

Vplyv zavedenia systému zlomov do geoštatistického modelovania – prípadová štúdia modelovania geometrie bazálneho lignitového sloja b1 (Beladice)

Ladislav Vizi¹

Influence of the incorporation of a fault system into geostatistical modelling – case study of geometry modelling of the lignite seam b1 (Beladice)

Knowledge of the subject matter is obviously important to fill in the gaps between the information we have and information we want to have (or we wish at least). Assume a geological example where knowing that we are dealing with a sand bar or a meandering channel increase our ability to predict the location, geometry, and orientation of a petroleum reservoir. Such knowledge is largely qualitative rather than quantitative but notwithstanding they must be integrate in a geostatistical model.

The paper deals with incorporation of the geological interpretation of a fault system into a three dimensional geostatistical model of geometry of the lignite seam b1 – Beladice. When the fault system is defined, the data must be considered with regard to all fault segments: data points located in the “shadow” of a fault segment, when seen from the target point, cannot be selected during interpolation procedure as well as during calculation of the experimental variograms. In this way, the fault system divides a studied area into some smaller subareas. In presented paper, the single steps of the geostatistical case study are compared to the case ignoring the influence of the fault system on the final results.

Key words: coal seam b1 Beladice, fault system, variography, geostatistical modelling

Úvod

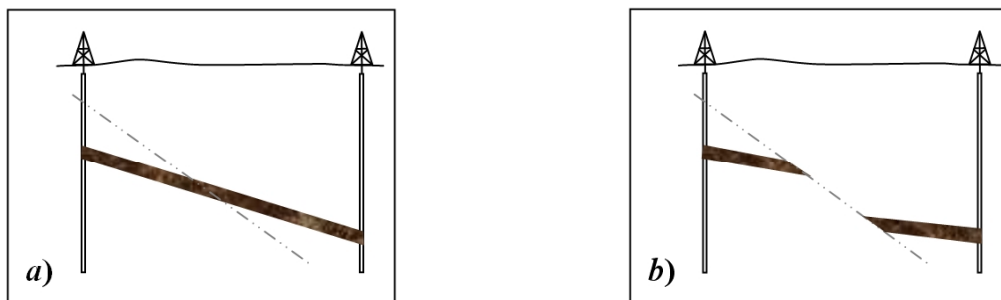
Poznanie podstaty riešeného problému je dôležité pre vyplnenie medzery medzi informáciami, ktoré máme k dispozícii a informáciami, ktoré chceme na ich základe získať (alebo si to aspoň želáme). Napríklad, znalosť skutočnosti, že dostupné údaje sú z meandrujúceho kanála, zvyšuje našu schopnosť odhadnúť polohu a geometriu ložísk uhl'ovodíkov. Takéto znalosti sú však spravidla skôr kvalitatívneho ako kvantitatívneho charakteru, no napriek tomu by mali byť takéto informácie obsiahnuté v procese modelovania prírodných fenoménov. Geologické interpretácie priebehu podpovrchového systému zlomov, resp. výsledné štruktúrne mapy patria tiež medzi takéto informácie a zvyšujú našu schopnosť interpretovať štruktúrne znaky priestorovej variability a výber jej najvhodnejšieho modelu. Samotné geoštatistické metódy nie sú vyvíjané s cieľom vytvorenia vysvetľujúceho modelu reality, ale skôr s cieľom vyriešiť určité špecifické problémy použitím minimálneho množstva vyžadovaných prekvizícií, avšak zo všetkých dostupných informácií (Chiles a Delfiner, 1999). Geoštatistické modely sú preto skôr popisného ako interpretačného charakteru, keďže na rozdiel od geologických modelov modelujú matematické objekty a nie geologické. Preto je v takýchto matematických modeloch vítaný každý doplňujúci zdroj informácií. Cieľom modelovania priestorových premenných totiž nie je vyprodukovať farebné, oku lahodiace obrázky, ale výstupy, ktoré majú svoj zmysel a logický základ. Keďže je proces modelovania prírodných fenoménov odkázaný len na neúplné informácie z prieskumu, budú výsledné modely zaťažené určitou chybou, čo otvára priestor pre pravdepodobnostný prístup k modelovaniu. Treba si však uvedomiť, že v prírode neexistuje pravdepodobnosť – tá existuje len v našich modeloch.

Na Obr. 1 je zobrazený schematický princíp vplyvu zlomu na interpolačnú procedúru. Obrázok znázorňuje merania hĺbky určitej geologickej vrstvy v dvoch vrtoch a interpretáciu priebehu zlomu medzi nimi. Na obrázku a) je interpolácia priebehu vrstvy medzi dvoma vrtmi, pričom je zanedbaný vplyv tektoniky. Na obrázku b) je zobrazený vplyv tejto tektoniky na výslednú interpoláciu priebehu podpovrchovej vrstvy. Je zrejmé, že v prvom prípade bude vytvorený spojitý a vyhladený priebeh vrstvy, zatiaľ čo v druhom prípade je priestor medzi vrtmi rozdelený na dve diskkrétne oblasti a výsledný priebeh vrstvy bude nespojitý.

Systém zlomov sa do modelovania zavádza ako systém čiar alebo polygónov reprezentujúcich segmenty jednotlivých zlomov. V prípade relatívne strmých poklesov a malých odskokov je možné zredukovať polygón na lomenú líniu, pričom sa dopúšťame len malej chyby. Napríklad, existuje rez vrstvou určitej hrúbky o dĺžke 3000 m, ktorá je prerušená poklesovou štruktúrou s výškou skoku (vertikálnym posunom) 10 m a sklonom poklesu 75° (Groshong, 1999). Horizontálne oddelenie vrstvy bude teda $\cos(75^\circ) \cdot 10 = 2,6$ m, čo je relatívne malá hodnota v porovnaní s dĺžkou rezu. Ak by sme predpokladali tento

¹ Ing. Ladislav Vizi, PhD., Ústav geodézie, kartografie a GIS, Fakulta BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 042 00 Košice. (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 31. 3. 2008)

pokles ako vertikálny, dopúšťame sa chyby menšej ako 1,3 m. Dá sa tiež predpokladať, že modelovaná oblasť, taká rozsiahla ako je predmetný rez, bude prekrytá sieťou bodov s veľkosťou oka väčšou ako je táto hodnota. V prípade prešmykov, kedy sa objavujú viaceré z-ové súradnice v jednej pozícii pre strop aj bázu jednej vrstvy, je v praxi jedným z riešení považovať tieto prešmyky za vertikálne poklesy. Takéto zjednodušenie má však, rovnako ako v prípade poklesov, svoj zmysel v prípade iba strmých prešmykov. V opačnom prípade je vhodnejšie modelovať priebeh vrstvy oddelene, vytvorením štyroch povrchov (2x strop a 2x báza) pre jednu vrstvu. Situácia je však oveľa komplikovanejšia a jej vysvetlenie presahuje rámec tohto článku. Viac o tejto problematike je možné nájsť napríklad v Deutsch (2002) alebo Staněk (2005).

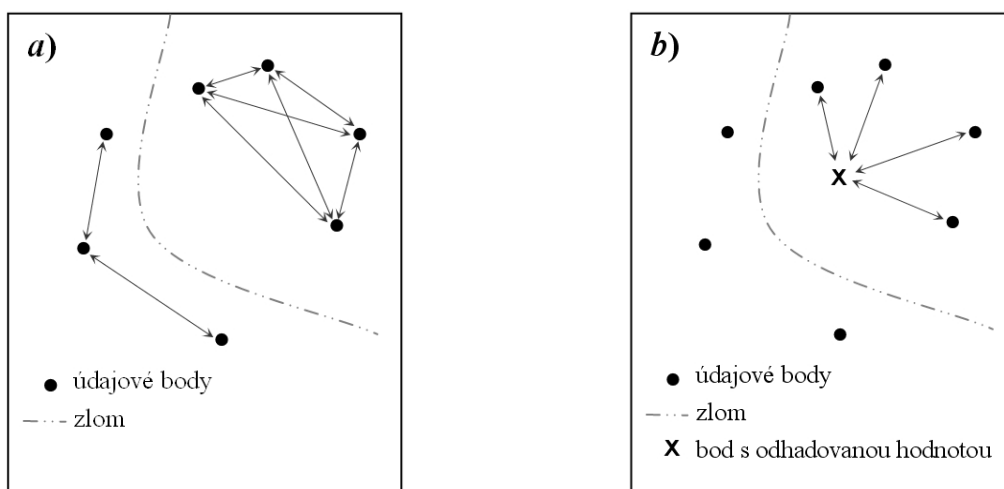


Obr. 1. Schéma vplyvu zlomu na interpoláciu priebehu geologickej vrstvy medzi dvoma vrtmi.
Fig. 1. Schematic sketch of the influence of a fault on the interpolation of a geological layer between two drillholes.

V prípade geoštatistického modelovania sú výsledky interpolácie založené na určitom modeli priestorovej variability, tzv. **lineárnom modeli regionalizácie**, ktorý je odhadovaný na základe hodnôt experimentálneho variogramu počítaného podľa vzťahu:

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

kde $z(x_{\alpha})$ a $z(x_{\beta})$ predstavujú údaje merané v pozíciách x_{α} a x_{β} , ktoré sú navzájom oddelené vektorom s určitou veľkosťou a smerom, $N(\vec{h})$ je počet takto vytvorených dvojíc údajov pre danú triedu vektorov \vec{h} , definovanú príslušnými toleranciami pre sériu smerov a veľkostí. V prípade zlomov je zřejmé, že do tohto výpočtu nevstupujú dvojice údajov, ktoré sa nachádzajú na opačných stranách zlomovej línie, alebo sú nejakým spôsobom „tienené“ segmentom zlomu. Tento princíp je zobrazený na Obr. 2 a), kde sú obojsmernými šípkami vyznačené všetky dvojice údajových bodov, ktoré je možné vytvoriť vo vzťahu k priebehu vyznačenej zlomovej línie. Rovnaký princíp sa uplatňuje aj v prípade samotného odhadu neznámej hodnoty na základe dostupných údajov. Tento princíp je zobrazený na Obr. 2 b), z ktorého je jednoznačne zřejmé, že sa na odhade neznámej hodnoty v bode \mathbf{x} podieľajú len údaje z bodov nachádzajúcich sa na rovnakej strane zlomu ako je on sám.

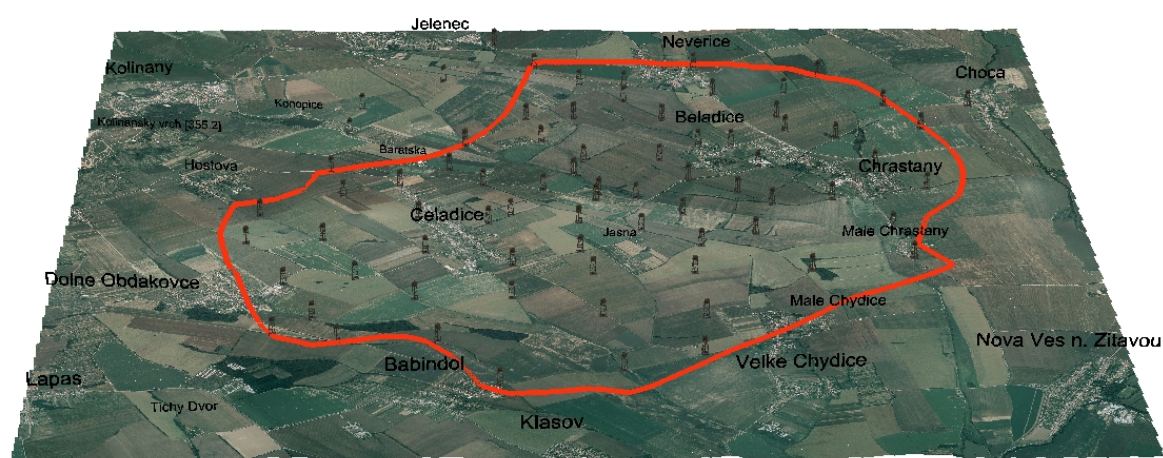


Obr. 2. Princíp vplyvu zlomu na výpočet experimentálneho variogramu (a), a na interpoláciu neznámej hodnoty (b).
Fig. 2. Principle of the influence of a fault on experimental variogram calculation (a), and on interpolation of an unknown value (b).

Prípadová štúdia – model hĺbky bazálneho lignitového sloja b1 Beladice

Študované ložisko lignitu Beladice sa nachádza v Nitrianskom kraji. Bolo overené vyhľadávacím geologickým prieskumom v priestore Jelenec - Beladice - Malé Chyndice - Dolné Obdokovce - Host'ová (Obr. 3). Samotné ložisko pozostáva z piatich nadložných slojov (označované n) s malými hrúbkami do 2 m, a piatich bazálnych slojov (označované b) s priemernou hrúbkou 3 m (Šarkan et al., 1993).

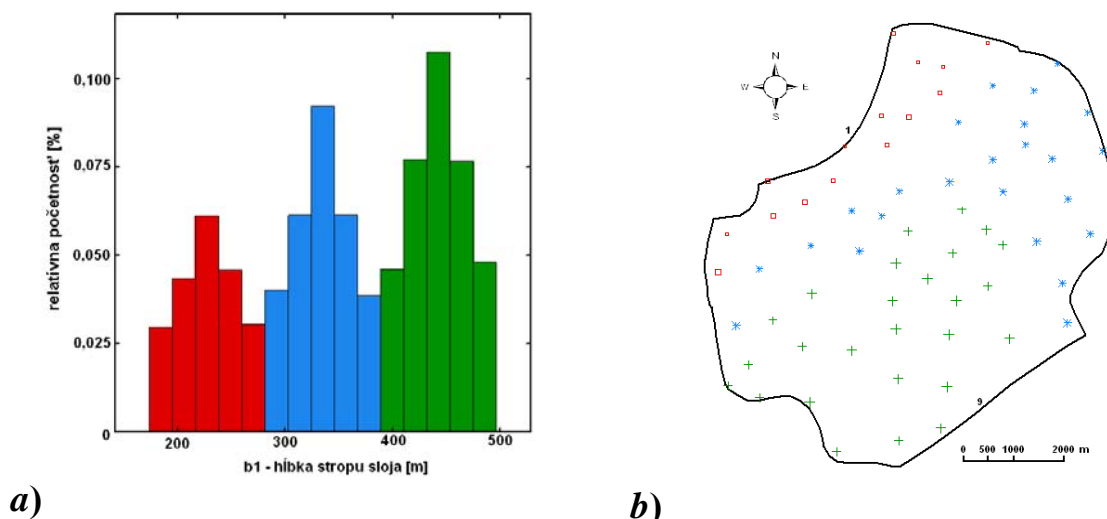
Podľa údajov zo 65-tich dostupných vrtných pasportov sa strop lignitového sloja s označením b1 nachádza v hĺbke od 174 m (4,47 m n. m.) do 495,85 m (-285,2 m n. m.). Cieľom prezentovanej prípadovej štúdie bolo vytvoriť priestorový model geometrie uhoľného sloja v trojrozmernom priestore. Tento model bol vytvorený na základe hĺbkových údajov z vrtného prieskumu a príslušný elevačný model priebehu sloja bol odvodený od tohto hĺbkového modelu a DMT študovaného územia. Priebeh tektonických zlomov a hraníc rozšírenia bazálnych slojov bol odčítaný z Mapy tektoniky a izolínii počvy slojového pásma bazálnych slojov v mierke 1:10 000 (Šarkan et al., 1993). Pre porovnanie vplyvu zavedenia systému zlomov do odhadu hĺbky študovaného sloja bol tiež vytvorený model bez použitia tohto systému zlomov. V tomto prípade boli použité len okrajové zlomy, vymedzujúce študované územie, aby sa obmedzila extrapolácia odhadu hĺbky sloja mimo študovaného územia.



Obr. 3. Letecký snímok s vyznačením hraníc študovaného územia (červený polygón) a priestorovými pozíciami prieskumných vrtov.
Fig. 3. Aerial view of the area under study (the red polygon) and spatial positions of the exploratory drillholes.

Prípad 1: Model hĺbky sloja bez použitia systému zlomov

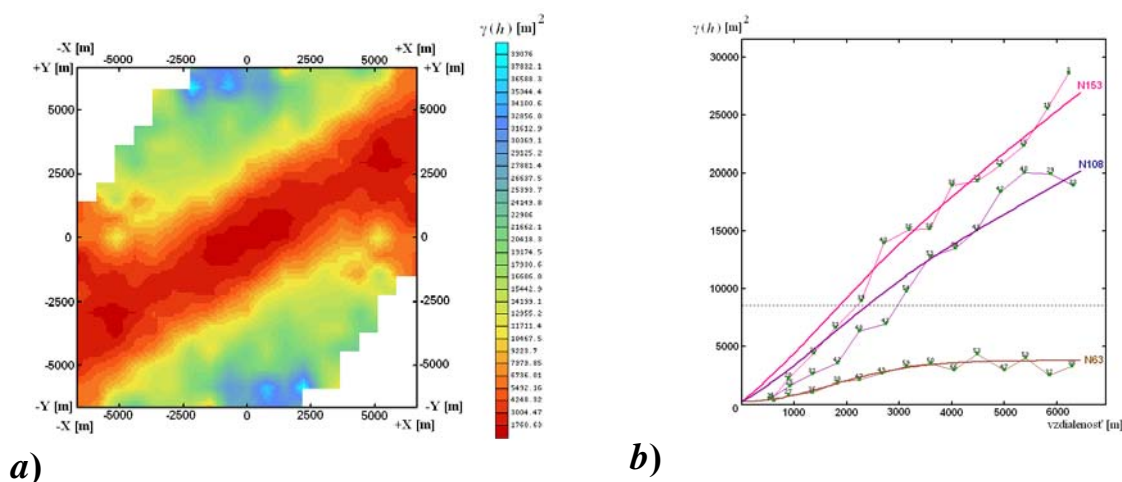
Na Obr. 4 a) je zobrazený experimentálny histogram rozdelenia početností hĺbok stropu sloja b1, ktorý vykazuje zjavné viacmodálne rozdelenie. Jednotlivé populácie sú farebne rozlíšené a prepojené s mapou rozmiestnenia dostupných údajov zobrazenou na Obr. 4 b). Číslom 1 je označený západný okrajový zlom a číslom 9 východný okrajový zlom. Tieto zlomy boli použité len pre potreby ohraničenia študovaného územia. Na tomto obrázku je vidno, ako migrujú jednotlivé populácie hĺbky uloženia sloja b1 v smere SZ-JV, od západného okrajového zlomu smerom k východnému okrajovému zlomu, od najmenších hĺbok po najväčšie. To naznačuje možnú nestacionaritu hĺbky umiestnenia študovaného sloja s výrazným trendom narastania hĺbky uloženia sloja v tomto smere. Tento predpoklad neumožňuje transformáciu experimentálneho histogramu hĺbky uloženia sloja do normálneho Gaussovo rozdelenia a v tomto študovanom priestore aplikáciu nelineárnych geoštatistických odhadov. Dôvodom je, že v prípade akejkoľvek nestacionárnej regionalizovanej premennej nie je jej priemer konštantný, ale mení sa v priestore a preto v rámci danej oblasti neznámy (Deutsch, Journal, 1998).



Obr. 4. Viacmodálny experimentálny histogram rozdelenia početností hĺbok uloženia sloja b1 (a), a mapa rozloženia dostupných údajov o hĺbke sloja s veľkosťou symbolov podľa hodnoty hĺbky a farebným označením podľa príslušnosti k jednotlivým populáciám zobrazeným na histograme (b).

Fig. 4. Multimodal experimental histogram of the depths of the b1 coal seam (a), and proportional post-plot of available depth data colored according to the relevant population (b).

Na Obr. 5 a) je zobrazená mapa variogramu. Podľa tejto mapy je naspojitejší smer variability približne 60° na sever s takmer konštantným priebehom zmeny variability v tomto smere. Vzdialovaním sa od tohto smeru výrazne stúpa variabilita dostupných údajov o hĺbke čo indikuje výraznú zonálnu anizotropiu hĺbky uloženia sloja. Na Obr. 5 b) sú zobrazené vypočítané smerové variogramy pre smer 63° od severu (N63) s najnižšou variabilitou. Druhým vypočítaným smerom bol kolmý smer 153° od severu (N153) vykazujúci najvyššiu variabilitu. Posledným smerom je jeden diagonálny smer 108° od severu (N108), pre korektné modelovanie zonálneho komponentu modelu zmeny priestorovej variability. Štvrtý smer 198° od severu nebol z dôvodu nedostatočného počtu dvojíc v tomto smere počítaný. Pre správne modelovanie zonálnej anizotropie je však jeden diagonálny smer medzi dvoma hlavnými smermi zmeny variability postačujúci (Goovaerts, 1997). Na základe výsledkov analýzy minimálnych vzdialeností bola pre výpočet smerových experimentálnych variogramov zvolená vzdialenosť trieda 450 m s uhlovou toleranciou 20° . Horizontálna prerušovaná čiara predstavuje apriori rozptyl dostupných údajov rovný 8558 m^2 . Na tieto experimentálne variogramy bol nastavený výsledný matematický model priestorovej variability zložený z troch základných štruktúr: izotropná Gaussova štruktúra s dosahom vplyvu 5500 m , prahom 4100 m^2 ; generalizovaná štruktúra prvého rádu uplatňujúca sa len v smere 153° od severu, ktorá modeluje zonálnu anizotropiu zmeny variability. K počiatku priebehu výsledného modelu variogramu bola pridaná malá hodnota nugget efektu, 250 m^2 , pre zabezpečenie matematickej stability krigovacieho procesu pri aplikácii Gaussovej štruktúry matematického modelu variogramu.



Obr. 5. Mapa variogramu (a), a konečný model variogramu nastavený na smerové experimentálne variogramy (b).

Fig. 5. Variomap (a), and final variogram model (b).

Na Obr. 6 a) je zobrazená výsledná mapa hĺbky uloženia sloja b1 získaná na základe bežného krigovania. Je na mieste si všimnúť, že mapa je deformovaná akýmisi „prúžkovými“ artefaktmi spôsobenými použitím modelu variogramu s výraznou zonálnou anizotropiou, pričom sa evidentne uplatňuje umelé „naťahovanie“ konštantnosti variability v smere približne 60° od severu. Tento fakt je však v rozpore s dostupnými údajmi o hĺbke. Metóda krigovania je exaktným interpolátorom, to znamená, že ak bod s odhadovanou hodnotou $z(x_0)$ má rovnakú pozíciu ako určitý údajový bod $z(x_\alpha)$, bude hodnota odhadu rovnaká ako v údajovom bode, teda:

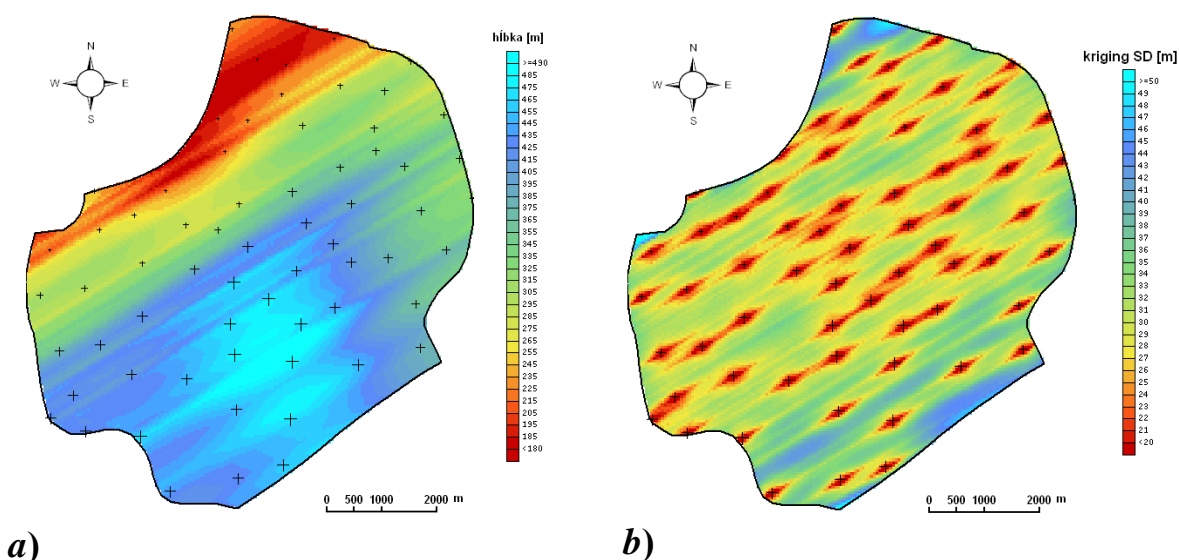
$$z(x_0) = z(x_\alpha) \quad \text{ak} \quad x_0 = x_\alpha. \quad (2)$$

Proces krigovania závisí výlučne na modeli variogramu, ktorým je popísané správanie sa variability študovaného fenoménu vo všetkých smeroch a na všetkých vzdialenostiach študovaného priestoru. Model variogramu je odhadovaný na základe výpočtu experimentálneho variogramu (1) pre diskretnú množinu smerov a vzdialeností medzi jednotlivými meraniami. Výsledný model variogramu bude teda odhadovať variabilitu medzi dostupnými údajmi (pravá strana krigovacieho systému) a neznámou hodnotou (ľavá strana krigovacieho systému). Ak sú v rozpore model a dostupné údaje, bude výsledok odhadu prekvapivý a ťažko interpretovateľný, ako v tomto prípade. Teoreticky by však k takýmto situáciám nemalo dochádzať, pretože podľa vyjadrenia (1) je model variogramu odhadovaný na základe výpočtu experimentálnych hodnôt variogramu. Tento výpočet je založený na spriemernení vzájomnej variability dvojíc hodnôt, čiže:

$$\text{VAR}_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (z(x_\alpha) - z(x_\beta))^2 \quad (3)$$

pre sériu vektorov \vec{h} , definovaných svojou veľkosťou a smerom. Výpočet teda zahŕňa tak hodnoty meraní v údajových bodoch, ako aj ich vzájomnú pozíciu. V určitých prípadoch však tieto znalosti nie sú dostačujúce pre odhad modelu variability a výsledného odhadu priestorovej distribúcie študovanej regionalizovanej premennej. Do úvahy treba vziať aj fyzickú podstatu riešeného problému. Nízka variabilita dostupných údajov v smere cca SV-JZ je spôsobená skutočnosťou, že variabilita v tomto smere je počítaná pozdĺž smerovania tektonických línií, s ktorými sa pri modelovaní v tomto prípade nepočítalo. Napriek tomu to má svoju logiku – experimentálny variogram počítaný v smere cca SZ-JV bol počítaný pre dvojice údajov z rôznych populácií hĺbok ktoré migrujú v tomto smere. Z tohto dôvodu bude aj variabilita v tomto smere oveľa vyššia ako v smere SV-JZ. Výsledná mapa však vykazuje kaskádovité zvyšovanie hĺbky uloženia sloja v smere SZ-JV, s existenciou depocentra konkávneho tvaru s predĺžením v tomto smere.

Na Obr. 6 b) je zobrazená mapa štandardných odchýlok krigovania, reprezentujúca príslušné chyby odhadu. Z tejto mapy je zrejmé, že najnižšie hodnoty chýb sa viažu na blízke okolie dostupných údajov o hĺbke uloženia sloja.



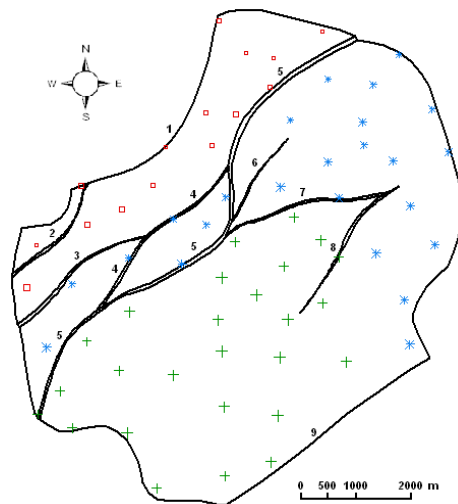
Obr. 6. Výsledná vykrigovaná mapa, (a), a príslušná mapa krigovacích chýb (b).
Fig. 6. Final kriged map (a), and map of kriging errors (b).

Prípad 2: Model hĺbky sloja s použitím mapy systému zlomov

Pre vytvorenie mapy hĺbky uloženia študovaného sloja b1 bol použitý systém zlomov, ktorý bol prevzatý z Mapy tektoniky a izolínií počvy sloja pásma bazálnych slojov v mierke 1 : 10 000 (Šarkan et al., 1993). Na Obr. 7 je zobrazená mapa dostupných údajov o hĺbke sloja spolu s priebehom tektonických poklesov. Najväčší z týchto poklesov je tzv. nevericko-čeladický zlom, označený číslom 5, tiahnuci sa naprieč celým študovaným územím v približnom smere SV-JZ, pričom smerom na JZ sa zvyšuje jeho strmost'. Na základe tohto obrázku je zrejmé, že výskyt jednotlivých populácií veľmi dobre koreluje s priebehom tektonických línií, ktorými je študované územie rozdelené na kaskádovito poukladané tektonické kryhy, hlavne v severozápadnej časti za západným okrajovým zlomom (zlom 1). Najmenšie hĺbky uloženia sloja sa objavujú v dvoch tektonických kryhách v SZ časti študovaného územia za západným okrajovým zlomom. Najväčšie hĺbky uloženia sloja sa vyskytujú za nevericko-čeladickým poklesom smerom k východnému okrajovému zlomu (zlom 9).

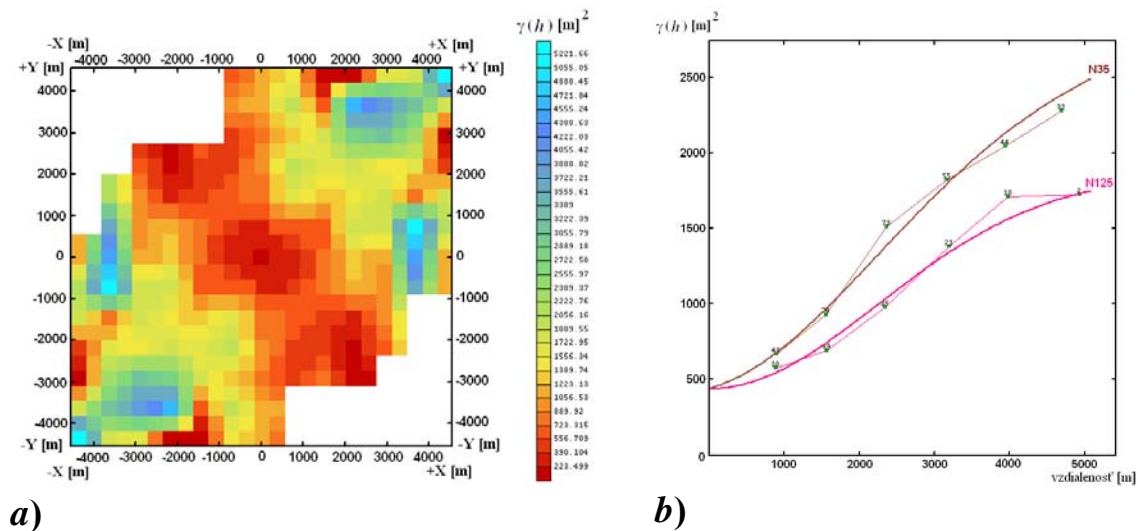
Použitý systém tektonických zlomov radikálne mení situáciu štúdia variability na danom území. Na Obr. 8 a) je zobrazená mapa variogramu, ktorá v tomto prípade vykazuje zonalitu opačného smerovania ako v prípade bez použitia systému zlomov – najspojitejším smerom je smer približne SZ-JV. Pre úplnosť však treba uviesť, že v tomto smere sa na výpočte hodnoty variogramu podieľa najmenej dvojica dostupných údajov o hĺbke sloja, keďže sú v tomto smere údaje navzájom „tienené“ jednotlivými zlomami. Preto sa v tomto smere podieľajú na výpočte len údaje z populácie veľkých a čiastočne stredne veľkých hĺbok.

Na Obr. 8 b) je zobrazený výsledný variogram zložený z nízkej hodnoty nugget efektu 440 m^2 v jeho počiatku, s jednou izotropnou Gaussovou štruktúrou, s dosahom vplyvu 5500 m , prahom 1420 m^2 a generalizovanou štruktúrou prvého rádu pre modelovanie zonálnej anizotropie v smere 35° od severu (N35). V tomto prípade je hodnota prahu Gaussovej štruktúry podstatne nižšia ako v prvom prípade a pre potreby modelovania je apriori rozptyl bezpredmetný. Je to spôsobené zavedením systému zlomov do procesu výpočtu experimentálnych variogramov, ktorý rozdelil študované územie na menšie časti a oddelil tak jednotlivé populácie hĺbok. Rozptyl hodnôt jednotlivých populácií bude nižší ako rozptyl celého súboru meraných hĺbok sloja. Na druhej strane, prítomnosť nugget efektu je v tomto prípade evidentná z dôvodu nedostatočného informačného obsahu o hĺbke sloja v jednotlivých tektonických podoblastiach.



Obr. 7. Mapa rozloženia dostupných údajov v rámci študovaného územia a použitý systém tektonických zlomov.

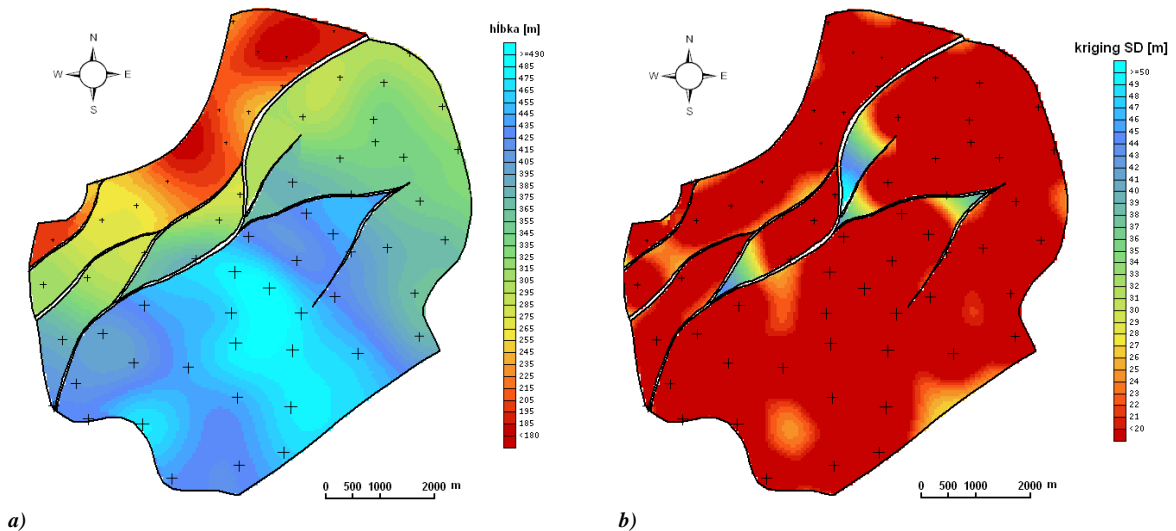
Fig. 7. Data post-plot within studied area, and used fault system.



Obr. 8. Mapa variogramu (a), a konečný model variogramu nastavený na smerové experimentálne variogramy (b).
Fig. 8. Variomap (a), and final variogram model (b).

Na Obr. 9 a) je zobrazená výsledná mapa krigovania hĺbok uloženia sloja b1, na ktorej je zreteľný vplyv systému zlomov na úložné pomery študovaného sloja. V depocentre za nevericko-čeladickým zlomom je reprodukovaná zonálna anizotropia na základe modelu variogramu so spojeným smerom cca SZ-JV k východnému okrajovému zlomu. Zmena orientácie zonálnej anizotropie sa objavuje len lokálne, napr. v severnom rohu študovaného územia.

Na Obr. 9 b) je príslušná mapa chýb krigovania s rovnakou farebnou škálou ako na Obr. 6 b). Hodnoty chýb sú v tomto prípade oveľa nižšie ako v prvom prípade a vysoké hodnoty smerodajných odchýliek sa viažu na časti územia so silným tienením zlomov a s nedostatočným počtom údajových bodov.



Obr. 9. Výsledná vykrigovaná mapa, (a), a príslušná mapa krigovacích chýb (b).
Fig. 9. Final kriged map (a), and map of kriging error, (b).

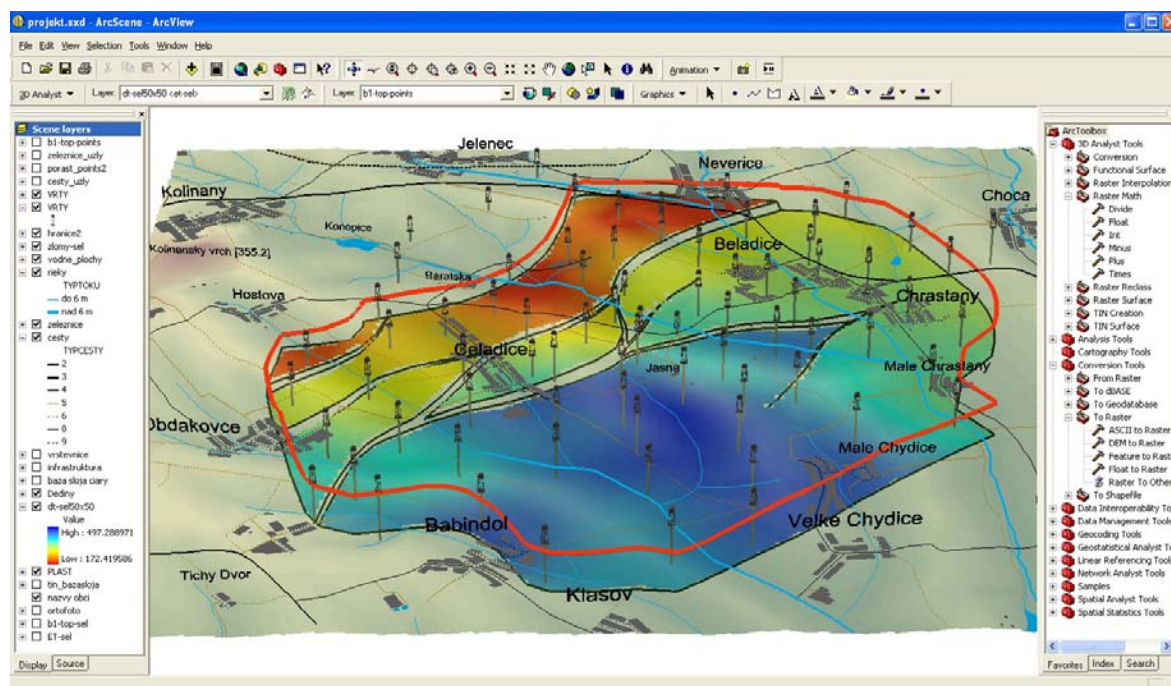
Záver

Integrácia doplňujúcich informácií zvyšuje našu schopnosť vytvoriť zmysluplné modely reality. Nie však v zmysle interpretácie vstupných údajov a výsledných modelov, ale skôr v zmysle popisu ich správania sa v priestorovom koncepte. Integrácia kvantitatívnych parametrov do kompletných geoštatistických modelov bola prezentovaná v mnohých prípadových štúdiách a v rôznych odvetviach vedy a výskumu (napr. Hlásny, 2007). Ďalšou „metódou“ v oblasti výskumu a aplikácie geoštatistických metód pre integráciu rôznych zdrojov údajov je vývoj objektovo-orientovaných modelov pre priame modelovanie tvarov geologických objektov s jasným cieľom importovať geologické koncepty do modelovacieho procesu. Tento progres vytvára určitý kompromis medzi údajovo-orientovaným prístupom, ako je vytvorenie mapy ručným kontúrovaním dostupných údajov a modelovo-orientovaným prístupom, ako sú geoštatistické metódy odhadov a simulácií založené na modeli variogramu. Treba poznamenať, že takéto prístupy sú obsiahnuté len v špecializovaných softvérových prostrediach, špeciálne určených pre potreby modelovania v ropnom priemysle, baníctve, environmentálnej geológii alebo geológii (ISATIS, Petrel, Geomodeler,...). Priestorové analýzy alebo geoštatistické nadstavby GIS softvérových balíkov (ArcGIS, IDRISI,...) neumožňujú integrovať do modelovania externé informácie, a preto sú prezentácie takýchto modelov v prostredí GIS (Obr. 10) založené na importe výsledkov získaných v špecializovanom softvérovom prostredí.

Na základe predchádzajúceho porovnania prípadových štúdií modelovania hĺbky uloženia uhoľného sloja b1 bez a so zavedením systému tektonických zlomov je jednoznačne zrejmé, že či už vedomá alebo nevedomá absencia doplňujúcich informácií do procesu modelovania prírodných fenoménov vedie k mylným a ťažko interpretovateľným výsledkom. V prípade, že takéto doplňujúce informácie chýbajú, alebo ich nie je možné do modelovania zahrnúť, napr. v dôsledku nedostatočného programového vybavenia, je vhodnejšie upustiť od geoštatistického modelovo-orientovaného prístupu a zvoliť radšej inú, tradičnú interpolačnú metódu. Výsledky použitia takýchto metód pre údaje o hĺbke sloja b1 Beladice uvádza Vizi, Hlásny, 2007.

Iným, špecifickým prístupom k dosiahnutiu 3D elevačného modelu je použiť napr. v texte citovanú mapu a zvektorizovaným izoliniám priradiť príslušnú nadmorskú výšku. Takéto ručne kontúrované geologické mapy majú svoje opodstatnenie pre vizualizáciu hlavných štruktúrnych črt dostupných údajov spolu s využitím znalostí geológa. Zvektorizované izolínie budú síce rešpektovať priebeh systému poklesov, pretože rešpektujú skúsenosti a schopnosti geológa vytvoriť koherentnú vizualizáciu geologického objektu, na druhej strane však nebudú reprezentovať strop hĺbky uloženia konkrétneho sloja, ale počvy celého

bazálneho slojového pásma, čo v konečnom dôsledku nebolo cieľom. V tomto kontexte je teda veľmi odvážne a zavádzajúce hovoriť o procese modelovania ako takom, pretože sa jedná skôr o digitálne obkresľovanie (nie modelovanie!) ručne kontúrovanej mapy.



Obr. 10. 3D prezentácia výsledného modelu hĺbky uhoľného sloja v prostredí GIS.
Fig. 10. 3D presentation of the final model of the coal seam depths in GIS environment.

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantových úloh „Aplikácia geoštatistických nástrojov pre multivariačnú analýzu a integráciu dát regionalizovaných premenných“, VEGA, č. 1/0222/08 a „Vývoj metód a nástrojov na báze GIS umožňujúcich 3D modelovanie ložísk nerastných surovín za účelom efektívnejšieho využívania surovínového potenciálu SR“, VEGA č. 1/0162/08 na Fakulte BERG TU v Košiciach.

Literatúra – References

- Chiles, J., P. & Delfiner, R.: Geostatistics – Modeling spatial uncertainty. *Oxford University Press, 1999.*
- Deutsch, C. V., Journel, A. G.: *GSLIB Geostatistical Software Library. 2nd edition. Oxford University Press, Inc. New York 1998.*
- Deutsch, C. V.: *Geostatistical Reservoir Modeling. Oxford University Press, Inc. New York, 2002.*
- Goovaerts, P.: *Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, 1997.*
- Groshong, R., H.: *3-D structural geology – A practical guide to surface and subsurface map interpretation. Springer, Germany, 1999.*
- Hlásny, T.: *Modelling selected climate parameters in the ISATIS environment. GIS Ostrava 2007. TU-VŠB, Ostrava, 2007. ISSN 1213-239X.*
- Staněk, F.: *Tvorba modelu ložiska uhlí a způsoby jeho hodnocení. Sborník vědeckých prací. VŠB-TU Ostrava. LI (2005), Monografie 14, 2005.*
- Šarkan, J. et al.: *Beladice – ložiskový prieskum, surovina: lignit, vyhladávací prieskum, stav k 31/08/1993. Geologický prieskum Žilina, 1993.*
- Vizi, L., Hlásny, T.: *Priestorové interpolácie. In: Hlásny, T.: Geografické informačné systémy – Priestorové analýzy (Kapitola 9, str. 106 - 129). Zephyros & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2007.*