

POUŽITIE POSTUPOV KÍZAVEJ GEOŠTATISTIKY PRI MODELOVANÍ RELIÉFU PREDTERCIÉRNEHO PODLOŽIA VNÚTORNÝCH ZÁPADNÝCH KARPÁT

Ladislav, VIZI¹; Marián, ZLOCHA¹; Balász, KRONOME¹; Martin, SUROVÝ¹; Jana, FRIČOVSKÁ¹; Branislav, FRIČOVSKÝ¹

¹ŠGÚDŠ, Jesenského 8, 04001 Košice, Slovensko

ladislav.vizi@geology.sk

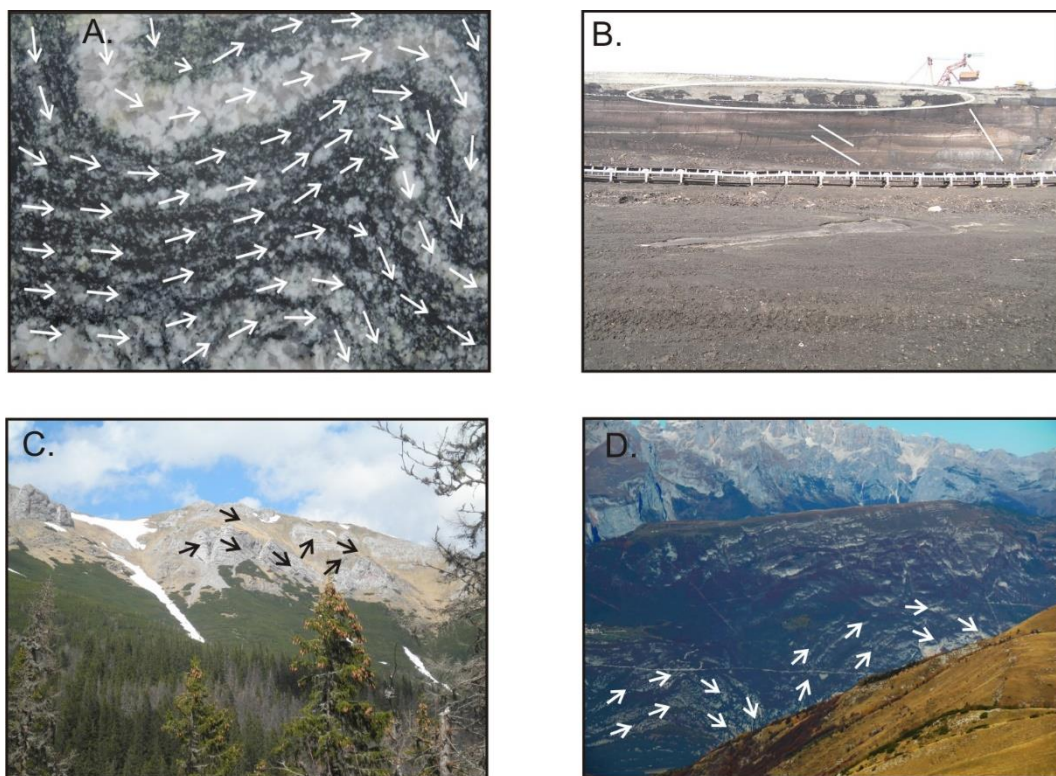
Abstrakt

Od počiatkov geoštatistiky na začiatku 60-tych rokov minulého storočia bolo vyvinutých veľké množstvo algoritmov priestorového modelovania na báze krigovania. Vo všeobecnosti sú tieto algoritmy založené na použití modelu variogramu ako nástroja pre kvantifikáciu priestorovej variability študovaného fenoménu. Hlavnou výhodou použitia krigovania, či už pre potreby odhadov alebo priestorových simulácií, je obsiahnutie týchto priestorových čŕt, ako je dosah vplyvu, úroveň variability, orientácia anizotropie do procesu priestorového modelovania v podobe parametrov modelu variogramu. Vo všeobecnosti, použitie globálneho variogramu v procese priestorového modelovania predpokladá stacionaritu priestorových čŕt variability v rámci študovaného územia. Tento predpoklad má však v mnohých prípadoch svoje obmedzenia ako v prípadoch, ak je študované územie veľké a obsahuje rôzne komplexné štruktúry. Predkladaný článok sa zaoberá aplikáciou inovatívnej metodológie, označovanej ako kízavá geoštatistika, ktorá je určená k lokálnej optimalizácii parametrov globálneho variogramu. V rámci príspevku je metodológia aplikovaná pre potreby vytvorenia modelu reliéfu predterciérneho podložia Vnútných Západných Karpát na území Slovenska, ako jednej z modelovaných vrstiev v rámci úlohy s názvom „3D geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1:500 000“, riešenej na Štátnom geologickom ústave Dionýza Štúra. Vstupnými údajmi pre tvorbu modelu reliéfu je husté bodové pole obsahujúce elevačné údaje získané zo zdigitalizovaných izohyps z mapy predterciérneho podložia.

Kľúčové slová: kízavá geoštatistika, anizotropia, variogram, lokálne parametre

ÚVOD

Geologické objekty často vykazujú rôzne nelineárne črty, ako sú vrásky, riečne paleokanály, žilné štruktúry a iné (Obr. 1). To má za následok komplexné znaky priestorovej variability, čiže úroveň variability jednotlivých štruktúr, dosah vplyvu autokorelácie alebo smer anizotropie. V dôsledku toho sú geologické objekty charakteristické zmiešaným typom priestorovej continuity a variability, čo v praxi nezodpovedá predpokladu stacionarity II. rádu (Matheron, 1973). Konvenčne používané techniky geoštatistických odhadov, ako sú jednoduché alebo bežné krigovanie, neposkytujú v takom prípade vhodné výsledky. Dôvodom je, že sú založené na globálnom modeli variability, v rámci ktorého sa získaný výsledok riadi konštantnými parametrami (prah, dosah vplyvu, anizotropia) vstupného modelu variogramu. Realistickejšie výsledky modelovania geologických fenoménov je možné očakávať za predpokladu lokálnej zmeny týchto parametrov.



Obr. 1. Príklady nelineárnych geologických štruktúr ako je vrása demonštrujúca zmenu orientácie vrstiev (A.), tektonicky porušený priebeh vrstiev uhoľného sloja a pučanie uhlia v rámci plastického ílového nadložja (B.), priebehy vrás vo veľkej mierke (C. a D.). Mierka a orientácia irelevantná. (Foto D. autor Martin Eged, osobná komunikácia).

Predpoklad stacionarity je v praxi pomerne zložité zachovať hlavne so zväčšujúcim sa študovaným územím, kedy sa štruktúrne prvky študovaného fenoménu stávajú príliš komplexné (Magneron et al., 2010). V takom prípade aplikácia stacionárneho prístupu, hoci aj v rámci kľzavého okolia odhadu, vedie k výsledkom, ktoré nie sú zlučiteľné s dostupnými údajmi. Ani použitie nestacionárnych algoritmov modelovania nerieši situáciu a nereprodukuje komplexné štruktúry ako je prítomnosť lokálnych anizotropií, rôzne heterogenity apod.

Článok prezentuje inovatívnu metodológiu, ktorá je venovaná lokálnej optimalizácii parametrov priestorového modelovania. Z tohto dôvodu je táto metodológia označovaná ako kľzavá geoštatistika (*moving geostatistics M-GS*, Magneron et al., 2010) alebo lokálna geoštatistika (*local geostatistics LGS*, Boisvert and Deutsch, 2011). Hlavný predpoklad MGS je, že modelovacie parametre tvoria súbor závislých parametrov, ktoré je možné priestorovo optimalizovať. MGS metodológia je zameraná na lokálnu optimalizáciu geoštatistických parametrov, čo zabezpečuje lepšiu zhodu medzi geoštatistickým modelom a dostupnými údajmi. Princíp MGS spočíva v odhade a použití lokálne meniacich sa parametrov, aby výsledok lepšie odrážal nestacionárne črty a zmeny kontinuity

študovaného fenoménu s dôrazom na lokálne podrobnosti v rámci výsledného rozlíšenia modelu. Aplikácia kľzavej geoštatistiky sa v praxi sústreďí na optimalizáciu štruktúrnych parametrov modelu variogramu a vyhľadávajúce parametre okolia odhadu, ktoré súvisia so stratégiou selekcie hodnôt podieľajúcich sa na odhade neznámej hodnoty a tým aj s optimalizáciou výpočtových parametrov použitej počítačovej zostavy.

Medzi štruktúrne a vyhľadávajúce parametre optimalizované v rámci aplikácie MGS zaraďujeme hlavne:

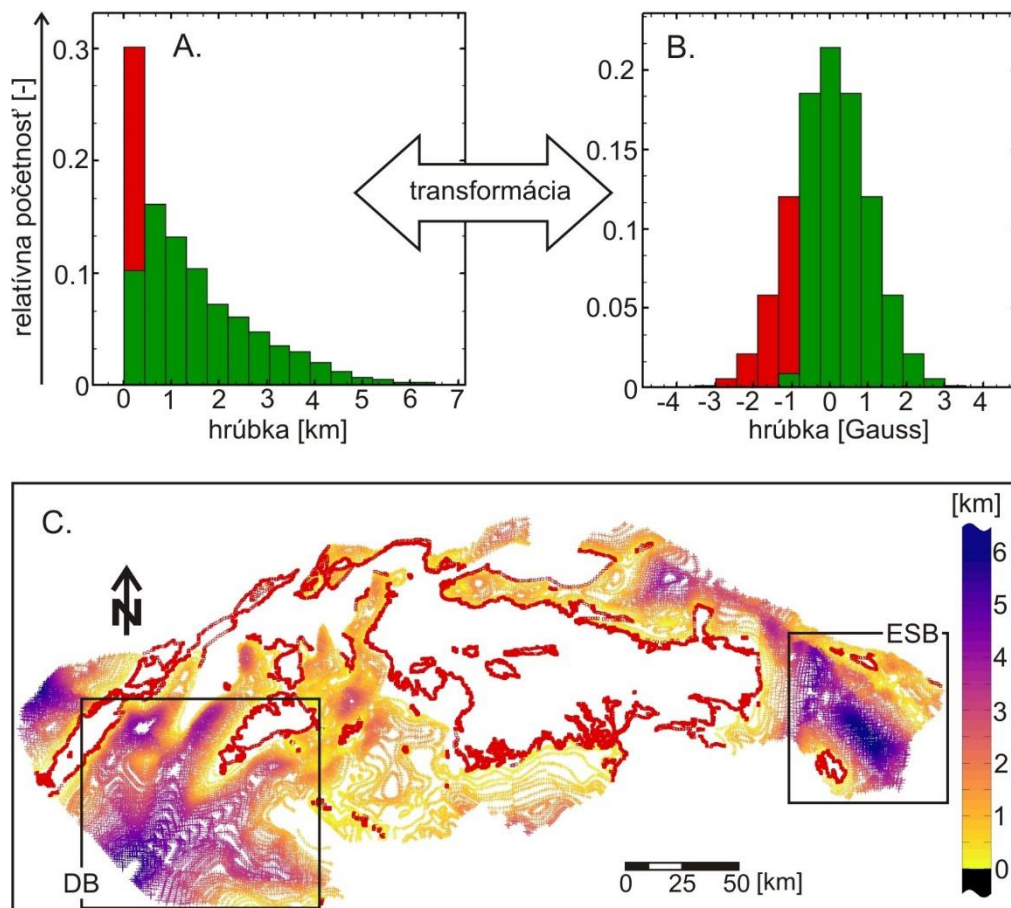
1. dosahy vplyvu autokorelácie jednotlivých štruktúr výsledného modelu variogramu v hlavných smeroch študovaného priestoru,
2. rotácie elipsy anizotropie jednotlivých štruktúr modelu variogramu,
3. úrovne variability (prahu) jednotlivých štruktúr modelu variogramu,
4. rotáciu elipsy okolia odhadu,
5. dĺžku hlavnej osi elipsy okolia odhadu a
6. podiel hlavnej a vedľajšej osi elipsy okolia odhadu.

Pre stručnosť príspevku bude v tomto článku predstavený len efekt lokálnej zmeny rotácie hlavnej osi anizotropie globálneho modelu variogramu na výsledný odhad.

VSTUPNÉ ÚDAJE

Model reliéfu predterciérneho podložia vnútorných Západných Karpát na území Slovenska je nevyhnutným krokom pri tvorbe výslednej 3D geologickej mapy Slovenska. Veľký dôraz pri tvorbe 3D geologického modelu je kladený na presnosť z dôvodu tvorby geologických rezov a získavaní vertikálnych údajov o geologickej stavbe budúcim užívateľom. Vo všeobecnosti vykazujú topografické reliéfy vo väčšej mierke určité črty nestacionarity ako sú sedimentárne panvy s odlišnými priestorovými orientáciami, rôzne komplexné morfológické črty reprezentované priebehom kotlín a údolí s meniacim sa priebehom, či rôzne sklony a lokálne heterogenity ako sú hranice s predterciérnymi útvarmi a podobne.

Vstupnými údajmi pre model reliéfu boli bodové údaje získané digitalizáciou izohyps príslušnej georeferencovanej mapy (Plančár et al., 1985). Husté bodové pole obsahovalo údaje o nadmorských výškach študovaného reliéfu od hladiny mora [m n.m.]. Tieto údaje boli doplnené o hodnoty nadmorských výšok na hraniciach rozšírenia terciérnych sedimentov z DEM Slovenska s rozlíšením 20 x 20 m, čím vznikol súbor 34 294 elevačných údajov s rozsahom hodnôt od -6 400 do 1 442 m n.m. s priemerom -975 m n.m. Z uvedeného je zrejmé, že výsledný súbor obsahoval údaje na úrovni intervalovej škále pozorovania bez absolútnej nuly. Pre lepšiu kontrolu nad procesom modelovania predterciérneho reliéfu boli tieto údaje prevedené do pomerovej škály výpočtom hrúbky [m] terciérnej a kvartérnej výplne v rámci rozšírenia terciérnych sedimentov. Hrúbka bola vypočítaná ako rozdiel medzi nadmorskými výškami DEM a bodovým poľom modelovaného predterciérneho reliéfu na základe bilineárnej interpolácie údajov DEM do pozícií vstupného bodového poľa. Výsledná premenná obsahovala 34 294 údajov o hrúbke s rozsahom od 0 do 6 504 m s priemernou hodnotou 1 330 m.



Obr. 2. Histogram rozdelenia relatívnych početností vstupných údajov použitých pre model reliéfu predterciérneho podložja vnútorných Zápaných Karpát v rámci SR, kde sú červenou farbou označené údaje zodpovedajúce nulovej hrúbke sedimentárnej výplne (A.). Tieto nulové hrúbky zodpovedajú kontaktom s predterciérnymi útvarmi, ktoré sú zobrazené červenou farbou na mape dostupných údajov (C.). Na obrázku. B. je zobrazený histogram rozdelenia relatívnych početností údajov hrúbky sedimentárnej výplne transformovaných do normálneho Gaussovho rozdelenia s priemerom 0 a rozptylom 1.

Na Obr. 2 A. je zobrazený histogram relatívnych početností hrúbok s vyznačením nulových hrúbok (červenou), ktoré tvoria 20% celkového počtu údajov. Na Obr. 2 C. zobrazené výsledné bodové pole hrúbok sedimentárnej výplne s vyznačením nulových hrúbok (červené štvorčeky), ktoré korešponujú s údajmi na hraniciach rozšírenia terciérnych hornín. Na obrázku sú vyznačené depocentrá dvoch sedimentárnych bazénov – Dunajská panva (DB), a Východoslovenská panva (ESB). Na Obr. 2 C. je možné pozorovať hlavnú os kontinuity Dunajskej panvy a príľahlých kotlín (Blatná, Rišňovská a Komjatická kotlina, od Z na V) v smere približne SV-JZ. Na druhej strane, v prípade Východoslovenskej panvy je os kontinuity opačného smerovania, približne v smere SZ-JV. Tento smer je evidentný v prípade Trebišovskej depresie vo východnej časti

Východoslovenskej panvy, pričom sa situácia komplikuje v prípade Košickej kotliny v západnej časti Východoslovenskej panvy, ktorej generálny smer je skôr SSZ-JJV.

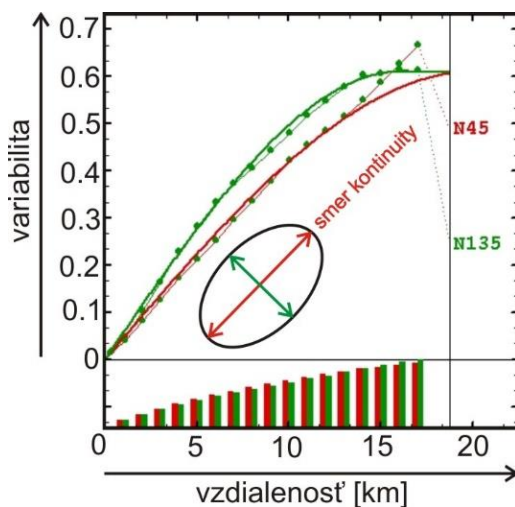
Aby sa zabránilo extrapolácii nulových hodnôt, a tým získaniu záporných hrúbok, boli počiatkové hodnoty transformované do normálneho rozdelenia pravdepodobnosti s priemerom rovným 0 a smerodajnou odchýlkou 1 pomocou kvantilovej transformácie (Deutsch and Journel, 1998). Výsledný histogram rozdelenia početností transformovaných hodnôt hrúbok sedimentárnej výplne je zobrazený na Obr. 2 B.

POUŽITÉ METÓDY

Pre vytvorenie modelu reliéfu predterciérneho podložja na pravidelnej sieti bodov s rozlíšením 200 x 200 m boli porovnávané dva nasledujúce postupy:

1. Bežné krigovanie (OK) s globálnym anizotropným modelom variogramu s hlavnou osou anizotropie v smere SV-JZ (N45), s dosahom vplyvu autokorelácie 20 km a anizotropným podielom 0.8, čo zodpovedá dosahu vplyvu autokorelácie v kolmom smere SZ-JV (N135) vzdialenosti 16 km (Obr. 3).
2. Bežné krigovanie s lokálne nastavenými parametrami anizotropie (MGS) pre vstupný model variogramu zobrazenom na Obr. 3.

Oba vyššie uvedené postupy, OK aj MGS, boli použité so zhodnými parametrami okolia odhadu s priemerom 10 km, ktoré bolo rozdelené na osem uhlových sektorov so selekciou troch hodnôt pre každý uhlový sektor, čo spolu poskytovalo 24 hodnôt podieľajúcich sa na odhade neznámych hodnôt príslušnou metódou. Minimálna vzdialenosť medzi hodnotami v rámci okolia odhadu bola 2 km. Napriek veľkému dosahu vplyvu použitého variogramu (20 km v hlavnom smere kontinuity a 16 km v smere kolmom) bol rádius okolia odhadu



Obr. 3. Anizotropný model variogramu vstupných údajov hrúbok sedimentárnej výplne transformovaných do normálneho rozdelenia. Hlavný smer kontinuity (anizotropie) je SV-JZ (N45). Podiel anizotropie 0.8 (dosah vplyvu autokorelácie v smere SZ-JV je 16 km).

zredukovaný z dôvodu veľkej hustoty vstupných údajov, ako aj pre potreby zachovania predpokladu stacionarity údajov dostupných pre odhad neznámej hodnoty okolia odhadu zredukovaný z dôvodu veľkej hustoty vstupných údajov, ako aj pre potreby zachovania predpokladu stacionarity údajov dostupných pre odhad neznámej hodnoty v rámci okolia odhadu. Nemenej dôležitým faktorom pre redukciu veľkosti použitého okolia odhadu bol odhad zmien smeru anizotropie na základe údajov v rámci okolia odhadu.

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, prevládajúci smer kontinuity variogramu SV-JZ zodpovedá oblasti Dunajskej panvy a priľahlých kotlín. Pomerne malá hodnota anizotropného podielu je zapríčinená opačným smerom kontinuity Trebišovskej depresie Východoslovenskej panvy. Je zrejmé, že na malej hodnote anizotropného podielu má svoj podiel aj orientácia Košickej kotliny Východoslovenskej panvy v smere približne S-J. Je na mieste si všimnúť narastanie variability experimentálneho variogramu v smere SV-JZ (N45), čo indikuje prítomnosť trendu a nestacionárna povaha vstupných údajov v tomto smere. Predpoklad stacionarity bol v tomto smere zabezpečený obmedzením veľkosti okolia odhadu na maximálne prvé dve tretiny priebehu modelu variogramu.

Existuje niekoľko spôsobov odhadu lokálnych parametrov odhadu. Najjednoduchším spôsobom je rozdelenie študovanej oblasti na menšie podoblasti a modelovať ich samostatne v zmysle vlastného modelu variogramu a veľkosť tvar a orientáciu okolia odhadu (Kobulský et al., 2001). Sofistikovanejšie prístupy sú založené na automatickom nastavení sledovaných parametrov (Boisvert et al., 2009), avšak vzhľadom ku komplikovanosti jednotlivých algoritmov sa nimi predkladaný článok nebude zaoberať.

Odhad lokálnych parametrov odhadu v rámci aplikácie MGS sa vykonáva na pravidelnej sieti, ktorá prekrýva dostupné údaje. Jej rozlíšenie má byť v zhode s počtom dostupných údajov v rámci každej bunky siete pre potreby zmysluplného odhadu lokálnych parametrov odhadu. Odhad lokálnych parametrov je založený na aplikácii procedúry *cross-validation* (Staněk, 2005) pre údaje v rámci príslušnej bunky siete. Princíp *cross-validation* spočíva v *dočasnom* odstránení známeho údaju $z(\mathbf{x}_\alpha)$ v pozícii \mathbf{x}_α zo súboru. Následne je vykonaný jeho odhad $z^*(\mathbf{x}_\alpha)$ na základe daného modelu variogramu a modelu okolia odhadu.

Postup (dočasné odstránenie a odhad) je opakovaný pre n dostupných údajov $\alpha = 1, \dots, n$, čím dostávame súbor obsahujúci dve premenné: skutočné hodnoty $z(\mathbf{x}_\alpha)$ a ich odhad $z^*(\mathbf{x}_\alpha)$. Rozdiely medzi týmito premennými udávajú diskrepanciu medzi skutočnosťou a príslušným odhadom alebo jednoducho chyby. Na základe štatistickej analýzy týchto chýb je možné zhodnotiť kvalitu parametrov modelu variogramu a okolia odhadu. Procedúra *cross-validation* je opakovaná pre zvolený súbor parametrov modelu variogramu a/alebo okolia odhadu. Súbor parametrov s najnižším priemerom absolútnych chýb je uložený do príslušnej bunky siete. Celý tento proces je opakovaný pre každú bunku siete, čím dostávame pravidelnú sieť s informáciami o lokálnych parametroch modelu variogramu resp. okolia odhadu.

Pre potreby aplikácie MGS bola použitá sieť s rozlíšením 10x10 km, do ktorej boli ukladané lokálne parametre zmeny osi anizotropie na základe výsledkov procedúry *cross-validation*. V rámci použitej lokálnej siete bolo zabezpečených v priemere 100 údajov pre každé oko siete.

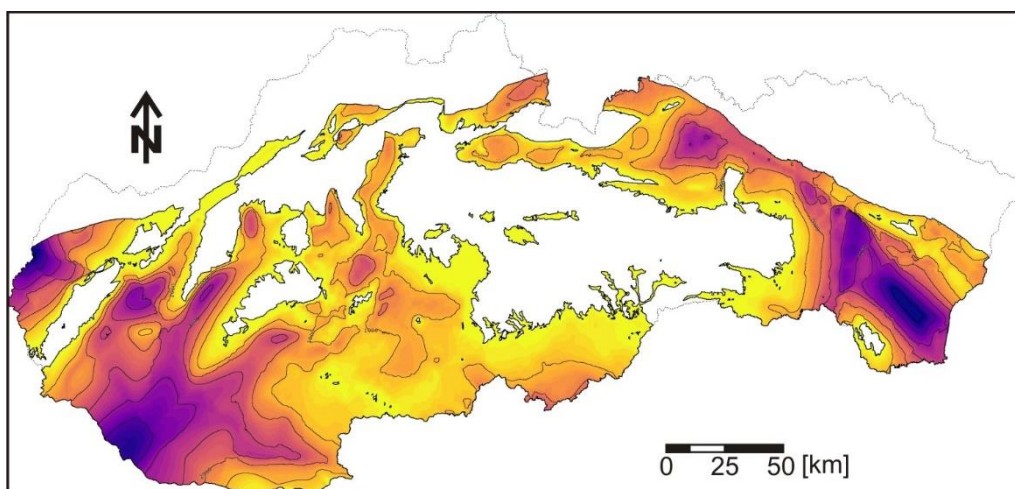
Prvý krok pri použití MGS spočíval v použití globálneho anizotropného modelu variogramu (Obr. 3) pre potreby odhadu smerov hlavnej osi anizotropie a následný odhad dosahu vplyvu tejto osi a príslušný anizotropný podiel. Ako bolo uvedené v úvodnej kapitole, v rámci predkladaného článku bude predstavený len efekt lokálnej zmeny rotácie hlavnej osi anizotropie globálneho modelu variogramu študovaných údajov na výsledný model bázy terciéru. Rovnako, ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, hlavné osi kontinuity sedimentárnych bazénov nie sú v zhode a v prípade Východoslovenskej panvy je situácia výrazne komplikovaná rozdielnou orientáciou Košickej a Trebišovskej kotliny. Z uvedeného dôvodu bola tolerancia zmeny hlavnej osi anizotropie v smere SV-JZ (smer N45) modelu variogramu zobrazenom na Obr. 3 nastavená na $\pm 90^\circ$ s krokom 5° .

VÝSLEDKY

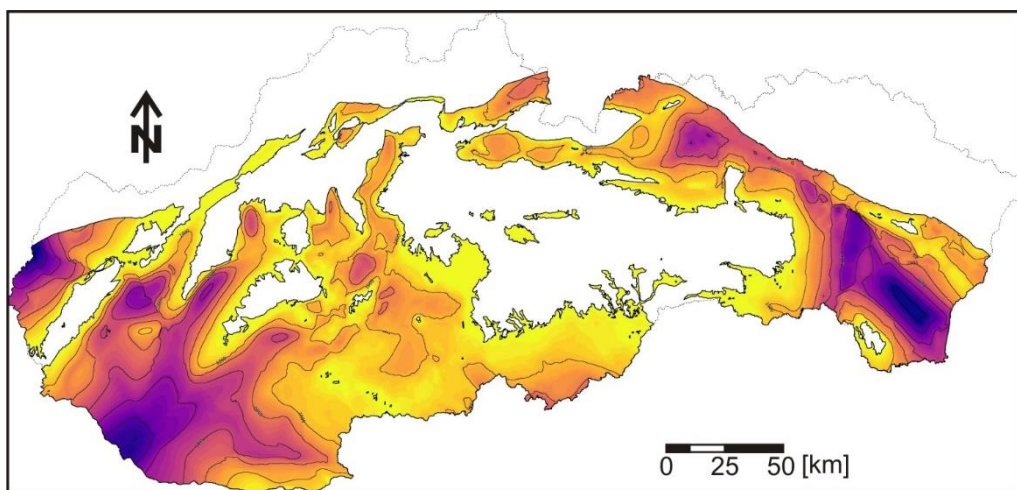
Na Obr. 4 a 5 sú zobrazené výsledné mapy hrúbok terciérnej výplne získané na základe OK (Obr. 4.) s použitím globálneho modelu variogramu podľa Obr. 3 a na základe MGS (Obr. 5) s lokálne optimalizovaným smerom hlavnej osi elipsy anizotropie. Na oboch mapách sú výrazne viditeľné depocentrá Dunajskej a Východoslovenskej panvy, čo znamená, že sa obe výsledky riadia dostupnými vstupnými údajmi (Obr. 2 C.).

Napriek tomu, že obe výsledné mapy vyzerajú veľmi podobne, až rovnako, je možné si pri bližšom štúdiu všimnúť určité rozdiely v získaných výsledkoch.

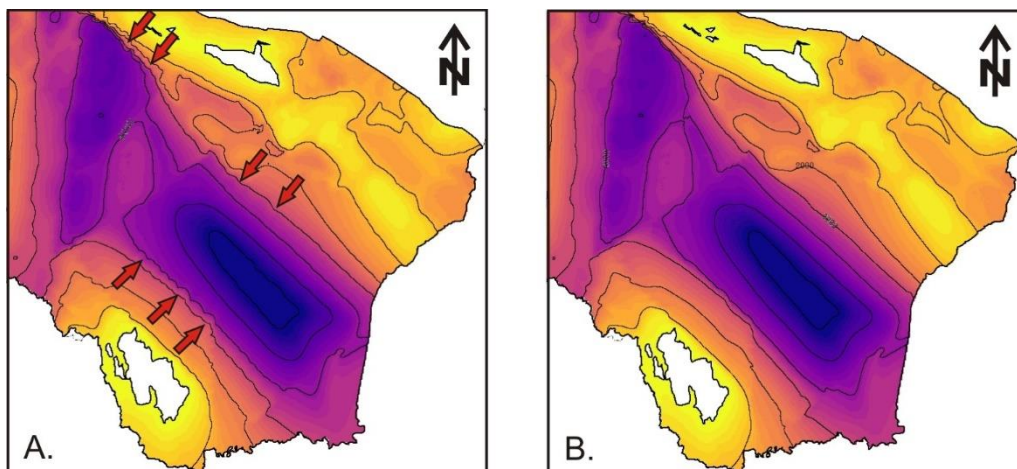
Na Obr. 6 sú zobrazené výsledky získané na základe oboch aplikovaných prístupov pre oblasť Východoslovenskej panvy. Na obrázku A. je zobrazená výsledná mapa hrúbky získaná na základe bežného krigovania s konštantnými parametrami modelu variogramu. Na výslednom výreze mapy hrúbok je možné vidieť zvláštne "vlnkovité" štruktúry, ktoré sú označené šípkami. Na obrázku B., kde je zobrazená výsledná mapa hrúbky na základe použitia MGS je tento nepravidelný priebeh výrazne redukovaný.



Obr. 4. Výsledná mapa hrúbok sedimentárnej výplne získaných na základe použitia OK. Legenda: viď. Obr. 2.



Obr. 5. Výsledná mapa hrúbok sedimentárnej výplne získaných na základe použitia MGS s lokálnou zmenou orientácie anizotropie. Legenda: viď. Obr. 2.



Obr. 6. Detail máp hrúbok v oblasti Východoslovenskej panvy získaných na základe použitia OK (A.) a MGS s lokálnou zmenou anizotropie (B.). Šípky na mape A. vyznačujú prítomnosť "vlnkovitej" štruktúry hrúbky, ktorá je na mape B. vyhladená. Legenda: viď. Obr. 2.

DISKUSIA

Výsledná mapa hrúbky získaná na základe použitia OK (Obr. 4 a 6 A.) vykazovala prítomnosť rušivej "vlnkovitej" štruktúry. Tieto "vlnky" sa objavujú pozdĺž trebišovského zlomu v južnej časti oblasti a kapušiansko-vinianskej vulkanotektonickej zóny v jej severnej časti. Obe tieto zóny majú generálny smer SZ-JV, čo zodpovedá generálnemu smeru orientácie trebišovskej depresie Východoslovenskej panvy. Avšak vzhľadom ku skutočnosti, že pre odhad hrúbky výplne panvy bol použitý model variogramu s opačným smerom kontinuity (Obr. 3), ako je smer Trebišovskej depresie, má za následok akési

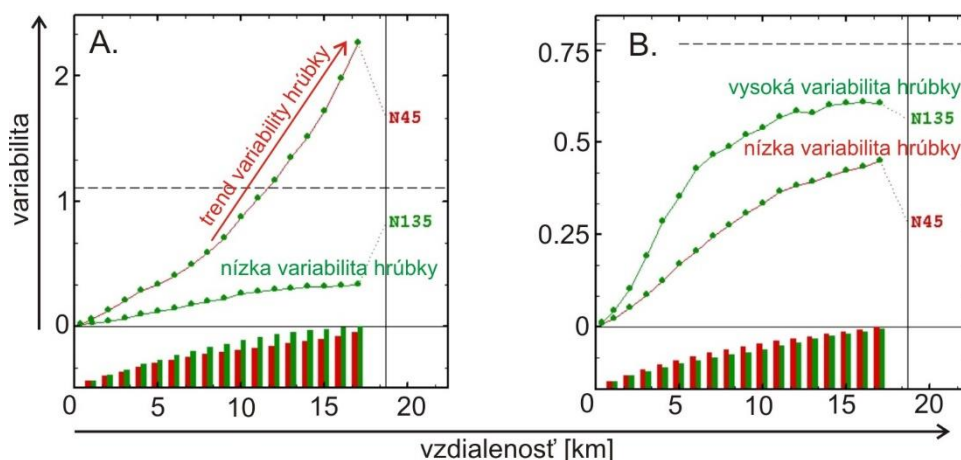
umelé “naťahovanie“ autokorelácie v priečnom smere tejto depresie, čo je v rozpore s generálnym smerom prísunu sedimentov, transgresie morskej a migrácie depocentra depresie (Vass et al., 2000).

Je na mieste poznamenať, že globálny smer continuity hrúbky sedimentárnej výplne bol odvodený z údajov na území Dunajskej panvy a priľahlých kotlín, ktoré samé o sebe tvoria majoritný podiel dostupných údajov.

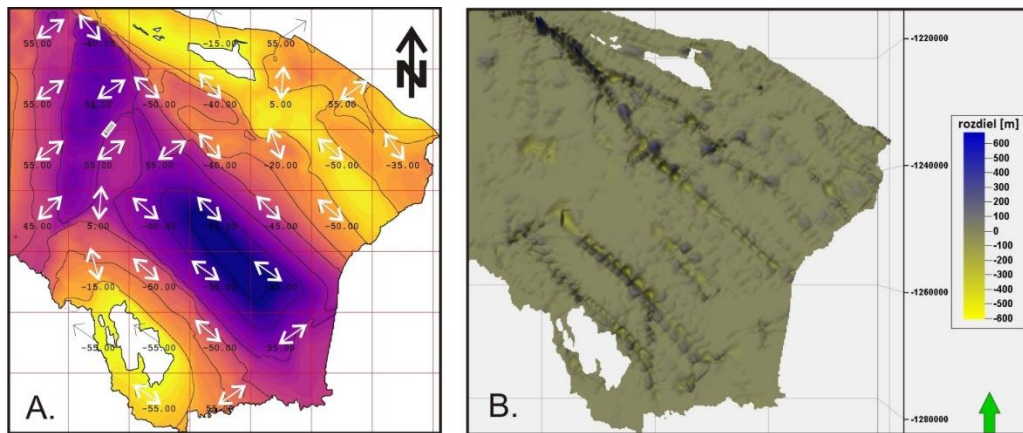
Na Obr. 7 sú pre porovnanie zobrazené lokálne experimentálne variogramy údajov pre oblasť Východoslovenskej panvy (A.) a Dunajskej panvy (B.). Smerové experimentálne variogramy údajov z oblasti Východoslovenskej panvy vykazujú prítomnosť trendu nárastu variability hrúbky sedimentárnej výplne v smere SV-JZ (N45), ktorý zodpovedá vedľajšej osi Trebišovskej depresie, kde je zmena hrúbky výplne výraznejšia ako pozdĺž hlavnej osi. Tento predpoklad potvrdzuje priebeh experimentálneho variogramu v smere SZ-JV (N135), kde úroveň variability nedosahuje ani 1/3 celkového rozptylu dostupných údajov (horizontálna prerušovaná čiara na grafe).

Smerové experimentálne variogramy údajov z oblasti Dunajskej panvy majú úplne odlišný priebeh. Obe majú veľmi nízku variabilitu a nedosahujú celkový rozptyl príslušných údajov (prerušovaná horizontálna čiara na grafe). Smer SV-JZ (N45) vykazuje vyššiu continuity v porovnaní s rovnakým smerom v oblasti Východoslovenskej panvy. Experimentálny variogram v smere SZ-JV (N135) je výrazne vyššie položený, čo indikuje vyššiu variabilitu príslušných údajov o hrúbke, čo je opäť presný opak s rovnakým smerom na území Východoslovenskej panvy.

Na Obr. 8 A. je zobrazená mapa hrúbky sedimentárnej výplne v oblasti Východoslovenskej panvy. Mapa je prekrytá sieťou 10 x 10 km, ktorá slúžila pre optimalizáciu orientácie hlavnej osi anizotropie. Na tomto obrázku sú zobrazené optimálne smery anizotropie, ktoré vykazovali najmenšiu absolútnu chybu počas procedúry cross-validation (kapitola POUŽITÉ METÓDY).



Obr. 7. Lokálne experimentálne variogramy pre údaje z oblasti Východoslovenskej panvy (A.) a oblasti Dunajskej panvy (B.).



Obr. 8. Mapa hrúbok sedimentárnej výplne v oblasti Východoslovenskej panvy so zobrazením lokálnej zmeny rotácie anizotropie (A.). Mapa rozdielov medzi výsledkami získanými na základe OK a MGS (B.). Legenda obrázku A.: viď. Obr. 2.

Z tohto obrázku je zrejmé, že výsledok rešpektuje priebeh hlavných vulkanotektonických línií a samotnej Trebišovskej depresie Východoslovenskej panvy v smere SZ-JV.

Na Obr. 8 B. sú zobrazené rozdiely medzi výslednou mapou hrúbok získanou na základe bežného krigovania s globálnym modelom variogramu so statickými parametrami a mapou získanou na základe MGS s dynamickou zmenou smeru anizotropie. Rozdiely majú normálne rozdelenie s priemerom blízky 0. Rozsah týchto rozdielov je od -604 do +677 m, pričom záporné hodnoty indikujú nadhodnocovanie hrúbky pri použití OK oproti MGS a naopak, kladné hodnoty indikujú podhodnocovanie hrúbky. Na tejto mape rozdielov je možné vymedziť oblasti s výraznými hodnotami rozdielov, ktoré neboli pri bežnom porovnaní dosiahnutých výsledkov možné pozorovať a ktoré zodpovedajú priebehu hlavných tektonických línií v smere SZ-JV – hrčel'ský zlom, trebišovský zlom, močariansko-topliansky zlom a kapušiansko-vinianskej vulkanotektonickej zóny. Rovnako je možné si všimnúť záporné rozdiely (nahodnocovanie hrúbky) v oblasti depocentra Trebišovskej depresie, ktoré zodpovedajú priebehu zlatobanskej vulkanotektonickej zóny.

ZÁVER

Získané výsledky poukazujú na fakt, že použitie lokálne variabilnej rotácie anizotropie má veľký vplyv na výsledný priebeh reliéfu predterciérneho podložia. Použitie reliéfu predterciérneho podložia, odvodeného z mapy hrúbok získaných na základe OK s anizotropným modelom variogramu pre vytvorenie finálneho tektonického horizontu by bezpochyby viedlo k mnohým lokálnym anomáliám priebehu horizontu, čo by si v konečnom dôsledku vyžadovalo prácu a časovo náročnú editáciu výsledku.

Pre úplnosť je potrebné poznamenať, že aj napriek výrazne hustému bodovému poľu dostupných údajov neprináša použitie jednoduchších intepolačných metód ako je OK s izotropným modelom variogramu alebo či populárne prevrátané vzdialenosti požadované výsledky.

Výrazný rozdiel úrovni variability s kvázi ustáleným rozptylom (prahom) hrúbky v rôznych smeroch Dunajskej panvy indikuje tzv. zonálnu anizotropiu, ktorá nebola pozorovaná v prípade globálneho modelu variogramu zobrazenom na Obr. 3. To znamená, že okrem optimalizácie smeru hlavnej osi anizotropie, anizotropného podielu a optimalizácie dosahov vplyvu autokorelácie bude do budúcnosti potrebné zahrnúť do MGS aj optimalizáciu prahov jednotlivých štruktúr variogramu. Z uvedeného vyplýva, že použitie metodológie MGS sa javí ako sľubný prístup pri tvorbe 3D geologického modelu SR.

Rovnako sa v pokračujúcich prácach uvažuje s ďalším zhustením dostupných údajov o sieť geologických rezov a následnú kalibráciu výsledného reliéfu na súbor vrtných meraní ako primárnych údajov. Do úvahy tiež prichádza integrácia ďalších informácií v podobe geologických interpretácií paleografickej evolúcie terciérnych paniev Západných Karpát (Janočko et al., 2003).

Záverom je na mieste poznamenať, že v prípade jednoduchšej zmeny anizotropie je možné použiť stratifikovaný model alebo rozdeliť študované územie na viaceré podoblasti (tzv. *domaining*), avšak v prípade komplexnejších zmien anizotropie je potrebný adekvátnejší prístup založený na modeli lokálnej zmeny anizotropie.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Boisvert, J.B., Manchuk, J.G., Deutsch, C.V. (2009) Kriging in the presence of locally varying anisotropy using non-Euclidean distance, *Mathematical Geosciences*, 41, pp. 585–601.
- Boisvert, J.B. and Deutsch, C.V. (2011) Programs for kriging and sequential Gaussian simulation with locally varying anisotropy using non-Euclidean distances, *Computers and Geosciences*, 37, pp. 495–510.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G. (1998) *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. 2nd Edition, Oxford University Press, New York.
- Janočko, J., Elečko, M., Karoli, S., Konečný, V., Kováč, M., Nagy, A., Vass, D., Jacko, S. jr., Kaličiak, M. (2003): Sedimentary evolution of the Tertiary basins of the Western Carpathian, *Mineralia Slovaca*, 35, 3–4, pp. 161–168.
- Kobulský, J., Gazdačko, L., Grečula, P., Hojnoš, M., Kandrik, M., Kováčik, M., Németh, Z., Pramuka, S., Radvanec, M., Szalaiová, V., Tréger, M. (2001) *Atlas geomáp Spišsko-gemerského rudohoria – Záverečná správa geologickej úlohy*. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.
- Magneron, C., Jeanne, N., Le Moine, O., Bourillet, J.-F. (2010) Integrating Prior Knowledge and Locally Varying Parameters with Moving-GeoStatistics: Methodology and Application to Bathymetric Mapping, In: Atkinson, P.M., Lloyd, Ch.D. (eds.) 7th International Conference on Geostatistics for Environmental Applications, Southampton, UK, September, Springer, pp. 405–415.
- Matheron, G. (1973) The intrinsic random Function and their application, *Advances in Applied Probability*, Vol. 5, No. 3, pp. 439–468.

Plančár, J., Ibrmajer, J., Fusán, O. (1985) Mapa reliéfu predterciérneho podložia vo vnútorných Západných Karpatoch, 1:500 000. Geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.

Staněk, F. (2005) Tvorba modelu ložiska uhlí a způsoby jeho hodnocení. Sborník vědeckých prací VŠB – TU Ostrava. 125 s. ISBN 80-248-0849-8. Ostrava.

Vass, D., Elečko, M., Janočko, J., Karoli, S., Pereszlenyi, M., Slávik, J., Kaličiak, M. (2000) Paleogeography of the East-Slovakian Basin, Slovak Geological Magazine, 6, 4, pp. 377–407.