

# Modelovanie kvalitatívnych parametrov hlavného uhoľného sloja ložiska Nováky v prostredí GIS na účely výpočtu zásob a vizualizácie priestorových vzťahov

PETER BLIŠŤAN<sup>1</sup> a MONIKA BLIŠŤANOVÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice

<sup>2</sup>Ústav občianskej bezpečnosti, Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, Kukučínova 17, 040 01 Košice

## Modelling of qualitative parameters of the main coal seam in the Nováky deposit in GIS environment for the purpose of reserves calculation and visualization of spatial relations

The aim of this paper is to show the possibilities of effective GIS use for modelling of mineral deposits in an example of brown coal deposit Nováky. The work results – seam base model and seam thickness model, ash content and heat value of coal presented in the ArcGIS are an example of a modern approach in the processing of geological data. The form of presentation offered by GIS allows much more efficient handling the primary data and provides greater opportunities for the presentation of results.

**Key words:** mineral deposit, coal seam, modelling, geographic information system (GIS), ArcGIS, Nováky deposit

## Úvod

Geografické informačné systémy (GIS) sa v posledných rokoch stali kľúčovou zložkou všetkých odvetví geovied, oblasť geológie a baníctva nevynímajúc. GIS predstavujú sofistikovaný nástroj, ktorý ponúka možnosť zberu, ukladania, spravovania, spracovania, analýzy a vizualizácie digitálnych priestorových údajov. Využívanie nástrojov GIS, ktoré ponúkajú komerčné, ale aj open-source softvérové produkty, sa v posledných rokoch stalo štandardom aj u nás. Pre oblasť geológie GIS ponúkajú výkonnú sadu nástrojov na realizáciu rôznych priestorových analýz. V praxi sa s GIS stretávame obyčajne pri komplexnom modelovaní správania sa rôznych prírodných fenoménov – napr. pri modelovaní ich kvantitatívnych či kvalitatívnych vlastností a pod.. My sa budeme v tomto príspevku venovať predovšetkým modelovaniu kvalitatívnych parametrov uhoľného sloja nástrojmi GIS na potrebu výpočtu zásob a vizualizácie priestorových vzťahov.

Modelovanie geologických objektov a javov ako zložitých prírodných fenoménov je náročný proces a prináša so sebou niekoľko vážnych problémov. Pre mnohé geologické objekty, ako napr. ložiská nerastných surovín, je typická premenlivosť morfológie ložiskového telesa, ako aj náhla zmena kvality suroviny v ložisku v horizontálnom či vertikálnom smere. Správna a efektívna analýza týchto prírodných objektov si preto vyžaduje použitie celej palety špeciálnych nástrojov a postupov. Pri modelovaní geologických javov, vrátane priestorového modelovania ložisk nerastných surovín, môžeme využiť dve základné

kategórie softvérových produktov: univerzálne alebo špecializované softvérové produkty. Špecializované softvérové produkty, ako napr. RockWorks, SURPAC, MICROMINE, DATAMINE, Vulkan 3D, PETREL a iné, sú vyvíjané iba na účely geológie a baníctva. Kategóriu univerzálnych softvérov, vhodných predovšetkým na správu dát a ich vizualizáciu, ale aj na menej náročné modelovacie procedúry tvoria práve geografické informačné systémy. V geológii sú používané najmä na:

- zber geoúdajov (priame meranie v teréne, DPZ),
- správu geoúdajov (triedenie údajov a prehľadávanie databáz),
- analytické spracovanie (analýza, syntéza, modelovanie),
- prezentáciu geoúdajov a výstupov modelovania (2D a 3D modely, mapy, grafy).

Systematické používanie nástrojov GIS v oblasti geológie uľahčuje správu údajov bežne obsiahnutých v geologických mapách a archívoch. Všetky tieto typy údajov, rovnako ako aj údaje o geologických štruktúrach – zlomy, pukliny, vrstevné plochy, vrásky a pod. – sú potenciálnym zdrojom informácií, ktoré by mali byť použité pri tvorbe 3D modelov ložísk (Perrin et al., 2005; Chile et al., 2004; Mallet, 1997).

Cieľom tejto práce je ukázať, ako je možné spravovať rôzne typy geologických a kartografických údajov technológiou GIS a využiť ich na 3D modelovanie geologických telies – uhoľného sloja. 3D modelovanie uhoľného sloja bolo vykonané v prostredí ArcGIS s využitím implementovaných interpolačných metód a algoritmov. Ako modelový príklad poslúžilo ložisko hnedého uhlia Nováky

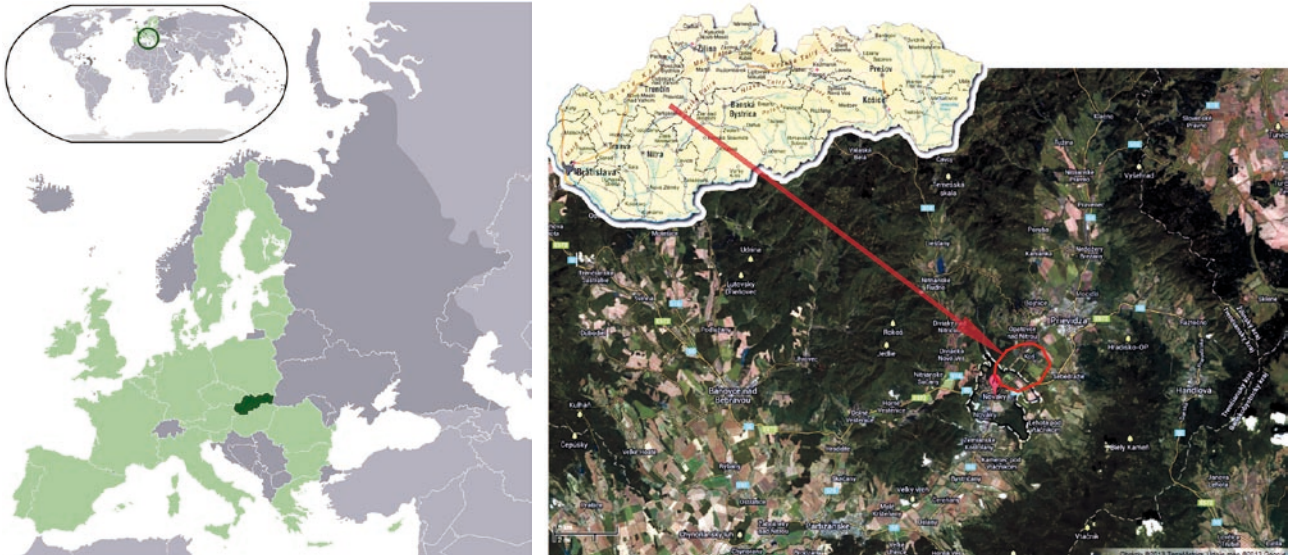
– 11. a 12. ťažobný úsek Bane Nováky, pričom údaje boli poskytnuté spoločnosťou Hornonitrianske bane Prievidza, a. s..

### Ložisko hnedého uhlia Nováky Geomorfologická charakteristika

Podľa geomorfologického členenia Slovenska (Mazúr a Lukniš, 1986) Novácke ložisko patrí do celku Hornonitrianska kotlina, presnejšie do čiastkovej kotliny – Prievidzská kotlina (obr. 1). Nadmorská výška územia sa pohybuje od 200 m n. m. na nive rieky Nitry až po 845 m n. m.

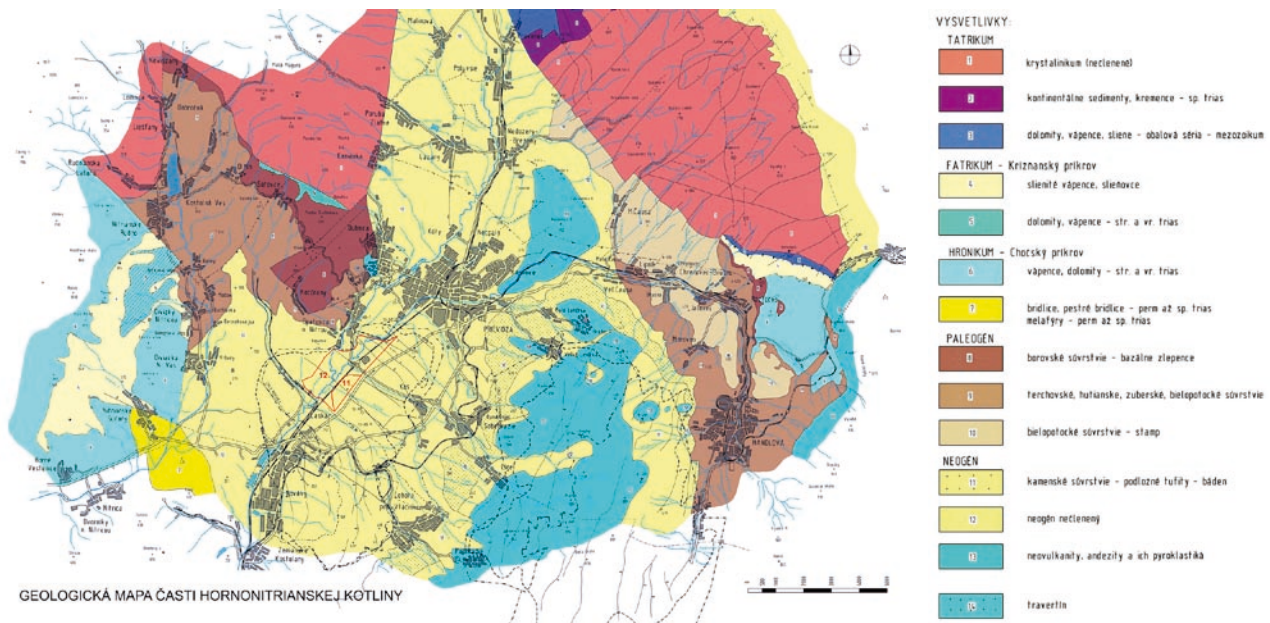
na vrchu Stráž nad obcou Veľké Pole. Väčšinu rozlohy Prievidzskej kotliny tvoria náplavové kužele potokov vytekajúcich z pohoria Vtáčnik, ktorého stratovulkanická stavba umožňuje pomerne rýchlu denudáciu, a tak poskytuje dostatok materiálu pre vodné toky.

Recentné zmeny v reliéfe krajiny vyvoláva aj podzemná ťažba uhlia. Vznikajú najmä poklesové depresie, ale aj násypny hlušiny – haldy po banskej činnosti. Poklesové depresie majú charakter bezodtokových znížení, najčastejšie s priemerom 100 – 200 m a hĺbkou 2 – 10 m. Ak je podložie tvorené horninami s väčším obsahom ílu, dochádza k vzniku trvalých jazier (mokradí) s napojením



Obr. 1. Geografická pozícia záujmovej oblasti.

Fig. 1. Geographical position of studied area.



Obr. 2. Prehľadná geologická mapa Hornonitrianskej kotliny (Mečiar, 2007).

Fig. 2. Geologic map of the Horná Nitra Basin (Mečiar, 2007).

na hladinu podzemných vôd. K takým patria najmä depresie na JZ a JV okraji obce Koš. V iných depresiách vznikajú občasné jazerá v období trvalejších dažďov a pri jarnom topení snehu. Medzi antropogénne morfológické terénne tvary patria predovšetkým hlušinové odvaly (haldy). Najväčšie sa nachádzajú pri Novákoch a Lehote pod Vtáčnikom. Okrem nich celkový reliéf dotvára aj umelá vodná nádrž a odkalisko karbidového vápna v Novákoch (Schwarz et al., 2006).

Začlenenie ložiskového územia do geologického regiónu

Novácke uhoľné ložisko sa nachádza v centrálnej časti Hornonitrianskej kotliny (obr. 2). Hornonitrianska kotlina je na severovýchode ohraničená jadrovým pohorím Žiar, zastúpeným kryštálickým jadrom s obalovou sériou a križňanským a chočským príkrovom. Západné ohraničenie kotliny predstavujú Strážovské vrchy reprezentované kryštalinikom Malej Magury a Suchého a príkrovovými jednotkami. Na východnom i západnom okraji vystupujú na povrch horniny paleogénu – oblasť Handlovej a bojnickej vysokej kryhy. Juhovýchodné a východné ohraničenie kotliny je tvorené neovulkanitmi Kremnických vrchov a Vtáčnika. Na juhu je kotlina ohraničená jadrovým pohorím Tribeč a smerom na juhozápad je otvorená cez Brodziansku bránu v oblasti mesta Partizánskeho smerom do Topoľčianskeho zálivu Podunajskej nížiny (Blišťanová a Blišťan, 2012; Šarkan, 2009).

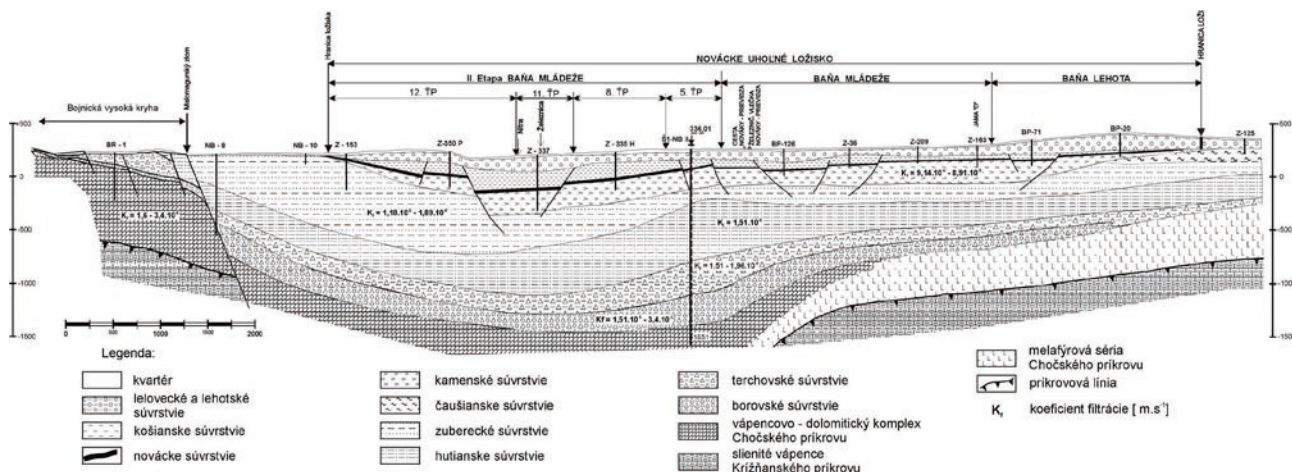
### Geologická stavba ložiska

Hlbšie podložie nováckeho uhoľného ložiska tvoria zvrásnené a erodované paleogénne a spodnomiocénne sedimenty. Na povrch vystupujú spolu s predterciárnymi útvarmi len v okolitých jadrových pohoriach. Ložiskovú výplň Hornonitrianskej kotliny reprezentujú molasové sedimenty a vulkanity stredného miocénu. V podmienkach nováckeho uhoľného ložiska vyčleňujeme nasledujúce súvrstvia (Šarkan, 2009; obr. 3):

- kamenské súvrstvie – podložné tufity (spodný bádén),
- novácke súvrstvie – produktívne vrstvy s uhoľnými slojmi (vrchný bádén),
- košianske súvrstvie – nadložné íly (vrchný bádén),
- lehotské súvrstvie – detriticko-vulkanická formácia (vrchný bádén),
- kvartér.

**Kamenské súvrstvie (spodný bádén)** – ako kamenské súvrstvie sa vyčleňuje súvrstvie epiklastických vulkanických zlepenčov a pieskovcov s nevulkanickým materiálom v podloží uhoľných slojov, ktoré sa v bežnej zaužívanej terminológii označuje ako komplex podložných tufitov. Hrúbka súvrstvia je značne variabilná, maximálne okolo 350 m.

**Novácke súvrstvie (vrchný bádén)** – predstavujú ho produktívne vrstvy nováckeho uhoľného ložiska. Spodná hranica súvrstvia nie je ostrá, ale tvorí ju postupný prechod z podložného kamenského súvrstvia. Vrchná hranica sa kladie na strop uhoľného sloja. Súvrstvie v spodnej časti tvoria piesčito-ílovité a tufitické sedimenty, ktoré postupne prechádzajú do hnedých, tmavosivých až čiernych uhoľných ílov s uhoľným slojom. Hrúbka celého produktívneho súvrstvia je až 50 m. Najdôležitejší uhoľný sloj je tzv. hlavný sloj, ktorý je ako jediný predmetom hospodárskeho záujmu. Novácke súvrstvie s vývojom hlavného uhoľného sloja je vyvinuté na celej ploche 11. a 12. ťažobného úseku (obr. 2). Slojové pásmo je vo vrchnej časti zložené z xyliticko-detritického uhlia s ojedinelými tufitickými preplástkami. V spodnej časti sloja sa striedajú polohy xyliticko-detritického a detritického uhlia s nerovnomerným obsahom minerálnej prímеси. Bilancovaná hrúbka uhoľného sloja sa pohybuje od 13,20 do 17,80 m (priemer 14,61 m). Z uhoľnopedrografickej stránky hlavný uhoľný sloj tvorí uhlie patriace k hnedouhoľným humitom. Stupeň preuhoľnenia zodpovedá rozhraniu hnedouhoľnej hemi- až ortofázy. Podľa medzinárodnej Klasifikácie UNECE z roku 1998 bolo uhlie hlavného sloja klasifikované ako B-meta lignit s nízkym stupňom preuhoľnenia, stupeň znečistenia – málo čisté uhlie.

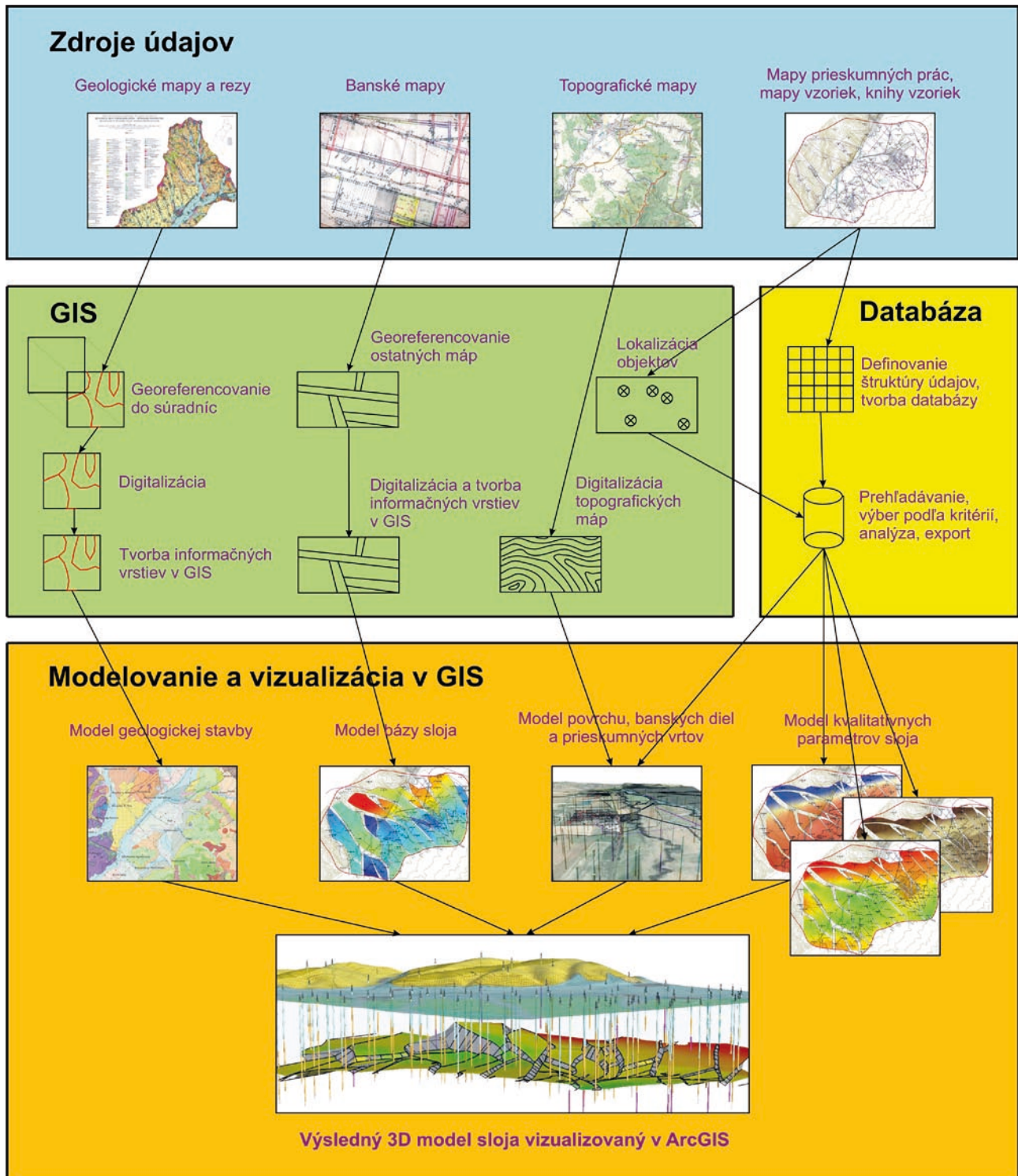


Obr. 3. Schematický geologický rez Bojnickou vysokou kryhou a Nováckou depresiou (Mečiar, 2007).

Fig. 3. Schematic geological section of Bojnice lifted block and Nováky depression (Mečiar, 2007).

**Košianske súvrstvie (vrchný bádén)** – tvorí ho hrubé súvrstvie ílov a slienitých ílov v nadloží nováčkeho súvrstvia – v bežnej zaužívanej terminológii sa označuje ako nadložné íly. Rozšírenie súvrstvia je obdobné ako v prípade nováčkeho súvrstvia. V študovanom území ho zastupujú

sivé a zelenosivé íly so zuholnatenými rastlinnými zvyškami. Íly sa miestami črepinovito rozpadajú. Vo vrchných častiach súvrstvia sa jeho charakter čiastočne mení. Pribúda piesčitej frakcie a ojedinele sa objavujú aj polohy pieskov. V bazálnej časti súvrstvia sa objavujú pomerne celistvé



Obr. 4. Metodika tvorby modelu uhoľného sloja v GIS.

Fig. 4. Methodology of the coal seam model creation in GIS.

polohy sivých a tmavosivých diatomitických ílov. Celková hrúbka košianskeho súvrstvia sa pohybuje v rozmedzí od 90 do 210 m.

**Lehotské súvrstvie (vrchný bádén)** – tvoria štrky, piesky, piesčité íly a íly s mezozoickým a karbonátovým materiálom nad košským súvrstvom nadložných ílov, ktoré sa v bežnej zaužívanej terminológii označujú ako detriticko-vulkanická formácia. Súvrstvie je priestorovo nesúvislé, uložené na denudovanom reliéfe starších súvrství. Vrchnú hranicu v oblasti nováčkeho uhoľného ložiska predstavuje styk s kvartérnymi horninami. Súvrstvie tvoria nepravidelne sa striedajúce, slabo vytriedené štrky a piesky, v menšej miere piesčité íly a íly s materiálom karbonátových hornín a kremencov mezozoika, menej žúl, kryštalických bridlíc a paleogénnych pieskovcov. V oblasti 11. a 12. ťažobného úseku sa lehotské súvrstvie overilo v klasickom štrkovo-piesčitom vývoji, len jeho bazálna časť pozostáva z polôh sivozelených piesčitých ílov prevrstvených polohami zaílovaných pieskov. Celková hrúbka súvrstvia sa pohybuje od 100 do 230 m.

**Kvartér** – najmladšie sedimenty v oblasti nováčkeho uhoľného ložiska reprezentujú aluviálne náplavy rieky Nitry a jej prítokov, sutiny a ornica. V náplavoch sú zastúpené obliaky andezitu, mezozoických hornín, hornín kryštalínika a v menšej miere paleogénnych pieskovcov. Miestami sa nachádzajú polohy preplavených ílov a pieskov. Alúvium v tomto území dosahuje hrúbku od 10 do 30 m. Tvorí ho prevažne hnedá piesčitá hlina, v ktorej smerom do hĺbky postupne pribúda obliakového materiálu (Blišťanová a Blišťan, 2012; Šarkan, 2009).

### Metodika tvorby modelu uhoľného sloja v prostredí GIS

Metodika tvorby digitálnych modelov geologických objektov v GIS prostredí sa v podstate nelíši od metodiky tvorby modelov v „analogovej“ podobe. Pri obidvoch vychádzame z niekoľkých základných etáp (obr. 4):

- zber primárnych a sekundárnych údajov a tvorba databázy,
- úprava, transformácia a spracovanie údajov,
- matematické modelovanie javu (zahŕňa predovšetkým interpoláciu a extrapoláciu),
- analýza a syntéza poznatkov, zostavenie výsledného modelu a jeho vizualizácia,
- interpretácia výsledkov.

Ako už bolo povedané, v procese tvorby digitálneho modelu sa používajú univerzálne alebo špecializované softvéry, v závislosti od náročnosti modelu a účelu jeho využitia. V týchto softvérových produktoch sú potom analyzované základné vstupné údaje a syntetizované získané poznatky. Niektoré kroky tohto procesu sú automatizované, a to preto, aby sa urýchlil proces spracovania údajov a bolo možné jednoducho aktualizovať vytvárané modely. Ďalšie kroky, ako je interpretácia údajov a formulovanie záverov, si však vyžadujú interakciu počítača s geológom špecialistom.

Predstaviteľom komerčných GIS softvérov, ktoré patria do kategórie univerzálnych produktov, je produkt spoločnosti ESRI – ArcGIS. Ide o systém softvérových produktov na

tvorbu geografických údajov, ich správu a analýzu. Vďaka výkonným nástrojom na editáciu, analýzu a modelovanie, spolu s bohatými možnosťami dátových modelov a správy údajov, býva softvér ArcGIS označovaný ako najkomplexnejší GIS softvér. ArcGIS ponúka používateľom niekoľko prostredí – ArcMap (ArcView, ArcEditor, ArcInfo), ArcGlobe, ArcScene, ArcReader a ArcCatalog.

### Zber údajov a tvorba databázy

V súčasnosti je už vo väčšine prípadov, keď potrebujeme získať relevantné údaje o niektorej geologickej lokalite na území SR, hlavným zdrojom geologických informácií Geologický archív – Geofond. Tam sú v zmysle priestorového chápania pojmu uložené bodové, líniové a plošné údaje, ktoré v reálnom svete predstavujú napr. prieskumné vrty a vzorky, priebehy geofyzikálnych rezov a iné typy informácií zhromaždené pri geologickom mapovaní. Dôležitým zdrojom informácií sú rôzne druhy syntetických máp – geologické, štruktúrno-tektonické, mapy realizovaných prieskumných prác, základné banské mapy, mapy prejavov banskej činnosti na povrchu a pod. (Kovanič a Kovanič ml., 2008). Mapy sú však len statickou reprezentáciou povrchových alebo podpovrchových javov zakreslených do roviny a v súčasnosti sú už často nahrádzané digitálnymi priestorovými modelmi, vytvorenými v počítačovom prostredí vrátane GIS prostredia (Sokol et al., 2006).

Prvým krokom v zmysle uvádzanej metodiky bolo vytvorenie geologickej databázy, ktorá obsahovala všetky informácie potrebné na 3D modelovanie v GIS (obr. 4). Tento krok bol realizovaný v prostredí ArcGIS s využitím dostupných nástrojov na ukladanie a správu nasledujúcich vrstiev:

- *topografické údaje – 2D výškopis a polohopis, topografický podklad tvorili topografické mapy s mierkou 1 : 10 000 a 1 : 5 000,*
- *2D účelové banské mapy s vyznačením priebehu banských diel,*
- *2D geologické mapy vrátane mapy bázy sloja a tektonickej mapy,*
- *2D mapa realizovaných prieskumných diel, predovšetkým povrchových ložiskových vrtov, ale aj podzemných malojadrových prieskumných vrtov,*
- *výsledky chemických analýz vzoriek uhlia odobratých z prieskumných diel na povrchu a v podzemí.*

Na vytvorenie digitálneho modelu bolo potrebné analogové vstupné údaje (predovšetkým mapy) digitalizovať. Zdigitalizované boli topografické mapy záujmového územia v mierke 1 : 10 000 a 1 : 5 000, mapy prieskumných prác, geologické mapy a rezy atď.. Mapy boli zdigitalizované v 3D súradniciach a lokalizované v platnom súradnicovom systéme S-JTSK s výškou určenou vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní (Bpv).

Databáza prieskumných diel (obr. 5), odobratých vzoriek a fyzikálno-chemických analýz uhlia (obr. 6) bola zostavená ako relačná databáza v databázovom systéme MS Access. Štruktúra databázy bola navrhnutá tak, aby jej prehľadávanie, ako aj ďalšie použitie v GIS bolo efektívne a zároveň čo najjednoduchšie. Následne boli

údaje pripojené do prostredia ArcGIS ako samostatné informačné vrstvy a tam symbolizované. Kvalita údajov – úplnosť, polohová presnosť a správnosť atribútov boli následne kontrolované a testované v prostredí ArcGIS.

Úprava, transformácia a spracovanie údajov

Podkladom na zostavenie modelu 11. a 12. ťažobného úseku hlavného sloja ložiska Nováky boli údaje zo 103 prieskumných vrtov, z ktorých 62 bolo pozitívnych.

Na základe údajov o litológii, stratigrafii, ložiskových polohách a kvalite uhlia v pasportoch prieskumných vrtov bol teda z primárnych údajov vyselektovaný štatistický súbor ložiskových údajov. V rámci tejto etapy boli pre jednotlivé časti vrtného jadra (návrty) a vzorky odobraté z vrtného jadra vypočítané priestorové súradnice ťažiska každého návrtu, resp. každej odobratej vzorky (obr. 6), a to podľa pozícií ústí vrtov a priestorovej orientácie vrtov (azimut a úhol). Následne bola vykonaná štatistická analýza súboru, kde boli podľa empirických vzťahov

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z															
4	CISLO	X	Y	Z	TER pozve	HLBAKA vrhu	HLBAKA	kvartier baza	HLBAKA	lelovska baza	HLBAKA	lehoťska baza	HLBAKA	košianska baza	HLBAKA	novacke baza	HLBAKA	kamenská baza	HLBAKA	čaujaniske	HLBAKA	ryš baza	HLBAKA	okrajove	bazalne	HLBAKA	HLBAKA													
4	Z-25-41	122609.790	46029.880	256.31	-20.64	276.95	12.00	243.31	124.00	131.31	266.45	124.00	131.31	266.45	-10.14	272.75	-17.44	276.95																						

Obr. 5. Vstupné údaje z prieskumných diel (litológia vo vrte) spracované v MS Excel.

Fig. 5. Input data from exploration works (lithology in the well) processed in MS Excel.

Všetky tabulky	11_TP	12_TP	11_TP	názov vrtnu	X	Y	Z	mocnosť (m)	voda (%)	popol (%)	Qsdaf (MJ/k)	síra (%)	arzen(g/t)	obj#hmotnc	výhrevnosť (
11_TP: Tabuľka			Z-189	-460782,310	-1224927,750	-57,580	13,200	36,000	30,360	0,000	0,000	0,000	0,000	1,337	10,310
12_TP: Tabuľka			Z-259	-460030,560	-1224642,920	-109,190	14,750	36,000	24,000	0,000	4,240	311,000	1,299	11,030	
			Z-336	-460564,600	-1224994,120	-50,780	14,600	34,630	27,060	26,400	4,350	843,000	1,341	11,340	
			Z-337	-460703,700	-1224694,870	-129,130	17,200	27,990	21,610	0,000	4,720	849,000	1,347	13,520	
			Z-396	-460444,670	-1224204,530	-73,760	25,600	34,340	25,630	0,000	3,890	938,000	1,348	11,380	
			Z-401	-461018,250	-1224934,780	-19,420	12,000	37,800	18,490	26,810	4,000	1062,000	1,269	12,230	
			Z-429	-460975,990	-1225172,640	-97,900	15,100	31,610	27,420	26,740	4,450	848,000	1,297	11,930	
			Z-430	-460775,460	-1225092,080	-45,000	18,000	31,010	27,990	26,380	4,610	774,000	1,262	11,780	
			Z-431	-460826,400	-1224731,120	-135,180	16,200	31,260	23,600	26,420	4,370	553,000	1,214	12,460	
			Z-432	-460596,070	-1224541,080	-135,300	9,800	28,520	33,870	25,480	5,120	325,000	1,302	10,860	
			Z-433	-460158,340	-1224418,450	-125,520	15,100	34,810	23,050	26,530	3,740	663,000	1,401	11,900	
			Z-434	-460538,610	-1224793,860	-129,610	14,400	31,420	28,430	26,080	3,760	287,000	1,307	11,630	
			HP-2958	-460638,700	-1225004,200	-52,100	14,900	32,280	25,560	26,140	4,560	0,000	1,274	11,800	
			HP-2957	-460805,800	-1224823,400	-94,200	20,000	29,820	27,220	26,200	4,260	0,000	1,283	11,990	
			HP-2955	-460929,800	-1224722,500	-86,800	17,200	31,330	21,580	26,590	4,130	0,000	1,269	12,750	
			HP-2947	-460598,600	-1224819,500	-84,500	15,300	30,710	30,190	26,370	4,190	0,000	1,303	11,450	
			HP-2943	-460650,200	-1224875,300	-73,000	15,600	32,570	22,880	31,040	4,200	0,000	1,281	12,400	
			HP-1935	-460320,000	-1224895,000	-87,400	14,500	32,290	28,630	0,000	3,100	0,000	1,322	11,180	
			HP-1924	-460220,000	-1224787,000	-79,000	10,800	36,070	19,450	0,000	3,350	0,000	1,274	12,330	
			HP-1928	-460266,000	-1224831,000	-83,000	11,500	33,730	21,320	0,000	3,190	0,000	1,285	12,560	
			HP-2724	-460509,600	-1225000,100	-48,400	14,800	34,230	24,860	0,000	4,110	0,000	1,259	11,730	
			HP-2742	-460667,100	-1225162,200	-62,000	13,000	34,640	26,770	0,000	4,200	0,000	1,309	11,120	
			HP-2795	-460444,400	-1224939,200	-64,000	17,700	35,760	24,980	0,000	4,800	0,000	1,222	11,390	
			PF-2546	-460543,273	-1225043,842	-46,500	10,500	37,060	26,050	0,000	3,860	0,000	1,303	10,660	
			PF-968	-460072,041	-1225660,237	-115,800	12,500	33,120	25,550	0,000	3,530	0,000	1,301	11,980	
			PF-961	-459950,582	-1224522,735	-85,000	11,200	32,660	29,720	0,000	3,550	0,000	1,323	11,150	
			PF-950	-460015,373	-1224594,783	-100,700	13,600	33,660	27,230	0,000	3,920	0,000	1,308	11,380	
			PF-2555	-460625,489	-1225130,851	-55,600	9,800	36,870	23,260	0,000	4,100	0,000	1,29	11,250	

Obr. 6. Databáza vzoriek v MS Access.

Fig. 6. Database of samples in MS Access.

Tab. 1  
Výsledky štatistickej analýzy  
Results of statistical analysis

Štatistický parameter	Hrúbka sloja [m]	Obsah vody [%]	Obsah popola [%]	Spalné teplo [MJ/kg]	Obsah síry [%]	Obsah arzénu [g/t]	Objemová hmotnosť [g/cm <sup>3</sup> ]	Výhrevnosť [MJ/kg]
Stredná hodnota	12,62	32,29	26,11	7,70	3,54	326,53	1,32	11,56
Chyba sred. hodnoty	0,69	0,66	0,90	1,54	0,20	47,71	0,01	0,15
Medián	13,30	33,65	25,56		3,96	207,00	1,30	11,69
Modus	17,20	36,00	23,26				1,34	11,38
Smerodajná odchýlka	5,40	5,21	7,09	12,15	1,58	375,68	0,05	1,20
Rozptyl	29,16	27,17	50,32	147,72	2,51	141 136,90	0,002	1,44
Špicatost	0,57	14,64	5,61	-1,10	1,26	-0,74	6,75	4,41
Šikmost	0,44	-3,08	2,00	0,96	-1,45	0,77	1,74	-1,45
Rozpätie	25,80	34,37	38,99	31,04	6,30	1 290,00	0,34	6,53
Minimum	2,60	3,43	15,63	0,00	0,00	0,00	1,21	7,07
Maximum	28,40	37,80	54,62	31,04	6,30	1 290,00	1,55	13,60
Suma	782,55	2 002,14	1 618,55	477,38	219,66	20 244,66	81,59	716,98
Počet vzoriek	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00

(Blištan, 1999) vyhodnocované parametre hlavného sloja. Konečný dátový súbor, určený na štatistické spracovanie, obsahoval 62 vzoriek s vypočítanými priestorovými súradnicami. Analyzovaných bolo celkom 8 parametrov, a to predovšetkým hrúbka sloja, obsah vody, obsah popola, výhrevnosť, obsah síry a arzénu v sušine a pod.. Výsledky štatistickej analýzy popisujúce kvalitatívne parametre hlavného sloja v priestore 11. a 12. ťažobného úseku sú v tab. 1.

priestorových javov (objektov) v zásade rozlišuje:

- priestorové modelovanie morfológie javov,
- modelovanie vnútornej štruktúry – „anatómie“ javov.

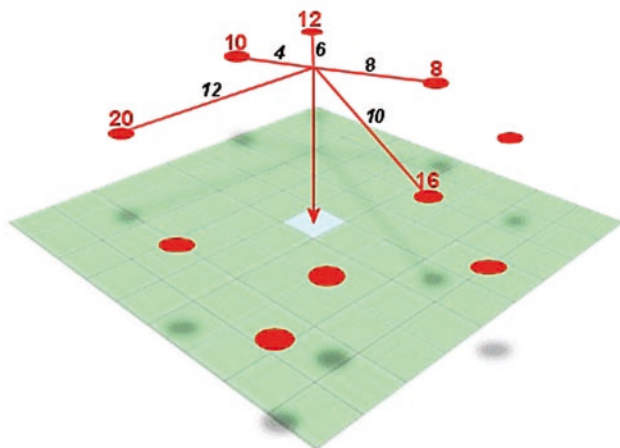
V ložiskovej geológii sa stretávame s obidvoma prípadmi. Priestorové modelovanie morfológie javu je napr. modelovanie morfológie bázy sloja či hrúbky sloja a pod. a modelovanie vnútornej štruktúry javu je napr. modelovanie obsahu vody, popola, výhrevnosti a pod..

#### Matematické modelovanie

Podstatou modelovania v zmysle výskumnej techniky je „náhrada skúmaného systému jeho modelom (systémom, ktorý ho modeluje). Cieľom je získať pomocou pokusu s modelom informáciu o pôvodnom skúmanom systéme.“ Základným a často aj najťažším krokom v procese modelovania je prevod reálnych objektov alebo javov do formy abstraktných modelov. Proces modelovania

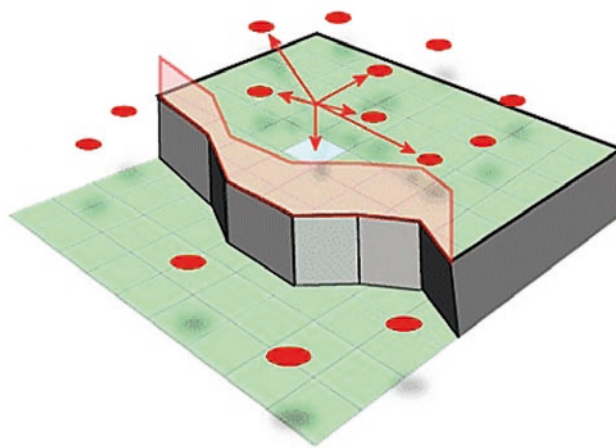
#### Model bázy sloja

Báza uhoľného sloja, resp. jej priebeh (morfológické charakteristiky) je dôležitý parameter potrebný na výpočet zásob, ako aj na hodnotenie využiteľnosti zásob ložiska. Pri modelovaní bázy hlavného sloja boli použité údaje z prieskumných vrtov, geologických rezov a účelových geologických máp, pričom do procesu modelovania vstupovali aj údaje o tektonickej stavbe – známe tektonické línie. Na modelovanie morfológie bázy bola použitá metóda



Obr. 7. Princíp metódy IDW (www.3).

Fig. 7. Principle of IDW method (www.3).



Obr. 8. Zapojenie bariér do procesu interpolácie (www.2).

Fig. 8. Involvement of barriers in the process of interpolation (www.2).

inverzných vzdialeností – Inverse Distance Weighted (IDW) (obr. 7), ktorá ako jediná modelovacia metóda v ArcGIS vie zapojiť do procesu modelovania aj tektonické línie – bariéry (www.1). Bariéra je líniový objekt fungujúci ako zlom obmedzujúci priestor, v ktorom sú hľadané vstupné body. Línie môžu vyjadrovať napríklad hranu či útes v teréne, alebo ktorékoľvek iné prerušenie daného javu. Do výpočtu interpolovaného bodu budú zahrnuté iba body na tej strane bariéry, kde sa tento určovaný bod nachádza (obr. 8) (www.2).

Metóda IDW v princípe uplatňuje základný geoštatistický princíp: javy, ktoré sú v priestore bližšie k sebe, sa viac podobajú ako javy, ktoré sú priestorovo vzdialenejšie (obr. 7). Určenie váh vstupných bodov je založené na tomto princípe. Základný koncept je použitie inverznej vzdialenosti od určovaného bodu. Táto vzdialenosť je ďalej upravovaná exponentom  $p$ . Z toho vyplýva, že váhy sa riadia jediným priestorovým modelom – inverznou vzdialenosťou modifikovanou vhodnou mocninou. Odhad sa vykoná podľa vzťahu:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

kde  $d_i$  je vzdialenosť medzi známym bodom  $z_i$  a určovaným bodom  $Z_0$ ,  $p$  je parameter, ktorý sa volí obvyčajne ako kladné nenulové celé číslo –  $p = 1, 2$  alebo  $3$ . Čím nižšia je hodnota tohto parametra, tým podobnejšie váhy sú priradené meraným bodom a výsledný odhad sa blíži aritmetickému priemeru. V prípade, že  $p$  by sa rovnalo nule, všetky váhy budú rovnaké bez ohľadu na rozmiestenie meraných bodov a odhad bude rovný aritmetickému priemeru. Čím vyššia je hodnota parametrov, tým rozdielnejšie sú váhy – vzdialenejšie body majú nižšiu váhu, bližšie body vyššiu.

Nedostatkom tejto metódy je tvorba koncentrických izolíní (bull eyes) okolo vstupných bodov. Dôvodom je silný vplyv týchto bodov vo svojom okolí, predovšetkým pri voľbe

vyššej hodnoty exponenta. Na zmiernenie tohto javu sa zavádza vyhladzovací parameter  $\sigma$ . Pri použití parametra  $\sigma$  sa táto metóda mení z exaktnej na aproximujúcu.

Metóda IDW nedokáže vypočítať hodnoty vyššie alebo nižšie, ako sú hodnoty vstupných údajov. Pokiaľ teda nemáme k dispozícii body merané v miestach s extrémnymi hodnotami, dochádza v týchto miestach k skresleniu.

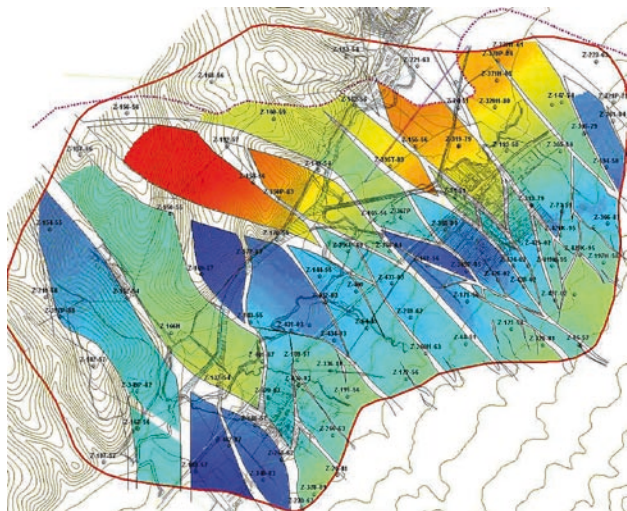
Výsledný model bázy je vytvorený ako 3D model a prezentovaný v 2D a 3D zobrazení v prostredí ArcGIS – ArcMap (2D), resp. v ArcScene (3D) (obr. 9 a 10).

#### Model hrúbky a kvalitatívnych parametrov sloja

Hrúbka uhoľného sloja spolu s jeho kvalitatívnymi parametrami, predovšetkým výhrevnosťou, obsahom popola, vody a v neposlednom rade aj síry a arzenu sú najdôležitejšie ložiskové parametre, ktoré poukazujú na kvalitu a v konečnom dôsledku aj na množstvo ekonomických (bilančných) zásob ložiska. Detailné poznanie týchto parametrov umožňuje presnejšie určiť množstvo a kvalitu využiteľných zásob v ložisku a to sa prejaví pri efektívnejšom plánovaní otvarky a následnom hospodárnom využívaní zásob ložiska, ako to ukladá banký zákon č. 44/1988 Zb. z..

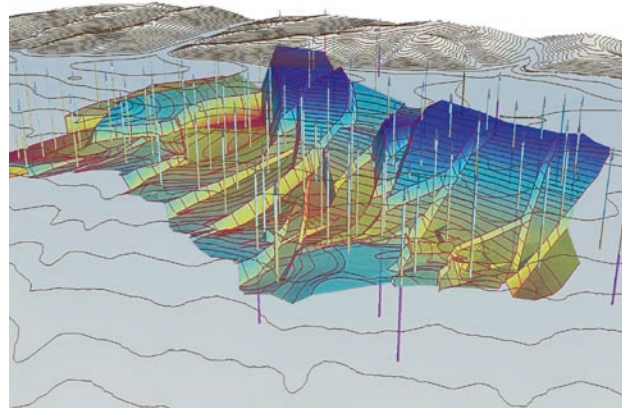
Pri modelovaní hrúbky sloja, obsahu popola, výhrevnosti uhlia, obsahu vody a ďalších kvalitatívnych parametrov uhlia v ArcGIS bola použitá geoštatistická analýza. Pod výrazom geoštatistika sa vo svete rozumie štatistický výskum prírodných javov, charakterizovaných priestorovou distribúciou jednej alebo viacerých premenných. Tento termín použil ako prvý G. Matheron v roku 1962, pričom jeho definícia geoštatistiky znie: „Geoštatistika je aplikovanie formalizmu náhodných funkcií na skúmanie a odhady prírodných javov.“

Samotná geoštatistika patrí medzi stochastické vedy, pričom jej podstata sa opiera o regionalizáciu náhodnej premennej v danom priestore. Súbor takýchto náhodných premenných v danom bode študovaného priestoru potom tvorí náhodnú funkciu, pričom cieľom je vytvoriť model tejto náhodnej funkcie a odhadnúť jej správanie sa v každom bode alebo objeme študovaného priestoru. Model náhodnej funkcie sa opiera o štúdium priestorovej



Obr. 9. 2D model bázy sloja v ArcMap.

Fig. 9. 2D model of the seam base in ArcMap.



Obr. 10. 3D model bázy sloja v ArcScene.

Fig. 10. 3D model of seam base in ArcScene.



variability študovaného fenoménu v rôznych smeroch – experimentálny variogram. Výsledkom tohto štúdia je matematický model variogramu definovaný zmenou priestorovej variability v rôznych smeroch priestoru – anizotropiou a autokoreláciou. Výpočet empirického semivariogramu sa zapisuje v tvare (Schejbal, 1983):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(s_i) - z(s_i + h)]^2,$$

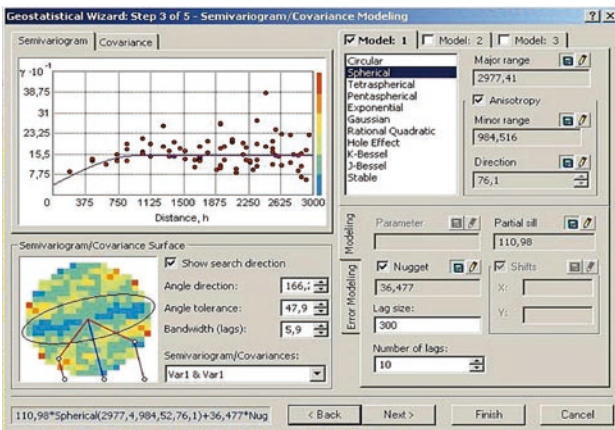
kde  $\gamma(h)$  je odhadovaná semivariancia pre vzdialenosť  $h$ ,  $n(h)$  je počet všetkých párov meraných bodov oddelených vzdialenosťou  $h$ ,  $z(s_i)$  je meraná hodnota v bode ( $s_i$ ). Prvým krokom výpočtu je výpočet empirického semivariogramu. Potom nasleduje preloženie empirického semivariogramu jeho teoretickým modelom a určenie jeho parametrov. Model nájdený pre danú množinu údajov závisí od experimentálnych a teoretických predpokladov. Vlastnosti, ktoré prakticky vedú k určeniu konkrétneho teoretického modelu, sú:

- prítomnosť alebo neprítomnosť „plochej časti“ semivariogramu – prah (*sill*) „C“;

- vzdialenosť, v ktorej semivariogram dosiahne prahovú hodnotu – tzv. dosah (*range*) je daný konštantou „a“;
- správanie v počiatku.

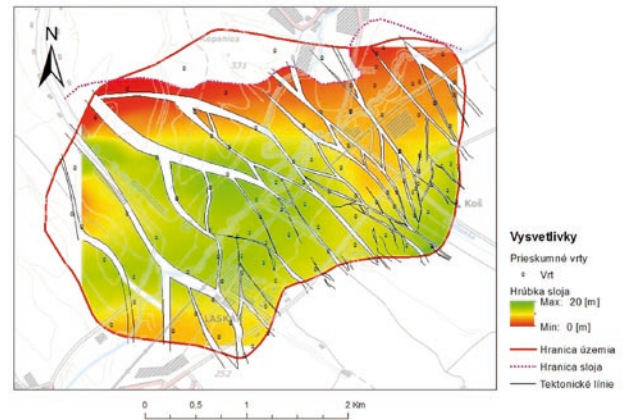
Po určení parametrov semivariogramu nasleduje samotný proces odhadu neznámych hodnôt javu na základe známych údajov – krigovanie. Krigovanie je jednou z moderných a výkonných modelovacích metód, vhodných na modelovanie priestorových javov, pretože najlepšie vystihuje ich častú vektorovú podobu. Vykonáva sa v rôznych modifikáciách. Podľa cieľa odhadu sa v podstate vyčleňujú bodové a blokové odhady. Výsledný model variogramu je následne použitý v procese geoštatistických odhadov hodnôt študovanej premennej v neovzorkovanom bode alebo objeme zvaných krigovanie alebo pri geoštatistických simuláciách podmienených krigovaním (Horák, 2006; Sinclair a Garston, 2006).

Uvedenou metodikou geoštatistickej analýzy boli pomocou nástrojov ArcGIS integrovaných v modeli Geostatistical analyst určené empirické semivariogramy a tie následne preložené zodpovedajúcimi teoretickými modelmi (obr. 11). Po geoštatistickej analýze sa vykonal odhad hodnôt pre parametre – hrúbka sloja, obsah popola, obsah vody, výhrevnosť uhlia, obsah síry a pod..



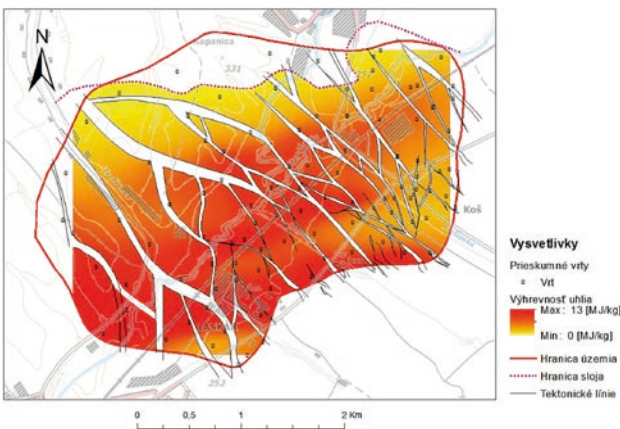
Obr. 11. Model semivariogramu vytvorený v ArcGIS.

Fig. 11. Semivariogram created in ArcGIS.



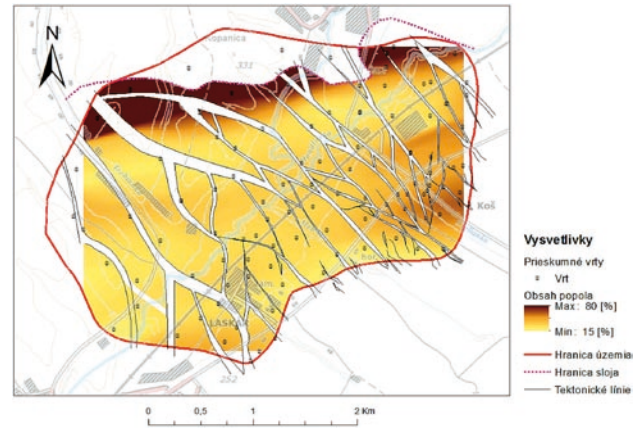
Obr. 12. Model hrúbky sloja.

Fig. 12. Model of seam thickness.



Obr. 13. Model výhrevnosti uhlia.

Fig. 13. Model of the coal heating value.



Obr. 14. Model obsahu popola.

Fig. 14. Model of the ash content.

Na interpretáciu týchto hodnôt bolo použité krigovanie. Výsledky modelovania prezentované v 2D zobrazení (ArcMap) sú na obrázkoch 12, 13, 14.

#### Syntéza poznatkov, zostavenie modelu a vizualizácia

Vytvorenie samotného 3D modelu si vyžaduje množstvo relevantných dát. Na 3D modelovanie, ale predovšetkým na 3D vizualizáciu sa používajú špeciálne nástroje, ktoré nemusia byť obsiahnuté v každom GIS. Na 3D modelovanie sa v ArcGIS využíva niekoľko extenzií: Spatial Analyst, 3D Analyst s nástrojom na 3D vizualizáciu – ArcScene či ArcGlobe. Treba však podotknúť, že ArcGIS ponúka v skutočnosti nástroje iba na 2,5D (pseudo 3D) modelovanie. Skutočné 3D modelovanie geologických objektov pomocou štandardných nástrojov implementovaných v ArcGIS nie je možné. Preto v prípade 3D modelovania – sensu stricto – je potrebné siahnuť po inom modelovacom softvéri a výsledky (model) importovať a následne vizualizovať v ArcGIS. Vizualizácia 3D údajov je v ArcGIS – ArcScene slušne prepracovaná a výstupy sú ozaj na profesionálnej úrovni (obr. 15).

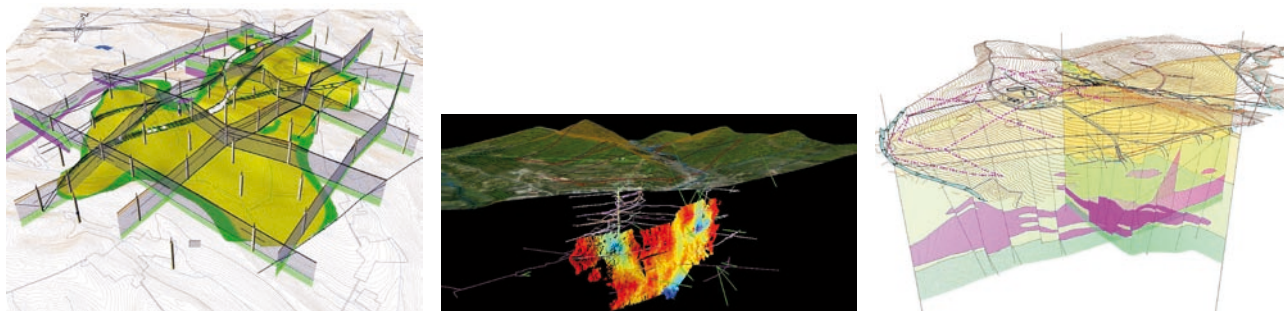
V našom prípade bolo cieľom vizualizovať v ArcGIS model terénu, priestorový priebeh vrto, model bázy sloja a model kvality sloja. Model povrchu, bázy sloja, ako aj model kvality sú v zmysle uvedených modelovacích a vizualizačných techník v podstate 2,5D modely zobrazené

v 3D priestore. Ide teda o pseudo 3D model sloja vytvorený priradením výškovej súradnice (Z súradnice) 2D modelu (obr. 16). Takto vizualizované priestorové údaje umožňujú lepšie vnímať priestorové vzťahy medzi objektmi a často vedú aj k odhaleniu chýb, ktoré vznikli zlou interpretáciou vstupných údajov geológom.

#### Význam modelovania ložiskových parametrov v GIS na účely výpočtu zásob a vizualizácie priestorových vzťahov

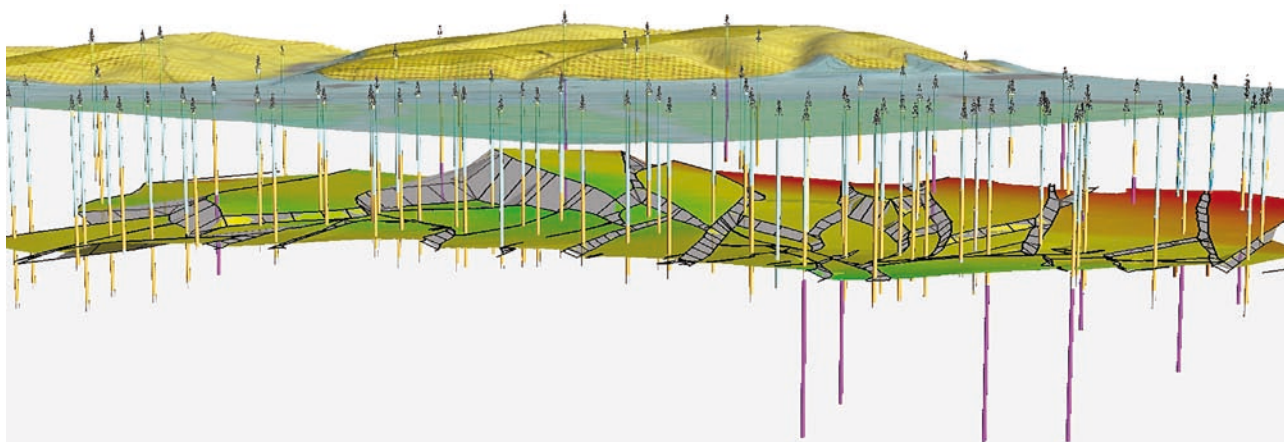
Výsledky procesu modelovania – model bázy sloja, model hrúbky sloja, obsahu popola a výhrevnosti uhlia, prezentované v prostredí ArcGIS, sú príkladom efektívneho prístupu k problematike spracovania geologických údajov nástrojmi GIS. Zvolená metodika práce umožňuje podstatne efektívnejšie narábať s primárnymi ložiskovými údajmi (databáza vrto, databáza vzoriek, geologické mapy a pod.), ale predovšetkým ponúka lepšie možnosti pri prezentácii výsledkov. Je to hlavne vďaka analytickým a prezentačným možnostiam, ktoré GIS ponúkajú.

Model vybraných kvalitatívnych parametrov sloja a jeho prezentácia v GIS ponúkajú nový pohľad na významné ložisko hnedého uhlia Nováky. Takto prezentované výsledky modelovania by mali prispieť k lepšiemu pochopeniu priestorových vzťahov a geologickej stavby ložiska, a tak pomôcť pri rozhodovaní sa o jeho ďalšom ekonomickom využití.



Obr. 15. Príklady vizualizácie geologických objektov v ArcGIS.

Obr. 15. Examples of visualization of geological objects in ArcGIS.



Obr. 16. Priestorový model povrchu územia, prieskumných vrto a bázy sloja vizualizovaný v ArcGIS.

Fig. 16. The spatial model of the surface area, exploration wells and the base seam visualized in ArcGIS.

Nové možnosti využitia výsledkov modelovania geologickej stavby a kvality sloja v GIS sa vynárajú s potrebou prehodnocovania ložiska Nováky z pohľadu aplikácie netradičných dobývacích metód, ako je napr. podzemné splyňovanie uhlia – Underground Coal Gasification (UCG), ktoré patrí k novým progresívnym technológiám.

Podzemné splyňovanie uhlia patrí medzi netradičné ťažobné metódy, ktoré by mohli pomôcť efektívnejšiemu využívaniu mnohých uhoľných ložísk (Blišťanová a Blišťan, 2012). V tejto súvislosti je potrebné prehodnotiť ložisko Nováky ako celok, posúdiť geologické a technologické údaje o ložisku a metódy ich doterajšieho spracovania. V tomto procese by GIS zohrali významné miesto, kde by na základe vytvorených ložiskových databáz využitím najnovších modelovacích metód a postupov vznikol komplexný digitálny model ložiska.

### Záver

Cieľom tohto príspevku bolo na príklade významného slovenského ložiska hnedého uhlia Nováky poukázať na možnosti, ako efektívne využívať geografické informačné systémy pri modelovaní ložísk nerastných surovín. Využívanie nástrojov GIS je možné v každej etape riešenia geologického projektu – počnúc plánovaním cez jednotlivé etapy spracovania údajov, modelovanie a končiac publikovaním výstupov v podobe záverečnej správy.

Tvorba digitálnych statických či dynamických modelov sa v súčasnosti stáva nielen prostriedkom na lepšie poznanie prírodných a antropogénnych procesov, ale aj účinným nástrojom na „ovplyvňovanie“ laickej a odbornej verejnosti pri rozhodovacích procesoch. V oblasti geológie sa GIS úspešne využívajú pri riešení jednoduchých úloh, ako je analýza databázy, tvorba dopytov podľa zadaných kritérií, ale aj zložitejšie modelovanie vývoja priestorových javov využitím rôznych interpolačných metód. Významnú úlohu majú GIS pri vizualizácii údajov z rôznych tematických vrstiev alebo pri tvorbe syntetických 2D a 3D modelov.

Tento príspevok vznikol s finančnou podporou grantovej agentúry VEGA v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/0887/11.

### References

BLIŠŤAN, P., 1999: Matematická štatistika v geológii. *Acta Montan. Slov.*, 4, 2, 115 – 123.

BLIŠŤANOVÁ, M. & BLIŠŤAN, P., 2012: Možnosti zvýšenia energetickej bezpečnosti SR využitím podzemného splyňovania. *Monografia. VŠBM, Košice*, 161 s.

HORÁK, J., 2006: Prstorová analýza dat. VŠB-TU Ostrava, Institut geoinformatiky.

CHILE, J. P., AUG, C., GUILLEN, A. & LEES, T., 2004: Modelling the geometry of geological units and its uncertainty in 3D from structural data: The potential-field method. In: *Proceedings of International Symposium on Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, Perth, Australia, 22–24 November 2004*, pp. 313 – 320.

KOVANIČ, L. & KOVANIČ, L. ml., 2008: Monitorovanie deformácií povrchu terénu na podrubaných územiach. In: *Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2008. Košice, GK a GIS*, 1 – 8.

MALLET, J. L., 1997: Discrete modelling for natural objects. *Mathematical Geology*, 29, 2, 199 – 219.

MATHERON, G., 1962: *Traité de géostatistique appliquée*. Tome 1, Editions Technip, Paris, 334 p.

MAZÚR, E. & LUKNIŠ, M., 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR 1 : 500 000. *Slovenská kartografia, Bratislava*.

MEČIAR, M., 2007: Banská činnosť a jej vplyv na povrch a na životné prostredie. [Diplomová práca.] *FBERG TU, Košice*.

PERRIN, M., ZHU, Z., RAINAUD, J. F. & SCHNEIDER, S., 2005: Knowledge-driven applications for geological modelling. *J. Petrol. Sci. Engineering*, 47, 89 – 104.

SCHJEIBAL, C., 1983: Aplikovaná geostatistika. *GŘ ČSÚP, Příbram*, 153 s.

SCHWARZ, J., SLOBODNÍK, V. & HALMO, J., 2006: Exploatacia uhlia v 11. ťažobnom poli HBP, a. s., Baňa Nováky, o. z.. Zámer činnosti podľa zákona NR SR č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie. *Envigeo, a. s., Banská Bystrica*.

SINCLAIR, A. J. & GARSTON, B. H., 2006: Applied Mineral Inventory Estimation. *Cambridge University Press, New York*, 381 p.

ŠARKAN, J., 2009: Záverečná správa s výpočtom zásob – vyhradené ložisko Nováky, dobývací priestor Nováky I. *ŠGÚDŠ, Bratislava*.

SOKOL, J., KOVANIČ, L. & KOVANIČ, L. ml., 2006: Priestorové zobrazenie ložiska ťaženého metódou lúhovania. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: *Geodézia a banské meračstvo 2006. 4. vedecko-odborná konferencia s medzinárodnou účasťou 19. – 21. september 2006, Tatranská Lomnica – Stará Lesná – Košice*, 5 s.

UNECE: International Classification of Seam Coals, Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, Geneva, 41 pp. Document ENERGY, 1998.

www.1: How IDW works. In: ArcGIS Help. ESRI [online]. [citované 12. 06. 2013]. Dostupné z <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z00000075000000>>

www.2: Inverse Distance Weighted. [on line]. [citované 10. 06. 2013]. Dostupné z <<http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTECH361/lectures/lecture11/concepts/Inverse%20Distance%20Weighted.htm>>

www.3: Úvod do GIS. [on line]. [citované 15. 06. 2013]. Dostupné z <<http://gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/>>

Zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon). In: Jednotný automatizovaný systém právnych informácií, Ministerstvo spravodlivosti SR. [online]. [citované 10. 06. 2013]. Dostupné z <<http://jaspi.justice.gov.sk>>

Rukopis doručený 19. 6. 2013  
Revidovaná verzia doručená 25. 6. 2013  
Rukopis akceptovaný red. radou 27. 6. 2013

## Modelling of qualitative parameters of the main coal seam in the Nováky deposit in GIS environment for the purpose of reserves calculation and visualization of spatial relations

Geographic information system (GIS) provides tools for collecting, storing, managing, processing, analysis and visualization of spatial digital data. The use of GIS tools in geology simplifies managing of data normally stored in geological maps and archives. All types of these data are a potential source of information that should be used to create 3D models of deposits (Perrin et al., 2005; Chile et al., 2004; Mallet, 1997).

The aim of this paper is to show how the different types of geologic and cartographic data can be managed by GIS technology and used for 3D modelling of geological bodies – coal bed. 3D modelling of coal bed was carried out in ArcGIS environment. The interpolation methods and algorithms implemented in GIS were used. A model example is represented by the coal deposit Nováky – specifically 11th and 12th mining levels of Novák mine. Used data were provided by the Hornonitrianske bane Prievidza. Deposit is located in the central part of the Upper Nitra Basin (Figs. 1 and 2). The deposit is built by molasse sediments and volcanic rocks of Middle Miocene. In the terms of Nováky deposit, there are several beds present, bearing coal seams – the Nováky productive layer (Upper Badenian) (Šarkan, 2009; Blišťanová and Blišťan, 2012) (Fig. 3).

For construction of the coal seams model a methodology for the creation of digital models in GIS environment was used (Fig. 4). The principle is not very different from the methodology of modelling in “analog” form. The first step in terms of referenced methodology represented creating of geological database, which contains relevant information for 3D modelling in GIS (Fig. 4). This step applied the MS

Access software. Database of exploration works (Fig. 5), samples and physical-chemical analyses of coal (Fig. 6) was prepared as relational database.

For the compilation of the coal seam model, data from 103 exploration wells were used. The final data set, specified for statistical analysis, contained 62 samples with the calculated spatial coordinates. Analysis included a total of 8 parameters. Results of the statistical analysis are presented in Tab. 1.

After statistical analysis there followed modelling of seam morphology and its qualitative parameters. For morphology modelling of coal base there was used an inverse distance method – Inverse Distance Weighted (IDW) (Fig. 7). The resulting base models were created as 3D models and are presented in 2D and 3D views in ArcGIS – ArcMap (2D) respectively in ArcScene (3D) (Figs. 9 and 10). For modelling of the seam thickness, ash content, calorific value of coal, water content and other qualitative parameters of coal there was used geostatistical analysis (Horák, 2006; Sinclair and Garston, 2006). For the values interpretation there was used Kriging Method. Modelling results are presented in 2D view (ArcMap) in Figs. 12, 13 and 14.

Visualization of the seam model was made in ArcScene. It is a pseudo – 3D model, which was created by assigning an altitude coordinates of 2D model (Fig. 16). The results of the modelling process – model base seam, seam thickness model, ash content and calorific value of coal, presented in ArcGIS are an example of effective approach to the issue of processing of geological data by GIS tools.