

## Modelování báze a tektonického porušení dubňanské a kyjovské lignitové sloje

Jan Jelínek<sup>1</sup>, František Staněk<sup>2</sup>, Josef Honěk<sup>3</sup> a Kerstin Hoňková<sup>4</sup>

### *Modelling of seam bases and tectonic faulting of Dubňany and Kyjov lignite seams*

*The paper deals with the methodology of modelling the Czech part of the Vienna Basin and its tectonic failure. Based on detailed mining and drilling explorations, a tectonic map of the upper Pannonian lignite deposit was reconstructed in the studied area. Coal seams in the South Moravian Lignite Coalfield were modelled under the project of the example modern evaluation of the coal deposit. Designed software with application of modern mathematical, statistical and geostatistical methods and SURFER program were used for coal seam modelling. Conception of the tectonic faulting of the Dubňany and Kyjov lignite seams was created. Work results contributed significantly to knowledge of tectonic conditions of the Czech part of the Vienna Basin.*

**Key words:** coal seam, lignite deposit, 3D modelling, pull-apart, the Czech part of the Vienna Basin

### Úvod

Príspevek je venovaný metodice digitálneho modelovania báze dubňanskej a kyjovskej lignitovej sloje juhomoravského lignitového revíru (JLR). Postup prací je demonštrovaný predovšetkým na moravskej ústrednej prohlubni (MÚP) a ďalej pak na rohatecko-bzenecko-strážnické oblasti (obr. 1), jež jsou součástí české části vídeňské pánve. Ostatní oblasti jsou již z velké části vytěžené a z hlediska využití nerostných surovin tedy méně významné. Sestavení jednotlivých modelů předcházelo studium strukturně tektonických poměrů celé vídeňské pánve (VP). Byla provedena rekonstrukce původní tektonické mapy dubňanské a kyjovské sloje (Honěk et al., 2001d) a současně vytvořena představa o tektonickém vývoji této části vídeňské pánve. Strukturně tektonická stavba byla nově řešena v rámci dvou grantových projektů České republiky. První projekt je zaměřen na aplikaci moderních metod hodnocení uhelných ložisek prostřednictvím interaktivního programového systému. Druhý projekt zkoumá využití morfotektonické analýzy při studiu tektonického porušení dubňanské a kyjovské sloje.

### Geologická stavba

Vídeňská pánev je neogenní strukturou rozkládající se na územích České republiky, Slovenska a Rakouska. Tvoří ji 150 km dlouhá a 50 – 60 km široká nepravidelná rhomboidální deprese protažená ve směru JZ-SV. Jiříček (2002) ve VP vyčleňuje dvě strukturní patra. Nejspodnější patro je zastoupeno provrásněnými horninami alpínského orogénu. Na tomto značně deformovaném podloží spočívá neogenní výplň pánve, kterou tvoří pestrý sled mořských, brakických i sladkovodních sedimentů stáří eggenburg až pliocén. Neogenní formace jsou porušené pouze zlomovou tektonikou (Jiříček 2002). Maximální mocnost neogenních uloženin v centrální části VP je 5500 m. Zájmová oblast Jihomoravský lignitový revír se nachází v jihovýchodní části České republiky a je součástí české části vídeňské pánve. Vyskytují se zde dobytelné lignitové sloje pannonského stáří.

Mořská sedimentace ve VP byla postupně nahrazovaná sedimentací kontinentální spojenou s vyslazováním prostředí. V zónách B a F Pappova dělení pannonu (1951) se na plochem terénu vytvořily rozsáhlé bažiny, z nichž vznikly lignitové sloje (kyjovská, dubňanská i další sloje v uhelné sérii v nadloží dubňanské sloje). Pannonské sedimenty s lignitovými slojemi se vyskytují až v úplném závěru složitého geologického vývoje VP.

Kyjovská sloj ve svrchní části zóny B se v JLR vyskytuje ve dvou oddělených částech. Větší hovoransko-kyjovská část 15 km dlouhá a až 4 km široká je protáhlá ve směru ZJZ-VSV. Omezení sloje je přirozené (vyklíněním nebo vyhluchnutím, ojedinele výchozy). Sloj má mísovité uložení s úklonem 1 až 2° (max. 3°). Největší hloubka uložení sloje je 160 m na úrovni +85 m n.m. Geologická mocnost sloje je 2 až 4 m, průměrná mocnost je 2,9 m. U jižního okraje se sloj rozštěpuje do dvou lávek, dále k jihu sloj postupně vyklínuje. Při severním okraji západně od Kyjova se projevuje vliv deltové sedimentace. Sloj

<sup>1</sup> Ing. Jan Jelínek, Ph.D., IGI HGF, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu, 708 33 Ostrava, Česká republika

<sup>2</sup> Doc. RNDr. František Staněk, Ph.D., IGI HGF, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu, 708 33 Ostrava, Česká republika

<sup>3</sup> Doc. Ing. Josef Honěk, CSc., Opavská 150, 708 00 Ostrava-Pustkovec, Česká

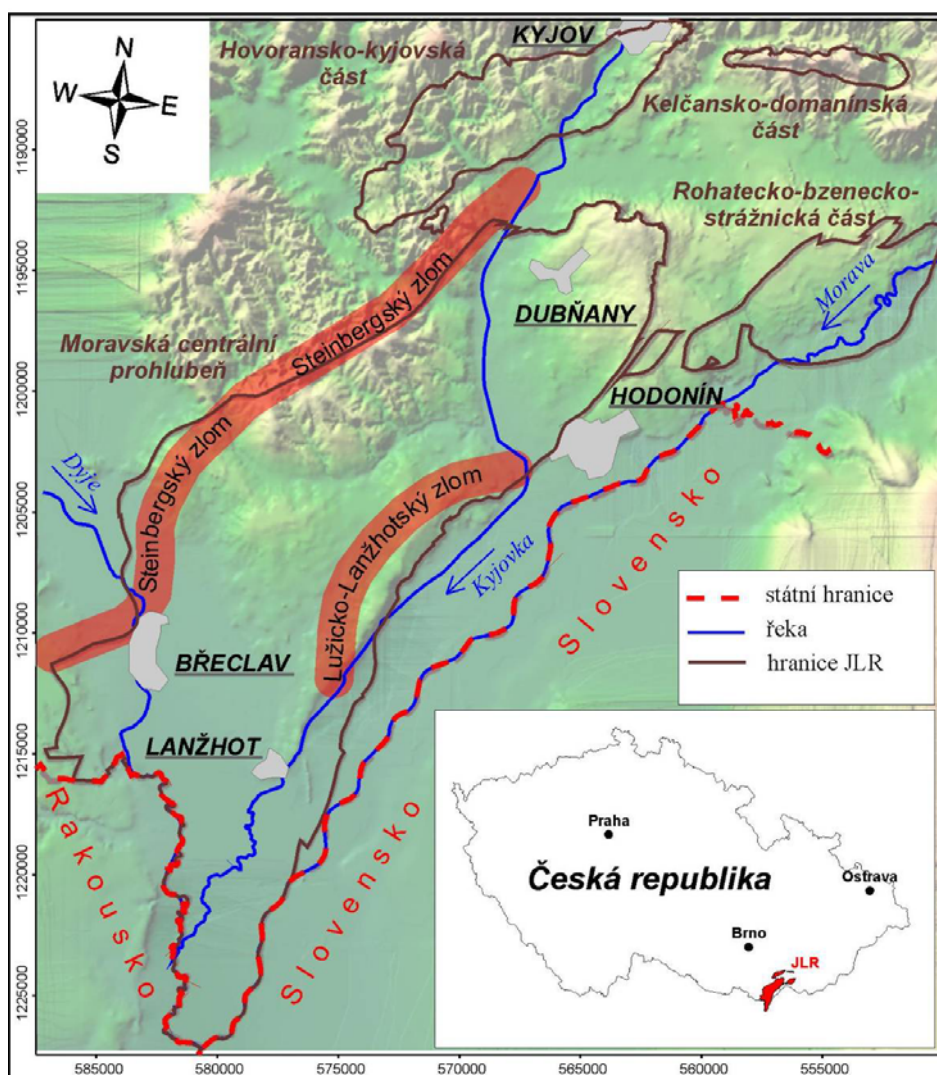
<sup>4</sup> Ing. Kerstin Hoňková, Ph.D., Opavská 150, 708 00 Ostrava - Pustkovec, Česká republika  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 25. 5. 2009)

je porušena zlomy směru S-J až SV-JZ, které dělí celou oblast do dílčích tektonicky omezených ker. Všechny zlomy jsou poklesy s maximální výškou skoku do 20 m (Honěk et al., 2001d).

Maximální hloubka uložení dubňanské sloje je pouze asi 320 m pod povrchem. Vyskytuje ve dvou oddělených částech JLR. 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 často výchozy zakryté kvartéřními sedimenty. Některé doprovodné zlomy obou systémů jsou protiklonné a vytváří dílčí příkopové propadliny. Prohlubeň je příkopová propadlina s asymetrickým synklinálním uložením sloje a osou synklinály posunutou k východnímu okraji. Na ose jsou dílčí deprese a elevace. Maximální hloubka báze sloje je 315 m (–120 m n.m.). Úklon sloje v západní části MÚP je menší (1 – 3° k JV), ve východní části dosahuje úklon sloje 3 až 5° k SZ (Honěk et al., 2001d). V severní části MÚP je sloj jednotná, bez významnějších proplátek. Ve střední části se ve sloji objevují tři výraznější proplátky dělicí sloj na čtyři uhelné lávky. Sloj je tak rozdělena do sedmi genetických horizontů. Směrem k západu a jihu se proplátky zvyrazňují, přibývá anorganický podíl ve sloji, roste mocnost sloje a kvalita lignitu se zhoršuje. Geologická mocnost dubňanské sloje je v severní části MÚP stálá mezi 4 – 5 m. Od střední části MÚP k jihu a západu se štěpením sloje na genetické lávky geologická mocnost zvětšuje až na 12 až 13 m. Většinu sloje ale tvoří přechodné horniny nebo horniny bez uhelné příměsi, bilanční mocnost sloje klesá pod 2 m (Honěk et al., 2001d).

Rohatecko – bzenecko – strážnická část je 12 km dlouhá a 5,5 km široká. Má elipsovitý tvar, protáhlý ve směru JZ – SV. Dubňanská sloj je omezena tektonicky, výchozy a ve východní části vyhluchnutím. Severní část je intenzivně tektonicky porušena. Podle Hoňka et al. (2001) má dubňanská sloj 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 než v MÚP. Sloj se rozděluje na tři uhelné lávky oddělené dvěma proplátky. Dolní proplátek má velkou mocnost (průměrná mocnost je 2 m, maximální mocnost je 4,2 m) a rozděluje celou sloj z ložiskového hlediska na dvě samostatné slojové lávky. Průměrná mocnost spodní lávky je 1,4 m, svrchní

lávky 1,6 m. Mocnost celé sloje je 5,5 m, (max. 9,9 m). Průměrná mocnost hlavního proplátku je 2 m (max. 4,2 m). Podrobný geologický popis JLR je zpracován v kom-plexní studii Honěk et al. (2001d).



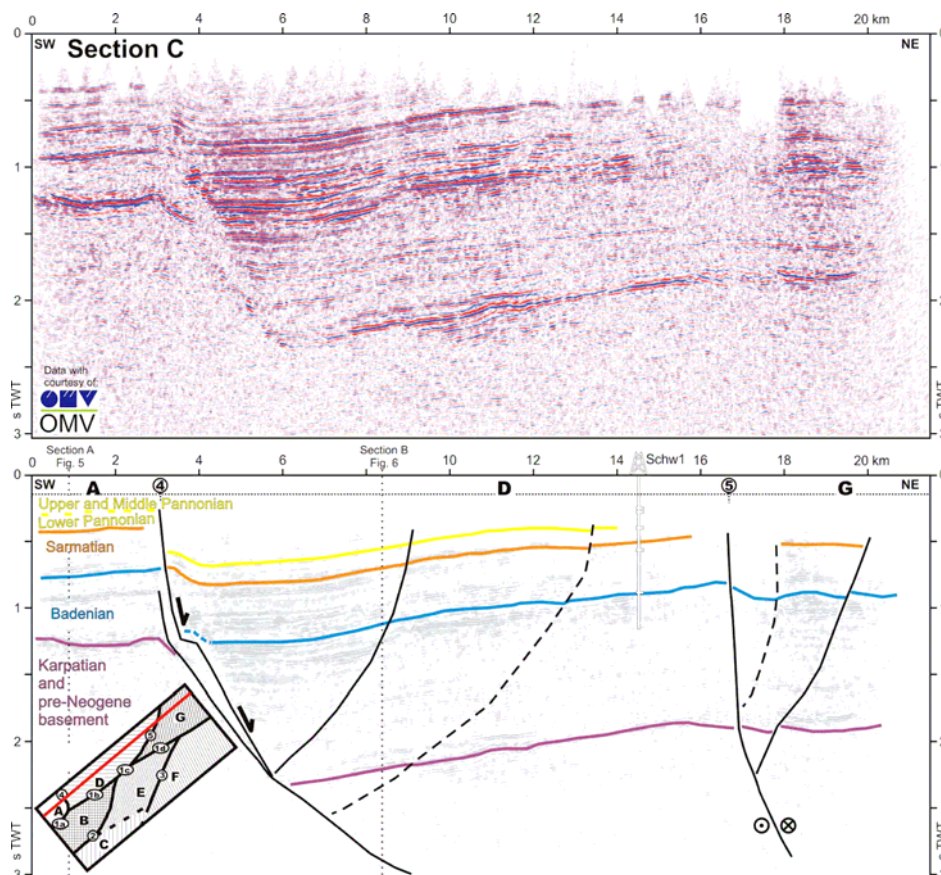
Obr. 1. Digitální model současného reliéfu se schématickou mapou jihomoravského lignitového revíru (JLR).

Fig. 1. The digital terrain model of recent relief with schematic map of the South Moravian Lignite Coalfield („SMLC“).

## Problematika

Tektonická stavba vídeňské pánve je předmětem mnoha studií a názory na její genezi či tektonické porušení se stále vyvíjejí. Podrobné modelování slajů jihomoravského lignitového revíru bylo provedeno v rámci vzorového komplexního hodnocení uhelného ložiska v prostředí programu SURFER a pomocí účelově sestaveného programového systému s využitím moderních matematických, statistických a geostatistických metod. Vstupní data tvořily údaje o slaji a jejím okolí získané v minulosti během více než padesátiletého podrobného důlního a vrtného ložiskového průzkumu. Přesnost vytvářeného modelu ložiska z velké části závisí na hustotě a přesnosti vstupních dat. Pro správné přehodnocení ložiska uhlí je nutné, aby vytvořený model zachycovat detailní strukturní stavbu ložiska, v tomto případě lignitu, která by měla být v souladu s posledními názory na regionální stavbu širší oblasti, tj. vídeňské pánve. V současné době se stále používá strukturní mapa báze kyjovské a dubňanské slaje z roku 2001 (Honěk, 2001).

Bohužel na strukturně tektonickou stavbu VP není do dnešní doby zcela ujednocený názor. Během posledních let se pohled geologů na strukturní vývoj celé zájmové oblasti značně měnil. Tektonická stavba a vývoj VP byl dosud řešen pouze globálně z pohledu kolize alpinského orogénu s jihovýchodním okrajem Českého masivu. Stále nejsou vyjasněny strukturně tektonické vztahy jednotlivých zlomů při otevírání pánve. Finálním obrazem vídeňské pánve je dnes rombický tvar, který se stal motivem pro její genezi z hlediska teoretických předpokladů. Při řešení strukturně tektonické stavby ložiska je nutno přihlížet k prostorochasovému vývoji celé pánve a nevnučovat průběh či vlastní existenci zlomů z teoretické pozice. Pro sestavení sofistikovanějšího názoru na geologický vývoj celé vídeňské pánve by se mělo vycházet ze zpracování existujících 15 tisíc vrtů v dané oblasti (Jiříček, 2002). Pro vytvoření prostorové představy průběhu významných tektonických poruch členících zájmovou oblast na dílčí tektonické kry je nutné použít nepřímé metody průzkumu. Vhodnými podklady jsou výsledky z geofyzikálního průzkumu, především seismických metod. Bohužel taková data pro zájmovou oblast nebyla k dispozici. Proto bylo nutné vycházet z poznatků rakouských geologů Hinsch et al. (2005), kteří v jižní části VP hledali na základě 3D seismiky aktivní zlomy. Jejich představa (obr. 7) byla použita jako analogie při interpretaci strukturně tektonického porušení dubňanské a kyjovské slaje v JLR. Seismické řezy (obr. 2) dokládají hloubkový průběh řídicích zlomů. Dokazují strmý úklon v místech, kde porušují zájmové panonské sedimenty.

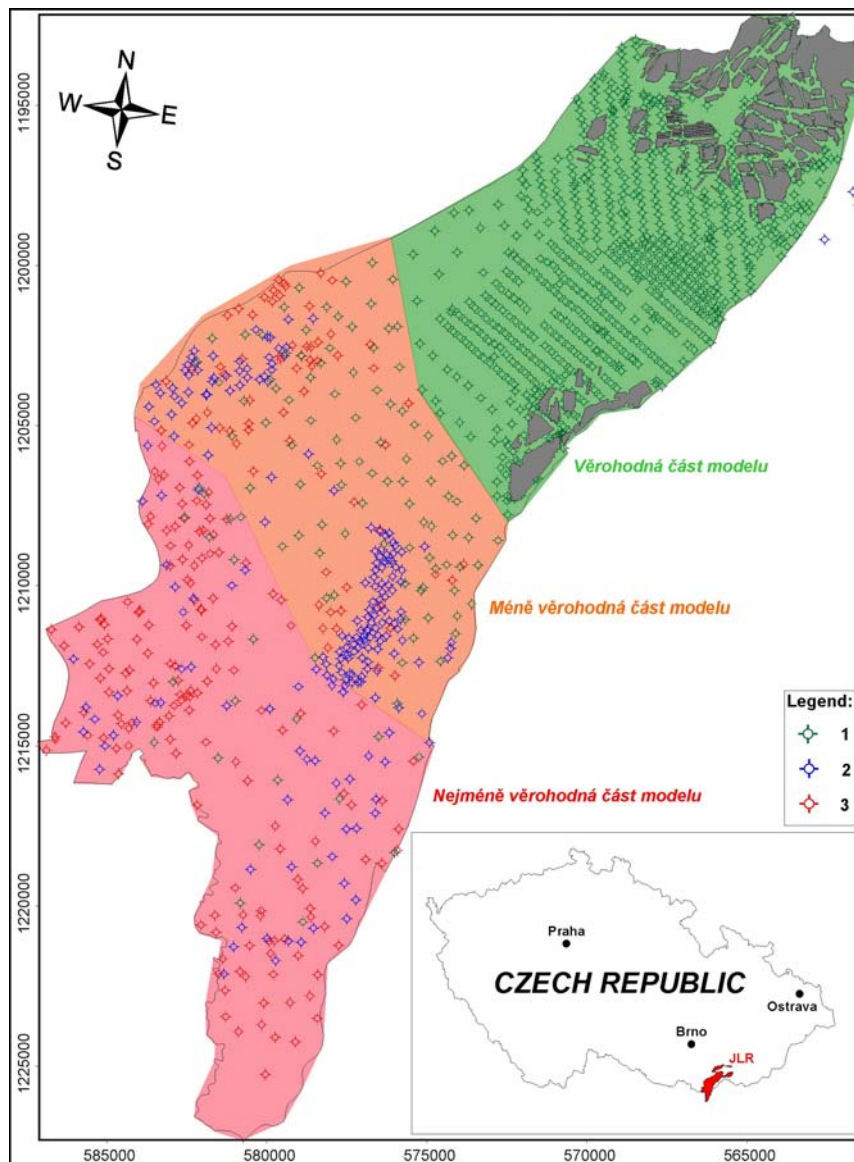


Obr. 2. Příklad seismických dat a jejich interpretace z 3D reflexní seismiky – jižní část vídeňské pánve, lokalizace seismického profilu je v Obr. 4 (Hinsch et al., 2005).

Fig. 2. Example of seismic data and interpreted section from the 3-D reflection seismic survey - south part of the Vienna Basin, localization of seismic profile is in the Fig. 4 (Hinsch et al., 2005).

Modernější názory na vývoj oblasti jsou zahrnuty v mladších mapách celé vídeňské pánve (např. Kováč, Plašienka, 2003; Kováč, Hók, 1993; Strauss et al., 2006), které jsou ovšem příliš zevrubné. Zachycují pouze významné přibližně lokalizované zlomy. Pro sestavení podrobného modelu ložiska jsou tyto mapy nevhodné. Většinu regionálně významných zlomů netvoří jedna souvislá tektonická plocha, ale obvykle zlomový systém široký od několika desítek do několika stovek až tisíc metrů. Pro ložiskovou geologii a následně důlní geologii či těžbu je důležitá znalost detailní tektonické stavby ložiska, tj. zjištění co nejpodrobnějšího průběhu drobných zlomů s výškou skoku několika metrů. Pro regionální geologii, která řeší širší geologickou stavbu, jsou důležité velké zlomy s výškou skoku několik desítek až několik stovek metrů a drobné zlomy jsou nezajímavé.

Celková představa o tektonickém porušení zkoumané zájmové oblasti vycházela také z důlních map, které byly k dispozici. Bohužel pokrytí zájmové oblasti těmito mapami je velmi malé, což demonstrují polygony vytěžených prostor v mapě MUP (obr. 3). Všechny zmíněné podklady ze zájmové oblasti (cca 3000 vrtů různé věrohodnosti, důlní mapy) a výsledky 3D seismiky z geneticky blízké části VP včetně gravimetrické mapy bugarových anomálií posloužily společně s novými regionálně geologickými názory na stavbu VP k vytvoření představy o celkovém porušení zkoumané oblasti.



Obr. 3. Moravská ústřední prohlubeň s vyznačenými vrty použitými pro sestavení digitálního modelu zohledňujícího strukturně tektonickou stavbu JLR. Vrty jsou roztrženy podle etap průzkumu.

Legenda: 1 – ložiskové vrty na lignitu; 2 – naftové vrty (Krejčí et al., 1975); 3 – naftové vrty z různých archivních materiálů; šedé polygony – vytěžené prostory.

Fig. 3. Drills used for modelling of the Dubňany seam floor in the Moravian Central Depression. Drills are sorted out according to the phases of exploration.

Legend: 1 – the lignite deposit drills; 2 – oil drills from revision report (Krejčí et al., 1975); 3 – oil drills from archive documentation; grey polygon – mined out.

## Verifikace vstupních dat

Pro hodnocení ložiska uhlí obecně a pro sestavení jeho geologického modelu zvláště, je velmi důležité prostorové rozložení informačních bodů (vrtů) a věrohodnost vstupních dat. Údaje o slojích a stavbě horninového masivu byly získávány z činných dolů a především z vrtného ložiskového průzkumu, který probíhal v několika etapách v různých časových úsecích (Honěk et al., 2001a). Pro sestavení digitálního modelu zachycujícího strukturně-tektonickou stavbu ložiska bylo použito více jak 3000 vrtů odvrtných v letech 1952 až 1990. Získaná archivní data bylo nutno před naplněním databáze upravit (Honěk et al., 2001b).

Prvním krokem při sestavování digitálního modelu báze sloje příkladové oblasti MÚP bylo provedení verifikace vstupních dat z vrtů podle věrohodnosti. Různá přesnost vstupních dat a hustota či rovnoměrnost rozmístění sehrála hlavní roli při přerozdělení dat do skupin podle věrohodnosti (obr. 3).

První skupinu verifikovaných dat tvoří ložiskové vrty odvrtné při průzkumných akcích v padesátých až osmdesátých letech minulého století. Ze všech použitých dat jsou nejpřesnější. Hustota vstupních dat z padesátých let je v oblastech těžby a blízkého okolí 250 x 500 m, místy 250 x 250 m, v perspektivních oblastech 2 x 2 km. Data jsou relativně rovnoměrně rozmístěna. U těchto vrtů byl nedostatkem způsob vrtání typu counterflush. Přesnost určení vertikálních hranic sloje závisela na kvalitě práce geologa přítomného na vrtu. U ložiskových vrtů odvrtných v sedmdesátých až osmdesátých letech problémy s určením hranic sloje nevznikaly. Nové jádrové a karotážně proměřené vrty poskytly informace mnohem vyšší kvality. Detailní profilování vrtů prováděla stálá geologická služba, sloj profilel a vzorky pro laboratorní rozborů odebíral uhelný petrograf. Jedná se o nejspolehlivější, nejúplnější a rozsahem provedených analýz nejrozsáhlejší soubor informací z JLR.

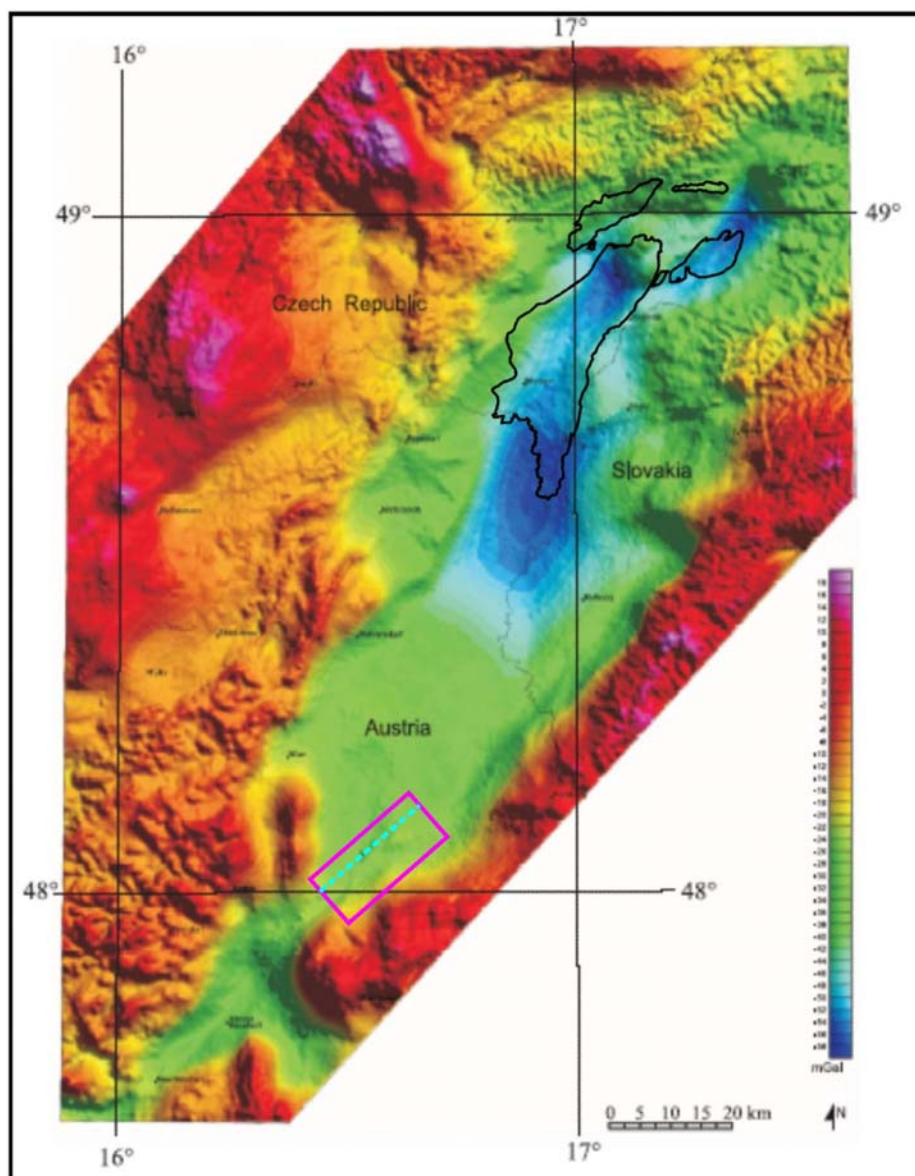
Druhou skupinu verifikovaných dat tvoří soubory vrtů naftového průzkumu, původně zpracované Geologickým průzkumem Ostrava (Krejčí et al., 1975). Vrty byly odvrtny v období předválečném až sedmdesátých let minulého století soupravami counterflush. Převážná část vrtů jsou mělké sondy. Věrohodnost vstupních dat snižuje tabulkové zpracování výsledků. Informace zapsané v tabulkách nelze nijak ověřit. Spolehlivost těchto vrtů proti starým ložiskovým vrtům je výrazně snížena. Stejně tak hustota vrtů je nerovnoměrná. Proto údaje z těchto vrtů jsou považovány za orientační.

Třetí skupinu verifikovaných dat tvoří soubory vrtů naftového průzkumu, které nebyly v tabulkách GPO (Krejčí et al., 1975) a byly získané z různých archivních materiálů, v rámci zpracování komplexní studie o JLR (Honěk et al., 2001d). Věrohodnost těchto dat je velmi nízká. Přesto byly tyto údaje využity při modelování především západní a nejjihnější části báze sloje moravské ústřední předhlubně. V západní části zájmového území se nejedná z ložiskového pohledu o podstatnou chybu, protože zásoby v této dílčí oblasti byly označeny za nebilanční.

Porovnáme-li odchylky v údajích a kvalitě těchto tří datových souborů můžeme říci, že první skupina dat je nejpřesnější. Vrty z padesátých let sice mohou nést chybu určení báze sloje kolem 0,5 až 1 metru, protože byly vrtány technologií counterflush, ale vrty ze sedmdesátých až osmdesátých let jsou zcela přesné. Navíc spolehlivost údajů byla ověřena důlní činností, především v severní části oblasti a v okolí Hodonína. U druhého souboru dat se odchylky v určení hloubky mohou pohybovat v rozmezí 2 až 3 metry. Navíc se zde může v některých vrtech vyskytovat chyba špatné identifikace sloje. Nad dubňanskou slojí se vyskytují malé slojky, které mohly být identifikovány jako dubňanská sloj a tím pádem byla špatně identifikována také báze sloje. Při hloubení těchto vrtů se vrtná osádka zaměřovala především na naftové obzory a slojím lignitu nevěnovala potřebnou pozornost. Třetí soubor dat může vykazovat u některých vrtů stejnou chybu určení sloje. Odchylka určení báze sloje se pohybuje ve stejném rozmezí jako u předešlé skupiny dat. Nicméně se zde vyskytly problémy se špatným určením pozice vrtu v souřadnicovém systému. Vrty, které zjevně vykazovaly tuto chybu (jejich umístění mimo zájmovou oblast), byly vyřazeny.

## Postup modelování báze sloje

Modelování báze sloje v zájmové oblasti bylo prováděno v softwarovém prostředí Surfer verze 8.01. Všechny posuzované digitální modely byly vytvořeny s přesností gridu 20 metrů. Výběr nejvhodnější interpolační metody byl proveden „bumerangovou metodou“ (Staněk, 1999). Za nejvhodnější interpolační metodu byla určena metoda exponenciálního krigování izotropního datového pole. Anizotropii datového pole nelze použít, protože dojde k deformaci výsledného modelu ve směru anizotropie, což je pro geologické struktury nepřijatelné (Jelínek, 2004). Zjištěná nejvhodnější metoda krigování byla zamítnuta, vzhledem k nemožnosti vkládání zlomů (tektonických poruch) do výpočtu. Vybraná byla metoda minimální křivosti, která vykazovala o něco větší chybu, ale umožňovala do výpočtu vkládat zlomy.



Obr. 4. Gravimetrická mapa Bouguerových anomálií vídeňské pánve (Arzmüller et al. 2006).

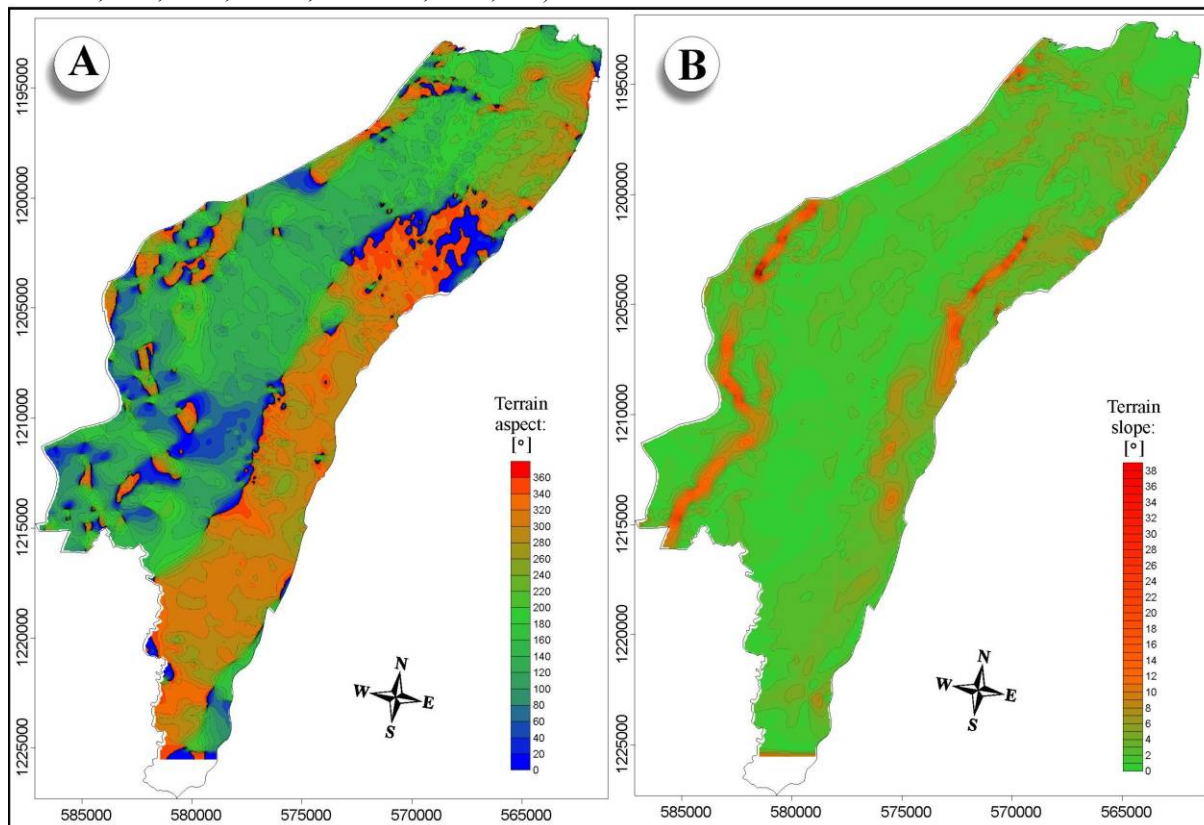
Legenda: Černé polygony – oblast JLR; fialový polygon – oblast studia 3D reflexní seismikou (Hinsch et al., 2005), lokalizace schématického náčrtu viz obr. 7; zelená linie – lokalizace seismického profilu z obr. 2 (Hinsch et al., 2005).

Fig. 4. The Bouguer gravity anomaly map of the Vienna Basin (Arzmüller et al., 2006).

Legend: black polygons – the South Moravian Lignite Coalfield; violet polygon – area studied by 3D seismic reflection (Hinsch et al., 2005), position of sketch see (Fig. 7); green line – position of the seismic profile from Fig. 2 (Hinsch et al., 2005).

Vytvořený digitální model báze sloje musí zohledňovat také tektonickou stavbu pánve. Názory na strukturní vývoj zájmové oblasti se různí. Jak již bylo nastíněno dříve, problém nespočívá pouze v rovině geologické, kde panuje nejednotnost názorů autorů (Čekan et al., 1990; Fodor, 1995; Jiříček, 2002; Kováč, Hók, 1993; Kováč, Plašienka, 2003; atd.), ale také v přesné lokalizaci průběhu konkrétních zlomů. Představy jednotlivých autorů řeší celou vídeňskou pánev. Strukturní plán VP je vykreslen v mapkách velkých měřítek a lze je použít pouze pro vytvoření částečné představy o charakteru a průběhu dislokací porušujících zájmové území. Celou zájmovou oblast zachycuje Hoňkova mapa (Honěk, 2001), kterou sestavil na základě mnohaletých zkušeností v JLR. Opět se jedná o názor jednoho autora. Přesné údaje o strukturní stavbě existují pouze v důlně ověřených oblastech. Získané strukturně tektonické důlní mapy zachycují ověřenou pozici a charakter jednotlivých tektonických poruch. Průběh těchto zlomů je přesně dán a nelze o jejich existenci pochybovat. Bohužel tyto mapy nepokrývají celou zájmovou oblast, ale pouze její severní část a oblast kolem Hodonína (obr. 3). Pro vytvoření představy zlomového porušení byla použita také gravimetrická mapa Bouguerových anomálií (obr. 4). Z ní lze vyčíst přibližný průběh hlavních dislokací a charakter zakřivení.

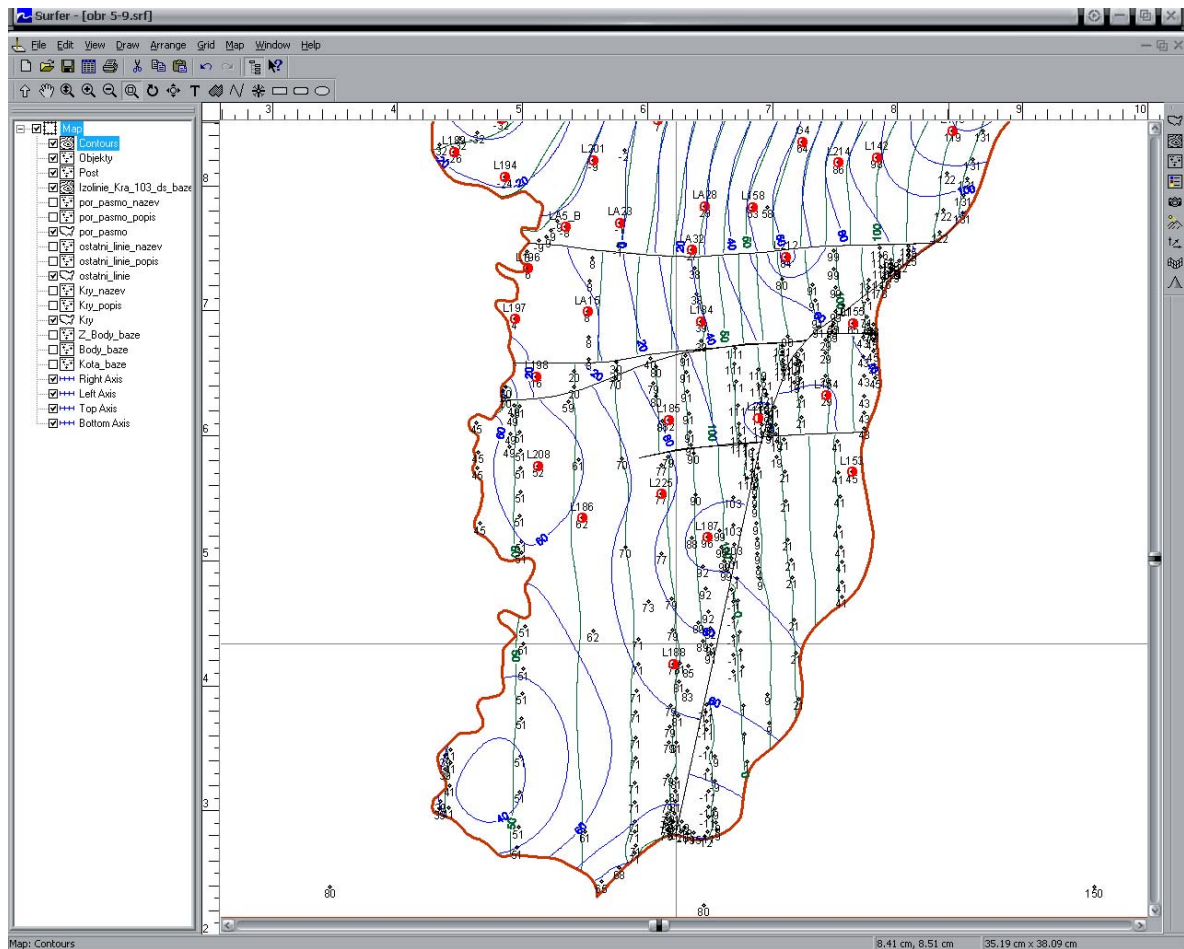
V první fázi modelování báze sloje byl vytvořen atektonický model, který byl podroben vybraným morfotektonickým analýzám. Především se jednalo o analýzu orientace svahů (obr. 5a), sklonitostní analýzu (obr. 5b), první a druhou směrovou derivaci, analýzu výškových hladin a analýzu stínového modelu. Pro možnost interpretace morfolineamentů (možných tektonických poruch) bylo nezbytné vytvořené výstupy dostatečně převýšit. Modelovaná sloj je velmi plochá a zjištěné nerovnosti nejsou v nepřevýšeném modelu dostatečně zřetelné. Postup interpretace morfolineamentů byl převzat ze studie Jelínka z roku 2004. Výsledkem morfotektonické analýzy byly morfolineamenty, které naznačovaly existenci a charakter průběhu případných tektonických poruch. Tento výsledek byl srovnán s gravimetrickou mapou Bouguerových anomálií a s jednotlivými studovanými představami geologů (Čekan et al., 1990; Fodor, 1995; Jiříček, 2002; Kováč, Hók, 1993; Kováč, Plašienka, 2003; atd.).



Obr. 5. A - Mapa orientace svahů; B - Mapa sklonitosti svahů. Příkladová oblast moravské ústřední prohlubně – dubňanská sloj.  
Fig. 5. A – Map of terrain aspect; B – Map of terrain slope. The Moravian Central Depression - the Dubňany seam.

Získaná představa tektonického porušení báze modelované sloje byla zanesena jako zlomy do výpočtu modelu. Zlomy byly modelovány pro jednoduchost jako vertikální. Z ložiskového pohledu se nejedná o nedostatek, protože horizontální přemístění na zlomech bylo důlní činností ověřeno jako minimální. Úklon blízký devadesáti stupňů v přípořechových částech zlomů odpovídá prostorové představě průběhu zlomů převzaté z 3D seismiky Hinsch et al. (2005).

První verze tektonického modelu se v hrubých rysech podobala tektonické představě porušení báze sloje. Jednalo se především o průběh významných struktur, kterými jsou steinberský zlomový systém a zlomy lužicko-lanžhotské. Drobnější zlomy vyčlenily tektonické kry, které svým tvarem, zakřivením a úklonem nezapadaly do celkové koncepce tektonického porušení báze sloje. Místa byly vymodelovány velmi nepravděpodobně uložené tektonické kry, což často souviselo se zahrnutím chybných údajů z vrtu do výpočtu nebo nevhodně voleným průběhem tektoniky. Po opravení průběhu zlomů nastal proces zpřesňování modelu. Bylo nezbytné postupovat úsek po úseku a porovnávat výškové parametry báze sloje mezi okolními vrty. Ručně se vykreslovaly opravené úklony jednotlivých dílčích ker. Jednalo se o velmi pracný postup, který odhalil mezi dvěma blízkými vrty nepřesnosti v určení báze sloje. V takovém případě bylo nezbytné zjistit, který z vrtů nese chybný údaj a je nutné jej z výpočtu vyřadit. Vrt patřící do nižší skupiny verifikovaných datových souborů byl z dalšího zpracování vyřazen. Ovšem ne vždy byla chyba v datech, ale v průběhu konkrétního zlomu a tedy v celkové představě tektonického porušení v dílčí části studované oblasti. Bylo tedy nutné vrátit se k dřívějším variantám a pokusem zjišťovat správné rozhodnutí. Vždy byla provedena prostorová představa o průběhu konkrétních zlomů a bylo posouzeno, zda tato interpretace zapadá do celkové koncepce tektonického porušení zájmové oblasti.



Obr. 6. Ukázka průběhu izolinií (modré linie) vypočtených pouze z vrstů (červené body) a izolinií (zelené linie) vypočtených pomocí pomocných bodů (černé body).

Fig. 6. Picture shows difference between models calculated without auxiliary points (blue line, red points) and calculated with auxiliary points (green line, black points).

Práci ulehčovaly vrty, ve kterých byla zachycena tektonika. Bohužel jejich údaje o hloubce báze sloje nebylo možné použít pro případné zkrácení profilu sloje. Popsaným postupem byla opravena představa o průběhu jednotlivých tektonických poruch. Tento strukturální plán byl následně vložen do výpočtu nového tektonického modelu. Získaný model byl zobrazen v 3D náhledu, aby byly snadněji identifikovány nesmyslně deformované nebo prostorově orientované dílčí tektonické kry. Vytvořený model zachycoval významné tektonické poruchy, ovšem jejich propojování s jinými zlomy či větvení, jasně zcela nebylo. Opět se přistoupilo k detailnímu přepracování porovnáváním výškových hodnot báze sloje a vytvářela se již popsaným postupem opravená představa tektonické stavby.

Postupným opravováním modelu vznikaly menší a menší dílčí kry, které stále nevykazovaly zcela vhodnou orientaci natočení nebo úklonu báze sloje. Bylo nutné vymodelovat tyto kry tak, aby odpovídaly generálnímu průběhu báze sloje. Výjimku tvořily malé dílčí kry uvnitř širokých tektonických zón, kde se předpokládá chaotické natočení ker. Důvodem nevhodné pozice báze sloje v dílčích krách byl nízký počet vstupních bodů v oblasti kry. Často se v těchto malých dílčích krách nachází pouze jeden či dva vrty. Při výpočtu tato skutečnost vede k libovolnému natočení plochy kry. Proto se v konečné fázi přistoupilo k použití pomocných bodů, které pomohly ve vymodelování a vytvoření celkové představy průběhu báze sloje (obr. 6). Nicméně se zde často naráží na problém mezi představou o průběhu izolinií a schopností počítače vymodelovat bázi sloje zvolenou interpolační metodou. Interpolační metoda minimální křivosti vždy v blízkosti zlomové linie zvolenou izolinie kolmo na tuto linii. Proto v blízkosti zlomů se síť pomocných bodů musí zahustit. Nicméně v některých případech, velké množství bodů vede k vymodelování nesmyslnějšího průběhu izolinií než dřív. Tyto nadbytečné body musí být z výpočtu vyloučeny. Jako velmi problematická se ukázala volba vhodného umístění pomocného bodu a určení jeho správné hodnoty báze sloje. V této fázi prací se postupovalo iteračním procesem. Vkládaly se nové pomocné body a vypouštěly méně vhodné do doby, než průběh izolinií konkrétní dílčí kry odpovídal představě interpretátora. Bohužel, v místech přiblížení izolinií k tektonické poruše se i přes všechny snahy nepovede zcela ideálně vymodelovat

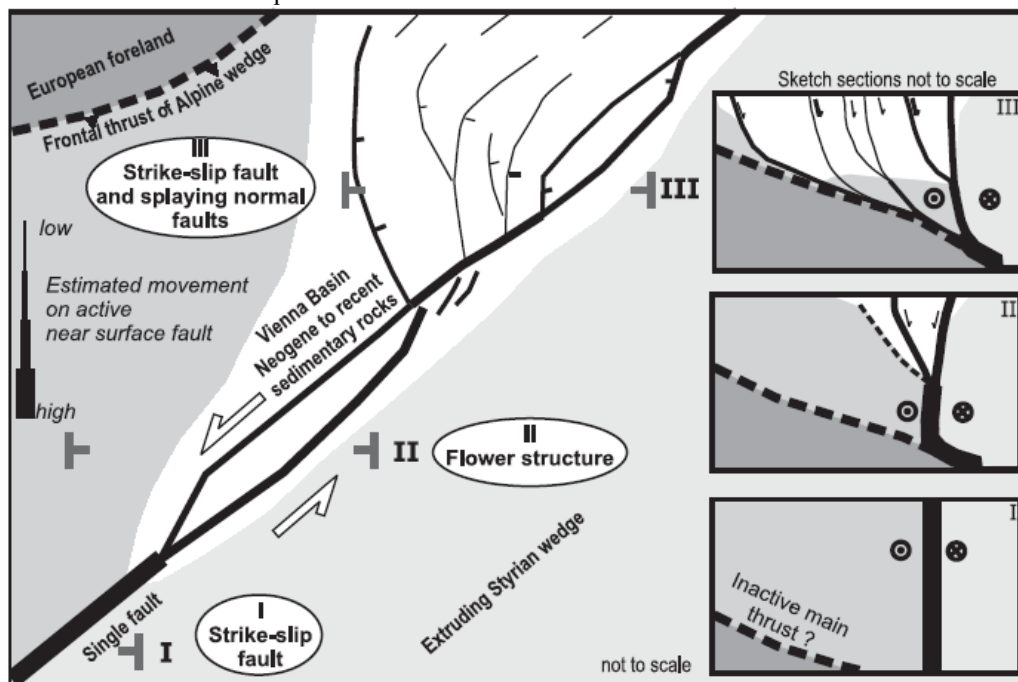


její průběh. Proto v konečné fázi musíme přistoupit, v těchto problematických oblastech, k ruční opravě finálního gridu.

Popsaný metodický postup je velmi pracným iteračním procesem, kterým se postupně blížíme zdárnému výsledku. Použitý postup byl zvolen s ohledem na charakter vstupních dat a použitý software, který byl v určitých ohledech omezujícím faktorem.

### Diskuze

Moravská ústřední prohlubeň (MÚP) je příkopovou propadlinou s asymetrickým synklinálním uložením sloje (obr. 8). Osa synklinály je posunuta k v. okraji. Na ose jsou dílčí deprese a elevace. Oblast je omezena převážně tektonicky, na SZ steinberským a schrattenberským zlomovým systémem a na JV lužicko - lanžhotským zlomovým systémem. Výchozy sloje na povrch jsou zakryty kvarténními sedimenty. Centrální část MÚP je slabě tektonicky postižena. Značné tektonické porušení dubňanské sloje můžeme sledovat v oblasti tektonického pásma steinberského zlomu. Přibližně v oblasti severně od Břeclavi dochází pravděpodobně k propojení dílčích zlomů steinberského a schrattenberského zlomového systému. Tyto významné transtenzní zlomy s nedoloženou směrnou komponentou se větví na dílčí zlomy, které se ohýbají a dále se větví na drobnější zlomy. Dílčí zlomy mají poklesovou kinematiku a dohromady omezují tektonické kry, které stupňovitě poklesávají SV směrem do otevřeného prostoru pánve typu pull-apart. Výška skoku na těchto zlomech dosahuje řádu desítek metrů. Popsané dílčí poklesy chápeme jako doprovodné zlomy steinberského zlomového systému, které mají charakter roztahujících se poklesů typu „splaying faults“ se směrnou komponentou. Tento typ Hinsch et al. (2005) popisuje jako systém obloukovitě ohnutých, propojených zlomů, které směrem do hloubky zmenšují svůj úklon (obr. 7 – schéma III). Podobné zlomy stejného prohnutí a vertikálního průběhu popsal ve vídeňské pánvi Hinsch et al. (2005) na základě výsledků 3D reflektivního seismického mapování.



Obr. 7. Schematický náčrt a řezy jižní a centrální části vídeňské pánve, které naznačují kinematiku a větvení významných zlomových deformací (Hinsch et al., 2005).

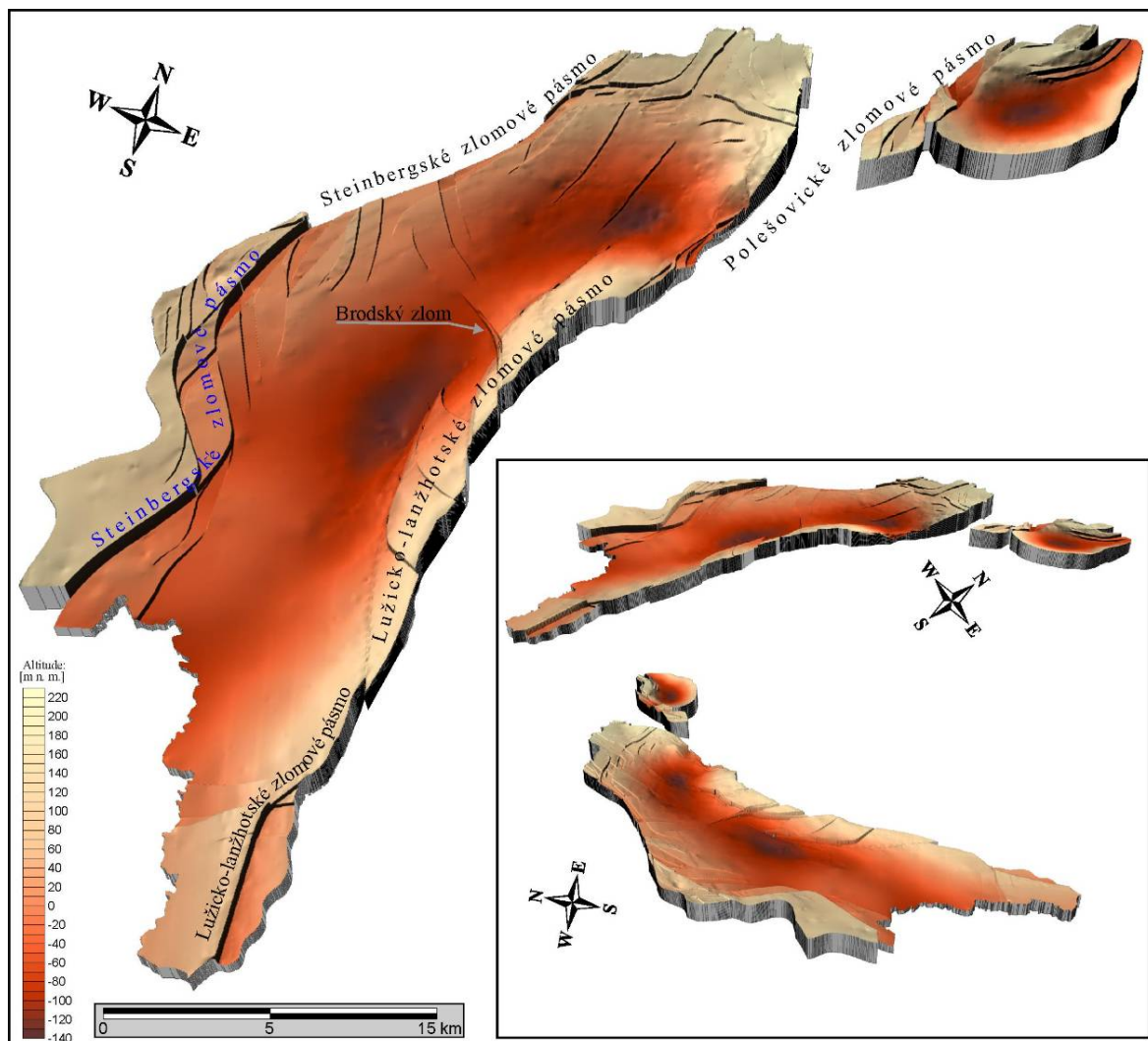
Fig. 7. Schematic sketch map of southern to central Vienna Basin and cross-sections illustrating active kinematics and partitioning of the main faults (Hinsch et al., 2005).

Steinberské zlomové pásmo je tvořeno mnoha přibližně souběžnými zlomy, které se vzájemně propojují a omezují tak dílčí tektonické kry, které poklesávají o několik desítek metrů. Některé doprovodné zlomy jsou protiklonné a vytváří dílčí příkopové propadliny, především v SZ části zájmové oblasti. Tyto doprovodné zlomy mají pravděpodobně jak směrnou tak poklesovou pohybovou složku, protože jimi omezené kry jsou rotovány vůči generálnímu průběhu sloje.

Jihovýchodní tektonické omezení MÚP lužicko – lanžhotským zlomovým systémem je tvořeno několika výraznými kulíšovitě uspořádanými směrnými posuny, které jsou navzájem propojeny obloukovitě ohnutými zlomy směru S-J až SV-JZ. Výsledky jsou ve shodě s teorií Wesseleho (1988) o kulíšovitě uspořádání hlavních zlomů i depocenter v pánvi a jejich zakřiveném průběhu. Jihozápadním směrem se zlomy větví

na dílčí poruchy s výškou skoku desítek metrů. Vzniklé kry se naklánějí směrem do pánve. Tento jev Hinsch et al. (2005) vysvětluje jako negativní vějířovité struktury. Zlomy jsou strmější a nevytváří komplikované struktury jako steinberské zlomové pásmo.

Velmi zajímavé tektonické postavení v zájmové oblasti má brodský zlom směru SSZ-JJV, který porušuje lužicko - lanžhotský zlomový systém. Jedná se o relativně úzké zlomové pásmo cca 150 m, které bylo zachyceno hned několika vrty. Výška skoku na tomto zlomu klesá severozápadním směrem, kde v místě křížení s osou pánve zaniká. Podobný, ovšem mnohem méně výrazný zlom lze hledat za osou pánve v jeho severozápadním pokračování. Na obou zlomech se zdá být osa pánve porušená a posunutá. Existenci podobných zlomů v pánvi potvrdili Holzel a Wagreich (2006), kteří studovali na základě 3D seismiky v miocénu aktivní zlomy.

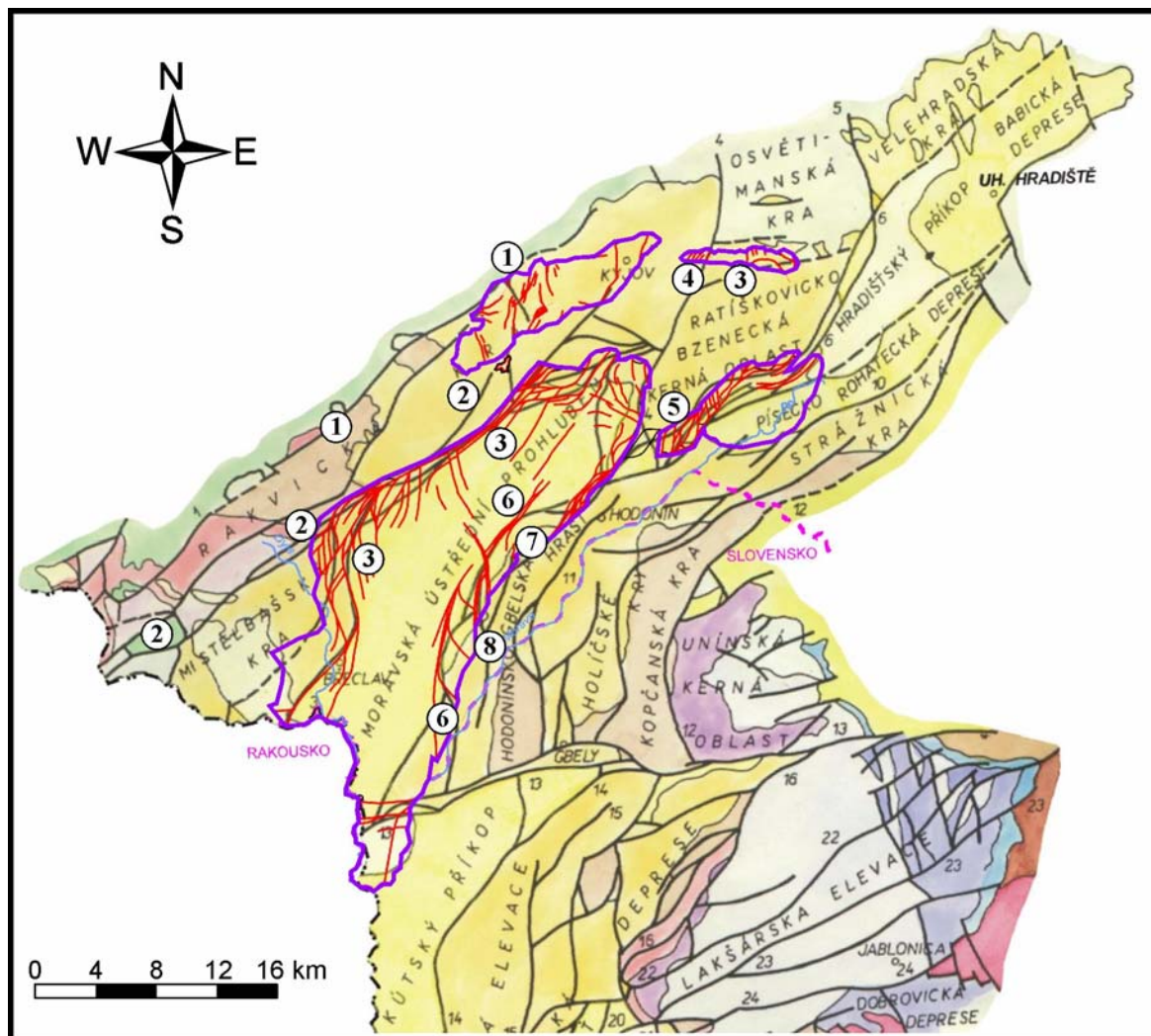


Obr. 8. 3D náhledy na bázi dubňanské sloje v Moravské ústřední prohlubni a rohatecko-bzenecko-strážnické oblasti (5x převýšeno).  
Fig. 8. 3D views at the Dubňany seam floor in the Moravian Central Depression and Rohatec-Bzenec-Strážnice part (vertically exaggerated 5x).

Modelovaná rohatecko-bzenecko-strážnická oblast je mísovitou strukturou (obr. 8), která je ze severozápadní strany omezena převážně tektonicky. Pravděpodobně se jedná o polešovické zlomové pásmo (Honěk et al., 2001c). Jižním, jihovýchodním a východním směrem sloj vychází na povrch. B-osa brachysynklinály se jihozápadním směrem stáčí k západu, kde je porušena polešovickým zlomovým pásmem. Za tímto poruchovým pásmem předpokládáme její stočení k jihozápadu. Centrální část této dílčí oblasti JLR je slabě tektonicky postižena.

Polešovické zlomové pásmo je tvořeno mnoha přibližně souběžnými zlomy, které se vzájemně propojují a omezují tak dílčí tektonické kry, které poklesávají o několik desítek metrů. Některé doprovodné zlomy jsou protiklonné a vytváří dílčí příkopové propadliny, probíhající ve směru SV-JZ. Řídící zlomy chápeme jako složité zlomové zóny, které mají charakter roztahujících se poklesů typu „splying faults“ se směrnou komponentou. (Hinsch et al., 2005). Jejich úklon k jihovýchodu až jihu je s počátku velmi strmý, ale směrem

do hloubky se snižuje. Tyto zlomy jsou propojeny řadou transtenzních zlomů Riedlova charakteru. Uvnitř popisovaného až kilometr širokého poruchového pásma nacházíme nesymetrickou příkopovou propadlinu, která je porušena příčnou polohrást'ovou strukturou, jež vznikla na již zmíněných transtenzních zlomech.



Obr. 9. Porovnání tektonické mapy české části vídeňské pánve Buday et al. (1963) (- černé linie) s naší interpretací (- červené linie).  
Legenda: 1 - bulharský zlom; 2 - schrattenberský zlom; 3 - steinberský zlom; 4 - ježovský zlom; 5 - polešovický zlom; 6 - lanžhotský zlom; 7 - lužický zlom; 8 - brodský zlom.

Fig. 9. Comparison of Buday's et al (1963) tectonic map of Czech part of Vienna Basin (black line) with our interpretation (red line).  
Legend: 1 - Bulhary fault; 2 - Schrattenberg fault; 3 - Steinberg fault; 4 - Ježov fault; 5 - Polešovice fault; 6 - Lanžhot fault; 7 - Lužice fault; 8 - Brodské fault.

Hovoransko-kyjovská část se nachází mezi dvěma zlomovými pásmy. Na severu až severozápadě ji částečně omezuje tektonické pásmo bulharského zlomu a z jižní až jihovýchodní strany je částečně omezena schrattenberským zlomovým pásmem (obr. 9). Doprovodné zlomy těchto pásem místy tvoří hranici ložiska. Sahrávají významnou roli v dalším detailnějším tektonickém porušení oblasti. Mezi bulharskou a schrattenberskou tektonickou zónou se nacházejí příčné zlomové systémy, které dělí ložisko na systém hrástí a příkopů. Tyto příčné zlomy odpovídají pozici Riedlových stříhů v transtenzním napětovém poli. V centrální části ložiska omezují hrást' probíhající ve směru SSV-JJZ. Východně od této struktury nacházíme strukturu se stejným směrem průběhu, která je složena z příkopu a ploché otevřené synklinály. Západně od hrástě nacházíme poměrně složitý příkop, členěný řadou zlomů severojižního směru. Průběh a pozice zlomů stejně jako průběh báze sloje, je ověřena důlní činností. Proto o pozici zlomů nelze pochybovat. Pouze v jižní části se naskýtají různé možnosti vykreslení doprovodných zlomů schrattenberské tektonické zóny.

Kelčansko-domanínská část je při letném pohledu jednoduchá. Báze sloje se generálně uklání k jihu. Na západě je báze porušena systémem zlomů průběhu SSV-JJZ, které svojí pozicí odpovídají podle Budaye et al. (1963) ježovskému zlomovému pásmu (obr. 9). Je otázkou zda tomu tak skutečně je, protože se může jednat také o severovýchodní pokračování schrattenberského zlomu. Od středu k východu je ložisko porušeno řadou kloubových přibližně paralelních zlomů. V jihovýchodní části ložiska nacházíme poměrně

výrazně vyzdvíženou tektonickou kru, která je omezena jednak zmíněným zlomovým systémem a zlomem, který podle Budaye et al. (1963) odpovídá dílčímu zlomu severovýchodního pokračování steinberského zlomového pásma.

### Závěr

Modelované báze dubňanské a kyjovské sloje včetně jejich tektonického porušení jsou naší interpretací, která slouží jako vstupní vrstva pro interaktivní programový systém hodnocení uhelných ložisek. Vytvořená představa tvaru báze dubňanské sloje (obr. 8) se opírá o přibližně 3000 vrtných údajů, důlní dokumentaci a částečně o data s 3D seismiky. Správnost předkládané interpretace tektonické stavby JLR je závislá kromě správnosti a hustoty vstupních dat také na přesnosti modelu. V severní části, kde byla hustá síť věrohodných vrtů s přesně určenou hloubkou báze a kde jsou k dispozici strukturní důlní mapy, je pozice dislokací přesně určena. Zvláště těch, které výškou skoku přesahují hodnotu 20 metrů. O existenci či pozici zlomů s menší výškou skoku lze polemizovat. Nižší míra přesnosti strukturní mapy je ve střední a jižní části oblastí, kde byly k dispozici ložiskové vrty jen v řídké síti a bylo tedy nutné je doplnit o méně přesné naftové vrty. Celkově můžeme říci, že přesnost naší představy je jistě vyšší než v případě obecných úvah regionálních geologů (Čekan et al., 1990; Fodor, 1995; Jiríček, 2002; Kováč, Hók, 1993; Kováč, Plašienka, 2003; atd.) zabývajících se celou vídeňskou pánví. Průběh a charakter významných poruch jako je steinberský zlom či lužické zlomy odpovídá obecné představě většiny geologů. Pokud porovnáme vytvořenou představu tektonického porušení JLR s interpretacemi ostatních geologů musíme konstatovat, že naše představa nejlépe odpovídá představě Budaye et al. (1963). Shodu nalézáme nejen u již zmíněných tektonických pásem steinberského a lužického, ale také u schrattenberského, bulharského, ježovského atd. (obr. 9). Přičemž Budayova et al. (1963) interpretace tektonického porušení vídeňské pánve vznikla bez použití dnešních moderních metod a vycházela z podstatně menšího okruhu znalostí a dat, které máme dnes k dispozici.

### Poděkování

*Príspevek byl zpracován v rámci řešení grantového projektu GAČR 105/06/1264 a 105/09/1090.*

### Literatura -References

- Arzmüller, G., Buchta, S., Ralbovsky, E. and Wessely, G.: The Vienna Basin. In Golonka, J. and Picha, F.J.: The Carpathians and Their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources. *AAPG Memoir 84, 2006, p. 191–204.*
- Buday, T., et al.: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000. M-33-XXX Gottwaldov. *Ústř. Úst. Geol. v Nakl. ČSAV. Praha, 1963, 238 s.*
- Čekan, V., Kocák, A., Tomek, Č., Wessely, G., Zych, D.: Czechoslovak-Austrian cooperation in geophysical structural exploration in the Vienna basin. Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. *Geological Survey Prague, Federal Geological Survey Vienna, 1990.*
- Fodor, L.: From transpression to transtension: Oligocene-Miocene structural evolution of the Vienna Basin and the East Alpine-Western Carpathian junction. *Tectonophysics 242, 1995, p. 151-182.*
- Hinsch, R., Decker, K., Wagneich, M.: 3-D mapping of segmented active faults in the southern Vienna Basin. *Quaternary Science Reviews, 24, 2005, p. 321-336.*
- Holzel, M., Wagneich, M.: Miocene fault activity in the southern Vienna Basin based on fault backstripping. *Geoph. Res. Abs., European Geosciences, 8, 2006.*
- Honěk, J.: Stavba a vývoj jihomoravského lignitového revíru. In Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2001, ročník XLVII, řada hornicko-geologická, *monografie 3, p. 45-54.*
- Honěk, J., Hoňková, K., Staněk, F.: Historie a současný stav průzkumných prací v jihomoravském lignitovém revíru. In Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2001a, ročník XLVII, řada hornicko-geologická, *monografie 3, p. 55-86.*
- Honěk, J., Hoňková, K., Staněk, F.: Analýza a zpracování archivní dokumentace průzkumných a těžebních prací jihomoravského lignitového revíru. In Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2001b, ročník XLVII, řada hornicko-geologická, *monografie 3, p. 161-168.*
- Honěk, J., Hoňková, K., Polický, J., Staněk, F.: Vývoj uhelných slojí a sedimentů v jihomoravském lignitovém revíru. In Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2001c, ročník XLVII, řada hornicko-geologická, *monografie 3, p. 87-101.*
- Honěk, J. et al.: Jihomoravský lignitový revír – komplexní studie. In Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2001d, ročník XLVII, řada hornicko-geologická, *monografie 3, 272 s.*

- Jelínek, J.: Morfostrukturní analýza jako vhodná metoda studia strukturně-geologické stavby aplikovaná na příkladu moravskoslezské oblasti. In *Sb. věd. prací VŠB - TU Ostrava, 2004, ročník L, řada hornicko-geologická, 1, p. 41-55.*
- Jiříček, R.: Molasový vývoj Alpsko-karpatské předhlubně a Vídeňské pánve. *EGRSE, IX, 1-2, 2002, p. 1. - 178.*
- Kováč, M., Hók, J.: The Central Slovak Fault System – the field evidence of a strike-slip. *Geol. Carpath., 44, 1993, p.155-159.*
- Kováč, M., Plašienka, D.: Geologická stavba oblasti na styku alpsko-karpatsko-panónskej sústavy a príľahlých svahov Českého masívu. *UK Bratislava, 2003, 85 s.*
- Krejčí, B., et al.: Jihomoravská lignitová pánev, I. etapa – revize. *MS Geofond Praha, 1975.*
- Papp, R.: Das Pannon der Wiener Becken. *Mitt. Geol. Gesell., 39-41, 1951, p. 1-103.*
- Staněk, F.: Srovnání některých metod při modelování vnitřních atributů ložiska uhlí. *Documenta Geonica, 1999, p. 163-173.*
- Strauss, P., Harzhauser M., Hinsch R., Wagreich M.: Sequence stratigraphy in a classic pull-apart basin (Neogene, Vienna Basin). A 3D seismic based integrated approach. *Geologica Carpathica, 57, 3, 2006, p. 185-197.*
- Wessely, G.: Structure and development of the Vienna Basin in Austria. *AAPG Men., 45, 1988, p. 347-353.*