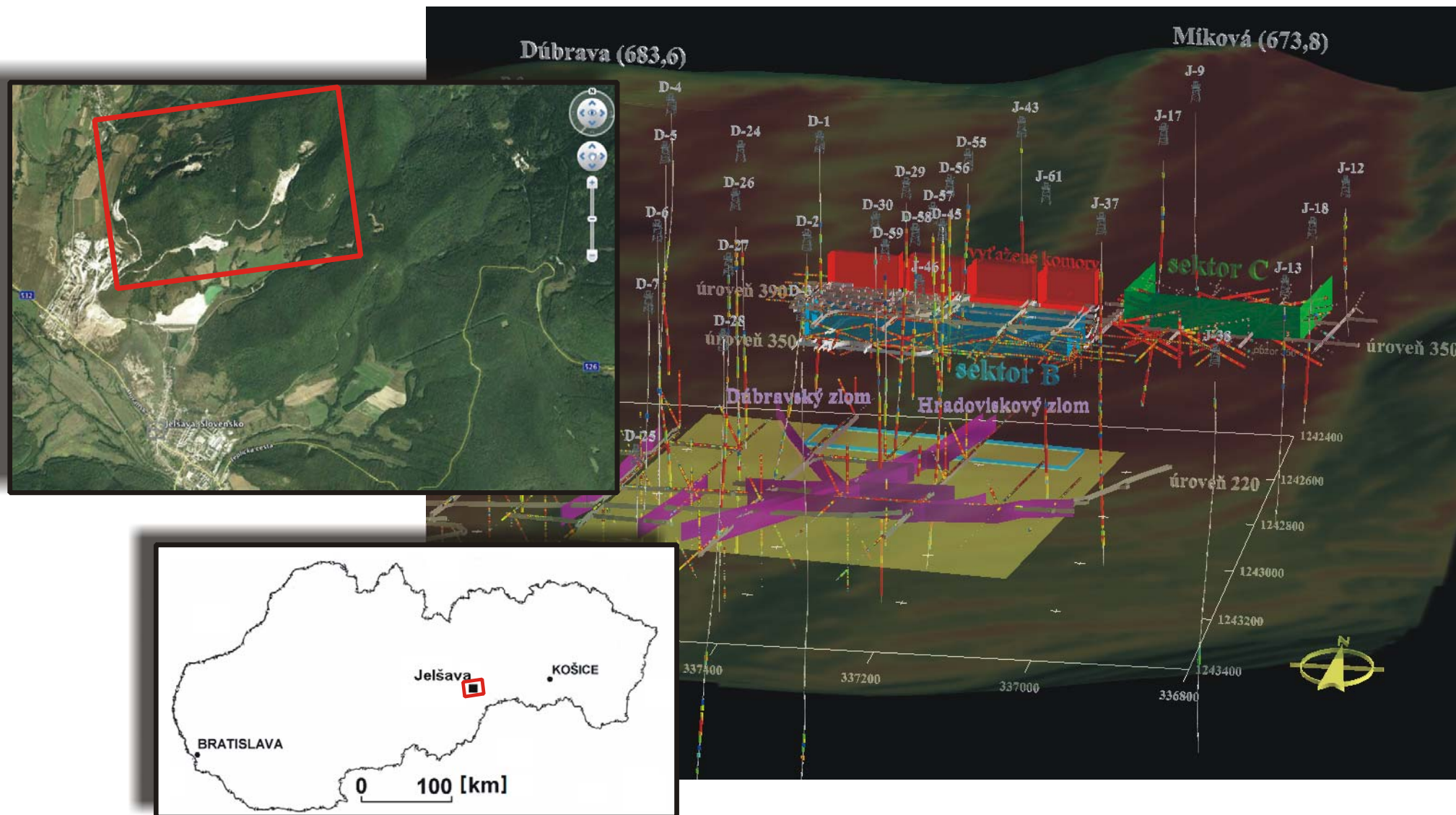
popisov (Goovaerts, 1997). Doplnenie modelu o výsledky geologického mapovania zvyšuje hodnovernosť modelu. Cieľom predkladaného článku je demonštrovať vplyv zavedenia zlomových štruktúr študovanej časti magnezitového ložiska Jelšava do modelovania priestorovej distribúcie chemických obsahov sledovaných premenných MgO, CaO a Fe₂O₃ na styku dúbavskej a mikovskej časti ložiska na horizonte 220 m n. m. Článok sa sústreďuje na štúdium vplyvu zavedenia modelu štruktútno-tektonickej stavby na model regionalizácie priestorovej variability, ktorý je základom pre následné geoštatistické modelovanie priestorovej distribúcie študovaných obsahov magnezitového zrudnenia. Zároveň porovnáva výsledky priestorových distribúcií jednotlivých obsahov na základe zobrazenia príslušných dvojrozmerných máp. Vzhľadom na podobnosť výsledkov budú prezentované len výsledky týkajúce sa obsahov MgO a CaO.

2 Vymedzenie študovaného územia a charakteristika vstupných údajov

Proces priestorového modelovania sledovaných vnútorných kvantitatívnych parametrov magnezitovej mineralizácie sa sústredil na styk dúbavskej a mikovskej časti ložiska v rámci časti obzoru 220. Na obr. 1 je v trojrozmernom priestore zobrazená modelovaná situácia s vyznačením študovanej časti ložiska na obzore na úrovni 220 m n. m. V rámci študovanej časti ložiska boli zmapované priebehy tektonických štruktúr, interpretované tieto štruktúrne merania a následne vytvorená štruktútno-tektonická mapa. Výsledná mapa bola použitá v procese geoštatistického modelovania ako sekundárna premenná. Štruktútno-tektonický model slúžil v procese modelovania ako limitujúca premenná, za predpokladu, že vytvára v priestore diskontinuity vo vývoji jednotlivých sledovaných kvalitatívnych atribútov magnezitovej mineralizácie.

Vzhľadom k použitiu geoštatistických prístupov modelovania slúži tento štruktúrny model nie len v procese samotnej priestorovej interpolácie, ale aj vo fáze modelovania priestorovej variability jednotlivých sledovaných parametrov študovaného zrudnenia. Priestorový model vybranej časti obzoru 220 sa sústredil na zobrazenie priestorovej distribúcie obsahov MgO [%], CaO [%] a Fe₂O₃ [%]. Je na mieste poznamenať, že vytvorené modely nemajú reprezentovať modely ťažiteľných zásob, či už v globálnom alebo lokálnom merítku, a rovnako nie sú ani podkladom pre výpočet zásob. Predkladané výsledky slúžia len pre vizuálnu prezentáciu priestorových zmien variability sledovaných obsahov magnezitovej mineralizácie vo vzťahu k interpretovaným štruktútno-tektonickým meraniam pre potreby rozpracovania určitých záverov týkajúcich sa genézy študovaného ložiska.

Pre vytvorenie priestorových modelov boli použité výsledky laboratórnych analýz z jadier prieskumných horizontálnych vrtov a zásekových vzoriek z prieskumných banských diel (chodby a prekopy) z vymedzenej časti ložiska na úrovni 220 m n. m. Na obr. 2 je zobrazená geologická situácia na obzore 220 (Čapo, 1994), spolu s pozíciou jednotlivých vzoriek. Modrou sú zobrazené vzorky s hodnotou vyššou ako 35% obsahu MgO a červenou s hodnotou nižšou ako 35 % obsahu MgO. Na základe tohto „kódovania“ bola vytvorená predstava o šošovkovitej stavbe magnezitového zrudnenia na ložisko Jelšava. Ako bolo uvedené, dostupné údaje kopírujú priebeh razených a vŕtaných banských diel. Smer severných a južných prekopov a horizontálnych vrtov je 7,77° azimutu. V kolmom smere sú východo-západné prekopy. Priebeh smernej chodby v rámci študovanej časti predmetného ložiska je v smere V-Z. Zeleným obdĺžnikom je na obr. 2 vyznačená študovaná časť obzoru 220. Z juhu je študovaná oblasť vymedzená tzv. „novou polohou“ a zo severu podloží. Rotácia vymedzenej oblasti je zvolená na základe generálneho smeru 7,77°.

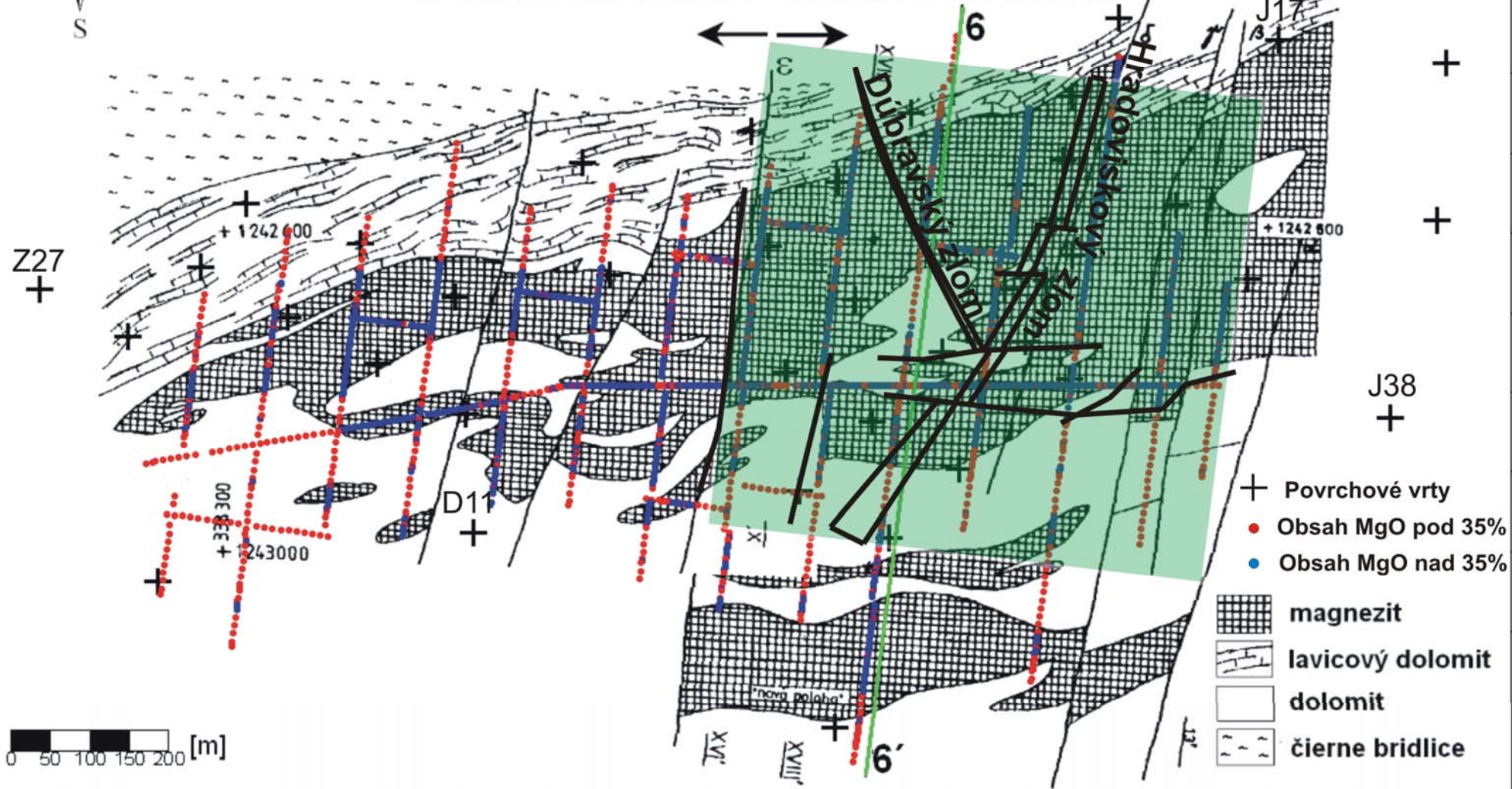


Obr. 1 Celková situácia na ložisku Jelšava s vyznačením študovanej časti obzoru 220 (žltou), a s priemetom hraníc ťažobného sektora B (modrou). Červenou farbou sú vyznačené vydobyté priestory, modrou pozícia ťažobného sektora B a zelenou sektora C. Fialovou farbou je zobrazený priebeh zmapovaných a interpretovaných tektonických štruktúr.

obzor +220 m n. m.



ložisková časť Dúbrava ložisková časť Miková



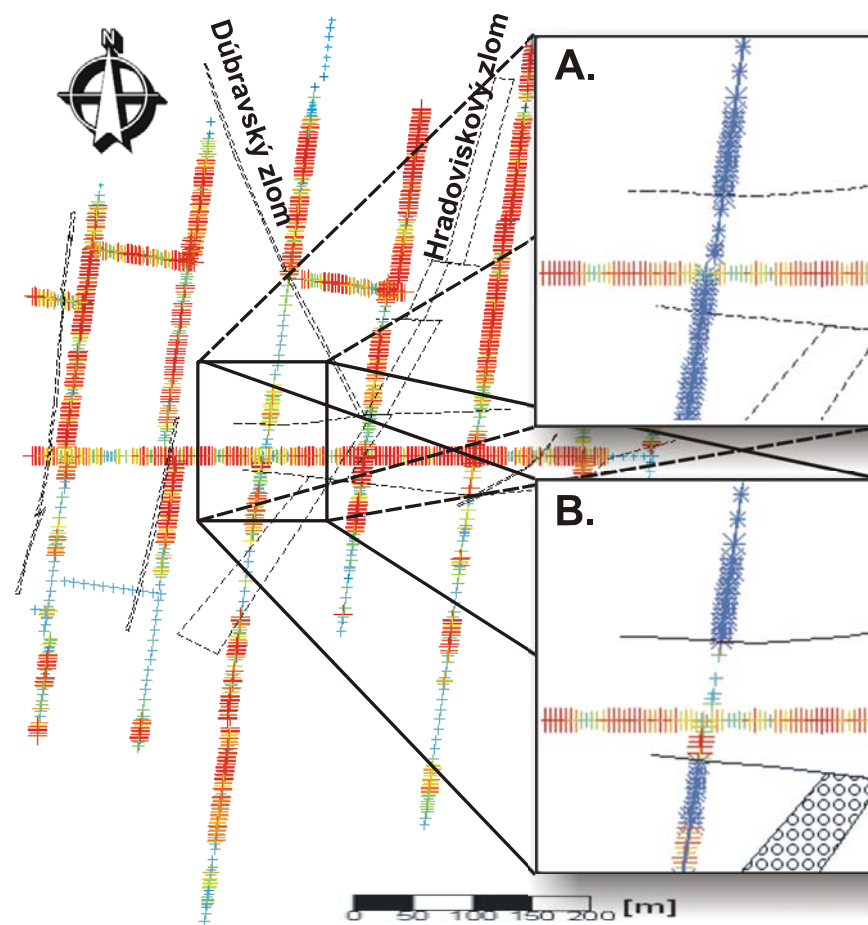
Obr. 2 Geologický rez a vymedzenie študovanej časti obzoru 220 a pozícia dostupných údajov (na podklade Čapo, 1994).

3 Geoštatistický koncept priestorového modelovania

Geoštatistika je vedná disciplína rozširujúca koncept klasickej štatistiky do jej priestorovej podoby. Je založená na teórii náhodnej funkcie $Z(\mathbf{x})$, ktorú v 60-tych rokoch minulého storočia rozpracoval prof. George Matheron (1971). Jej jednotlivé realizácie v priestore tvoria tzv. regionalizovanú premennú $z(\mathbf{x})$, ktorá na rozdiel od náhodnej premennej je funkciou priestoru a/alebo času. Geoštatistické metódy priestorového modelovania sú na rozdiel od deterministických metód priestorových interpolácií, ako je napríklad metóda prevrátených vzdialeností, tzv. modelovo založené. To znamená, že podmienkou použitia geoštatistických metód je vytvorenie matematicky popísateľného modelu zmien priestorovej variability pre akýkoľvek vektor $\vec{h}$ študovaného priestoru, tzv. *model regionalizácie*. Tento model je odhadnutý na základe porovnávania vzájomnej variability dvojíc experimentálnych hodnôt $z(\mathbf{x}_\alpha)$ a $z(\mathbf{x}_\beta)$ v bodoch priestoru $\mathbf{x}_\alpha$ a $\mathbf{x}_\beta$, oddelených príslušným vektorom $\vec{h}$ vo forme tzv. *variomraku*, $\gamma(\vec{h}) = (z(\mathbf{x}_\alpha) - z(\mathbf{x}_\beta))^2 / 2$. Tieto vzájomné variability dvojíc hodnôt sú triedené do tried vektorov h (tzv. *lag*) na základe tolerancií ich veľkostí a smerov vo forme tzv. *experimentálneho variogramu*:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} (z(\mathbf{x}_\alpha) - z(\mathbf{x}_\beta))^2, \quad (1)$$

kde $N(h)$ je počet dvojíc zodpovedajúcich vzdialenostnej triede h . Na tento experimentálny variogram je nastavený tzv. matematický model *variogramu*, ktorý reprezentuje výsledný model regionalizácie, ktorý popisuje dôležité črty priestorovej variability, ako je dosah vplyvu autokorelácie v určitom smere priestoru, úroveň variability, anizotropiu, či zonalitu. Z uvedeného vyplýva, že geoštatistické metódy modelovania priamo integrujú informácie o priestorovej variabilite študovaného fenoménu, čo vplýva na odvodenie váh výslednej lineárnej kombinácie nie len na základe konfigurácie dostupných údajov v rámci účinného okolia voči pozícií s odhadovanou hodnotou, ale aj na základe vzájomnej konfigurácie dostupných údajov. To má veľký význam v prípade, ak výber



Obr. 3 Princíp tienia dvojíc experimentálnych údajov v procese výpočtu experimentálneho variogramu v prípade absencie priestorovej diskontinuity (A.) a v prípade zavedenia priestorových diskontinuit (B.).

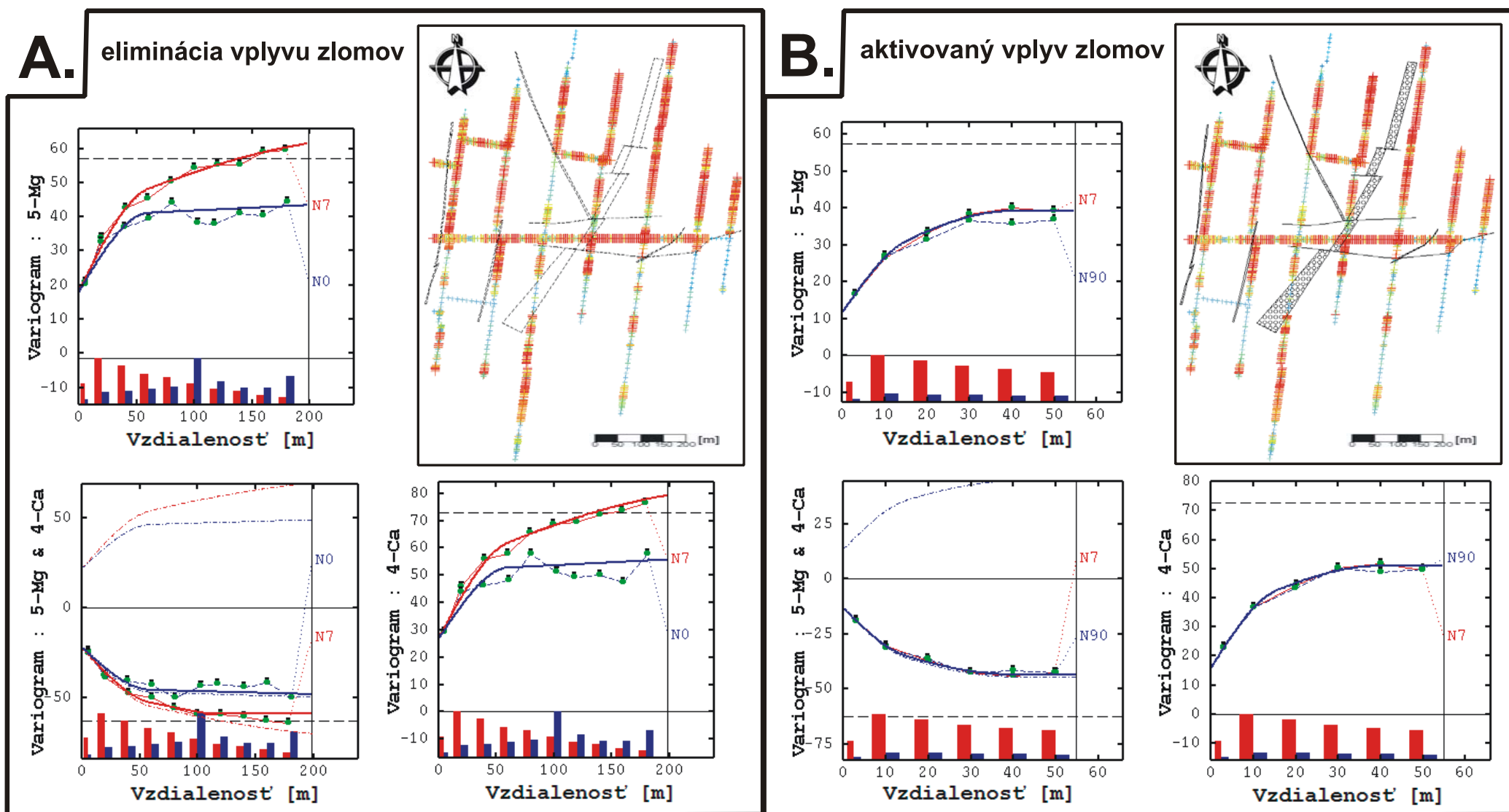
dostupných údajov v rámci účinného okolia odhadu v procese interpolácie má odrážať modelovanú situáciu nespojitého priestoru. Geoštatistické modelovanie integruje koncept priestorovej nespojitosti priamo do procesu odvodu modelu variogramu, kedy nie sú vytvárané dvojice hodnôt regionalizovanej premennej v prípade ich vzájomného „tínenia“ priestorovou diskontinuitou, napr. priebehom tektoniky (Vizi, 2008). Na obr. 3 je zobrazený uvedený koncept. Na tomto obrázku sú zobrazené pozície použitých vzoriek pozdĺž prekopov a horizontálnych vrto. Vzorky sú kolorované na základe obsahov MgO v modro-červenej farebnej škále. Detail A. tohto obrázku ilustruje koncept vzniku dvojíc hodnôt vzoriek v smere S-J, pričom je zanedbaný vplyv priebehu zlomových štruktúr (prerušované čiary). Vybrané vzorky sú zvýraznené modrými hviezdikami a evidentne sú vyberané systematiky bez ohľadu na predpokladaný priebeh zlomových štruktúr. Naopak, detail B. ilustruje vplyv „tínenia“ dvojíc hodnôt zavedením zlomových štruktúr (plné čiary) do výpočtu experimentálneho variogramu v smere S-J. Hodnoty vzoriek tínené priebehom zlomových štruktúr sa nepodieľajú na výpočte vzájomnej variability dvojíc hodnôt a tým ani na výslednom variogramu a pochopiteľne experimentálneho variogramu. Takýto odlišný koncept má veľký vplyv, ako bude neskôr demonštrované, nie len na priebeh experimentálneho variogramu, ale v konečnom dôsledku aj na výsledný model regionalizácie priestorovej variability a tým aj jej dôležité črty a parametre uvedené vyššie.

4 Prezentácia výsledkov

Experimentálne variogramy jednotlivých študovaných premenných boli počítané v dvoch majoritných smeroch – v smere S-J, pozdĺž prekopov a horizontálnych vrto, a v smere V-Z pozdĺž smernej chodby a prekopov V-Z smeru. Vzhľadom k vysokej zápornej korelácii medzi obsahmi MgO a CaO bol vytvorený ich model vzájomnej *koregionalizácie*, a na základe toho boli modelované ich priestorové distribúcie v rámci študovaného územia spoločne. Na obr. 4 A. sú zobrazené príslušné modely variogramov a ich vzájomný variogram bez vplyvu zavedenia tektonického modelu. Výsledný model regionalizácie (plné hrubé čiary) vykazuje výraznú zonálnu štruktúru, s vyššou úrovňou priestorovej variability v smere S-J, zodpovedajúcemu smeru na hrúbku karbonátových telies (červená čiara), a vyšším dosahom vplyvu v smere V-Z pozdĺž karbonátových telies (modrá čiara), čo zodpovedá modelu šošovkovitej stavby študovaného ložiska s generálnym smerom V-Z. Na obr. 4 B. je výsledný model regionalizácie po zavedení vplyvu tektonickej stavby do modelovania. Je na mieste si všimnúť, že predošle modelovaná zonálna štruktúra sa zredukovala na izotropný model, pričom celková úroveň priestorovej variability nedosahuje hodnotu apriori rozptylu experimentálnych údajov (horizontálna prerušovaná čiara). Dôvodom je, že zavedenie vplyvu tektonickej stavby študovaného územia do modelovania rozdeľuje študované územie na súbor kvázi homogénnych podoblastí, čo indikuje predpoklad blokovej stavby karbonátového komplexu. Z uvedeného vyplýva, že zavedenie priestorových diskontinuit do procesu priestorového modelovania má výrazný vplyv na výsledný model koregionalizácie študovaných premenných a následný odhad ich priestorovej distribúcie.

Výsledné modely priestorovej distribúcie obsahov MgO a CaO sú zobrazené na obr. 6 a 7. Modely priestorovej distribúcie boli vytvorené na základe metódy bežného krigovania s použitím vyššie popísaného modelu koregionalizácie. Okrem tohto model bol tiež použitý model účinného okolia odhadu, ktorého úlohou bolo optimalizovať výber dostupných údajov pre odhad neznámej hodnoty a zabrániť extrapolácií mimo pokrytia študovaného územia hodnotami vzoriek (obr. 5). Vzhľadom k líniovej štruktúre rozmiestnenia

dostupných údajov pozdĺž prieskumných prekopov a horizontálnych vrtov bolo účinné okolie odhadu rozdelené do dvanástich sektorov s optimálnym počtom dvoch vzoriek per sektor a s minimálnou vzdialenosťou medzi vzorkami 6 m. Kvalita oboch vytvorených modelov, model koregionalizácie a účinného okolia odhadu boli testované procedúrou *cross-validation*.



Obr. 4 Model vzájomnej koregionalizácie obsahov MgO a CaO bez vplyvu tektonickej stavby s výraznou zonálnou štruktúrou priestorovej variability (A.) a s vplyvom tektonickej stavby (B.) s izotropnou štruktúrou priestorovej variability.

obzor +220 m n. m.



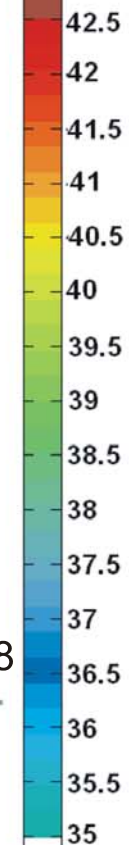
ložisková časť Dúbrava ložisková časť Miková

Z27

J9

J17

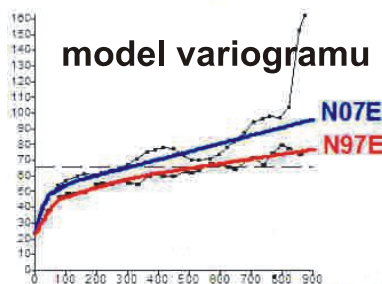
MgO [%]



J38

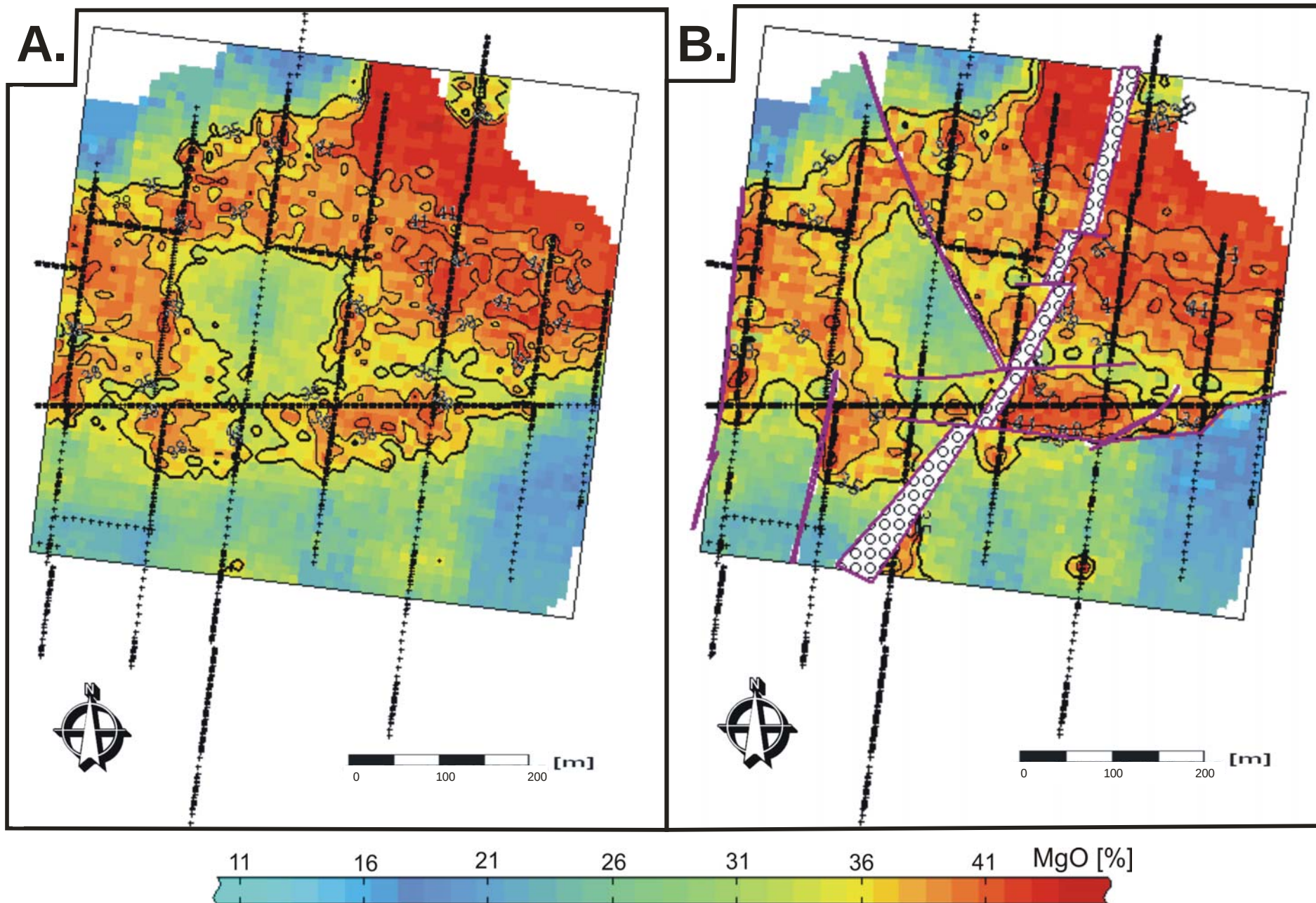
D11

model variogramu

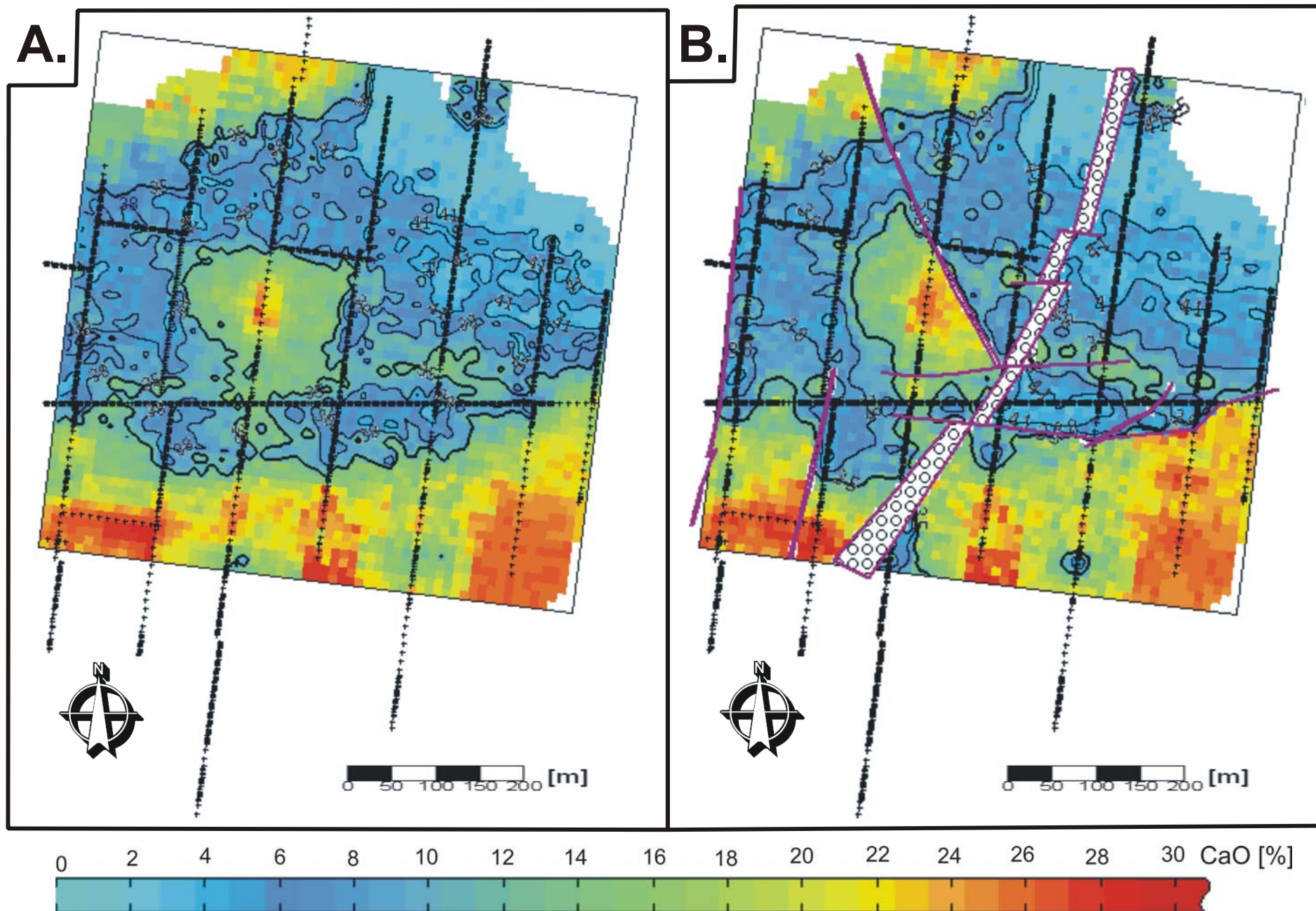


- magnezit
- lavicový dolomit
- dolomit
- čierne bridlice

Obr. 5 Výsledok priestorovej interpolácie obsahu MgO na obzore 220, rešpektujúce geologickú interpretáciu podľa Čapo (1994).



Obr. 6 Výsledný model priestorovej distribúcie obsahu MgO vytvorený bez vplyvu systému tektonických zlomov (A.) a s vplyvom systému zlomov (B.).



Obr. 7 Výsledný model priestorovej distribúcie obsahu CaO vytvorený bez vplyvu systému tektonických zlomov (A.) a s vplyvom systému zlomov (B.).

Do procesu priestorovej interpolácie krigovaním bolo v rámci účinného okolia zavedený systém priebehu jednotlivých tektonických štruktúr, čo vplývalo na výber údajov podieľajúcich sa na odhad neznámej hodnoty. Neznáme hodnoty boli interpolované na sieti bodov s rozlíšením 10 m x 10 m. Na obr. 6 A. je zobrazený výsledok interpolácie obsahu MgO bez vplyvu systému tektonických štruktúr. Výsledná mapa je kontúrovaná hodnotou 35 % obsahu MgO. Na mape sa objavuje šošovkovitá štruktúra magnezitovej mineralizácie s výraznou anomáliou poklesu obsahu MgO v centrálnej časti. Na základe výsledkov modelovania je možné povedať, že sledované dve tektonické línie sú rozdielneho veku a na základe interpretácie výsledkov geologického mapovania vieme, že aj genetického typu. Dúbravský zlom (šikmý pokles) je pomíneralizačný a jednoznačne oddeľuje magnezit od dolomitovej polohy. Patrí v sukcesnej schéme k najmladším zlomovým štruktúram, pravdepodobne neogénneho veku. Hradoviskový zlom (viacnásobný posun a viacnásobný pokles) je jednou z najstarších štruktúr a je predmineralizačný. Bol niekoľkokrát aktivovaný aj počas mineralizácie (Sasvári, T., Kondela, J. 2007). Samotná línia Hradoviskového zlomu netvorí priestorovú bariéru a obsahy MgO a CaO sa smerom na východ a ani na západ nemenia. Aj geoštatistickým modelovaním bolo doložené, že uvedená tektonická línia je jednou z najstarších na ložisku. Uvedený geoštatistický model na vybranej časti ložiska preukázal pri zavedení štruktúrno-tektonického modelu vystupovanie minimálne dvoch, z pohľadu mineralizácie, časovo odlišných deformačných fáz. Súčasne poukazuje na rozblokovanie magnezitového ložiska štruktúrami alpínskeho orogénu (Sasvári a Kondela, 2007). Ponúka tak myšlienku nie šošovkovitej, ale blokovej stavby na študovanom ložisku.

5 Diskusia a záver

Geoštatistické modelovanie potvrdilo vzťah rozhodujúcich sledovaných parametrov nerastnej suroviny k štruktúrnej stavbe horninového masívu. Tým sa potvrdil význam modelovania štruktúrnej stavby ložiska a to nie len z hľadiska vyhodnocovania bezpečnosti a postupu ťažby, ale aj plánovania príprav otvárky a dobývania a odhadov zásob (nie mapovania priestorovej distribúcie). Výsledné porovnania variografie potvrdzujú irelevanciu apriori rozptylu pri modelovaní variogramov v prípade použitia štruktúrnej stavby ako sekundárnej informácie. Je jednoznačne preukázané, že model tektonickej stavby študovanej časti karbonátového telesa vplýva na spojitosť priestorovej distribúcie chemických obsahov magnezitového zrudnenia. Model tektonickej stavby vytvára systém priestorových nespojitostí, čo v konečnom dôsledku rozdeľuje karbonátové teleso na kvázi homogénne celky. Tým je redukovaná zonálna štruktúra priestorovej variability, indikujúca šošovkovitú stavbu magnezitových telies, na izotropnú štruktúru, indikujúcu blokovú stavbu. Prezentované výsledky rovnako ponúkajú nové možnosti interpretácie geologickej stavby celého ložiska magnezitu v Jelšave.

Tento článok bol vytvorený na základe realizácie projektu Centrum excelentného výskumu získavania a spracovania zemských zdrojov ITMS 26220120017 na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

References

- ČAPO, J. *Dúbravský masív*. Správa z podrobného prieskumu. Manuskript. Geofond, Geologický ústav D. Štúra. Bratislava . 1994.
GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, Inc. 1997. London, 1997, ISBN 0-19-511538-4.

- MATHERON, G., *The theory of regionalized variables and its application*. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique. École Nationale Supérieure des Mines Paris. Fontainebleau, Paris, France. 1971.
- SASVÁRI, T., KONDELA, J. Demonstration of alpine structural phenomena at the structure of magnesite deposit Jelšava - Dúbrava massif. *Metalurgija*. ISSN 0543-5846. Vol. 46, no. 2, 2007, p. 117-122.
- VIZI, L. Vplyv zavedenia systému zlomov do geoštatistického modelovania - prípadová štúdia modelovania geometrie bazálneho lignitového sloja b1 (Beladice). *Acta Montanistica Slovaca*.. Roč. 13, č. 1, 2008, ISSN 1335-1788.
-

Autori

- ¹ Ing. Ladislav Vizi, PhD. – Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geovied. Park Komenského 15, 042 00 Košice, Slovenská republika, tel. +421 55 602 2242, ladislav.vizi@tuke.sk
- ² Mgr. Julián Kondela, PhD. – Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geovied. Park Komenského 15, 042 00 Košice, Slovenská republika, tel. +421 55 602 3139, julian.kondela@tuke.sk
- ³ Prof. Ing. Tibor Sasvári, CSc. – Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geovied. Park Komenského 19, 042 00 Košice, Slovenská republika, tel. +421 55 602 2945, tibor.sasvari@tuke.sk
- ⁴ doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc. – Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geovied. Park Komenského 19, 042 00 Košice, Slovenská republika, tel. +421 55 602 2951, blazej.pandule@tuke.sk