

## Jihomoravský lignitový revír a postup tvorby jeho digitálního modelu

František Staněk<sup>1</sup>, Josef Honěk<sup>2</sup> a Kerstin Hoňková<sup>3</sup>

### *The South Moravian Lignite Coalfield and method of its digital modeling*

*The contribution methodical procedures of modeling and assessing the deposits in the South Moravian Lignite Coalfield, applied in the frame of solution of the Grant Agency of the Czech Republic project No. 105/06/1264, are presented. The South Moravian Lignite Coalfield is a territory of the Vienna Basin in the Czech Republic where the Kyjov lignite seam (Pannonian B) or the Dubňany Seam (Pannonian F) occur. Digital model of the seams will be applied for comprehensive assessing of lignite deposit, for determination of its morphology and of distribution of particular deposit attributes. The basis of solution is the deposit database with all necessary data supplemented with data on uniformly re-assessed lignite balance sections in the boreholes. Mathematical, statistical, geostatistical and graphic methods are applied for processing and graphic representation of data.*

**Key words:** the South Moravian Lignite Coalfield, database, coal seam modeling, calculation of coal reserves, mathematical procedures of assessing deposit attributes.

### Úvod

Příspěvek se zabývá postupy řešení projektu Grantové agentury České republiky č. 105/06/1264 s názvem „Digitální model jihomoravského lignitového revíru – vzor moderního komplexního hodnocení ložiska uhlí s perspektivou budoucí exploatace“. Cílem projektu je vytvoření digitálního modelu jihomoravského lignitového revíru (dále JLR) a jeho využití pro komplexní hodnocení ložiska, určení jeho morfologie a rozložení jednotlivých ložiskových atributů. Na základě vytvořeného modelu se následně provádí variantní zhodnocení - odhady zásob lignitu libovolných částí ložiska podle různých klasifikačních systémů. Základem řešení je ložisková databáze JLR. Pro zpracování a grafické znázornění dat uložených v ložiskové databázi se využívají matematické, statistické, geostatistické a grafické metody.

Při řešení projektu je využíván programový systém pro tvorbu modelu uhelného ložiska a jeho následného hodnocení (dále IPSHUL) vyvinutý na Institutu geologického inženýrství Hornicko-geologické fakulty VŠB-TU Ostrava (Staněk et al., 2006; Staněk, 2006a; Staněk, 2006b). Základní schéma modulů IPSHUL je na obr. 1.



Jihomoravský lignitový revír (dále JLR) je území, ve kterém se v české části vídeňské pánve (dále VP) vyskytují lignitové sloje. Revír se nachází v jv. části České republiky a sestává ze dvou částí s kyjovskou slojí a dvou částí s dubňanskou slojí (obr. 2). Komplexní studii JLR zpracovali Honěk et al. (2001).

Modelování ložiska uhlí se opírá o výsledky předchozí identifikace a korelace slojí zastižených průzkumnými díly. Způsob modelování respektuje základní vlastnosti sedimentárních těles (vrstevnatost vyznačující se skokovými změnami vlastností hornin na kontaktu vrstev, výrazná převaha plošných rozměrů nad mocností apod.) s možným ovlivněním dalšími geologickými jevy (eroze, tektonické porušení apod.).

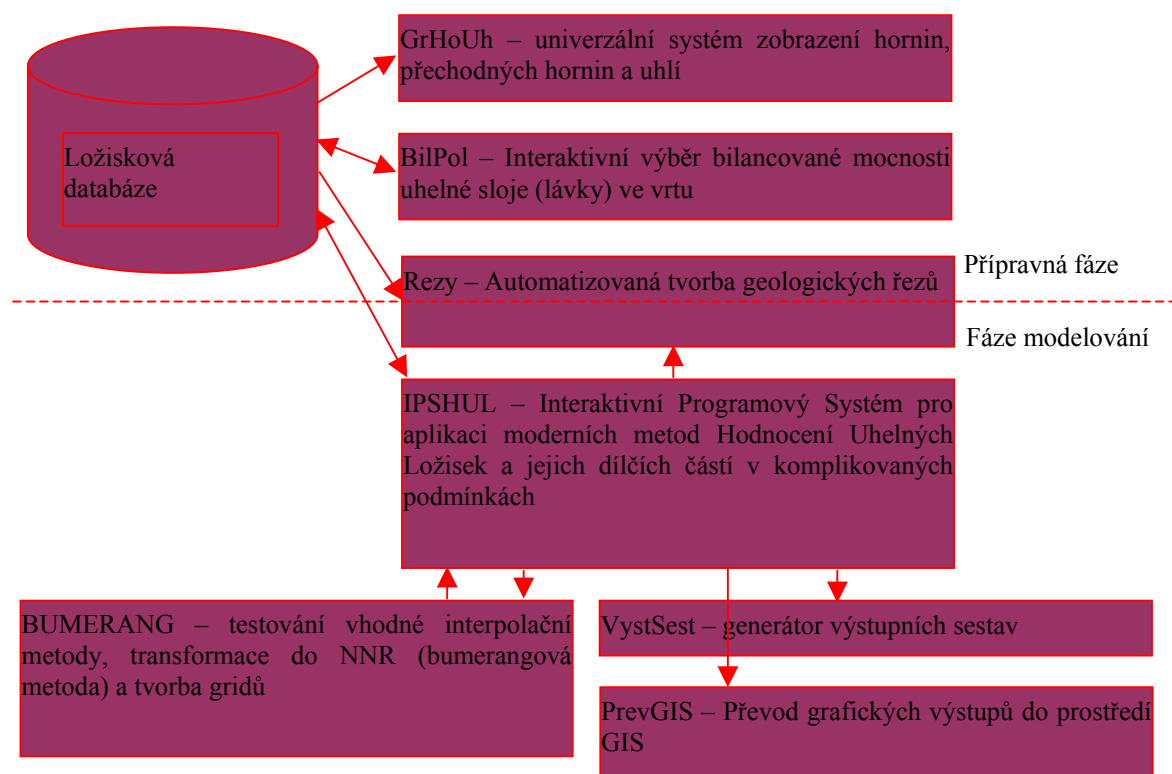
Ložisko lignitu v oblasti JLR se vyznačuje nejednotným vnitřním vývojem sloje, kdy sloj přechází od jednotně vyvinuté do sloje členěné proplástkou postupně až do čtyř lávek. Při modelování je proto nutno přistupovat k jednotlivým částem ložiska odlišně podle typu vývoje sloje. V oblastech s jednotným vývojem

<sup>1</sup> doc. RNDr. František Staněk, Ph.D., IGI HGF, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu, 708 33 Ostrava, Česká republika

<sup>2</sup> doc. Ing. Josef Honěk, CSc., Opavská 150, 708 00 Ostrava-Pustkovec, Česká republika

<sup>3</sup> Ing. Kerstin Hoňková, Ph.D., Opavská 150, 708 00 Ostrava - Pustkovec, Česká republika  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 10. 10. 2007)

je předmětem modelování těleso souvislé slaje, zatímco v oblastech, kde je slaj rozštěpena, jsou modelovány jednotlivé lávky slaje.



Obr. 1. Základní schéma modulů programového systému IPSHUL.

Fig. 1. Basic scheme of the modules of the IPSHUL software system.

### Vídeňská pánev a uhelné slaje v jihomoravském lignitovém revíru

Vídeňská pánev je neogenní strukturou na územích České republiky, Slovenska a Rakouska. Je 150 km dlouhá a 50 - 60 km široká. Tvoří ji nepravidelná rhomboidální deprese protažená ve směru JZ–SV.

Neogenní výplň VP je pestrý sled mořských, brakických i sladkovodních sedimentů od eggenburgu až po pliocén. Neogenní horniny jsou zakryty kvarténními sedimenty. Vznik a vývoj pánve (rozmezí 24,0 - 1,8 milionů let) není dosud jednoznačně vyřešen. Podle starší geosynklinální hypotézy pánve vznikla na křížení dvou hluboko založených tektonických švů. Podle nových představ vycházejících z teorie deskové tektoniky se od eggenburgu do spodního badenu vyvíjela v režimu piggy-back, od středního badenu v režimu pull-apart. Mořská sedimentace byla postupně nahrazována sedimentací kontinentální spojenou s vyslazováním prostředí. V pannonu B a F se rozšířily bažinné facie, z nichž vznikly lignitové slaje (kyjovská, dubňanská i další slaje v uhelné sérii v nadloží dubňanské slaje). Maximální mocnost neogenních uloženin v moravské ústřední prohlubni (dále MÚP) je 5500 m. Pannonské sedimenty s lignitovými slajemi se vyskytují až v úplném závěru složitě sedimentačního vývoje vídeňské pánve. Maximální hloubka uložení dubňanské slaje je pouze asi 320 m pod povrchem.

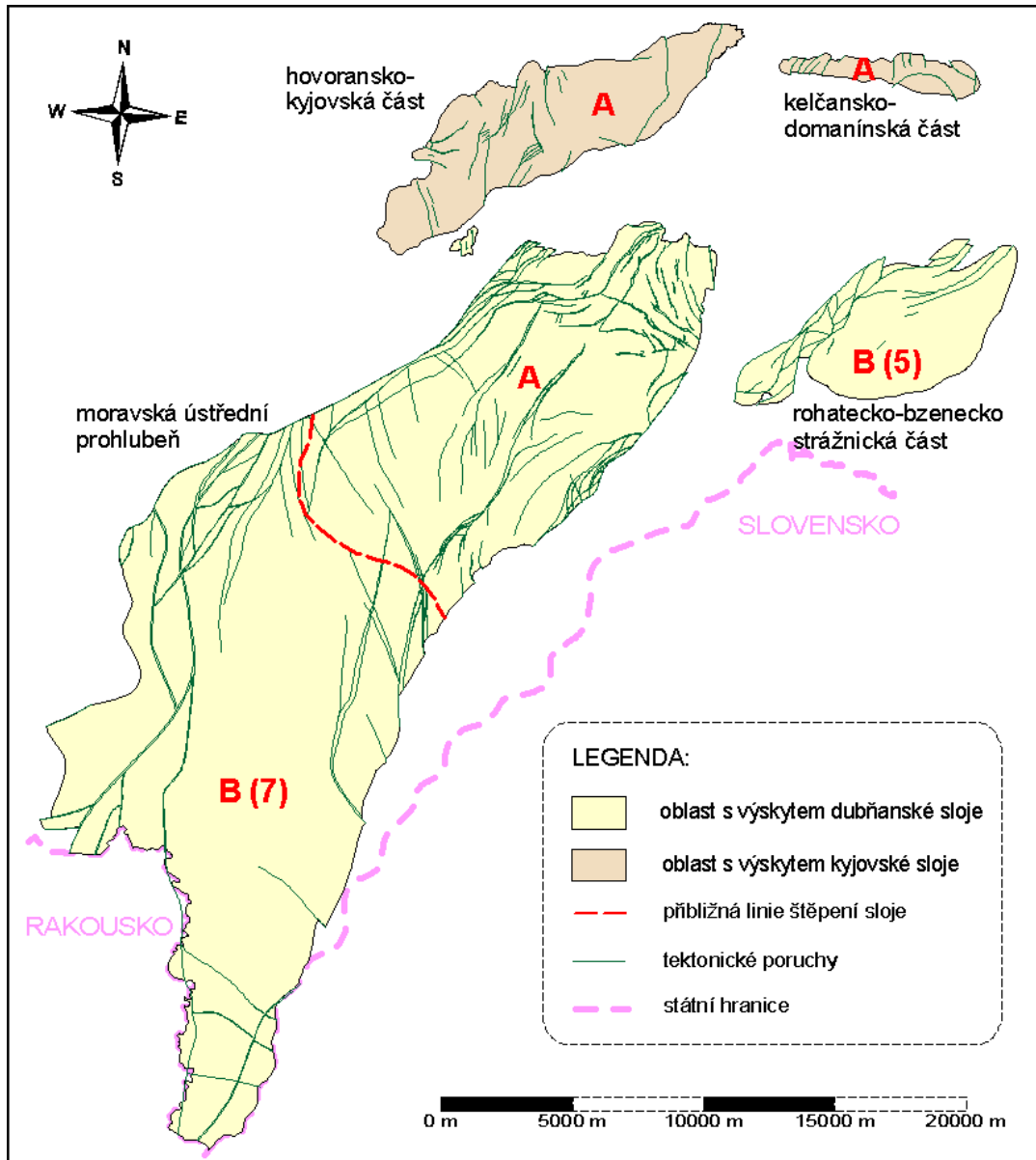
Základní stratigrafické členění pannonu ve VP provedl Papp (1951). Podle měkčí fauny rozdělil pannon na zóny A až H. Detailní biostratigrafií pannonu podle skořepatců a stratigrafií pannonu obecně se dále zabýval zvláště Jiříček (1988). V JLR se v hornické a geologické praxi používají pro označování zón a souvrství litostratigrafická označení, která vycházejí z těchto prací a která dobře vystihují charakter hornin (např. „uhelná“ a „pestrá“ série).

V podloží pannonu jsou brakické a sladkovodní sedimenty sarmatu. Na bázi pannonu, v okrajových oblastech tehdejšího rozsahu VP, se projeví regrese a hiát. Pannon je obdobím dalšího postupného vyslazování pánve, která se postupně vyvíjela ve vyslazený záliv moře. Z faciálního hlediska lze v pannonu moravské části VP vymezit dvě základní faciální oblasti: okrajová facie s převládající sedimentací bělošedých a žlutých písků, prachovitých písků a prachů a pánevní facie, především v MÚP s převahou šedých a tmavošedých, nazelenalých jííl, které se střídají s podřadně zastoupenými polohami písků.

V zóně A, tj. bazální části pannonu, se usadilo souvrství písků označené jako *bazální písčité obzor*.

Následující *šedou sérii* (zóna B) tvoří šedé, proměnlivě písčité, převážně vápnité jíly s polohami žlutých, jemnozrnných křemenných písků. Ve svrchní části zóny B je *kyjovská lignitová sloj*. Vlastní podloží sloje tvoří až několik desítek metrů mocné souvrství světle šedých jemnozrnných slídnatých, slinitých písků. Z hydrogeologického hlediska je významným zvodnělým podložním propustným horizontem. Ojedinele se v písčích objevují vložky jílu, uhelnatých jílu, lignitu nebo zuhelnatělé kořeny a pařezy stromů.

V nadloží zóny B je *přechodná zóna B/C* a nad ní je vlastní zóna C označená jako *žlutá písčité série* (nebo také *pásmo velkých písků*). Směrem k J, do střední části pánve, se písčité facie pozvolna mění na jílovou.



Obr. 2. Přehledná mapa jednotlivých částí jihomoravského lignitového revíru s vyznačením linií tektonických poruch, oblastí jednotné sloje (A) a oblastí sloje rozdělené do geologických horizontů (B) s uvedením jejich počtu (5 nebo 7).

Fig. 2. General map of particular parts of the South Moravian Lignite Coalfield, fault lines, areas of the undivided seam (A) and areas of the seam divided into geological horizons (B) with indication of the number of the horizons (5 or 7).

V *šedé pelitické sérii* (zóna D) jsou olivově šedé jíly, vápnité prachy a prachovité jíly s vložkami lumachel a tenkou slojkou lignitu v nejvyšší části zóny.

V zóně E (*šedozeleňá série*) jsou v okrajovém vývoji žluté jemnozrnné písky s vložkami šedých jílu. V pánevním vývoji převažují jíly. V zóně E se začíná uplatňovat jednoduchá cyklická stavba sedimentů. Cykly jsou neúplné s význačně potlačenými uhelnými členy. Lokální bažinné facie byly vhodné pro sedimentaci uhelnatých jílu a kořenových půd, ale ne pro vznik slojí. Je to ale trend postupného nástupu

uhelné sedimentace v zóně F. Písčité a prachovité části cyklů vytvářejí z báňského a hydrogeologického hlediska velmi důležité propustné horizonty (kolektory), oddělené vrstvami jílu (izolátory).

*Uhelná série* (zóna F) s *dubňanskou slojí* na její bázi má výraznou cyklickou stavbu a střídají se v ní světle šedé, šedé a tmavě šedé, slídnaté a vápnité písky, prachovité písky, písčité prachy, jílovité prachy a prachovité jíly s polohami šedých a tmavě šedých jílu. Hruboziřnější části cyklů (písky a prachy) představují zvodnělé kolektory a jsou důležité v hydrogeologii JLR. Kromě dubňanské sloje se v uhelné sérii objevují tři významnější nadložní lignitové sloje a další doprovodné polohy uhelnatého jílu až lignitu. V druhé nadložní sloji byly stanoveny nebilanční zásoby lignitu. Mocnost uhelné série je v s. části MÚP 32 - 35 m, směrem k J se její mocnost zvětšuje na 70 - 80 m.

*Pestrá série* (zóna G, H) se vyvíjí z uhelné série. Šedé jíly nad třetí nadložní slojí plynule přecházejí do žlutošedých výrazně žlutohnědých, rezavě a červeně skvrnitých jílu. Maximální mocnost pestré série v MÚP je přes 180 m.

Ve střední části MÚP se ve spodní části pestré série objevují vložky šedých jílu a prachů. Směrem k J jejich množství přibývá a pestrá série získává zdola nahoru stále více charakter uhelné série, včetně výskytu uhelných slojí. Postupně k J se objevují další uhelné polohy až do 9. nadložní sloje. Souvrství se označuje jako *přechodná série*. Směrem k J její mocnost narůstá až na 70 m. Mocnost celého komplexu hornin s charakterem uhelné série dosahuje 150 m.

### Území s kyjovskou slojí v jihomoravském lignitovém revíru

Kyjovská sloj se v JLR vyskytuje ve dvou oddělených částech. Větší hovoransko-kyjovská část, 15 km dlouhá a max. 4 km široká, je protáhlá ve směru ZJZ-VSV. Omezení sloje je přirozené (vyklíněním nebo vyhluchnutím, v menší míře výchozy). Sloj má mísovité uložení s úklonem 1 až 2° (max. 3°). Největší hloubka sloje je 160 m pod zemským povrchem na úrovni +85 m n. m. Geologická mocnost sloje je 2 až 4 m, průměrná mocnost je 2,9 m. Sloj byla na většině původní plochy vydobyta, zásoby lignitu zůstaly jen ve v. části na ložisku Kyjov – Svatobořice. U j. okraje se sloj rozštěpuje do dvou lávek, dále k J sloj postupně vyklínuje. Při s. okraji z. od Kyjova se projevuje vliv deltové sedimentace. Ve sloji se začíná objevovat větší množství proplátek, jejichž mocnost a počet k S stoupá.

Kelčansko-domanínská část je 7 km dlouhá a 1 km široká, protáhlá ve směru Z-V. Nevytěžené zásoby lignitu zůstaly pouze v její v. části na ložisku Barbora 2. Celá střední a z. část byla vydobyta. Omezení sloje je většinou přirozené. Na S omezují sloj výchozy, na J sloj vyklínuje. Na V se objevuje větší množství proplátek a sloj je omezena rozštěpením a vyhluchnutím. Úklon sloje je 5 až 6° k J, maximální hloubka je 108 m. Geologická mocnost sloje v z. části je okolo 3,5 m, směrem k V roste. Velký obloukovitý zlom v j. části rozděluje celou oblast na vyšší jižní tektonickou kru a pokleslou severní kru.

### Území s dubňanskou slojí v jihomoravském lignitovém revíru

Největší dílčí částí JLR, jak souvislou plochou, tak zásobami lignitu, je moravská ústřední prohlubeň dlouhá 40 km a široká 8 - 15 km. Omezení sloje je převážně tektonické, méně výchozy zakryté kvartéřními sedimenty. Na SZ sloj omezují steinberský a schrattenberský zlomový systém, na JV lužicko-lanžhotský zlomový systém. Pásmo steinberského zlomu je značně tektonicky porušeno. Některé doprovodné zlomy obou systémů jsou protiklonné a vytvářejí dílčí příkopové propadliny. Centrální část MÚP je slabě tektonicky porušena. Prohlubeň je příkopová propadlina s asymetrickým synklinálním uložením sloje. Osa synklinály je posunuta k v. okraji. Na ose jsou dílčí deprese a elevace. Maximální hloubka báze sloje je 315 m (-120 m n. m.). Úklon sloje v z. části MÚP je menší (1 - 3° k JV), ve v. části dosahuje úklon sloje 3 až 5° k SZ.

V podloží dubňanské sloje je komplex hornin s výraznou cyklickou stavbou tvořený pestrá škálu přechodů mezi písky a jíly s převahou písčito-prachovitých sedimentů, které představují důležité zvodnělé horizonty. Podložní horniny mají zelenou až zelenošedou barvu, v cyklech chybí jejich uhelné členy.

V s. části MÚP je sloj jednotná, bez významnějších proplátek. Ve střední části prohlubně se ve sloji objevují tři výraznější proplátky (pro účely modelování označeny P2, P4 a P6), které dělí sloj na čtyři uhelné lávky (označeny L1, L3, L5 a L7), obr. 2. Sloj je tak rozdělena do sedmi geologických (genetických) horizontů. Směrem k Z a J se proplátky zvyrazňují, přibývá anorganický podíl ve sloji, roste mocnost sloje, ale její kvalita se zhoršuje. Hlavní uhelnou polohu tvoří lávka L3. Při určování bilancované mocnosti sloje pro výpočet zásob je proto nutno směrem k J a Z z původně bilanční mocnosti celé sloje postupně vyřazovat okrajové uhelné lávky včetně proplátek (L1 + P2 nebo L7 + P6), aby byly splněny limitní hodnoty obsahu popela A<sup>d</sup>. Po dalším vyřazení horizontů L5 + P4 zůstane jako bilanční poloha ve sloji pouze lávka L3.

Geologická mocnost dubňanské sloje je v s. části MÚP stálá mezi 4 - 5 m. Od střední části MÚP k J a Z se štěpením sloje na genetické lávky mocnost zvětšuje až na 12 - 13 m. Většinu sloje ovšem tvoří přechodné horniny nebo horniny bez uhelné příměsi, bilanční mocnost samotné lávky L3 klesá pod 2 m.

V s. a v. části MÚP byla sloj dobývána řadou dolů, dnes těží lignit pouze poslední činný důl v JLR – Důl Mír v Mikulčicích. Nejsevernější část prohlubně a dílčí oblasti na jejím v. okraji byly vydobyty, přesto vydobytá část představuje z celkové původní plochy sloje v MÚP pouze malý podíl.

Rohatecko-bzenecko-strážnická část je 12 km dlouhá a 5,5 km široká. Má elipsovité tvar, protáhlý ve směru JZ – SV. Sloj byla dobývána dvěma doly ve v. a v s. části ložiska. Vydobyté plochy jsou vzhledem k celkové ploše této části revíru velmi malé.

Sloj je omezena tektonicky, výchozy a ve v. části vyhluchnutím. Severní část je intenzivně tektonicky porušena. Dubňanská sloj má mísovité uložení – v centrální části je ploše uložena, směrem k okrajům se úklon zvětšuje na 3 až 5° (max. 7 až 8°). Největší hloubka uložení sloje ve střední části ložiska je 160 m.

Dělení sloje na genetické horizonty je odlišné (obr. 5). Sloj se rozděluje na tři uhelné lávky (pro účely modelování označeny A1, A3, A5), oddělené proplásky (označeny R2 a R4). Proplásky tvoří uhelnatý jíl, jíl s uhlou příměsí, tmavě šedý jíl a slín, zelenošedý jíl nebo dokonce písek. Proplástek R2 má velkou mocnost (průměrná 2 m, max. 4,2 m) a rozděluje celou sloj z ložiskového hlediska na dvě samostatné slojové lávky: spodní lávku je horizont A1, svrchní lávku tvoří horizonty A3 + R4 + A5. Průměrná mocnost spodní lávky je 1,4 m, svrchní lávky 1,6 m, celé sloje 5,5 m (max. 9,9 m).

Dubňanská sloj v nejmenší části JLR nacházející se mezi hovoransko-kyjovskou částí a MÚP (obr. 2) byla v minulosti zcela vydobyta Dolem Ivanka.

### Ložisková databáze - základ digitálního modelu

Poznatky o lignitových slojích z oblasti JLR byly získávány průzkumnými a těžebními pracemi během dlouhého časového období zejména od druhé poloviny dvacátého století až do současnosti, kdy, jak bylo uvedeno již výše, je dobývána dubňanská sloj na jediném činném Dole Mír v Mikulčicích. Velká část údajů z dostupné archivní dokumentace o kvalitě a vývoji lignitových slojí a jejich bezprostředním okolí byla v minulosti zpracována do digitální databáze v rámci projektu „JLR - komplexní studie“ (Honěk et al., 2001). Tato dříve sestavená databáze byla využita jako základ a v současné době je postupně upravována a doplňována pro účely podrobného digitálního modelování jihomoravského lignitového revíru.

### Primární ložisková data

Označení „primární data“ bylo zvoleno z pohledu řešení problematiky modelování ložiska, tj. nejedná se striktně o primární průzkumná data, která je často nutno korigovat nebo jinak vyhodnotit. Databáze primárních ložiskových dat z oblasti JLR byla sestavena v prostředí programu MS ACCESS a je zaměřena na uložení především těchto typů údajů:

- identifikační a lokalizační údaje k průzkumným dílům (vrtům a zásekům) (Obr. 3),
- přijaté petrografické profily vrtů a záseků,
- výsledky chemicko-technologických analýz vzorků odebraných ze sloje a jejího okolí,
- přirozené hranice ložiska (tektonické poruchy, eroze, výchozy atd.),
- smluvní a ostatní hranice na ložisku (ochranné pilíře, vydobytá území atd.).

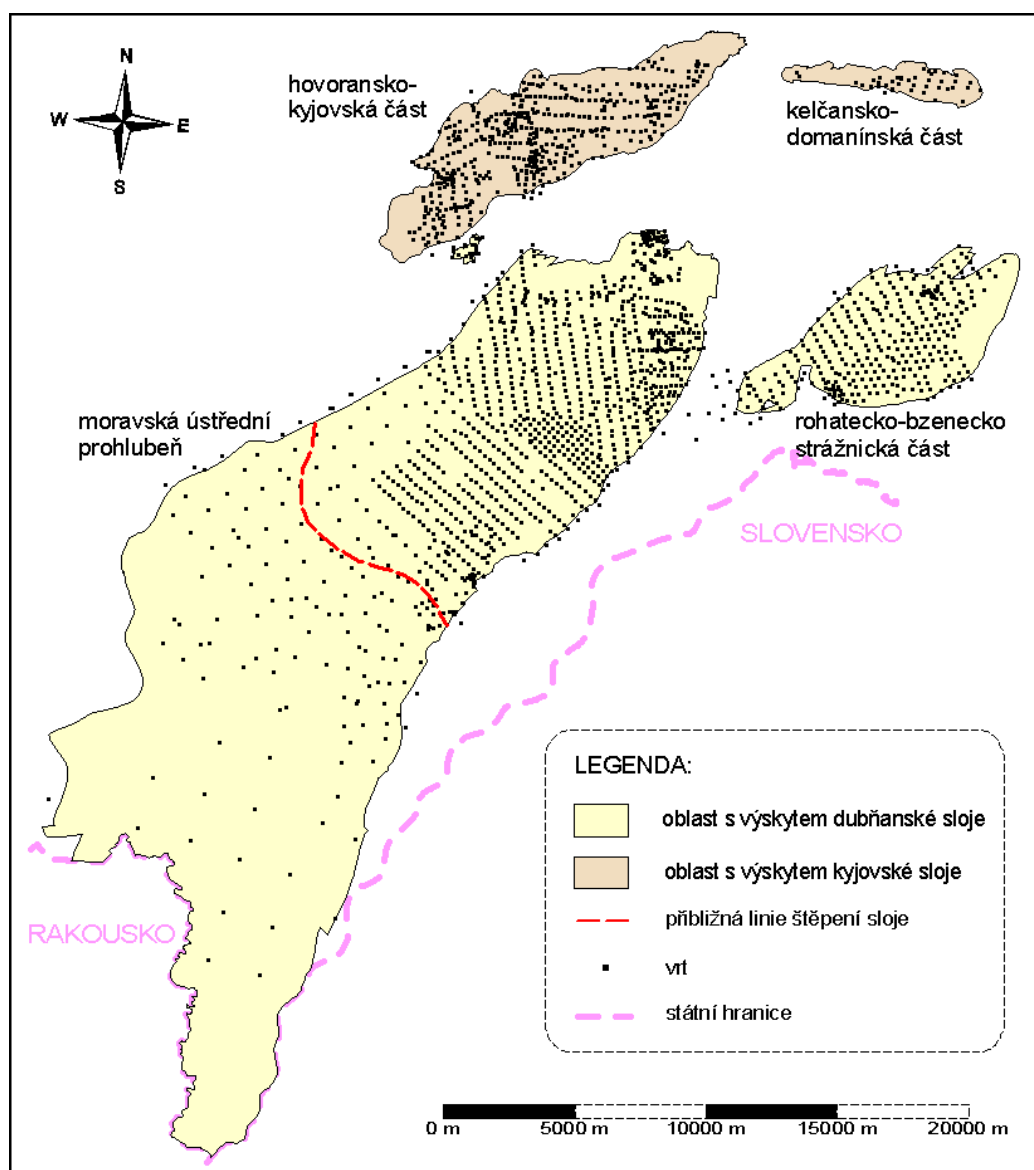
Přímá využitelnost naplněné databáze pro modelování ložiska bez nutnosti dalších úprav je podmíněna jednotným uložením dat. Údaje z JLR se vyznačují různorodostí způsobenou dlouhým pořizovacím obdobím, ve kterém docházelo ke změnám ve způsobu zjišťování i evidování informací o ložisku. Jako problematické se ukázalo zejména zařazení starých petrografických popisů hornin do dnešní klasifikace, neboť dříve používané provozní pojmy nebyly nikde definovány a o jejich přesném významu se v ojedinělých případech lze jen dohadovat. Proto byl vypracován přibližný převodník a na jeho základě transformovány původní popisy do moderního názvosloví. K vlastnímu uložení do databáze a následnému zpracování byl využit univerzální systém hodnocení a grafického zobrazení hornin, přechodných hornin a uhlí (Honěk et al., 2003) a odpovídající programový systém (Staněk, 2003). V databázi je důsledně uplatněn princip kódování textových dat a jsou evidovány lokalizační souřadnice objektů v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

### Odvozená ložisková data

Odvozená data jsou získána vyhodnocením rozsáhlé řady elementárních primárních ložiskových dat. K jednotlivým ložiskovým tělesům nebo geologickým jevům přináší souhrnnější informace, příp. rozšiřují obsah primárních dat, a představují většinu přímých vstupů do modelování. K jejich získání z údajů uložených v primární databázi jsou vyvíjeny účelové aplikace (Staněk, 2006a; Jirka, 2006; Ardielli, 2006; Kajzar, 2006), které prezentují primární data v grafickém prostředí, v němž nabízejí softwarové nástroje k uživatelsky přívětivému interaktivnímu vyhodnocení. Podle možnosti je většina výstupů získaných z aplikací ukládána do pracovních souborů, udržovaných ve formátu shodném s primární databází (\*.MDB). Využitím účelových aplikací lze v postupném sledu řešit tyto dílčí úlohy:

- Odvození přibližných hodnot obsahu popela v bezvodém stavu ( $A^d$ ) k neanalyzovaným úsekům v profilu sloje.

Znalost hodnoty  $A^d$  ve všech polohách sloje je potřebná k výpočtu průměrné hodnoty  $A^d$  v modelované sloji nebo lávce. Nejsou-li dostupné hodnoty  $A^d$  v dílčích polohách stanoveny analyticky, odvozuje aplikace automatizovaně přibližné hodnoty obsahu popela na základě uloženého textového petrografického popisu.



Obr. 3. Ložiskové vrty v jihomoravském lignitovém revíru evidované v databázi.

Fig. 3. Prospect holes in the South Moravian Lignite Coalfield recorded in the database.

Tab. 1. Databázová tabulka „PRUMERY“, ukázka záznamů  
Tab. 1. „AVERAGES“ database table, record extract

vrt, zásek	hori-zont	od [m]	do [m]	AdB [%]	AdO [%]	Ad [%]	Std [%]	Asd [g.t <sup>-1</sup> ]	Qsdaf [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Qir [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Vdaf [%]
B141	DS	126,55	135,10			63,12	2,01	18,4	21,56	2,78	69,26
B141	L7	126,55	127,99			42,46	2,01	18,4	25,74	6,72	64,03
B141	P6	127,99	128,52			95,00					
B141	L7	126,70	127,75	40	50	39,72	2,01	18,4	26,36	7,33	58,44
B141	P6	127,75	128,70	40	50	84,16					

Pozn.: Označení datových polí odpovídají chemicko-technologickým parametrům:  $A^d$  - obsah popela v bezvodém stavu paliva,  $S_i^d$  - obsah síry veškeré v bezvodém stavu paliva,  $As^d$  - obsah arzeniu v bezvodém stavu paliva,  $Q_s^{daf}$  - spalné teplo v hořlavíně paliva,  $Q_i^r$  - výhřevnost v původním stavu paliva,  $V^{daf}$  - obsah prchavé hořlaviny v hořlavíně paliva.


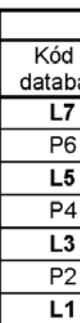
Note: Names of data fields correspond to chemical and combustion properties:  $A^d$  - ash content (dry),  $S_i^d$  - total sulphur content (dry),  $As^d$  - arsenic content (dry),  $Q_s^{daf}$  - gross calorific value (dry, ash-free),  $Q_i^r$  - net calorific value (as received),  $V^{daf}$  - volatile matter (dry, ash-free).

- Vymezení slojí.

Geologický model ukotvuje základní představu o přirozeném vývoji sloje bez ohledu na kvalitativní nebo kvantitativní kritéria a tvoří hranice pro druhou fázi modelování – tvorbu variant bilancovaného modelu. Modelování vychází ze stanovených hloubek báze a stropu sloje v místech vrtů nebo záseků, které jsou pomocí aplikace uživatelem pohodlně definovány a uloženy do jedné z nejdůležitějších tabulek databáze označené PRUMERY (tab. 1), do které jsou zapisována i vyhodnocení vrtů nebo záseků v dalších aplikacích. Záznamy s „geologickými“ mocnostmi se vyznačují absencí limitních parametrů, kterými jsou maximální přípustný obsah popela ve sloji (datové pole AdB) a v okrajových polohách při bázi a stropu sloje (pole AdO; vylučuje zahrnutí nekvalitních okrajových poloh do sloje), neboť při definování geologických mocností sloje nejsou tyto parametry akceptovány. K hloubkovým intervalům jsou současně stanoveny průměrné hodnoty kvalitativních parametrů  $A^d$ ,  $S_t^d$ ,  $As^d$ ,  $Q_s^{daf}$ ,  $Q_i^r$ ,  $V^{daf}$ , které byly vybrány s ohledem na dostupnost dat a využití parametrů při hodnocení ložiska.

- Vymezení uhelných lávek v oblastech s rozštěpenou slojí.

Vývoj rozštěpené dubňanské sloje je do modelu začleněn na základě fixace uhelných lávek vymezením stropu a báze jednotlivých uhelných lávek v místech vrtů, příp. záseků, v profilu sloje. Aplikace k interaktivnímu vymezení lávek současně provádí automatický dočet údajů k dělicím proplástkům (označení lávek obr. 4 a obr. 5) a výsledky ukládá do tabulky PRUMERY.

Jednotná sloj			Sloj rozdělená na lávky		
Kód v databázi	Horizont	Profil	Kód v databázi	Horizont	Profil
DS	dubňanská sloj		L7	lávka 7	
			P6	proplástek 6	
			L5	lávka 5	
			P4	proplástek 4	
			L3	lávka 3	
			P2	proplástek 2	
			L1	lávka 1	

Obr. 4. Schematické znázornění vývoje dubňanské sloje v moravské ústřední prohlubni v jihomoravském lignitovém revíru.

Fig. 4. Schematic representation of the Dubňany Seam in the Moravian Central Depression in the South Moravian Lignite Coalfield.

Kód v databázi	Horizont	Profil
A5	lávka 5	
R4	proplástek 4	
A3	lávka 3	
R2	proplástek 2	
A1	lávka 1	

Obr. 5. Schematické znázornění vývoje dubňanské sloje v rohatecko-bzenecko-strážnické části jihomoravského lignitového revíru.

Fig. 5. Schematic representation of the Dubňany Seam in the Rohatec-Bzenec-Strážnické part of the South Moravian Lignite Coalfield.

- Stanovení bilancovaných mocností slojí.

Bilancované mocnosti slojí jsou intervaly v profilu sloje vybrané s ohledem na limitní kritéria (max. průměrný obsah popela Ad ve sloji a max. obsah popela Ad v okrajových polohách při stropu a bázi sloje), z nichž vychází modelování sloje za účelem hodnocení ložiska. Aplikace umožňuje provést optimální výběr intervalu a uložit jej do tabulky PRUMERY. U záznamů vztahujícím se k bilancovaným mocnostem jsou vyplněna pole AdB a AdO hodnotami, které byly stanoveny jako limitní při jejich výběru. K jedné sloji nebo lávce ve vrtu tak může existovat více záznamů bilancovaných mocností za účelem tvorby několika různých variant hodnocení sloje.

- Stanovení bilancovaných mocností lávek.

V místech rozštěpeného vývoje sloje jsou bilancované mocnosti stanoveny obdobně také v jednotlivých lávkách.

- Vymezení tektonických ker.

Modelování sloje se provádí samostatně po dílčích souvislých celcích – tektonických kráčích. Kry jsou definovány a do souboru uloženy pomocí lokalizačních souřadnic lomových bodů polygonů sestavených z vybraných linií vyjadřujících dílčí tektonické poruchy ve strukturní mapě báze sloje, případně jsou další body interaktivně doplněny digitalizací.

- Automatizovaná tvorba geologických řezů.

Touto aplikací lze vytvářet řezy ložiskem na základě geologického modelu a jednotlivých variant bilancovaných modelů.

- Převod primárních a odvozených dat do prostředí GIS.

V prostředí GIS se vytváří tradiční mapy zásob. Účelová aplikace provádí automatizovaný převod požadovaných dat do prostředí GIS.

### Hlavní matematické postupy modelování

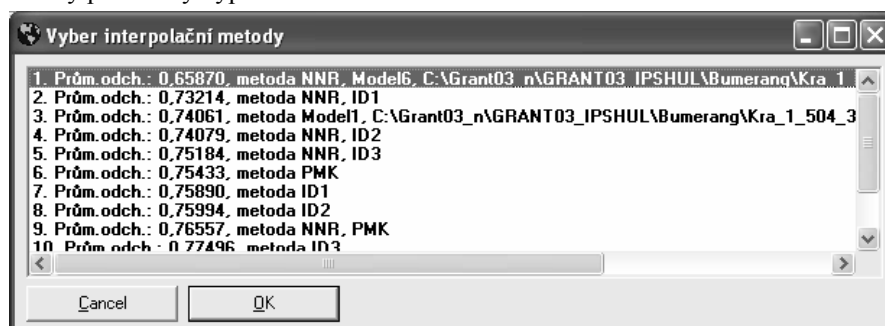
V průběhu modelování jsou aplikovány matematické postupy, především postupy z matematické statistiky a geostatistiky a také vybrané druhy interpolace funkce.

Jednou ze základních úloh statistického rozboru i volby dalších metod zpracování je studium charakteru statistické distribuce vstupních dat. Jen na základě správného popisu distribuce lze odhadnout statistické charakteristiky a realizovat další zpracování. Je známým faktem, že empirické distribuce většiny veličin popisujících geologická tělesa nevyhovují běžně uvažovanému normálnímu rozdělení, ale že mají distribuci asymetrickou. Přitom je ale normální distribuce základní podmínkou použití mnoha dalších matematických postupů.

V procesu modelování uhelné sloje, případně lávky sloje, jsou z nepravidelně rozmístěných průzkumných bodů interpolovány hodnoty jednotlivých ložiskových atributů do pravidelné sítě bodů – tzv. gridu. Jelikož se jedná o lineární matematické postupy, je nezbytné, aby vstupní údaje byly rozloženy normálně. V případě, že vstupní soubor dat nevyhovuje normální distribuci, je v IPSHUL provedena tzv. grafická (kvantilová) transformace vstupního souboru (Deutsch, 2002) pomocí kumulovaných četností (empirické distribuční funkce) a distribuční funkce normovaného normálního rozdělení (dále NNR) tak, že výsledný soubor má požadované NNR. Proto je i zde v průběhu zpracování v případě, že je statistickým testem zjištěna jiná než normální distribuce, programově provedena kvantilová transformace vstupních údajů do NNR, následně se provede interpolace vybranou interpolační metodou a hodnoty gridu jsou pak programově zpětně transformovány.

Geostatistická strukturální analýza jednotlivých atributů uhelné sloje se v IPSHUL provádí v prostředí programu Surfer. Výsledky geostatistické strukturální analýzy jsou pak použity při interpolaci jednotlivých atributů uhelné sloje v průběhu vytváření modelu sloje (lávky sloje) pro tvorbu odpovídajících gridů.

Výběr interpolační metody má značný vliv na výsledný model ložiska a tím i na množství vypočtených zásob suroviny. Systém IPSHUL pro gridování využívá programové objekty Grid programu Surfer. K usnadnění výběru vhodné interpolační metody se v IPSHUL využívá modul BUMERANG (metoda Cross Validation) (Staněk, 2006b) (obr. 6). Testování se provádí pro konečnou množinu různých interpolačních metod (inverzních vzdáleností, krigování, plochy minimální křivosti aj.), navíc každá z nich může mít variantně nastaveny parametry výpočtu.



Obr. 6. Výběr interpolační metody v modulu BUMERANG.  
Fig. 6. Interpolation method option in the BUMERANG module.

### Postup modelování

V některých částech ložiska je sloj jednotná (oblast A), v některých částech se vyskytují oblasti s větším počtem mocnějších proplátek rozdělujících sloj do až čtyř samostatných uhelných lávek, tedy sedmi horizontů (oblast B). Základním modelem ložiska je tzv. geologický model, který charakterizuje geologický vývoj ložiska a stanovuje prostorové rozmístění uhelných poloh na ložisku. Na jeho základě se následně vytvářejí variantní modely podle kvality uhlí (tzv. bilancované modely), které respektují prostorové rozmístění uhelných poloh popsané geologickým modelem. Prvotním úkolem je proto vytvoření geologického modelu ložiska.

Při vytváření geologického modelu ložiska se z dat v jednotlivých průzkumných dílech uložených v ložiskové databázi identifikují a korelují geologické (genetické) uhelné i neuhelné horizonty – uhelná sloj (oblast A), popřípadě uhelné lávky a proplátky (oblast B). Výsledky identifikace a korelace geologických horizontů jsou spolu s průměrnými hodnotami ložiskových parametrů v těchto polohách uloženy



do ložiskové databáze. Výběru poloh předchází výběr jednoznačných kvalitativních parametrů pro jednotlivé hloubkové úseky, neboť tyto údaje mohou být získávány z různých typů vzorků (segmenty, sesypy, sesypy segmentů, kontrolní analýzy apod.) a v mnoha případech jsou mnohoznačné.

Vlastní identifikaci a korelaci uhelných slojí provádí ložiskový geolog na základě svých zkušeností a představ. Jako podklady mu slouží různé grafické výstupy vytvořené na základě údajů ložiskové databáze, například petrografické profily vrtů a detaily slojí. Tyto výstupy jsou vykreslovány na základě klasifikace hornin, přechodných hornin a uhlí včetně způsobu jejich grafické reprezentace tak, jak je popsal Honěk et al. (2003).

V rámci uhelných geologických horizontů lze v jednotlivých průzkumných dílech postupně provádět variantně výběry bilancovaných poloh podle limitního maximálního obsahu popela (například 25 %, 30 %, 35 % apod.) a zjištění průměrných hodnot dalších ložiskových parametrů v těchto polohách. Na základě těchto údajů lze následně vytvářet zmíněné variantní bilancované modely ložiska. Výsledky výběru bilancovaných poloh jsou rovněž ukládány do ložiskové databáze.

JLR lze rozdělit podle linií hlavních tektonických poruch do několika částí, ve kterých se dá předpokládat kvazihomogenita náhodného pole sledovaných atributů ložiska. Zpracování jak geologického modelu ložiska, tak bilancovaných modelů ložiska probíhá po těchto částech (po tzv. tektonických krách). Před modelováním vnitřních atributů ložiska je nezbytné provést prostorovou transformaci jednotlivých ker, tedy „narovnění“ do původního stavu, což se projeví korekcí souřadnic průzkumných děl mimo zpracovávanou tektonickou kru. Výsledný model je složen ze všech tektonických ker geologického modelu ložiska nebo jednotlivých bilancovaných modelů ložiska.

Kromě hlavních tektonických linií, dělících ložisko do tektonických ker, se uvnitř tektonických ker vyskytují také drobnější tektonické poruchy, které jsou také důležité pro modelování prostorového průběhu báze jednotné sloje (oblast A), případně báze hlavní uhelné lávky (oblast B). Proces modelování báze sloje nebo hlavní uhelné lávky je iterační, je ukončen uživatelem po dosažení jeho představy.

#### Postup tvorby geologického modelu

Průběh vytváření geologického modelu lze rozdělit do následujících etap:

- a1. Zobrazení profilů jednotlivých průzkumných děl a odpovídajících detailů slojí. Stanovení linie přechodu oblasti A do oblasti B. Identifikace a korelace geologických uhelných i neuhelných horizontů – uhelné sloje, popřípadě uhelných lávek a proplátek. Přitom v oblasti přechodu oblasti A do oblasti B je nutno provést identifikaci a korelaci obojího druhu, aby bylo možné zajistit plynulé napojení oblastí A a B.
- b1. Stanovení obvodových polygonů tektonických ker (viz výše), ve kterých bude samostatně probíhat další zpracování.
- c1. Tvorba gridu prostorového průběhu báze sloje (oblast A), případně báze hlavní uhelné lávky (oblast B), včetně vlivu drobnějších tektonických poruch.
- d1. Tvorba gridů mocnosti a obsahu popela sloje (oblast A), uhelných lávek a proplátek (oblast B) v tektonických krách.
- e1. Výpočet gridu prostorového průběhu stropu sloje (oblast A), případně gridů bází a stropů jednotlivých horizontů (oblast B), v tektonických krách.
- f1. Složení všech odpovídajících gridů tektonických ker – viz etapy c1), d1) a e1) – do výsledného geologického modelu ložiska.
- g1. Grafické zobrazení modelu – tvorba řezů, map izolinií mocnosti a obsahu popela všech horizontů, 3D zobrazení prostorového vývoje ložiska apod.

#### Postup tvorby varianty bilancovaného modelu

Na základě geologického modelu je možné vytvářet jednotlivé varianty bilancovaných modelů podle zadaného limitního maximálního obsahu popela v tektonických krách určených v bodě b1). Průběh vytváření varianty bilancovaného modelu lze rozdělit do následujících etap:

- a2. Provedení výběru bilancovaných poloh v rámci geologických horizontů určených v etapě a1) (popřípadě, pokud byl již výběr dříve proveden, načtení bilancovaných poloh z ložiskové databáze).
- b2. Tvorba gridu prostorového průběhu báze sloje (oblast A), případně báze hlavní uhelné lávky (oblast B), včetně vlivu drobnějších tektonických poruch.
- c2. Tvorba gridů mocnosti, obsahu popela, obsahu síry a dalších sledovaných atributů sloje (oblast A), uhelných lávek a proplátek (jen mocnosti a obsahu popela) (oblast B) v tektonických krách.
- d2. Výpočet gridu prostorového průběhu stropu sloje (oblast A), případně gridů bází a stropů jednotlivých horizontů (oblast B), v tektonických krách.
- e2. Prostorové spojení uhelných lávek v oblasti B podle limitních ukazatelů varianty bilancovaného modelu, přepočítání odpovídajících gridů sledovaných atributů váženým průměrem přes mocnost.

- f2. Složení všech odpovídajících gridů tektonických ker – viz etapy b2), c2), d2) a e2) – do výsledného bilancovaného modelu ložiska.
- g2. Grafické zobrazení modelu – tvorba řezů, map izolinií mocnosti, obsahu popela a dalších sledovaných atributů všech horizontů, 3D zobrazení prostorového vývoje ložiska apod.
- h2. Odhad zásob ložiska podle různých klasifikačních systémů, sestavení textových přehledů zásob, převod grafických výstupů do prostředí GIS a následná tvorba map zásob v tradičním pojetí.

### Závěr

Naplněním primární databáze a pořízením odvozených dat pomocí vyvinutých aplikací jsou připravena přímá vstupní data pro modelování v rámci řešeného komplexního hodnocení ložiska lignitu v české části vídeňské pánve.

V článku popsané postupy tvorby geologického modelu ložiska uhlí JLR a variantních bilancovaných modelů umožňují následně zhodnocení ložiska. Toto metodické zázemí, přesně uzpůsobené uhelnému ložisku v jihomoravském lignitovém revíru, dává záruku co nej přesnějšího zhodnocení ložiskových údajů pro budoucí využití této cenné suroviny.

*Tento článek byl vypracován za finanční podpory  
Grantové agentury České republiky v rámci projektu  
č. 105/06/1264.*

### Literatura - References

- Ardielli, J.: Programové řešení interaktivního výběru bilancované mocnosti uhelné polohy ve vrtu. In *Sb. Documenta Geonica, 6. česko-polská konference „Geologie hornoslezské pánve“*, Ostrava, 2006, p. 11-17.
- Deutsch, C. V.: Geostatistical Reservoir modeling. *Oxford university press, Oxford, 2002, 376 pp.*
- Honěk, J., et al.: Jihomoravský lignitový revír – komplexní studie. *Sb. vědeckých prací VŠB – TU Ostrava, rok 2001, ročník XLVII, řada hornicko - geologická, monografie 3, 272 p.*
- Honěk, J., Hoňková, K., Jelínek, J., Staněk, F.: Univerzální systém hodnocení a grafického zobrazení hornin, přechodných hornin a uhlí. In *Sb. vědeckých prací VŠB – TU Ostrava, rok 2003, ročník XLIX, řada hornicko-geologická, monografie 9, s. 69 - 92.*
- Jirka, J.: Využití digitálního modelu uhelného ložiska pro generování geologických řezů. In *Sb. Documenta Geonica, 6. česko-polská konference „Geologie hornoslezské pánve“*, Ostrava, 2006, s. 75 - 79.
- Jiříček, R.: Stratigrafie, paleogeografie a mocnosti sedimentů v neogénu vídeňské pánve. *Zem. Plyn, Nafta, 33, 4, Hodonín, 1988, p. 529-540.*
- Kajzar, V.: Využití digitálního modelu uhelného ložiska pro tvorbu mapové geologické dokumentace v prostředí GIS. In *Sb. Documenta Geonica, 6. česko-polská konference „Geologie hornoslezské pánve“*, Ostrava, 2006, p. 99 - 104.
- Papp, R.: Das Pannon der Wiener Becken. *Mitt. Geol. Gesell., 39-41, Wien, 1951, p. 1-103.*
- Staněk, F.: Softwarové zabezpečení univerzálního systému zobrazení hornin, přechodných hornin a uhlí. In *Sb. vědeckých prací VŠB – TU Ostrava, 2003, ročník XLIX, řada hornicko-geologická, monografie 9, p. 103 - 108.*
- Staněk, F.: Metodické postupy a programová realizace systému pro modelování uhelných ložisek. In *Sb. Documenta Geonica, 6. česko-polská konference „Geologie hornoslezské pánve“*, Ostrava, 2006a, p. 145 - 153.
- Staněk, F.: Programové řešení Interaktivního programového systému pro aplikaci moderních metod hodnocení uhelných ložisek a jejich dílčích částí v komplikovaných podmínkách. In *Sb. vědeckých prací VŠB – TU Ostrava, 2006b, ročník LII, řada hornicko-geologická, monografie 16, p. 39 - 71.*
- Staněk, F., Honěk, J., Hoňková, K., Jelínek, J.: Interactive program system for application of modern evaluation of coal deposits and their parts under complicated conditions. *Acta Montanistica Slovaca, 11 (2006), 1, Košice, 2006, p. 50 – 59.* <http://actamont.tuke.sk/pdf/2006/n1/9stane.pdf>
- SURFER 8, 2002. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. User's Guide. *Golden Software Inc., Golden, USA, 640 p.*