



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

ÚSTAV HYDROGEOLOGIE, INŽENÝRSKÉ GEOLOGIE A UŽITÉ GEOFYZIKY

Geologický vývoj vídeňské pánve a interpretace seismických profilů na jejím západním okraji

The geological evolution of the Vienna basin and interpretation of seismic profiles
across the western margin of the basin

Bakalářská práce

Šárka Hlaváčková

Vedoucí práce: **doc. RNDr. Tomáš Fischer, Ph.D.**

Konzultant: **RNDr. Čestmír Tomek, CSc.**

Praha 2010

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem veškerou použitou literaturu uvedla v seznamu.

V Sedlčanech, dne 2. září 2010,

.....
Šárka Hlaváčková

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla velmi poděkovat vedoucímu mé práce doc. RNDr. Tomáši Fischerovi, Ph.D. za velikou ochotu a všestrannou pomoc při přípravě práce, trpělivé shánění potřebných dat a cenné rady ohledně zpracování rukopisu. Rovněž bych ráda poděkovala RNDr. Čestmíru Tomkovi, CSc. za konzultace spojené s tématem práce, sestavení osnovy a poskytnutí materiálů pro přípravu rešeršního oddílu. Za laskavou pomoc a přínosné rady spojené se zpracováním seismických a vrtných dat děkuji RNDr. Vladimíru Kolejkovi, dále pak pracovníkům MND a. s. za ochotnou pomoc při řešení problémů s programem Petrel.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat vedení společnosti Moravské naftové doly a. s. za poskytnutí seismických řezů a vrtných dat k přípravě práce.

Obsah

1. Úvod	- 1 -
1. 1. Stručná charakteristika vídeňské pánve	- 2 -
2. Postavení vídeňské pánve v celkovém plánu Karpat a Alp	- 4 -
3. Terciérní vývoj karpato - panonské oblasti	- 7 -
3. 1. Úvod do předneogenního vývoje karpato - panonské oblasti.....	- 7 -
3. 2. Modely popisující terciérní vývoj	- 8 -
3. 3. Mikrokontinent ALCAPA	- 9 -
3. 4. Paleomagneticky pozorované rotace mikrokontinentu ALCAPA a miocenní vývoj karpato - panonské oblasti.....	- 10 -
4. Geodynamický vývoj vídeňské pánve v miocénu	- 14 -
5. Západní okraj vídeňské pánve a dominantní role systému poklesových zlomů na jeho utváření	- 20 -
5. 1. Podložní jednotky a neogenní výplň	- 20 -
5. 2. Přehled vývoje západního okraje	- 21 -
5. 3. Strukturní plán západního okraje pánve.....	- 23 -
5. 4. Zlomové systémy západního okraje pánve	- 26 -
6. 1. Přehled a charakteristika zpracovávaných dat.....	- 28 -
6. 2. Použitý software	- 31 -
6. 3. Postup interpretace v programu Petrel	- 32 -
6. 4. Interpretovaný průběh steinbersko-schrattenberského zlomového systému.....	- 36 -
7. Diskuze	- 39 -
9. Shrnutí	- 42 -
10. English summary	- 43 -
11. Seznam literatury	- 44 -

Seznam příloh

Příloha A - Neogenní korelační schéma	- 48 -
Příloha B - Geodynamický model.....	- 49 -
Příloha C - Série profilů vedených vídeňskou pánví	- 51 -
Příloha D - Strukturní plán vídeňské pánve	- 52 -
Příloha E - Přehled dostupných 2D seismických profilů	- 53 -
Příloha F - Přehled zpracovávaných vrtů a karotáží	- 54 -
Příloha G - Mapa interpretovaných seismických profilů s vyznačenými vrty	- 55 -

1. Úvod

V předkládané práci podávám přehled geologického vývoje vídeňské pánve a průběžné výsledky interpretace seismických profilů vedených přes západní okraj v moravské části pánve.

Za cíl rešeršní části jsem si stanovila předložit přehledný a stručný souhrn geodynamického vývoje pánve v celkovém kontextu terciárního vývoje karpato-panonské oblasti a podrobněji zdůraznit tektonický vývoj a významné zlomové systémy západního pánevního okraje. Na tento přehled chci přímo navázat praktickou částí práce, jejímž výsledkem je porovnání vlastní interpretace významných systémů poklesových zlomů západního okraje s údaji získanými rešerší odborných textů a dokumentačních zpráv. Pozornost je soustředěna především na dominantní roli steinbersko-schrattenberského zlomového systému.

Praktická část předkládané práce byla zpracovávána v interpretačním systému Petrel od firmy Schlumberger. Bakalářskou práci bych rovněž ráda předložila jako jednoduchý návod pro další studenty, kteří budou mít zájem věnovat se interpretaci seismických dat v tomto softwaru. Mohou se tak vyhnout počátečním úskalím, s nimiž jsem se já dlouho trápila. S touto myšlenkou byly dané kapitoly připravovány.

K přípravě teoretické části jsem použila odborné články týkající se samotné vídeňské pánve i obecnější texty postihující geodynamický a paleogeografický vývoj alpsko-karpatského orogénu a panonské oblasti. Prostudovala jsem vybrané dokumentační zprávy k seismickým a karotážním měřením poskytnuté z archivu České geologické služby – Geofondu. Tyto materiály sloužily jako podklad pro interpretaci získaných dat. Prvotní seismická a vrtná data určená k interpretaci mi byla zapůjčena z České geologické služby – Geofondu na základě souhlasného rozhodnutí Ministerstva životního prostředí. K vlastnímu zpracování jsem použila

dodatečně získané 2D seismické profily, laskavě poskytnuté Moravskými naftovými doly, a.s..

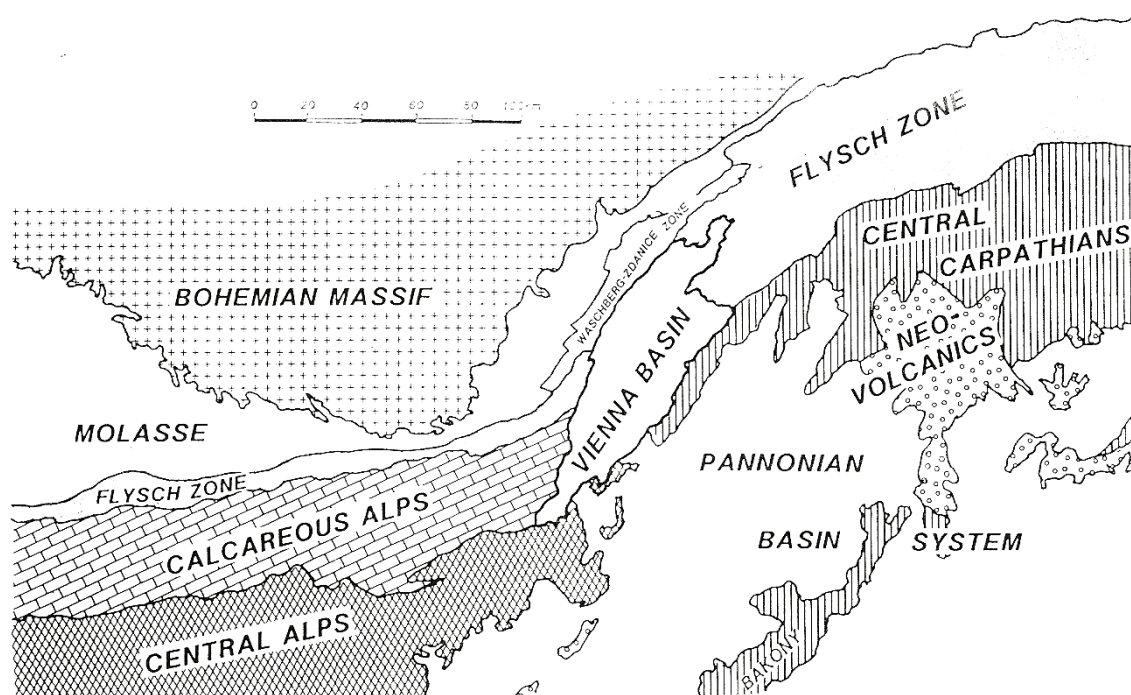
Strukturu práce jsem stylizovala tak, aby podávala přehled v obecnější rovině geodynamického vývoje širší oblasti a postupně přecházela ke konkrétnějším detailům, které jsou završeny vlastními zkušenostmi z interpretace vybrané oblasti vídeňské pánve. Kapitoly postupují od všeobecného postavení pánve v rámci orogenních systémů, přes terciérní vývoj karpato - panonské oblasti a na něj navazující miocénní geodynamický vývoj vídeňské pánve, až po konkrétní detaily v rámci jejího západního okraje. Nemalý důraz je rovněž kladen na paleomagnetický popis rotace mikrokontinentu ALKAPA, protože se domnívám, že je důležité zdůraznit zásadní vliv rotace na otevření a vývoj pánve. V textu jsem se při chronostratigrafickém členění řídila stupnicí platnou pro Centrální Parathetydu.

Téma jsem si zvolila s ohledem na charakter pánve, množství publikovaných prací, studijních materiálů a jedinečnou možnost zapůjčení seismických dat pro vlastní interpretaci. Vídeňská pánev představuje v rámci České republiky jedinečný pánevní systém, kde během relativně krátkého období miocénu došlo k uložení až 5500 m mocné sedimentární výplně za velice aktivního tektonického režimu. Byl zde vytvořen vhodný potenciál pro vznik ropných ložisek a ložisek zemního plynu. Pánev tohoto typu představuje vhodné pole působnosti pro seznámení se základními principy pánevní analýzy a práci se seismickými daty ve špičkovém interpretačním softwaru, jakým je program Petrel.

1. 1. Stručná charakteristika vídeňské pánve

Vídeňská pánev představuje ukázkou neogenní strike-slipové pánve s výrazným vlivem pozdější rotace, vzniklé na rozhraní dvou orogenních jednotek v celkovém kompresním režimu poslední fáze alpinského vrásnění. Hlavní vývoj spadá do období miocénu. Je protažena ve směru SV - JZ. Pestrá tektonická historie

zajistila, že neogenní klastické sedimenty byly ukládány ve velice aktivním prostředí. Neogenní báze je diskordantní, charakterizována mělkými okrajovými bloky, oddělenými poklesovými zlomy od hluboké centrální deprese. Její topografie byla kontrolována rozdíly v tektonické subsidenci jednotlivých částí. Vnitřní strukturu pánve tedy můžeme rozdělit na rozsáhlá depocentra, tektonicky oddělené bloky a strukturní hřbety. Díky své centrální geologické i geografické poloze a intenzivnímu ropnému průzkumu na české, slovenské i rakouské straně, se jedná o jednu z nejhustěji vrtně prozkoumaných oblastí v Evropě.



OBR. 1-1. Pozice vídeňské pánve v rámci alpsko - karpatského orogénu. Převzato z Ladwein et al. (1991).

2. Postavení vídeňské pánve v celkovém plánu

Karpat a Alp

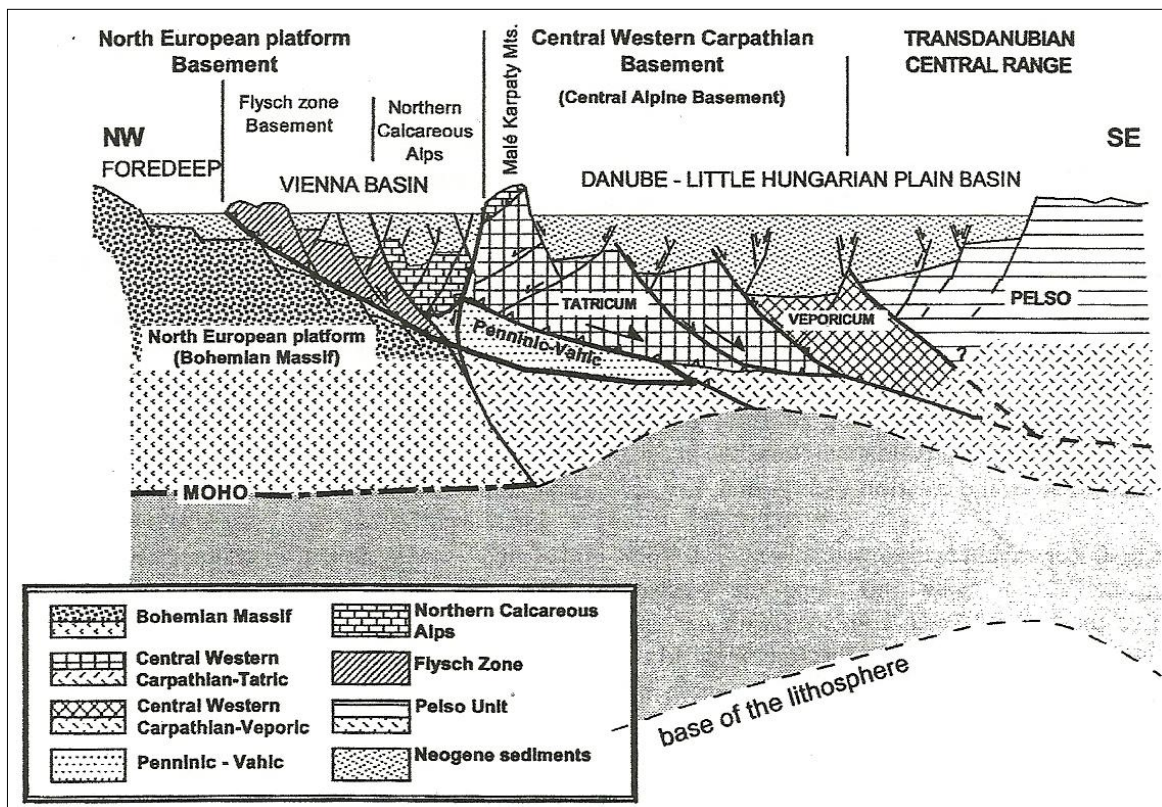
Vídeňská pánev se nachází na kontaktu Západních Karpat, Východních Alp a panonské oblasti. Tektonické podmínky podél JV okraje Evropské desky, kterou zde představuje rigidní blok Českého masivu, způsobily, že se pánev vyvinula v místě přechodu alpského trendu v karpatský. Jedná se o mezihorskou pánev s vícefázovou tektonickou historií, která vznikala mezi dvěma rozdílně dynamicky aktivními bloky v období miocénu, kdy mikrokontinenty (terány) Centrálních Karpat kolidovaly se Severoevropskou platformou za vzniku západokarpatského oblouku.

Její vývoj je do značné míry spojen s vývojem panonské pánve představující soustavu neogenních extenzních pánví vytvořených na vysoce deformovaném podloží Centrálních Karpat a paleogenních pánvích. Nejbližším jejím členem je danubská pánev, která je od vídeňské oddělena hrást'ovou strukturou Malé Karpaty. Obě pánve prodělaly do středního miocénu společný vývoj (Lankreijer et al., 1995 a odkazy tam obsažené).

Vídeňská pánev je založená v depresích příkrovů alpsko - karpatského příkrovového pásu, kde podle průběhu nasouvaných jednotek můžeme rozlišit následující zóny (Lankreijer et al., 1995): *waschbersko-žďánická zóna* tvořená deformovanou paleogenní a spodnomiocenní molasou, *flyšová zóna* s turbiditními sedimenty křídly až paleogénu, *Severní vápencové Alpy* zastoupené uloženinami permu až paleocénu s karbonátovým vývojem v juře a v triasu, úzká *drobová zóna* s paleozoickými uloženinami a *Centrálních Alpy* a nejjihnější Karpaty (*tatridská zóna*) tvořené krystalickým komplexem a paleozoickými až mezozoickými částečně metamorfovanými sekvencemi. Za celkový směr průběhu těchto zón lze pokládat směr JZ - SV. Nasunuté jednotky alpsko - karpatského příkrovového pásu zde sledují okraj Českého masivu. Od severního okraje pánve pak ve stejném trendu pokračuje flyšové pásmo Vnějších Západních Karpat tvořené *vnější (menilito-krosněnskou)* a *magurskou skupinou příkrovů*, ke kterému přiléhá

pieňské bradlové pásmo. Před čelem flyšových příkrovů se ve stejné době jako vídeňská pánev vyvíjela i karpatská předhlubeň. Byla založena na prohybu předneogenního podkladu ve spodním miocénu (Chlupáč, 2002) a následně vyplněna molasou.

Magurský příkrovový systém v podloží vídeňské pánve lze dále rozdělit na *harrendorfskou (=račanskou) jednotku*, *greifensteinský příkrov (göstingská a zistersdorfská podjednotka)*, *kahlenberský příkrov (sulzská podjednotka)* a *laabský příkrov*. Podložní jednotky Alp se skládají ze tří skupin. Nejspodnější a zároveň nejsevernější představuje *frankenfels-lunzká jednotka (Bajuvarikum)*, na ní je nasunutý *göllerský příkrov (Tirolicum)* a výše pokračuje příkrov Svrchních Vápencových Alp (*Juvaricum*) (Hamilton et al., 1990).



OBR. 2-1. Idealizovaný náčrt průběhu řezu vedeného přes Karpaty a přilehlé pánve. Přibližná délka profilu je 250 km. Převzato z Lankreijer et al. (1995).

V závislosti na podloží neogenní výplně vídeňské pánve můžeme rozeznat i lehce odlišný pánevní charakter, tektonické struktury a rozmístění významných ložisek ropy a zemního plynu. Neogenní výplň západního a severního okraje leží

na flyšových příkrovech, které byly ve spodním miocénu nasunuty na molasu. V centrální části pak byly miocénní sedimenty diskordantně ukládány na alochtonní příkrovy Severních vápencových Alp. Na jižní a východní okraj pánve zasahují Centrální Alpy a Tatridy (Lankreijer et al., 1995).

Vídeňská pánev byla podle některých dřívějších modelů považována za prototyp extenzní pánve na horizontálním posunu (*thin-skinned pull-apart basin*) (Royden, 1985) otevřené v badenu v důsledku aktivity SV - JZ strike-slipových zlomů. Její popis však nelze stanovit pomocí jednoho jednoduchého modelu, protože z hlediska mechanismu formování se jedná o mírně anomální pánev. Velmi důležitá charakteristika je rotování ve středním a svrchním miocénu. Dále lze říci, že ve vztahu k vulkanickému oblouku Centrálních Karpat byla ve středním miocénu formována jako extenzní předoblouková pánev. Vzhledem k umístění západního okraje na akrečním flyšovém klínu, kdy byl sedimentační prostor ve spodním miocénu (eggenburg, ott nang) založen jako dílčí deprese na hřbetech příkrovů, ji můžeme také charakterizovat do pozice *piggy-back basin*.

3. Terciérní vývoj karpato - panonské oblasti s ohledem na paleomagnetický popis rotace ALCAPA

3. 1. Úvod do předneogenního vývoje karpato - panonské oblasti

Předmiocenní vývoj karpatské oblasti je ve znamení pokračující kolize Evropské a Africké kontinentální desky a krustálních bloků, které Africkou desku předcházejí (Tisza, Apulia a jihoevropský blok). Po kolapsu variského orogénu ve svrchním permu se znovu začíná otevírat Thetydní moře. Dochází k riftingu a ke zhroucení okrajových krustálních fragmentů. V triasu pokračuje otevírání Thetydy a vytvoření příkopů přilehlých těmto blokům. V období svrchní jury až spodní křídly se mezi Evropskou a Africkou deskou projevuje levostranný pohyb doprovázený rotací mikrokontinentu Apulie proti směru hodin (Dolton, 2006) a vývojem subdukční zóny s flyšovou sedimentací na jejím okraji. Od mezozoika se pak uzavírá Thetydní moře a Evropská deska koliduje s krustálními fragmenty.

Vyvrásnění alpsko - karpatského pásu a vznik příkrovové stavby je způsobeno kolizí a subdukcí Evropské desky s menšími mikrokontinenty ALCAPA, Tisza a Apulia. Konvergencí desek docházelo během křídly až miocénu k uzavírání Jižního a Severního Penninického a Krosno-Tarcauského oceánu (Zoetemeijer et al., 1999) v oblasti Parathetydy. Během křídly byly tyto nesourodé elementy sjednoceny za vzniku Centrálních Karpat (Dolton, 2006). Kutváření oblouku Vnějších Západních Karpat tedy dochází až od svrchního eocénu do svrchního miocénu (Kováč et al., 1998), kdy pokračuje natlačování doprovázené rotací a transpresí dále do kontinentu. Ztenčená kontinentální kůra vnějšího karpatského flyše je subdukována pod desky Centrálních Karpat. Subdukce je doprovázena nasouváním příkrovů karpatského akrečního prizmatu, což vyústilo ve vytvoření prohýbu předhlubňové pánve podél čela orogenního pásu (Kováč et al., 1998).

3. 2. Modely popisující terciární vývoj

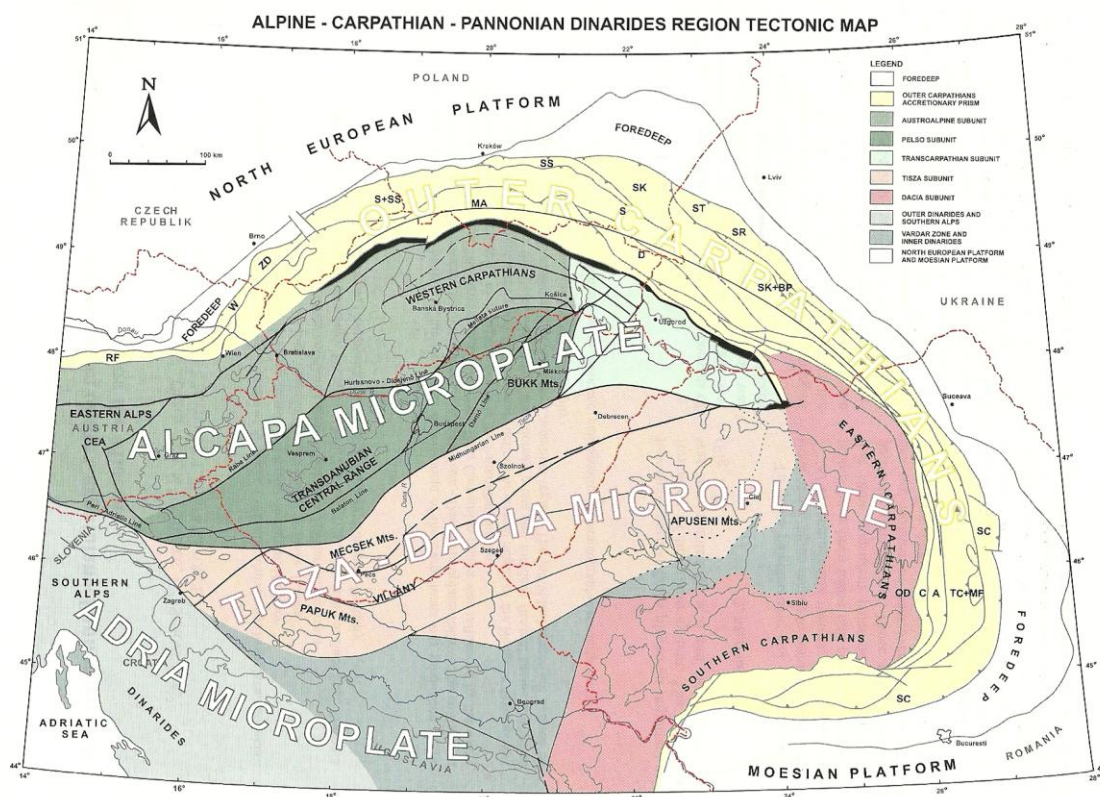
Důležitými aspekty ve vývoji Západních Karpat, které sehrály významnou roli při utváření paleonapětového systému, je rotace bloků a subdukční procesy. Existuje celá řada modelů vysvětlujících terciární vývoj. Csontos et al. (1991) uvádějí v úvodu své práce přehled starších publikovaných modelů, mezi které patří teorie rotace dvou mikrokontinentů v opačném směru pro svrchní neogén. Celková rotace Severní panonské oblasti byla stanovena na 35° proti směru hodin a pro Jižní panonskou oblast 70 – 100° po směru. Model však vyžaduje subdukční zónu mezi oběma doménami, která podle autorů není prokázána. Dále zmiňují modely zabývající se neogenním násunem karpatského flyše a rozdílným roztažením a posunutím panonské oblasti a návrh kontinentálního úniku centrální jednotky panonské oblasti v paleogénu. Všechny modely počítají s důležitým faktorem, jakým je extenzní a strike-slipové přemístění podél poruch, vznikající v důsledku nahromadění kompresivní deformace karpatského flyšového pásma a předobloukové molasy.

Napětové pole karpatské oblasti vykazuje zřetelnou rotaci v čase. Csontos et al. (1991) předložili model navrhuující kombinaci tří mechanismů rotace: vhodné rotace regionálního napětového pole, rotace rozsáhlých tektonických jednotek za stabilního regionálního napětového pole a soudržné rotace malých oddělených kontinentálních bloků opět za stabilního regionálního napětového pole. Návrh počítá s rotací malých bloků v oblastech ovlivněných *strike-slipovými* poruchami nebo gravitačním rozpínáním v rámci celé pannonské oblasti. Rovněž předpokládá gravitační rozpínání v Severní a Jižní panonské oblasti kompenzované násuny severokarpatských flyšových příkrovů a blokovou rotaci malých jednotek mezi hraničními zlomy.

Rotuje jak napětové pole, tak paleomagnetický vektor. Miocenní subdukce znamená rozdílné napětové pole pro panonskou oblast než je na stabilním evropském kontinentu. Rotace regionálního napětového pole sama nemůže objasnit rotaci paleomagnetického vektoru (Csontos et al., 1991).

3. 3. Mikrokontinent ALCAPA

Karpato - panonský region může být rozdělen do tří hlavních mikrodesek (teránů), které zastupuje ALCAPA (Severní panonská jednotka), Tisza a Dacia. Lze se také setkat s tím, že dvě poslední jmenované bývají spojovány. Deska ALCAPA je vymezena tak, že zahrnuje Východní Alpy, Západní Karpaty a severní a západní část Panonské pánve (Csontos et al., 1992). Představuje tektonický blok, který dnes tvoří předmiocénní podklad panonské pánve. Někdy bývá považována za součást Apulijského krustálního bloku, ale stavebně je samostatná. Na severu je ohraničena pieninským bradlovým pásmem a na jihu středomaďarským lineamentem. Paleomagnetická data indikují, že ALCAPA se během rotace nechovala jako rigidní těleso (Márton & Fodor, 2002). Jednotlivé bloky však měly podobné chování a pohybovaly se ve stejném smyslu. Pohyb se lišil pouze mírou rotace.



OBR. 3-1. Tektonická regionální mapa alpsko - karpatsko - panonské oblasti. Zobrazuje pozici mikrodesek Centrálních karpát. Převzato z Kováč et al., (1998).

3. 4. Paleomagneticky pozorované rotace mikrokontinentu ALCAPA a miocenní vývoj karpato-panonské oblasti

Paleomagneticky pozorované rotace jsou důležitým aspektem při sestavování modelů terciárního vývoje karpato-panonské jednotky a jsou brány do úvahy při sestavování palinspastických rekonstrukcí. Márton & Fodor (2002) při sběru paleomagnetických dat a rekonstrukci rotace rozložené v rámci ALCAPA jednotky zohlednili následující hlediska: a) změna v rotaci napěťové osy se odráží v rotaci poruch předcházejícím konkrétní rotaci; b) rotace a křehké porušení jsou navzájem nezávislé procesy křehké deformace, přičemž rotace může spustit utvoření nového souboru poruch, zatímco porušení může indukovat rotaci rigidních bloků; c) korelace paleomagnetických a paleonapěťových dat je založená na tom, že rotace ovlivňuje skladbu zlomů a tento efekt je pak měřen; d) v závislosti na vzdálenosti od subdukčního čela je naměřen i rozdílný úhel rotace; e) diferenciální rotace je akomodována extenzními zlomy (příkopovým systémem).

Z paleomagnetických dat vyplývá, že velikost rotace v rámci celé severní panonské oblasti se značně liší. Nejvýznamnější rotace se řadí do spodního až středního miocénu (karpát nebo spodní baden). Později se rotace odehrávala na určitých místech v blízkosti karpatského flyšového pásma (Csontos et al., 1991). Márton & Fodor (2002) vymezili celkově tři fáze rotace v transdanubské oblasti a 4 – 5 fází křehké deformace. Hlavní rotační období spadají do: 1) spodního miocénu (18 – 17 Ma); 2) spodního až středního miocénu (16 – 14,5 Ma); 3) pliocénu (6? – 3? Ma). Rotace jsou spojené s křehkým porušením a také úzce souvisí s prostorovým omezením během hlavních karpato-panonských deformací. Napěťové pole pohybujících se bloků mikrodesky bylo ve spodním a svrchním miocénu a v pliocénu podobné evropskému, zato ale pro střední miocén je rozdílné. Zde sehrála vliv komprese podél čela příkrovů (Fodor et al., 1990).

Od konce oligocénu až do spodního karpátu (23,4 – 17 Ma) pokračuje pohyb mikrokontinentu Apulie k severu, a tím dochází ke kolizi s Českým masivem. Díky kolizi začíná laterální extruze a gravitační rozpínání karpato - panonské jednotky (Marko, 2004 a odkazy tam obsažené), které vyústilo v tektonický únik. Únik severopannonské jednotky směrem k východu z alpského kolizního pásu zahrnuje levostranný stříh podél pieninského bradlového pásma a pravostranný stříh podél středomaďarské zóny. Druhým řídicím mechanismem kromě eggenburského transpresního režimu ve Východních Alpách, způsobeného kolizí, je subdukce vnějších částí karpatské kůry pod panonskou jednotku (Csontos et al., 1992). Důležitou roli při propagaci jednotlivých bloků ALCAPA desky do budoucího karpatského regionu sehrály křehké poruchy, hlavně *strike-slipové* zlomy (Marko, 2004). Pohyb směrem k východu také způsobil vyvrásnění magurského flyše, waschberské zóny a nasouvání příkrovů Severních vápencových Alp a rhenodanubského flyše přes vnitřní zónu alpského předpolí (Kováč et al., 1998).

Únik ustává ve spodním miocénu, kdy se začíná projevovat šikmá kolize Severopanonské jednotky s evropským kontinentem (Csontos et al., 1992). Eggenburská kolize rovněž vyvolala flexuru platformního okraje (Kováč et al., 1998). Csontos et al. a odkazy v tam obsažené (1991) zmiňují rotaci 30 – 35° proti směru hodin během úniku z alpské kolizní zóny z dat z jižní oblasti ALCAPA desky. Napětový režim ve Východních Alpách má tedy v průběhu eggenburgu až otnangu směr S – J komprese a v Západních Karpatech můžeme pozorovat změnu paleonapětí ALCAPA desky v důsledku rotace. ALCAPA se během první rotace rozdělila do segmentů, přičemž diferenciální rotace jednotek je akomodována extenzí (Márton & Fodor, 2002).

První rotace podjednotek ALCAPA zahrnuje také první rifting panonské pánve (Márton & Fodor, 2002). Z paleomagnetických a strukturních dat se pro spodní až střední miocén předpokládá rotace této mikroděsky proti směru hodin a rotace bloku Tizsa – Dacia po směru (Marko, 2004 a odkazy tam obsažené). Před významnou rotací ve středním miocénu (16 – 14,5 Ma) se projevuje vliv subdukčního *roll-back efektu* podél celé široké zóny vnějšího karpatského flyšového pásma, který je dokumentován prohybem severoevropské platformy

pod předpolím (Csontos et al., 1992). Ztenčené části evropské kontinentální kůry jsou podsouvány pod postupující mikrodesky.

V období svrchního karpatu až spodního badenu (17 – 15,5 Ma) je alpský segment již zastaven a karpato - panonská jednotka pokračuje v pohybu k severu. Na jejich vzájemném styku dochází k tenzi a k otevírání prostoru se slabou kůrou (Marko, 2004). Tektonická aktivita v Karpatech, pánevní subsidence i vulkanismus se posouvaly v čase ze západu na východ (Csontos et al., 1992), a tak v západní části Západních Karpatech je subdukce zastavena v karpatu (16,8 Ma) a na východ od Krakova ve svrchním badenu (14 – 15 Ma) (Zoetemeijer et al., 1999 a odkazy tam obsažené). Vzdalování subdukce v karpatu mělo vliv na roztažení desky ALCAPA a její rotaci o 20 – 30° (Kováč et al., 1998). Marko (2002) odkazuje na práci O. Orlického, která na základě paleomagnetických dat předpokládá zastavení poslední rotace bloku karpato - panonské jednotky v západní části Západních Karpat ve středním badenu a ve východní části až v Sarmatu.

S ustupující subdukcí je tah desky orientován k severovýchodu až východu, karpatský litosférický blok pokračuje v pohybu tímto směrem až do kolize s východoevropskou platformou. Přesouvání subdukčního čela rovněž vede k rotaci regionálního napětového pole po směru hodin až do SV – JZ nebo dokonce V- Z směru (Csontos et al., 1991 a odkazy tam obsažené). V tomto období je regionální napětové pole odlišné od evropského.

Rotace ve středním miocénu může být spojena s přechodem mezi první a druhou fází riftingu. Z paleomagnetických dat bylo ověřeno, že nebyla jednotná v celé desce ALCAPA. Transdanubská oblast byla například rotována méně než severomad'arská pánev. Rotace rovněž vyústila v ukončení nasouvání v západní a severní části Západních Karpat (Márton & Fodor, 2002).

Po postupném uzavírání subdukce a konsolidování desek vzrůstá znovu vliv napětového pole stabilní Evropy, takže po pliocénu rotuje hlavní napětí znovu proti směru hodin (Csontos et al., 1991). Pliocenní rotaci lze patrně spojit s inverzí jižní panonské pánve a reaktivací deformace v Jižních Alpách a Dinaridech. Směrem k severu intenzita inverze klesá a rotace v jihozápadní a severovýchodní části desky ALCAPA již nebyla zjištěna (Márton & Fodor, 2002). Od pannonu až do současnosti docházelo ke značnému poklesu únikového pohybu, ustávání

regionálních napětí i subdukce (Csontos et al., 1991). Paleonapětové pole S - J komprese pokračuje dodnes (Fodor et al., 1990).

Márton & Fodor (2002) předpokládají jednoznačné spojení spodnomiocenní rotace a rotace ve spodním až středním miocénu se subdukcí. Tlak subdukující desky je hlavním geodynamickým faktorem ve vývoji karpato - panonského regionu. Obě rotace jsou rozsáhlejší v podjednotkách blíže čelu násunů. Z tohoto pozorování je navrženo, že rotace byla spuštěna *roll-back efektem* subdukující desky a ne tlakem z jihu. Z diferenciální rotace autoři také soudí, že gravitační síly zdvíhajících se Východních Alp nemohou být samostatným řídicím mechanismem pro pohyb ALCAPY. *Roll-back extenze* ale byla schopná spustit rotaci nasouvajících se jednotek (Márton & Fodor, 2002). Tento efekt je rovněž dáván do souvislosti s riftingem zaobloukových pánví ve středním miocénu a zvrásněním vnějších karpatských příkrovů (Csontos et al., 1992).

4. Geodynamický vývoj vídeňské pánve v miocénu

Lokální napěťové pole a geodynamický vývoj vídeňské pánve byly přímo ovlivněny miocénními událostmi ve Východních Alpách a karpatské jednotce. Neogenní pánve panonské oblasti, mezi něž lze s rezervou počítat i vídeňskou, byly formovány v důsledku kombinace několika mechanismů uplatňovaných odlišně v rámci karpatského regionu. Na utváření sedimentárního prostoru se podílela litosférické extenze, flexurní prohyb a aktivity horizontálních posunů (Marko, 2004). Díky produkci rozdílného celkového roztažení v litosféře, vysvětlovaného *roll-back efektem* karpatské subdukční zóny (Royden et al., 1983), došlo k vytvoření extenzních pánví v celkovém kompresním uspořádání Karpat. Významná aktivita *strike-slipových* poruch bývá někdy spojována s extenzními periodami v neogénu v panonské oblasti. Možným vysvětlením je výměna horizontálního napětí σ_1 a vertikálního σ_2 v prostoru a čase (Csontos et al., 1991).

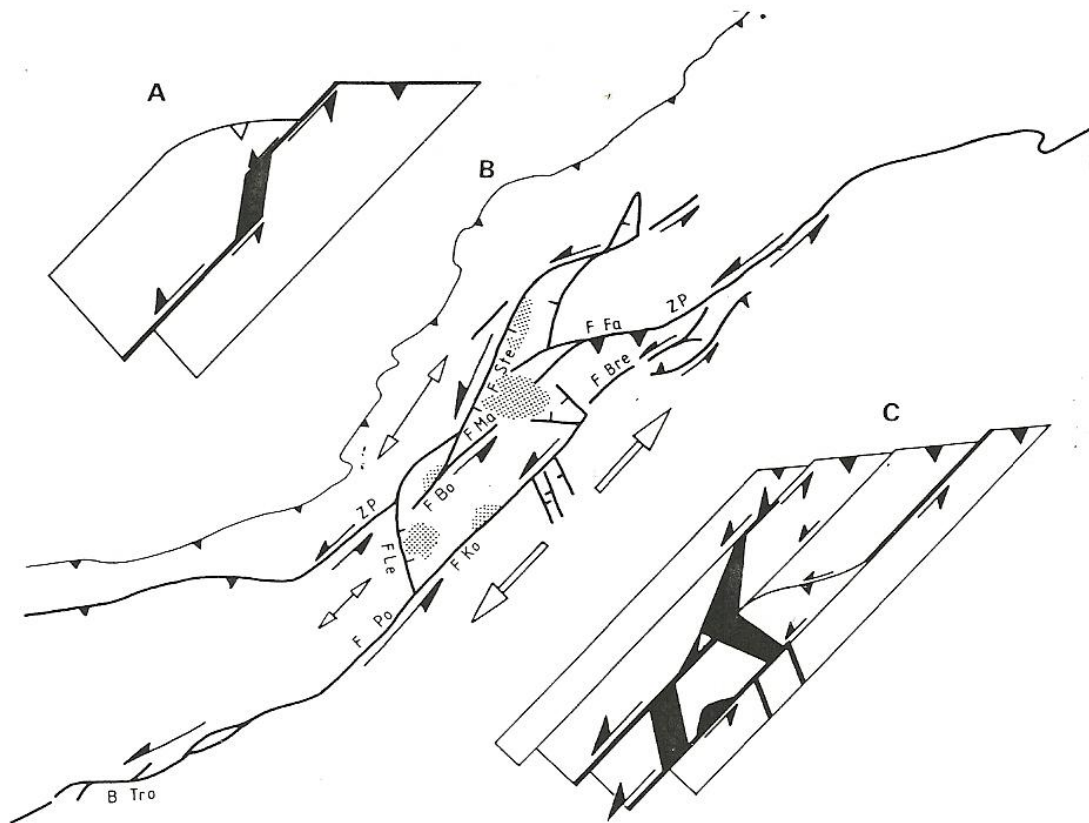
Vídeňská pánev vykazuje od klasických extenzních panonských pánví odlišný vývoj, který je předurčen polohou mezi alpskou a karpatskou jednotkou. Na jejím otevření se významně podílela rotace ALCAPA desky ve středním miocénu. Hlavní napěťové pole ve vídeňské pánvi ve středním a svrchním miocénu rotovalo nejprve ve směru hodin a následně proti směru (Csontos et al., 1991). Podobné rotační vzorce byly pozorovány v celé panonské pánvi.

Ve vývoji lze rozlišit tři hlavní tektonické fáze. Každá odpovídá odlišnému tektonickému režimu a orientaci paleonapěťového pole (Lankreijer et al., 1995). Tepelný tok, stanovený ve vídeňské pánvi na $50 \pm 7 \text{ mW/m}^2$, je zhruba poloviční než v pánvi panonské. Z tohoto faktu lze soudit, že žádné teplo nebylo dodáno do svrchního pláště během rozpínání (Royden et al., 1983). Termální subsidence ve vídeňské pánvi poklesá směrem k jihu (Lankreijer et al., 1995).

Jeden ze základních modelů mechanismu subsidence ve vídeňské pánvi podal Royden (1985), který vytvořil představu svrchnokórové *pull-apartové* extenze příkopových bloků. Nověji se předpokládá přechod z čisté extenze ve svrchní kůře na SZ pánve do plně litosférické extenze v centrální části (Lankreijer et al., 1995).

Autoři odvodili koeficient roztažení 1,04 – 1,3 pro kůru (delta faktor) a 1,00 – 1,60 pro litosférickou extenzi (beta faktor). Litosféra v severní části pánve neprodělala podle těchto ukazatelů žádnou extenzi a v jižní části asi 60%.

Pro popis mechanismu vývoje pánve je možné použít složitější představu než je zjednodušený model *pull-apartové* pánve se dvěma transformními zlomy listrického charakteru ústící do *detachment* plochy podložní tektonické jednotky. Mechanismus počítá se součtem laterálních složek pohybů podél hlavní alpsko-karpatské násunové plochy. Mnoho poklesových zlomů je omezeno na alochtonní podložní jednotky, které jsou kontrolovány směry čel násunů alpsko - karpatských příkrovů a svrchnomiocénními poruchami. Důležitou roli sehrála rotace během poslední fáze alpsko-karpatských násunů (Landwein et al., 1991).



OBR. 4-1. Modely počátečního vývoje vídeňské pánve. A: model otevření vídeňské pánve podle Roydena (1985). B: ukazuje hlavní poruchy a deprese hlubší než 4 km. C: model spojený se strike-slipovými poruchami. Otvírání prostou může být částečně soustředěno podél levostranného přemístění mezi bloky. Převzato z Fodor et al. (1990).

Eggengurg - ottnang

Nově vznikající pánev měla V – Z směr a byla založena jako soustava protáhlých členitých depresí v týlu nesených příkrovů během sávských spodnomiocénních horotvorných procesů (Jiříček & Seifert, 1990). Sunuté příkrovy byly stlačovány v SV – JZ směru. Podloží severního okraje tvořily vyzdvižené flyšové příkrovy magurské skupiny a v jižní části alpská jednotka a Centrální Karpaty. Vytváření sedimentační prostoru bylo podmíněné stavbou a pohyby podkladu a existencí starých tektonických linií. Ve spodním miocénu zrychlila subsidence a vídeňská pánev se rozšířila na jih. Usazovaly se první sedimenty. Otevírání eggenburské pánve bylo kontrolované VSV – ZJZ pravostrannými *strike-slipovými* poruchami a SZ - JV poklesovými zlomy. Ty byly spojeny se S - J levostrannými *strike-slipovými* poruchami a SV – JZ zpětným násunem. V severní části byla pánev nesena na hřbetech příkrovů (pánevní režim typu *piggy-back basin*), zato podloží Centrálních Karpat poskytlo prostředí, kde docházelo k ukládání v úzkých brázdách (režim *wrench-furrow basin*) (Lankreijer et al., 1995 a odkazy tam obsažené).

Od ottnangu do karpátu převládá napětové pole SSZ – JJV komprese a aktivita inverzně sdružených poruch SV – JZ směru a sdružených pravostranných *strike-slipových* zlomů V – Z a SZ – JV směru (steinberský a leopoldsdorfský zlom). V důsledku tektonického úniku severopanonské jednotky z alpského prostoru začala rotace maximální napětové osy, která pokračovala až do sarmatu (Fodor et al., 1990).

Karpat - baden

V karpátu se na vývoji vídeňské pánve výrazně podepsala rozdílná geodynamika karpato - panonské a alpské jednotky. Alpský segment byl zastaven kolizí s Českým masivem, ale karpato - panonský blok pokračoval v pohybu. Došlo k otevření prostoru se slabou kůrou a k separaci jednotek díky S – J pravostranným

strike-slipovým zlomům. Jeden z nich je předpokládán i v podloží vídeňské pánve. Svrchní karpát znamenal výrazné změny ve strukturním plánu pánve. Mění se směr hlavní komprese a bývalý V - Z trend pánve byl přetisknut SV - JZ (Marko, 2002 a odkazy tam obsažené).

Významná rotace, prokázaná ze strukturních a paleomagnetických dat řady autorů, a levostranné *strike-slipové* poruchy v podloží podél východního okraje se významně podepsaly na subsidenci pánve. Začátek tektonické subsidence v karpátu znamenal i její celkový nárůst. Na SZ okraji, zahrnujícím moravskou část pánve, je její začátek posunut do spodního badenu (Lankreijer et al., 1995).

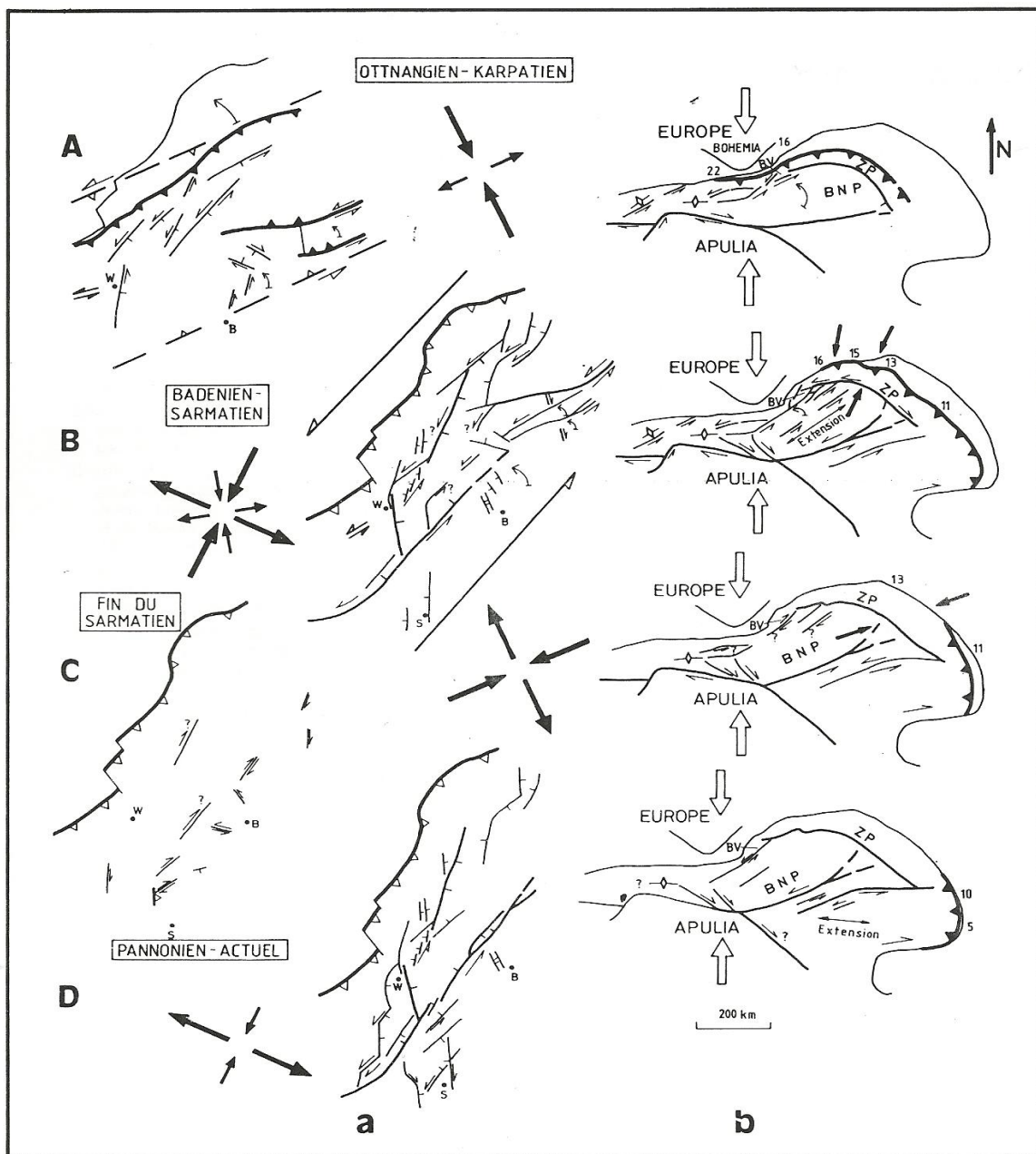
SZ - JV až SSZ - JJV převládající hlavní napětí v karpátu ve vídeňské pánvi rotovalo do badenu po směru hodin do S - J orientace (Csontos et al., 1991). Vyvíjely se dominantní poklesové poruchy a levostranné *strike-slipové zlomy* SV - JZ směru, které kontrolovaly sedimentaci a rovněž v badenu umožnily otevření vídeňské pánve jako *pull-apartu* (Royden, 1985). Aktivace SV - JZ orientovaných zlomů byla vyvolaná S - J kompresí ve Východních Alpách. Tyto poruchy obsáhly většinu *strike-slipových* posunů (Kováč et al., 1998). Konec badenu rovněž znamenal poslední násun postupující od JV (Landwein et al., 1991).

Od badenu do sarmatu pak převažovala celková komprese v pánvi S - J až SV - JZ směru spojená s extenzí V - Z až SZ - JV (Fodor et al., 1990), která výrazně ovlivnila sedimentaci. Ve spodním badenu hrály dominantní roli SZ - JV až SSV - JJZ orientované poklesové zlomy (Lankreijer et al., 1995). Fodor et al. (1990) vymezili v tomto časovém úseku tři typy lokální extenze spojené se *strike-slipovými* poruchami: SV - JZ, V - Z a SZ - JV (poslední zmiňovaná nad pohřbenými *strike-slipovými* zónami).

Období svrchního badenu a sarmatu bylo provázeno zaobloukovou extenzí kůry v důsledku ústupu subdukce a tahu desky v SV až V směru (Kováč et al., 1998). Vliv zaobloukového rozpínání lze považovat jako jeden z faktorů, proč vídeňská pánev není pokládána za klasický *pull-apart*. Dochází k celkovému poklesu subsidenčního módu, pouze SV část pánve byla v průběhu svrchního badenu a spodního sarmatu ve 2. vzrůstající fázi.

Sarmat - pont

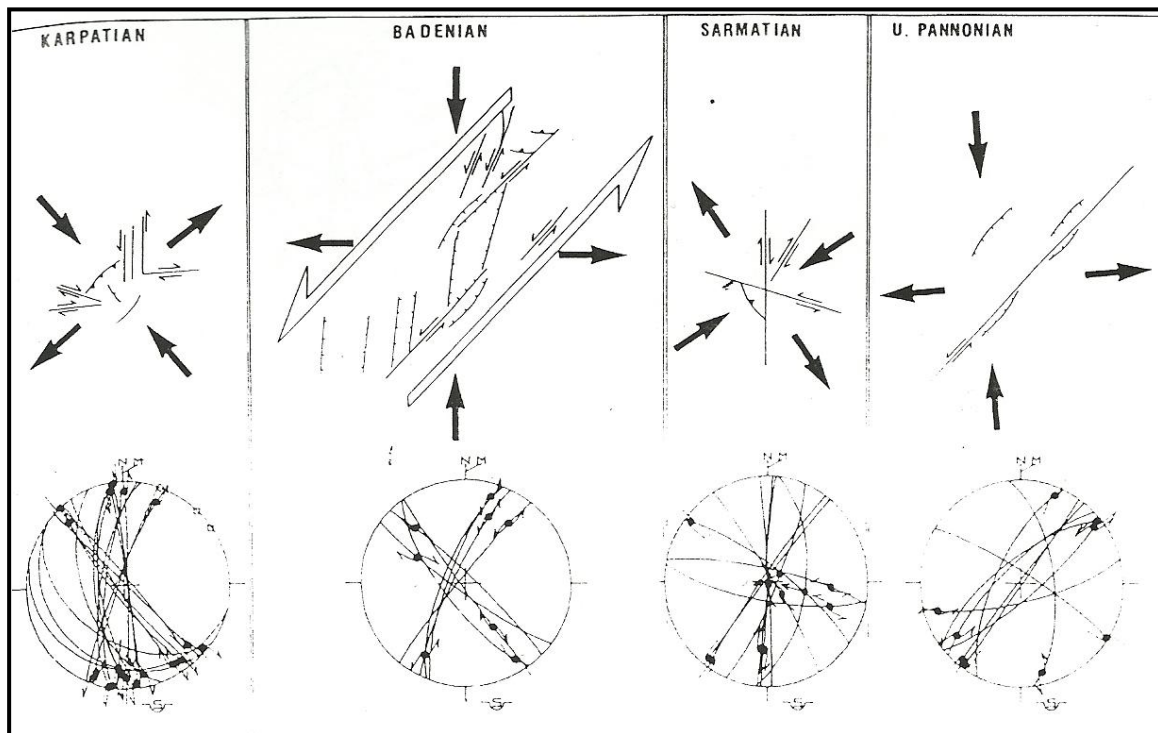
Od badenu do sarmatu rotovalo hlavní napětí po směru hodin do pozice VSV - ZJZ, pak se změnil smysl orientace a v panonu hlavní napětí směřovalo na SSV - JJZ (Csontos et al., 1991). Od sarmatu již bylo aktivní čelo orogénu vzdálené od oblasti Západních Karpat a dominantní SV - JZ komprese byla postupně přeměněna na SZ - JV čistou extenzi (Marko, 2002). Fodor et al. (1990) uvádějí pouze slabou krátkou kompresi VZV - ZJZ a extenzi SSZ - JJV na konci sarmatu. Označuje



OBR. 4-2. Tektonický vývoj vídeňské pánve od otnangu do současnosti (a) a kinematické vysvětlení na ukázce vývoje alpsko - karpatského regionu (b). Převzato z Fodor et al. (1990).

poslední nasouvání v nejseverovýchodnějším rohu unikající severopanonské desky. Extenze je charakterizovaná násunovými zlomy S - J směru a levostrannými SZ - JV a pravostrannými S - J až SV - JZ *strike-slipovými* poruchami. Rovněž charakterizují SZ - JV extenzi od panonu do pontu aktivitou okrajových SV - JZ až SSV - JJZ poklesových zlomů. Csontos et al. (1991) se přiklání k reaktivaci SV - JZ levostranných poruch po panonu.

Od panonu do současnosti je paleonapětové pole ve vídeňské pánvi podobné stavu ve středním miocénu. Převládá V - Z až SZ - JV extenze spojená s S - J až SSV - JJZ kompresí (Fodor et al., 1990). Lankreijer et al. (1995) popsal od pontu do začátku pliocénu (7 - 4 Ma) 3. fázi vzrůstající subsidence v centrální části vídeňské pánve. Odpovídá otevírání příkopů podél východního okraje (Wiener-Neustadt, Mitterndorf, Zohor-Plavecký a Mikuláš). I dnes je zde zaznamenána extenze doprovázená seismicitou (Lankreijer et al., 1995). Od pliocénu došlo k ustálení významných tlaků subdukčního i kolizního původu (Marko, 2002).



OBR. 4-3. Tektonické prvky vídeňské pánve. Tučné šipky ukazují směr hlavních napětí v daných periodách miocénu. Ze schématu je dobře patrná rotace napětí po směru hodin a pak proti směru. Převzato z Csontos et al., 1991.

5. Západní okraj vídeňské pánve a dominantní role systému poklesových zlomů na jeho utváření

5. 1. Podložní jednotky a neogenní výplň

Západní okraj vídeňské pánve i podloží v její moravské části je tvořeno flyšovými příkrovy, na které byly transgresivně uloženy sedimenty miocénu a pliocénů. Předneogenní flyšové jednotky jsou zastoupené *magurským příkrovem*, nasunutým na molasovou *ždánickou jednotku*.

Magurský flyš lze dále rozdělit na *račanskou* a *bělokarpatskou jednotku*. Vrtnými pracemi byly v jednotce račanské zastiženy vrstvy *soláňské*, *bělovežské* a *zlínské souvrství*. V bělokarpatské jednotce byly zdokumentovány sedimenty svrchního a spodního paleogénu (Kolejka & Kaňová, 1993). Linie násunu magurského příkrovu na ždánickou jednotku probíhá v prostoru schrattenberského zlomového systému od Valtic k Podivínu, Bílovicím, Poddvorovu a dále k SV (Kocák et al., 1986).

Ždánická jednotka je reprezentována *ždánicko-hustopečskými, menilitovými a podmenilitovými vrstvami*. V podloží pánve byla vrtně ověřena v oblasti Lednice, Podivína, Velkých Bílovic, Poddvorova, Vacenovic a Ratískovic (Kocák et al., 1986). V jižní části se předpokládá její napojení na *waschberskou zónu* v Rakousku. Ve ždánické jednotce je na eocenní a oligocenní sedimentární komplexy rovněž nasunuto *pásmo čejčsko-zaječské* s intenzivní šupinovitou stavbou (Kocák et al., 1986). Ždánická jednotka je složena z hrubě zrnitých, ne příliš konsolidovaných písčitých slínů s nízkými hustotami (2300 – 2400 kg/m³), magurský flyš pak z pískovců a konglomerátů s hustotami 2600 – 2700 kg/m³ (Zoetemeijer et al., 1999).

Neogenní výplň pánve dosahuje mocnosti až 6000 m. Jedná se o mořské, jezerní a říční sedimenty, usazované převážně v mělkovodním prostředí (Kreuzer, 1993). Mocnost výplně miocenních sedimentů před badenem kolísá, je zachovaná

pouze částečně. Sedimentární výplň je zastoupená jílovci, šlíry (slídnaté vápnité jílovce), písky, pískovci a v menší míře i slepenci, brekciemi a organogenními vápenci (Buchta, 1993). Neogén je všeobecně ve vídeňské pánvi reprezentován stupni eggenburg – ottang, baden, sarmat, panon, pont – dak a ruman. Na mistbašské kře, která tvoří významnou část západního okraje, bylo dokumentováno stratigrafické rozpětí od eggenburgu do daku, moravská ústřední prohlubeň nese sedimenty eggenburgu až pontu a pro slovenskou část se uvádí rozmezí eggenburg až dak (Jiříček & Seifert, 1990). Pro celou vídeňskou pánev tedy platí, že sedimenty eggenburgu a ottangu se vyskytují hlavně v severní části, naopak karpát, baden, sarmat, panon, pont a rovněž i pliocén a kvartér najdeme v celé pánvi (Kreuzer, 1993). Vysoký přínos sedimentů do pánve znamená okamžitou kompenzaci subsidence podloží (Landwein et al., 1991).

Jiříček & Seifert (1990) předložili mapy mocností jednotlivých stupňů miocénu pro celou vídeňskou pánev a sousední molasovou zónu. Autochtonní eger zaznamenali pouze na rakouském území jako součást molasové zóny, jeho přemístěná část se objevuje v podobě šupin ve flyšových jednotkách. Autoři rovněž uvádějí, že ve sp. badenu bylo jasné spojení mezi vídeňskou pánví a molasou. Od středního badenu do pontu však existovalo pouze s rakouskou molasovou zónou.

5. 2. Přehled vývoje západního okraje

Sedimentární prostor vídeňské pánve ve spodním miocénu vznikl při sávkých horotvorných pohybech. Vznikly protáhlé členité spodnomiocenní deprese propojující sedimentační prostory na území vídeňské pánve, ždánického flyše a předhlubně (Kocák et al., 1986). Na západním okraji pánve docházelo k sedimentaci transgresivně diskordantně převážně na nasunuté flyšové jednotky magurského příkrovu. Eggenburská mořská transgrese pronikla v moravské části vídeňské pánve nejprve do oblasti lužické prohlubně západně od Hodonína, která vznikla před čelem *bělokarpatské jednotky*. Nejprve došlo k zaplavení nejhlubších

částí sedimentačního prostoru a usazování bazálních pískovců a suťových slepenců s materiálem erodovaných flyšových hornin. Konec eggenbuské sedimentace nastal s mladou sávskou fází vrásnění. Centrální část spodnomiocenní deprese byla přesunuta k jihu do prostoru mikulčické prohlubně. Sedimentační prostor se postupně rozšířil v ottnangu až do oblasti Lanžhota (Buchta, 1993).

Staroštýrská orogeneze ovlivnila sedimentaci v ottnangu. V důsledku horotvorných procesů dochází k nasunutí magurského flyše na ždánickou jednotku, mořský režim končí vyslazením, zaniká lužická deprese a sedimentační prostor se posouvá dále k jihu (Buchta, 1993). Kocák et al. (1986) spojují staroštýrské pohyby s dosouváním dílčích jednotek a šupin čejčsko-zaječské zóny. Uvádějí posun spodnomiocenní pánevní výplně s magurským podkladem k SZ. Pohyby jsou ověřeny vrty na rakvicko-kyjovské kře, kde byl zaznamenán násun šupin čejčsko-zaječského pásma, označovaných jako „lednické šupiny“, na eggenbursko - ottnangský sedimentační prostor (Kocák et al., 1986).

Počátkem karpátu se do moravské části pánve dostala nová mořská transgrese. Ve svrchním karpátu docházelo k rozšíření sedimentačního prostoru. Severní část byla pod vlivem mořské sedimentace a v centrální a jižní části se usazovaly kontinentální jezerní a říční sedimenty. V eggenburgu, ottnangu a karpátu byly transportovány terigenní písky a jíly z jihu do severní části pánve, kam zasahovalo moře (Kreuzer, 1993). V důsledku mladoštýrské fáze horotvorných procesů byl přestavován sedimentační prostor a centrum ukládání sedimentů se stěhovalo dále k jihu na rakouské území. Dnešní severní část pánve byla vyzdvížena a starší miocenní sedimenty erodovány. Výrazná zlomová tektonika rozdělila pánev na řadu poklesávajících ker. Docházelo k výrazné změně strukturního plánu pánve (Buchta, 1993).

Spodní baden ovlivnila mořská transgrese od severu k jihu a postupně vzrůstal přímořský vliv (Kreuzer, 1993). V badenu se dotvářela tektonika, jak ji známe dnes. Vedle steinberského zlomu začal být aktivní lanžhotsko-hrušetský a koncem středního badenu i schrattenberský zlomový systém (Buchta, 1993). Podloží pánve bylo roztahováno bez sunutí příkrovů a pánevní dno poklesalo. Poslední fáze tektonicky kontrolované subsidence ovlivnila otevření koválovské deprese a rozšíření moravské ústřední prohlubně (Lankreijer et al., 1995).

Ve svrchním miocénu byl sedimentační prostor změlčen a rozšířen k severu. Vídeňská pánev vyplňována sedimenty transportovanými řekami z rostoucího alpsko - kapatského orogénu. V deltovém jezerním prostředí se ukládají jíly a písky (Jiříček & Seifert, 1990).

V období sarmatu vzniká hradištský příkop. Sarmatská transgrese tehdy dosahovala téměř kdnešnímu Uherskému Hradišti. Od panonu byla pánev postupně vyslazována a sedimentační prostor se stával více brakickým (Buchta, 1993). Po mladším panonu zesilovala postsedimentární aktivita a miocenní uloženiny byly rozlámány na bloky (Kreuzer, 1993). V pliocénu začal zrychlovat zdvih Východních Alp a Západních Karpat a tím docházelo i k erozi miocenních uloženin v severní části pánve. Střední a centrální část však poklesávala v důsledku akumulace říčních a jezerních sedimentů (Lankreijer et al., 1995). Od pontu do kvartéru byly ve vídeňské pánvi ukládány převážně písky a štěrky. Vyzdvižená část moravské části pánve byla vyplňována jen říčními sedimenty.

5. 3. Strukturní plán západního okraje pánve

Předneogenní a miocenní pohyby a zlomová tektonika vedly ve vídeňské pánvi ke vzniku elevačních a depresních pásem. Vývoj miocenní výplně v celé pánvi byl ovlivněn lokálními poklesy podloží. Nad strukturně vyvýšenými místy předneogenního podkladu se dnes nacházejí neúplná souvrství malých mocností (Kreuzer, 1993).

Pro západní okraj je typické oddělení okrajových bloků rozsáhlými synsedimentárními zlomy od hlubokých depresních zón. Zlomové systémy ohraničují hrástě, vnitřní pokleslé kry, koryta a příkopy. Z mapy Bouguerových anomálií vídeňské pánve (Čekan et al., 1990) je patrné, že výrazné záporné gradienty gravitačního pole odpovídají významným zlomovým systémům. Ty mají nejčastěji SV – JZ směr, tedy podélný s pánví. Místy se objevují i příčné (SZ – JV směru).

Nejrozsáhlejší okrajové bloky podél západního okraje pánve jsou od SV na JZ zastoupeny ratiškovickou, rakvicko-kyjovskou, poysbrunskou, mistlbašskou a mödlinskou krou. Od pásu depresí jsou odděleny soustavou poklesových zlomů zahrnujících schrattenberský, steinberský, bisamberský a leopoldsdorfský zlomový systém.

Depresní zóna má směr souběžný s osou pánve. Na severu začíná uhersko-hradištský příkop, dále pokračuje moravská ústřední prohlubeň, zistersdorfská deprese, groß-engersdorfská a schwechatská deprese. Od SV na JZ lze rovněž sledovat zónu hrástí a vyvýšených ker protaženou od hodonínského výběžku s. l. přes rebensbursko-eichhornský příkop do elevace Matzen-Aderklaa. Struktury hodonínského výběžku jsou na jihu ukončeny fárským zlomem a zahrnují hodonínsko-gbelskou hrást', holičsko-skalickou kru, kopčanskou depresi a unínskou kru). Od moravské ústřední prohlubně je hodonínský výběžek oddělen lanžhotsko-hrušeckým a lužickým zlomem (Hamilton et al., 1990).

V textu se detailněji zaměřím pouze na výrazné tektonické bloky západního okraje v moravské části pánve. Stejně jako soustavu zlomů, i strukturní jednotky si lze pomyslně rozdělit na podélné a příčné vzhledem k orientaci pánve. Podélné bloky mají základní směr SV – JZ. Začaly se objevovat ve spodním miocénu a k největšímu rozvoji docházelo v průběhu středního miocénu. Jejich vznik je přizpůsoben stavbě podloží. Pozdější neogenní pohyby do jejich uspořádání začlenily příčné strukturní jednotky (Kocák et al., 1986).

Mezi prvními lze jmenovat rakvicko-kyjovskou kru na SZ okraji pánve. Z tohoto směru ji ohraničuje bulharský zlom a z JV strany schrattenberský zlomový systém. Dále je omezena nejdeckým, rakvickým a čejkovickým zlomem. Nejdecký zlom a schrattenberský zlomový systém lemují podívínskou hrást', příčně rozdělenou sedleckou elevací a lednickou depresí. Hrást' je na SV straně uzavřena bílovicko-rakvickým elevačním pásmem. Čejkovický zlom SV směru se v oblasti Bílovic odklání od schrattenberských zlomů (Kocák et al., 1986).

Kolejka & Kaňová (1993) jako součást rakvicko-kyjovské kry v oblasti mezi Velkými Bílovicemi a Břeclaví zmiňují lednicko-podívínskou a mutěnickou elevaci. Nejzápadnějším výběžkem pánve v moravské části je mikulovská deprese. Jedná se

o relativně mělkou strukturu, která je od rakvicko-kyjovské kry oddělena bulharským zlomem (Kocák et al., 1986).

Mezi schrattenberským a steinberským zlomovým systémem se rozkládá další významný blok – mistbašská kra. Větvícím se souborem schrattenberských zlomů je rozdělena na řadu meziker. Schratteberské mezikry představují příčnou depresi, jejichž jihozápadní úsek tvoří valtické svahy. Na mistbašské kře podloží neogénu upadá od schrattenberských zlomů ke steinberským. Rozčlenění paralelními zlomy o výšce skoku cca 300 m a 150 m jí dodává stupňovitý charakter (Kocák et al., 1986).

Moravská ústřední prohlubeň mezi Lanžhotem a Hodonínem představuje nejhlubší blok moravské části vídeňské pánve. Na SZ je omezená schrattenberským a steinberským zlomovým systémem. Na východní straně ji lanžhotsko-hrušecký zlom odděluje od vysoké kry hodonínko-gbelké hrásti. Lze ji rozdělit na dva úseky: lanžhotský a josefovský. Lanžhotsko-hrušecký zlomový systém probírá S - J směrem. Severně od obce Hrušky se stáčí k VSV. V oblasti Tvrdonic se na něj napojují lužické zlomy (Kocák et al., 1986).

Hodonínsko-gbelká hrást' zahrnuje gbelsko-týnecký hřbet, hodonínskou elevaci a spodnomiocenní příčnou depresi v podobě mikulčicko-lednické deprese. Poslední jmenovaná struktura probíhá od Bulhar přes Lednici, severně od Břeclavi, Hrušek a Moravské Nové Vsi. V západním prostoru Lednice je překryta lednickými šupinami a patrně i čelem magurského příkrovu (Kocák et al., 19986). Pokračování hodonínsko-gbelské hrásti k jihu představuje rabensburská hrást', na Slovensku lemovaná suchodorskou brázdou.

Z dalších příčných strukturních prvků lze zmínit např. bílovicko-rakvické elevační pásmo patrné na vysokých krách schrattenberských zlomů (Kocák et al., 1986).

5. 4. Zlomové systémy západního okraje pánve

Tato kapitola je zaměřena na popis steinbersko-schrattenberského systému poklesových zlomů, který sehrál dominantní roli při utváření charakteru západního okraje pánve. Jedná se o soustavu rozsáhlých synsedimentárních zlomů aktivních od badenu. Rozsah poklesového přemístění na steinberském zlomu dosahuje až 5000 – 6000 m (Hamilton et al., 1990). U svrchnomiocenních systémů lze předpokládat pokračování do krystalického podloží pánve. Poruchy využívají starších zón porušení a často preferují *en echelon* uspořádání (Landwein et al., 1991).

Steinberský zlom byl aktivní od středního miocénu do pliocénu. Proniká všemi třemi tektonickými „patry“ (neogenními sedimenty, alpsko-karpatským allochtonním i autochtonním patrem) (Wessely, 1990). Byl zastižen hlubokými vrty Ziestersdorf ŮT1a a ŮT2A na rakouské straně v ziestersdorfské depresi i v moravské ústřední prohlubni, např. vrtem Břeclav 30. V oblasti Ziestersdorfu dosahuje největšího přemístění mezi mistlbašskou krou a ziestersdorfskou depresí. Z interpretovaných profilů (Čekan et al., 1990) vedených přes Dolní Rakousko a slovenskou část vídeňské pánve je patrný jednoduchý průběh zlomu listrického charakteru, který ohraničuje mistlbašskou kru s neogenem a podložním flyšem od neogenní výplně ziestersdorfské deprese.

V moravské části probíhá východně od Břeclavi SSV směrem k Moravskému Žižkovu, kde se spojuje se zlomem schrattenberským. Steinbersko-schrattenberské zlomové pásmo se stáčí do SV směru a větví se na dílčí poruchy vytvářející pásmo poddvorovských meziker (Kocák et al., 1986). Od Břeclavi na JZ pokračuje steinberský zlomový systém na rakouské území. Mění se směr a jeho charakter. V blízkosti Wolkersdorfu je nahrazen bisamberským a leopoldsdorfským systémem poklesových zlomů (Čekan et al., 1990). Kromě poklesového přemístění se na steiberském zlomu objevuje i horizontální pohyb jako *right stepping en echelon* uspořádání v jeho jižním pokračování. Toto uspořádání ukazuje na levostrannou transtenzi. Pro hlavní větve je typický listrický charakter.

Přiléhající neogenní sedimentární výplně místy vykazuje náklon a objevují se *roll over* struktury (Wessely, 1994).

Schrattenberský zlomový systém v moravské části pánve vytváří soustavu větví rozdělující mistlbašskou kru do stupňovitě poklesávajících bloků. V tomto úseku má poruchové pásmo SV – JZ směr, sklon k JV a celkovou výšku skoku cca 1800 m (Kocák et al., 1986).

Jednu z možných interpretací zóny schrattemberských zlomů podávají Kolečka & Kaňová (1993). Na seismických řezech zohlednili zmenšující se sklon jednotlivých zlomových větví s rostoucím časem a řešili průběh schrattemberských zlomů s listrickou plochou na bázi neogénu až hluboko do zóny mistlbašské kry. V severní části území mezi Velkými Bílovicemi a Břeclaví, kde mistlbašská kra představuje pouze úzkou zónu mezi schrattemberskými a steinberskými zlomy, interpretovali spojení obou zlomových systémů v jednu listrickou plochu na bázi neogénu.

6. Interpretace seismických profilů vedených přes západní okraj vídeňské pánve

Interpretováním seismických profilů vedených přes oblast mistbašské kry a části moravské ústřední prohlubně se snažím navázat na kapitolu věnovanou popisu západního okraje a systémům schrattenberských a steinberských zlomů. Praktická část není zaměřena na určení stratigrafických rozhraní dané oblasti, ani ložiskových poměrů, soustřeďuje se pouze na komentování průběhu systému významných poklesových zlomů. Předkládané výsledky mají formu průběžné zprávy z vytvořeného projektu v programu Petrel. Vzhledem k získání nových materiálů se předpokládá budoucí pokračování a rozšíření interpretace.

6. 1. Přehled a charakteristika zpracovávaných dat

Pro zpracování bakalářské práce jsem měla k dispozici dvě skupiny 2D seismických profilů pořízených v rámci reflexně seismického průzkumu metodou společného reflexního bodu v letech 1975 - 1991. Měření byla zajišťována podnikem Geofyzika Brno. Všechny profily jsou vztaženy k západnímu okraji vídeňské pánve, území mezi Velkými Bílovicemi a státními hranicemi České republiky jižně od Břeclavi.

První část dat, zpracovávaná v počáteční fázi přípravy bakalářské práce, mi byla poskytnuta z databáze seismických dat brněnské pobočky České geologické služby – Geofondu. Získala jsem 41 profilů ve formátu SEG-Y, z nichž 22 doprovázel naskenovaný původní filmový záznam seismických řezů ve formátu bitmapového souboru TIF. Všechny SEG-Y soubory obsahují seismická data v nemigrované podobě, tj. při zpracování nebyla podrobena posoučtové migraci. Textové hlavičky souborů ani jiný záznam neobsahují informace o processingových úpravách a

výsledném zpracování dat. Soubory nemají zapsané polohopisné souřadnice profilů v binárních hlavičkách, koordináty jsou připojeny v odděleném souboru, kde jsou zdokumentovány k počátečním, lomovým a koncovým bodům profilů (v souřadnicovém systému S-JTSK). Díky chybějícím údajům v textové hlavičce rovněž u některých řezů není jasné, zda měřený čas je vztažen k plovoucí srovnávací hladině. Data v tomto stavu nejsou vhodná k interpretaci.

Soubory TIF obsahují původní záznam profilů v papírové formě. Pro významné řezy existují ve více variantách zpracování. Často zahrnují i zpracování posoučtovou migrací. Skeny mohou být zajímavým doplňkem, nelze však je použít k přímé interpretaci v interpretačním programu.

Druhá skupina seismických dat mi byla se souhlasem ČGS – Geofondu zapůjčena Moravskými naftovými doly a.s.. V řadě případů se řezy shodují s předchozími (rovněž pořízené v rámci reflexně seismického průzkumu prováděného Geofyzikou Brno). Významným rozdílem je novější zpracování provedené střediskem numerického zpracování seismických dat MND. Společnost mi poskytla 24 profilů ve formátu SEG-Y, všechny v migrované podobě. Zahrnují 15 profilů pořízených technologií VIBROSEIS a 9 odpalovou technologií. Obecně jsou vztaženy ke standardní srovnávací hladině vídeňské pánve, stanovené na 200 m n. m.. Pouze ve dvou případech je hladina posunuta na 300 m n. m.. Zeměpisné souřadnice zapsané v binárních hlavičkách SEG-Y souborů jsou uvedeny v souřadnicovém systému S-42 Gauss-Krüger.

Mezi nejvýznamnější profily pro řešení průběhu schrattenberských poklesových zlomů na západním okraji pánve patří řezy pořízené v roce 1984 a 1991. Profily z roku 1991 jsou vesměs křivočaré s maximálním úhlem lomu 40°. Technologií VIBROSEIS, s násobností překryvu 4800%, byly pořízeny následující profily: 387/91 (10,487 km), 388/91 (7,012 km), 389/91 (10,987 km), 393A/91 (6,187 km), 394/91 (12,687 km). Odpalová technologie s překryvem 2400% zahrnuje řezy: 386/91 (7,49 km), 392/91 (11,79 km) a 393/91 (5,575 km). Na základě orientace vůči zlomovým pásmům západního okraje můžeme řezy rozdělit na příčné a podélné. První skupina je vedena ve směru SZ-JV a všeobecně vykazuje známky tektonického narušení ve formě přerušení reflexů. Výrazný je především rozdíl mezi seismickým projevem neogenní výplně a flyšových příkrovů

v jejím podloží. Druhá skupina podélných profilů ve směru JZ - SV, případně J - S, neobsahuje ve vlnovém poli tak výrazný rozdíl (Kolejka & Kaňová, 1993).

V rámci seismického měření z roku 1984 vznikly ve vídeňské pánvi profily: 600/84, 632A/84, 633/84, 634/84, 635/84, 640/84, 641/84, 643/84, 644/84, 632/84 a 640A/84 (poslední dva jmenované jsem neměla k dispozici). Měření bylo provedeno technologií VIBROSEIS s maximálním překryvem 2400% (Kocák et al., 1986). Rozdělení na základě orientace je podobné profilům z roku 1991.

ČGS – Geofond mi pro bakalářskou práci poskytl stratigrafické výpisy k 93 vrtům širšího okolí zájmové oblasti. Bohužel, pouze 3 z nich (SEDLEC-1, BŘECLAV-30 a POŠTORNÁ-2) doprovázely karotážní měření, která vzhledem k dostatečné hloubce vrtu a poloze vůči měřeným seismickým profilům bylo možné připojit k připravovanému projektu. Rovněž jsem obdržela seismickou karotáž k vrtům HRUŠKY-9, HRUŠKY-228, HRUŠKY-234, HRUŠKY-240 a LEDNICE-9 v digitální podobě (spreadsheet) a k vrtu BŘECLAV-30 ve formě posudku (Bilík, 1995). Posudek také zahrnuje záznam měření vertikálního seismického profilování. Polohopisné souřadnice k veškerým vrtným datům jsou vztaženy k systému S-JTSK.

Vrt LEDNICE-9 je umístěn v prostoru mistbašské kry. Oblast Hrušek zasahuje moravskou ústřední prohlubeň a hodonínskou-gbelskou hrást'. Vrt POŠTORNÁ-2 a BŘECLAV-30 spadají rovněž do moravské ústřední prohlubně. Zdůraznila bych především vrt BŘECLAV-30 situovaný v oblasti mezikry steinberských zlomů. Pouze u něj jsem měla k dispozici stratigrafický záznam, karotážní i seismokarotážní měření. Jedná se o nejhlubší vrt ve vídeňské pánvi dosahující hloubky 3915 m. Seismická karotáž byla provedena do hloubky 3720m. Vrt je umístěn 3,5 km SV od centra Břeclavi. BŘ-30 zastihuje steinberský zlom pravděpodobně v hloubce 2700 – 2900 m. Bilík (1995) uvádí, že tato vrstva byla ovlivněna jeho tektonikou. Vrt proniká mocnými vrstvami neogenní výplně pánve od daku po spodní baden a v hloubce kolem 3 km zasahuje do paleogenního flyšového podloží.

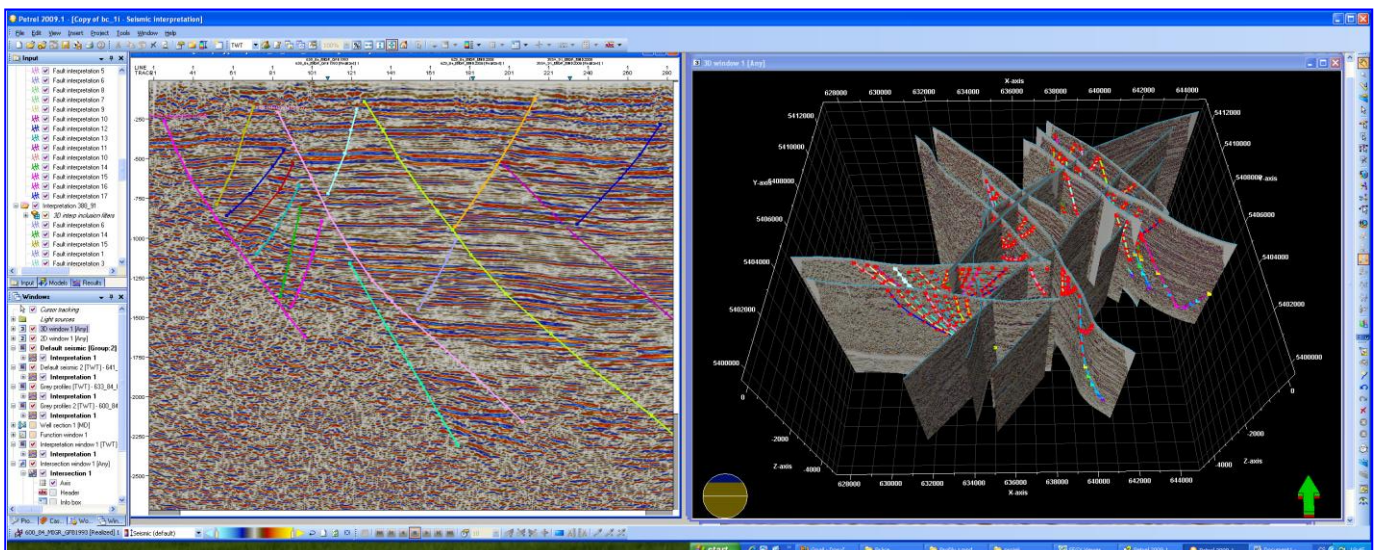
Seznam seismických profilů, zpracovávaných vrtných dat a karotážních měření je uveden v příloze.

6. 2. Použitý software

Seismická a vrtná data jsem zpracovávala v interpretačním softwaru *Petrel* (verze 2009) od firmy Schlumberger. Struktura programu zahrnuje základní geologické jádro, které může být rozšířeno o přídatné moduly zahrnující např. seismickou interpretaci, korelaci vrtů, petrofyzikální modelování atd.. K dispozici jsem měla takřka plnou verzi programu. *Petrel* poskytuje možnosti komplexní práce se seismickými a vrtnými daty a je široce využíván především v ropném průmyslu. Program je poměrně náročný na formu načítaných vstupních dat. Požaduje přesné dodržení parametrů vkládaného formátu souboru. Zejména práce se staršími daty může obnášet obtíže a nutnost přeformátování souboru.

Uživatelské prostředí se příliš neliší od grafických programů široce užívaných v operačním systému Windows. Kromě hlavní nabídky na horní liště se ovládání pohybuje okolo základních panelů (*Input pane, Templates, Models, Results, Processes, Cases, Workflows, Windows*), ve kterých je možná správa vložených dat a prováděných operací. Zobrazení a práce s daty probíhá v oknech určených pro daný typ dat nebo zpracování: *3D window, 2D window, Function window, Histogram window, Interpretation window, Intersection window, Map window, Plot window, Stereonet window a Well section window*. Nápověda programu je velice obsáhlá a přehledná.

K přípravě a prohlížení SEG-Y souborů jsem využívala volně dostupné programy *PetraSeis SEG-Y Viewer* a *Seis View*.



OBR. 6-1. Programové prostředí Petrelu.

6. 3. Postup interpretace v programu Petrel

První krokem při práci v programu je založení nového projektu. Vytvoří se soubor ve formátu PET. Na počátku je důležité nastavit společnou srovnávací hladinu pro celý projekt (panel *Templates* – složka *Datums*). V případě vídeňské pánve se jedná o 200 m n. m.. Petrel nabízí řadu hladin, její správná volba je zásadní při importu jakýchkoli dat. V případě, že se pohybujeme na pevnině (*offshore*), nastavujeme základní srovnávací hladinu *Seismic reference datum* (*SRD*). Rovněž se v prvních krocích stanoví souřadnicový systém (nabídka *Project – Project settings* – záložka *Units and coordinates*). Petrel 2009 nenabízí ve volbě systém *S-42 Gauss-Krüger zóna 3*, proto jsem pro zakládání projekt zvolila blízký *TM Germany 9E Gauss-Kruger zóna 3*.

V první fázi načítání seismických profilů formátu SEG-Y (poskytnutých Geofondem) jsem narazila na obtíže. Profily nemají zapsané souřadnice v binární hlavičce souborů. Chybí i řada dalších informací. Řešení se podařilo najít v podobě SEG-Y utility pracující s formátem UKOOA (nabídka *Tools – Launch SEG-Y utility* – okno *UKOOA Navigation to SEG-Y header*). Tento nástroj doplní chybějící údaje do pozic binární hlavičky. Navigační soubor utility využívá U.K.O.O.A. standardu (vydaného Society of Exploration Geophysicists). Při dodržení určitého formátu lze však vytvořit i jednoduchý textový soubor, který Petrel správně přečte. Utilita funguje na principu přiřazení příslušných řádek navigačního souboru k jednotlivým profilům a následnému definování pozice konkrétních údajů na řádku. Po spuštění Petrel doplní chybějící údaje na definované pozice v SEG-Y hlavičce.

Seismické profily s chybějícími údaji se mi po počátečních problémech podařilo načíst do programu. Vzhledem k tomu, že neobsahovaly migrovaná data, při výsledné interpretaci jsem se omezila pouze na migrované řezy poskytnuté Moravskými naftovými doly a. s..

Při importu seismických řezů je užitečné se ujistit, zda SEG-Y soubory obsahují důležité údaje zapsané na standardních pozicích v binární hlavičce (především souřadnice, *CDP number* a *Shotpoint number*) a zvolit správný formát

hlavičky (2 byte integer/ 4 byte integer/ 4 byte IEEE floating point/ 4 byte IBM floating point). Data pořízená v různých časových úsecích se mohou lišit a ne vždy lze spoléhat, že byly dodrženy předepsané standardy.

Do připravovaného projektu v Petrelu jsem načetla 24 profilů získaných z MND. Při vizuálním porovnání se ukázalo, že reflexy profilů pořízených technologií VIBROSEIS a odpalem spolu na křižovatkách vzájemně nekorelují. Pro výslednou interpretaci jsem proto použila pouze 15 vybraných vibračních řezů.

Při práci s větším objemem seismických dat (platí zvláště u 3D) je výhodné přepočítání do vnitřního formátu programu (v *Settings* jednotlivých profilů – záložka *Operation* – karta *Realize*). Pro kvalitu přepočtu jsem standardně nastavila *Integer 8 byte*. Nástroj umožní úpravu amplitudy zdroje. Parametry je možné určit individuálně pro každý profil, vodítkem může být zobrazení v histogramu. Ve většině případů se zdálo výhodné nastavení symetrické okolo zdroje. Dále jsem pracovala jen s přepočtenými řezy.

Natažení vrtů probíhá v několika krocích. Je potřeba mít data ve specifických formátech vyžadovaných programem. Nejprve se importují hlavičky vrtů (*well headers*), pak prostorový průběh (*well path/deviation*) a nakonec karotážní měření (*well logs*). Vkládání hlaviček lze provést jednotlivě nebo hromadně pro více vrtů (pomocí příkazu *import (on selection)*). Hromadný import probíhá z předem připraveného textového souboru, ve kterém se definují obsahy jednotlivých sloupců (pozn. při oddělování sloupců v připraveném textovém souboru nezáleží na počtu mezer, oddělení tabulátorem se bere jako jeden sloupec). Petrel začíná čtením sloupců, a proto jich musíme definovat přesný počet, pak definujeme řádky. Standardně se přiřazují sloupce pro jméno vrtu, *UWI* (jedinečný název vrtu – stvolu), souřadnice x, souřadnice y, ústí vrtu (*KB*), typ vrtu (*Well symbol*). Dále se může připojit např. údaj měřené hloubky (*MD*) zadávaný v kladných číslech. Před načtením je rovněž užitečné zkontrolovat počet řádek hlavičky souboru, které má Petrel přeskočit.

Načítání průběhu vrtu lze provést podobným způsobem. Při importu je vyžadován soubor ve formátu DEV (ASCII). Z Geofondu jsem inklinometrická měření získala ve formě spreadsheetu a bylo nutné data převést. Jako alternativní

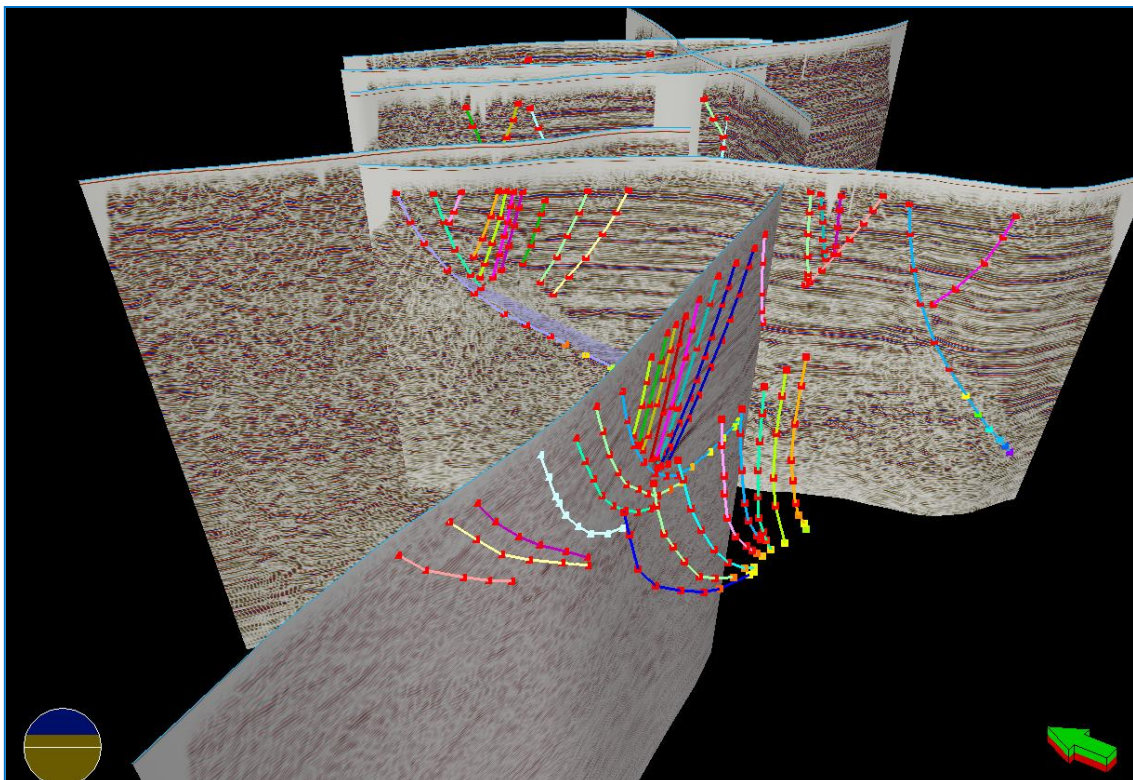
a nejjednodušší řešení (při malém množství dat, které jsem měla k dispozici) se mi podařilo přepsat originální soubory poskytované v demoverzi programu. Mezi základními údaji se načítá měřená hloubka (MD), inklinometrie a azimut. Stanovíme, zda hloubku (MD/TVD) vztáhnout k ústí vrtu (KB), k hladině moře (MSL) nebo k jiné srovnávací hladině. Pro chybu inklinometrie lze definovat tzv. *Error Cone*, která kolem vrtu vytvoří symbolický kornout. Import karotáží se provádí z textového souboru s příponou LAS (ASCII).

Do založeného projektu jsem vložila data k dostupným vrtům SEDLEC-1 (UKLON, GR, RAG2, SP), BŘECLAV-30 (UKLON, GR, GR_API, RAG2, SP) a POŠTORNÁ-2 (UKLON, GR, RAPL, SP). Souřadnice všech dat pořízených státními institucemi jsou v souřadnicovém systému S-JTSK. Veškeré souřadnice jsem předem přepočítávala do systému Gauss-Krüger. Pro následnou úpravu karotážních křivek jsem využívala *Well section window*.

V programu se nastavuje základní doména pro zobrazení vložených údajů. Seismická data mají vertikální osu časovou a vrtná data hloubkovou. Pro vzájemnou korelaci je potřeba dodat měření, pomocí něhož je možné obě domény vzájemně přepočítat. K tomu může sloužit akustická karotáž, seismická karotáž a vertikální seismické profilování (VSP). Do projektu jsem přiřadila všechna dostupná seismokarotážní měření (BŘECLAV-30, HRUŠKY-9, HRUŠKY-228, HRUŠKY-234, HRUŠKY-240 a LEDNICE-9). Před importem bylo potřeba data opravit o korekci na srovnávací hladinu, která byla v původním souboru vztažena k ústí vrtu. Pro přepočet jsem použila průměrnou rychlost ve vídeňské pánvi (1500 m/s). Seismokarotáž jsem uplatnila na vrt Břeclav-30 a porovnávala jsem možnou platnost ostatních karotážních měření pro zbývající vrty. Vzhledem k jejich poloze a strukturní členitosti vídeňské pánve nebylo možné zbylá měření využít. Pro vrty SED-1 a PO-2 jsem proto vygenerovala syntetické seismogramy z jejich dostupných karotáží. Alternativní řešení nepřineslo uspokojivé výsledky a neumožnilo přesné nasazení vrtu na seismiku. Vzhledem k okrajové pozici dostupných vrtů vůči síti seismických profilů jsem neprováděla další pokusy pro jejich přesnější korelaci se seismickými profily. S ohledem na uvedené okolnosti jsem skromné množství vrtných dat při výsledné interpretaci zcela zanedbala a musela jsem se opřít pouze o projev tektoniky ve vlnovém poli seismických řezů. Primárně jsem interpretovala

příčné zlomy pomocí *Interpretation window*, pak vzniklé interpretace promítla ve 3D zobrazení do podélných seismických řezů a ověřila, zda průběh souhlasí.

Program Petrel nabízí široké pole možných operací se seismickými a vrtnými daty. Pro účely bakalářské práce jsem se omezila pouze na manuální interpretaci tektoniky na jednotlivých profilech, sledování a komentování průběhu významných zlomů.



OBR. 6-2. Interpretace v programu Petrel. Pohled na část interpretovaných seismických řezů s naznačeným průběhem zlomových systémů. Pro přehlednost byl počet profilů a zlomových interpretací redukován. Z důvodů ochrany dat nejsou profily pojmenovány.

6. 4. Interpretovaný průběh steinbersko - schrattenberského zlomového systému

Interpretace seismických dat, která není podepřená o vrty, může být značně subjektivní. Záměrně se vyhýbám interpretacím chaotických reflexů flyšových hornin v podloží vídeňské pánve a na vysoké rakvicko-kyjovské kry, kam zasahují vedlejší větve schrattenberského zlomu. Omezím se jen na nejnápadnější projevy tektoniky v těchto jednotkách. V horizontálních až subhorizontálních reflexech neogenní výplně mistbašské kry a moravské ústřední prohlubně je tektonické porušení výrazně nápadnější a pro sledování průběhu jednodušší.

V severní část mistlbašské kry, SV od Ladané, jsem interpretovala tektoniku na příčných profilech 600/84, 387/91 a 388/91. V tomto prostoru byl řešen průběh schrattenberského systému a hlavních steinberských zlomů. Řezy zasahují do prostoru moravské ústřední prohlubně. Část dat profilu 388/91 (v místech průběhu hlavního steinberského zlomu) chybí. JV směrem pokračuje série paralelních profilů 643/84, 389/91, 642/84, které sloužily k interpretaci pokračování schrattenberských zlomů mezi Lednicí a Břeclaví. Jižněji, nedaleko státní hranice, jsem průběh zlomového systému sledovala na řezech 640/84 a 641/84, 587/75 a 588/76.

V severní části mistlbašské kry se zlomy hlavních poruchových systémů sbíhají a neogenní výplň pánve rozdělují na řadu postupně poklesávajících ker. Řezy v severní oblasti ukazují průběh dvou hlavních schrattenberských zlomů, které při SZ hranici mistlbašské kry oddělují, flyšové jednotky od neogenní výplně. Na profilech nelze sledovat pokračování zlomů do podložních flyšových jednotek. Neogenní báze zlomových meziker je korelovatelná lokálně na silnějších neogenních odrazech. Profily 387/91 a 600/84 vykazují mírný náklon k JV. Na mezikrách mistlbašské kry mezi oběma hlavními schrattenberskými zlomy jsem interpretovala soustavu drobnějších protiklonných poruch. Napojují se na obě hlavní zlomové větve.

Průběh steinberských zlomů byl sledován pouze jižně od Břeclavi. Na řezech 387/91 a 600/84 je patrný výrazný křížící se zlom, kde hlavní

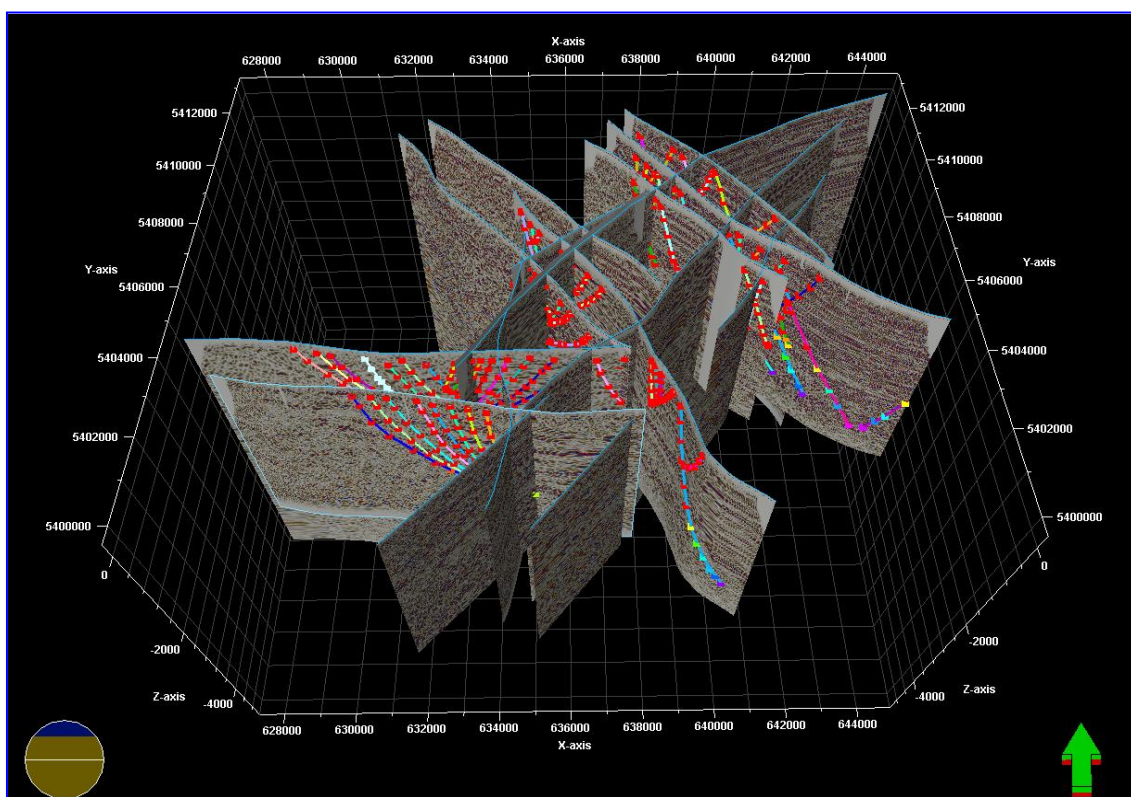
steinberský zlom je protnut jinou výraznou protiklonnou poruchou pokračující až k neogenní bázi. Řez 378/91 pokračuje do moravské ústřední prohlubně. Na jeho JV okraj zasahuje lanžhotsko-hrušetský zlom. Nedaleko Moravského Žižkova se hlavní schrattenberský a steinberský zlom spojují v jeden systém a ústí společnou listrickou plochou při bázi neogénu (Kolejka & Kaňová, 1993). Znamky napojení steinberských a schrattenberských zlomů jsou patné na podélném profilu 635/84. Řez propojuje prostor mistbašské kry s moravskou ústřední prohlubní. Spolu s profilem 629/84 vykazuje výrazné projevy tektoniky obou zlomových systémů.

Ve střední části, SZ od Břeclavi se průběh schrattenberských zlomů zjednodušuje. Pouze v okrajové oblasti mistlbašské kry, přiléhající k vysoké kře, je patné širší poruchové pásmo ohraničené dvěma větvemi schrattenberských zlomů a porušené souborem drobnějších protiklonných poruch, které se napojují na hlavní větev. Profily zasahující do rakvicko-kyjovské kry naznačují průběh dalších větví schrattenberských poklesových zlomů. Z chaotických reflexů podložních flyšových jednotek a značně tektonickému porušení reflexů neogenní výplně nelze průběh zlomů přesně stanovit. Lze předpokládat listrický charakter vedlejších zlomů a napojení na hlavní schrattenberské poruchy při bázi neogénu mistlbašské kry. Kocáka et al. (1986), s ohledem na vrty z prostoru Lednice, interpretovali na vysoké kře několik přesmyků. Profil 389/91 ukazuje široký průřez mistlbašské kry, který až na zmíněný SZ okraj nese pouze drobnější známky tektonického porušení. Neogenní bázi je možné na řezu ztotožnit se sérií výrazných reflexů.

V jižním úseku oblasti zájmové oblasti, východně od Poštorné, se směr schrattenberského zlomového systému výrazně stáčí ze SV – JZ na S – J. Charakter poruch se však příliš nemění. Z profilů 640/84 a 641/84 lze dobře korelovat rovněž sérii schrattenberských vedlejších větví rozdělující rakvicko-kyjovskou kru na soubor pokleslých meziker. Znovu se projevuje výrazný listrický charakter zlomů. Jejich průběh nasvědčuje vyústění ve společnou listrickou plochu při bázi neogénu mistlbašské kry, které nebylo na řezu přímo pozorováno. Seismické reflexy neogenní výplně mistlbašské kry vykazují výrazné vyklenutí. Patrně je způsobeno kombinací „vějířového“ uskupení poruch a polohy řezů vůči směru průběhu zlomového systému. Tento jev především patrný na profilu 461/84.

V jižní části byl steinberský zlom zastižen pouze na profilu 389/91. Zde představuje výraznou tektonickou poruchu pronikající hluboko do podloží pánve.

Steinberské a schrattenberské zlomy mají obecně listrický charakter. Steinberský zlom, zejména v jižní části, má oproti schrattenberskému systému poměrně jednoduchý průběh. Zajímavý je především „vějířovitý“ charakter průběhu schrattenberských zlomů – na serií poklesových zlomů, ústících v listrickou plochu, navazuje soubor drobnějších protiklonných poruch. Toto uspořádání se slabě projevuje už v severní části interpretované oblasti před propojením se steinberským zlomem, směrem k jihu je stále výraznější. Steinberský zlom má oproti tomu výrazně jednodušší průběh. Je nutné zdůraznit jeho relativně mírný náklon, odhadnutý průměrně na 45°. V porovnání s klasickou představou poklesových zlomů se je jedná o nízkou hodnotu.



OBR. 6-3. Pohled na interpretovaný model v programu Petrel. Zobrazeny jsou vybrané interpretace zlomů steinberského a schrattenberského zlomového systému. Z důvodů ochrany dat nejsou profily pojmenovány.

7. Diskuze

Pánev zasahující na území tří států, s potenciálem pro nalezení ropných a plyných ložisek, je v centru pozornosti řady firem i akademické sféry již několik desítek let. Na téma geodynamického vývoje vídeňské pánve i terciérních rekonstrukcí byla publikována řada zahraničních a v menší míře i domácích prací. Zdá se však, že vzhledem ke komplikované a velice zajímavé tektonické historii stále existuje prostor pro řešení nových otázek.

Bakalářská práce se zabývala tektonickým vývojem vídeňské pánve a konkrétních projevů tektoniky. Všechny přehledové kapitoly byly připravovány tak, aby svým tématem na sebe postupně navazovaly a stávaly se více konkrétními. Domnívá se, že při následné pokračování by bylo vhodné studovat a zdůraznit souvislosti mezi vlivem obecnějších mechanismů na konkrétní projevy, které je možné přímo v pánvi nebo na pořízených datech studovat.

V interpretační části práce se nabízí řada možností pokračování. Klíčovým problémem při sestavování projektu byl nedostatek karotážních dat, kterými by bylo možné interpretace seismických řezů podpořit. Byla jsem nucena opřít se o stejný způsob interpretace, jaký uváděli Kocák et al. (1986) ve zprávě k dokumentační správě k seismickému měření z roku 1984. Rovněž vycházeli z nedostatku vrtného materiálu. Uvádí, že interpretaci provedli na základě několika znaků projevů tektoniky v časových řezech jako jsou difragované vlny, anomální úklony pokleslé a vysoké kry, vymizení reflexů pod zlomovou plochou, ukončení série výrazných neogenních odrazů při SZ okraji mistlbašské kry, atd..

Platí, že výsledná interpretace a její spolehlivost je přímo úměrná kvalitě dat. Seismické řezy pořízené před více jak 20 lety bohužel nemohou konkurovat současným 3D měřením. Domnívám se však, že pro studium samotné tektoniky a zlomového systému by 2D profily mohly být zcela dostačující, pokud by byly vhodně doplněny o hustější síť seismických řezů a interpretace podloženy na vrtech. Je potřeba si uvědomit omezené použití a zohlednit, že seismická měření profilů byla parametry přizpůsobena určitým zájmovým oblastem nebo

geologickým jednotkám. V případě vídeňské pánve to mohly být např. vnitro-neogenní úseky jako je baden nebo sarmat. Takováto data budou výrazně nevhodná k interpretaci tektoniky např. ve flyši.

Z materiálů, které mám v současné době k dispozici, bych budoucí pokračování této práce viděla v následujících krocích:

- 1) Nalezení způsobu, jak získané migrované řezy pořízené technologií VIBROSEIS korelovat s odpalovými profily a tím zahustit síť interpretovaných řezů. V případě neúspěchu se nabízí možnost interpretování každé skupiny odděleně a srovnání výsledných modelů.
- 2) Korelace seismických řezů s nově získanými vrtnými daty, které nemohly být začleněny do bakalářské práce. Moravské naftové doly a. s. mi laskavě poskytly data k 18 vrtů včetně karotáží a jedno seismikarotážní měření.
- 3) Rozšířené použití vrtných dat poskytovaných ČGS - Geofondem. Získala jsem stratigrafické výpisy k 93 vrtům z širší oblasti západního okraje pánve. Vhodné údaje z důležitých vrtů by mohly sloužit jako doplňkové údaje. Petrel nabízí možnost vložení samostatných stratigrafických horizontů.
- 4) Využití skenovaných seismických řezů ve formátu TIF k vizuálnímu porovnání s novým zpracováním profilů. Soubory obsahují staré varianty úprav řezů.

Rozšířením projektu o vrty a další dat udávaná primárně v hloubkové doméně roste potřeba seismokarotážních měření. Ve vídeňské pánvi jich bylo obecně provedeno velice málo. Budoucí práce by tedy vyžadovala experimentovat s platností jednotlivých měření a případně testovat uplatnění zprůměrované křivky rychlostí ze známých seismokarotáží.

8. Závěr

Účelem předkládaného textu je podat souhrn vybraných prací dotýkajících se tématu vývoje vídeňské pánve. Interpretace seismických profilů završila přehled postupující od regionálních geodynamických poměrů, přes popis celkového utváření pánevní tektoniky až po zaměření na oblast západního okraje pánve a jeho zlomový systém.

Vídeňská pánev prodělala velice pestrý tektonický vývoj. Ve spodním miocénu byla nesena jako vnitrohorská pánev na hřbetech příkrovů. Ve středním miocénu byla otevřena jako pánev typu *pull-apart* a následně významně rotována. S rotací hlavního napěťového pole se mění i vývoj dominantních poruch. Utváření pánve je úzce spojeno s terciérním vývojem širší karpato - panonské oblasti. Svou významnou roli zde sehrála rotace mikrokontinentu ALCAPA, které byla v práci věnována velká pozornost. Na otevření vídeňské pánve se podepsalo odlišné geodynamické chování dvou orogenních celků – Východních Alp a Západních Karpat. Alpsko - karpatský pás se stáčí okolo rigidní jednotky Českého masivu. V místě ohybu, kde se oba orogény setkávají, se vyvinula vídeňská pánev. Příkrovy obou jednotek tvoří podloží pánve.

S charakterem podloží se liší povaha tektoniky vídeňské pánve. V moravské části jsou podložní jednotky zastoupeny flyšovými příkrovy Vnějších Západních Karpat. Práce se detailněji zaměřuje na popis strukturního plánu západního okraje a jeho dominantní zlomový systém. Průběh steinbersko - schrattenberského zlomového systému byl popsán na základě vlastních interpretací vybraných 2D seismických profilů vedených v oblasti mezi Velkými Bílovicemi a státní hranicí jižně od Břeclavi. Seismický řezy a omezené množství vrtných dat bylo zpracováno v interpretačním softwaru Petrel. Na základě interpretací seismických dat byl okomentován průběh steinberského a schrattenberského zlomového systému.

Bakalářská práce zahrnuje rešeršní i praktickou část. Osobně za největší přínos považuji seznámení s fungováním programu Petrel, které nutně zahrnuje i získání přehledu o práci se seismickými daty, způsoby jejich záznamu a zpracování.

9. Shrnutí

Vídeňská pánev představuje ukázkou neogenní sedimentární pánve typu *pull-apart* s výrazným vlivem rotace ve středním miocénu. Vznikla mezi dvěma orogenními systémy. Rozdílná miocénní geodynamika Východních Alp a Západních Karpat se významně podepsala na otevření pánve. Práce předkládá přehled geodynamického vývoje pánve a zdůrazňuje vliv rotace mikrokontinentu ALCAPA na její utváření. V kolizním nastavení sunutých alpských příkrovů a flyšových jednotek Vnějších Karpat, tvořících podloží neogenní výplně, vznikala spodnomiocénní pánev. Výrazná změna ve strukturním plánu nastala v karpatu po ukončení nasouvání příkrovů. V badenu se vyvíjí dominantní zlomy směru SV-JZ. Utváří se steinbersko-schrattenberský systém poklesových synsedimentárních zlomů, který zásadně ovlivnil charakter západního pánevního okraje. Pod jeho vlivem dochází k uložení až 5500 m mocné neogenní výplně. Bakalářská práce se soustřeďuje na lokální tektonický vývoj západního okraje v moravské části pánve a předkládá vlastní interpretaci steinberského a schrattenberského zlomového systému z vybraných seismických řezů vedených územím mezi Velkými Bílovicemi a státními hranicemi jižně od Břeclavi. Průběh zlomových systémů a jejich projev ve vlnovém poli seismických řezů je komentován a porovnáván s předchozími interpretacemi. Seismické 2D profily byly zpracovány v interpretačním programu Petrel.

Klíčová slova:

vídeňská pánev, steinberský zlom, schrattenberský zlom, rotace ALCAPA, interpretace seismických profilů, Petrel

10. English Summary

The Vienna basin represents an example of a Neogene pull-apart basin developed between two orogenic systems – the Eastern Alps and West Carpathians. Their different Miocene geodynamic played the key role in opening of the basin. The pull-apart mechanism was significantly influenced by a rotation in the Middle Miocene. This thesis summarize the geodynamic development of the basin with regard to Tertiary evolution of the wider Carpathian – Pannonian area and paleomagnetic description of a rotation of ALCAPA unit. The Lower Miocene basin is superimposed on stack of nappes of the Alpine – Carpathian thrust belt. It was formed as a piggy-back basin on the top of overthrust nappes. During the Karpathian, a new tectonic settings was established, due to the change of geodynamics within the Alpine – Carpathian area. In the Badenian, the important NE – SW trending faults were developed. The Steinberg and Schratzenberg synsedimentary faults considerably participated in the formation of the west margin of the Vienna basin, and controlled a deposition of the Neogene sedimentary fill, reaching a maximum thickness of 5500 m. In my undergraduate thesis, I target the local development of the western margin within the Czech part of the basin and describe the faults system. By processing 2D seismic profiles covering the area between Velké Bílovice and Czech border (southwards of Břeclav), I present my interpretation of the course of Steinberg and Schratzenberg fault systems and their tectonic echo in the wave field of the seismic profiles. The interpretation was carried out using the software Petrel.

Key words:

Vienna basin, Steinberg fault, Schratzenberg fault, rotation of ALCAPA, interpretation of seismic profiles, Petrel

11. Seznam literatury

- Bilík, St. (1995): Seismokarotážní měření a vertikální seismické profilování na hlubinném vrtu Břeclav-30. - MS Geofyzika Brno, Brno, 44 str.
- Buchta, Š. (1993): Vídeňská pánev. *In: Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (ed.): Geologie Moravy a Slezska. - Sborník příspěvků k 90. výročí narození prof. dr. K. Zapletala, Mor. zem. muzeum a Sekce geol. věd PŘF MU, Brno, 129 – 132.*
- Csontos, L., Nagymarosy, A., Horváth, F., Kovác, M. (1992): Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. - *Tectonophysics* 208, 221 – 241.
- Csontos, L., Tari, G., Bergerat, F., Fodor, L. (1991): Evolution of the stress fields in the Carpatho-Pannonian area during the Neogene. - *Tectonophysics* 199, 73 - 91.
- Čekan, V., Kocák, A., Tomek, Č., Wessely, G., Zych, D. (1990): Czechoslovak – Austrian cooperation in geophysical structural exploration in the Vienna basin. *In: Minaříková, D., Lobitzer, H. (ed.): Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. - Ústřední ústav geologický, Praha, 23 – 31.*
- Dolton, G. L. (2006): Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) – Petroleum geology, total petroleum systems, and petroleum resource assessment. - *U.S. Geological Survey Bulletin* 2204 – B, 47 str.
- Fodor, L., Marko, F., Nemčok, M. (1990): Evolution mikrotectonique et paléo-champs de contraintes du Bassin de Vienne. - *Geodynamica Acta* 4, 147 – 158.
- Hamilton, W., Jiříček, R., Wessely, G. (1990): The Alpine-Carpathian floor of the Vienna basin in Austria and ČSSR. *In: Minaříková, D., Lobitzer, H. (ed.): Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. - Ústřední ústav geologický, Praha, 46-56.*
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky (1. vydání). - *Academia, Praha, 436 str.*

- Jiříček, R., Seifert, P. H. (1990): Paleogeography of the Neogene in the Vienna basin and the adjacent part of the foredeep. *In: Minaříková, D., Lobitzer, H. (ed.): Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. - Ústřední ústav geologický, Praha, 89-105.*
- Kocák, A., Mayer, S., Kolejka, V., Hromec, J., Zbořil, A. (1986): Zpráva o reflexně seismickém průzkumu v oblasti jihovýchodních svahů Českého masívu – úsek JIH a ve vídeňské pánvi v roce 1984. - MS Geofyzika Brno, Brno, 61 str.
- Kolejka, V., Káňová, M. (1993): Zpráva o reflexně – seismickém měření v oblasti Velké Bílovice – Břeclav v roce 1991. MS Geofyziky Brno, Brno, 34 str.
- Kováč, M., Nagymarosy, A., Oszczyk, N., Csontos, L., Slaczka, A., Narunteanu, M., Matenco, L., Márton, E. (1998): Palinspastic reconstruction of the Carpathian – Pannonian region during the Miocene. *In: Rakus, M. (ed.): Geodynamic development of the Western Carpathians. - GUDS Bratislava, Dionyz Stúr Publishers, 198 – 217.*
- Kreuzer, N. (1993): Das Neogene des Wiener Beckens. *In: Brix, F., Schultz, O. (ed.): Erdöl und Erdgas in Österreich (2. Auflage). – Naturhistorisches Museum Wien und F. Berger, Horn, Wien, 232 – 248.*
- Landwein, W., Schmidt, F., Seifert, P., Wessely, G. (1991): Geodynamics and generation of hydrocarbons in the region of the Vienna basin, Austria. *In: Spencer, A. M. (ed.): Generation, accumulation, and production of Europe's hydrocarbons. - Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists 1, 289 – 305.*
- Lankreijer, A., Kováč, M., Cloetingh, S., Pitoňák, P., Hložka, M., Biermann, C. (1995): Quantitative subsidence analysis and forward modelling of the Vienna and Danube basins: thin-skinned versus thick-skinned extension. - *Tectonophysics 252, 433 – 451.*
- Marko, F. (2002): Fault controlled evolution of the Vienna basin. - *Geol. Carpathica 53, spec. issue, XVIIth Congress CBGA, elektr. form., 6 str.*
- Marko, F. (2004): Fault controlled evolution of the ALCAPA region. - *GeoLines 17, 68 – 69.*

- Márton, E., Fodor, L. (2002): Tertiary paleomagnetic results and structural analysis from the Transdanubian Range (Hungary): rotational disintegration of the Alcapa unit. - *Tectonophysics* 363, 201 – 224.
- Royden, L., Horváth, F., Nagymarosy, A., Stegena, L. (1983): Evolution of the Pannonian basin system: 2. Subsidence and thermal history. - *Tectonics*, vol. 2, No. 1, 91 – 137.
- Royden, L. H. (1985): The Vienna Basin: a thin-skinned pull-apart basin. *In*: Biddle K. T., Cristhie Blick, N. (ed.): Strike-slip deformation, sedimentation, basin formation. - *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ* 37., Tulsa, 319 – 338.
- Wessely, G. (1990): Geological results of deep exploration in the Vienna basin. - *Geologische Rundschau* 79, 2, Stuttgart, 513 – 520.
- Wessely, G. (1994): Outline of sedimentation, tectonics and hydrocarbon occurrence of the Vienna Basin. *Shallow Tethys 4, Excursion into the Vienna basin (Guide book)*, 6 and 7 September 1994, Vienna, 42 str.
- Zimmer, W., Wessely, G. (1996): Exploration results in thrust and subthrust complexes in the Alps and below the Vienna Basin in Austria. *In*: Wessely, G., Liebl, W. (ed.): *Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe*. - *EAGE Special Publication* 5, 81 – 107.
- Zoetemeijer, R., Tomek, Č., Cloetingh, S. (1999): Flexural expression of European continental lithosphere under the western outer Carpathians. - *Tectonics*, vol. 18, No. 1, 843 – 861.

Příloha A - Neogenní korelační schéma

Neogene correlation scheme

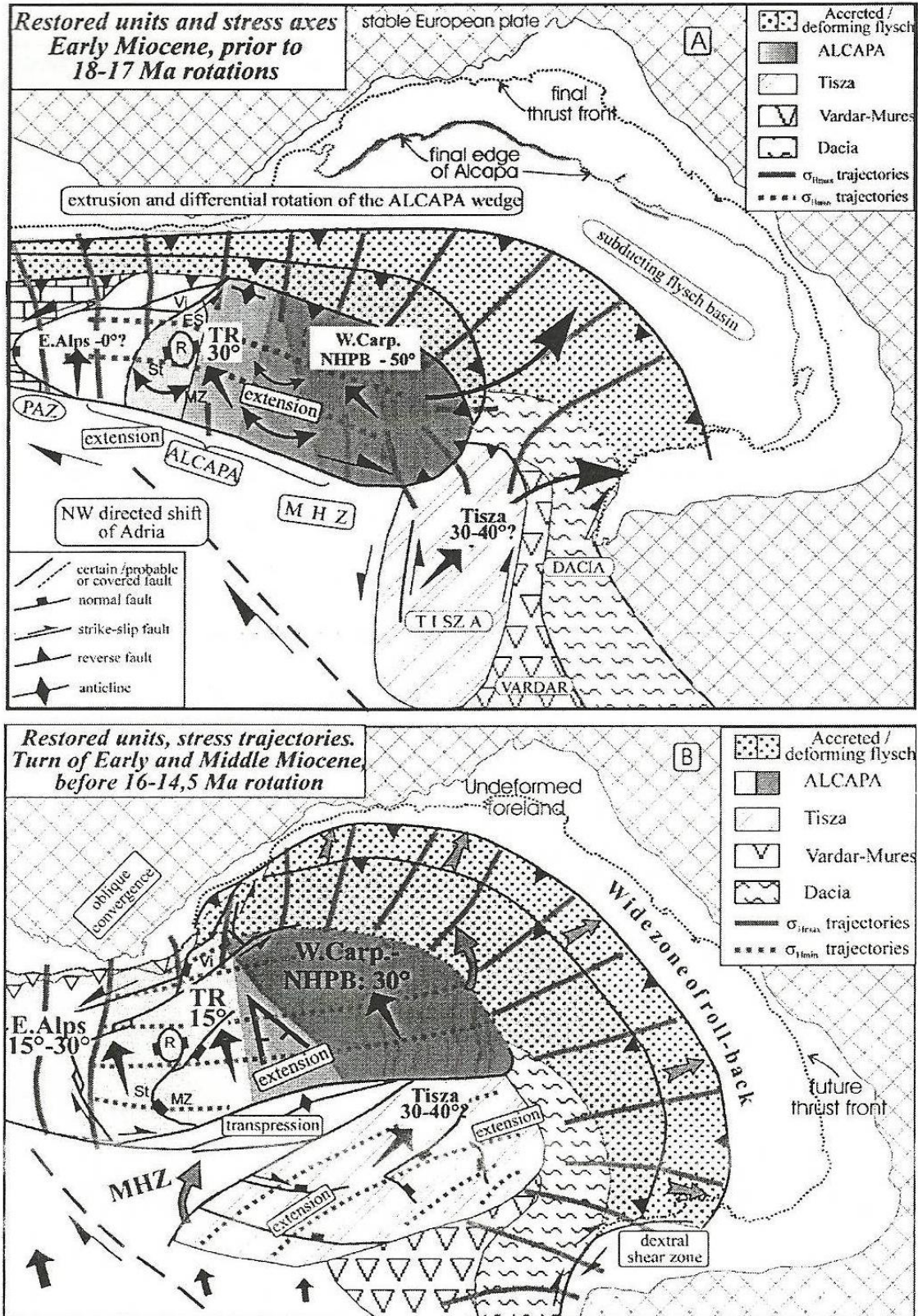
(after Neveskaya et al. 1984, Steininger et al. 1991, Dergreen et al. 1995, Andreyeva - Grigorovich et al. 1997)

Period	Epoch	Division	Stages			Absolute age (MA)
			Mediterranean	Paratethys		
				Central	Eastern	
MIOCENE	PLIOCENE		PIACENZIAN	ROMANIAN	AKCHAGYLIAN	1,8
			ZANCLEAN	DACIAN	KIMMERIAN	2,8-3,5
	UPPER MIOCENE		MESSINIAN	PONTIAN	PONTIAN	5,2-5,6
			TORTONIAN	PANNONIAN	MAEOTIAN	7,1
					KHERSONIAN	9,1
		MIDDLE MIOCENE	SERRAVALLIAN	LATE SARMATIAN	BESSARABIAN	11,0-11,5
				EARLY SARMATIAN	VOLHYNIAN	12,2-12,8
			LATE BADENIAN	KONKIAN	13,2-13,6	
			KARAGANIAN	14,8-15,5		
		LANGHIAN	EARLY BADENIAN	TSHOKRAKIAN	16,4-16,5	
		LOWER MIOCENE	BURDIGALIAN	KARPATIAN	TARKHANIAN	17,2-17,5
				OTTNANGIAN	KOZACHURIAN	20,5-22,5
	EGGENBURGIAN		SAKARAULIAN			
	AQUITANIAN		EGGERIAN	25,5-238		

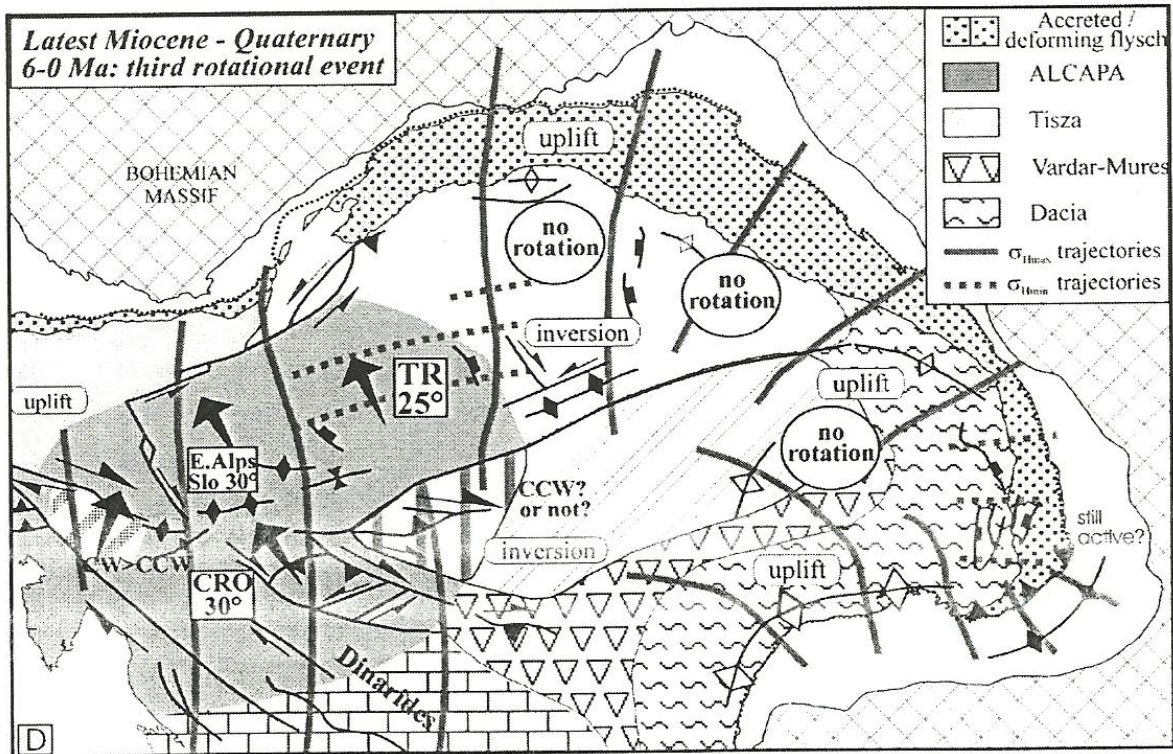
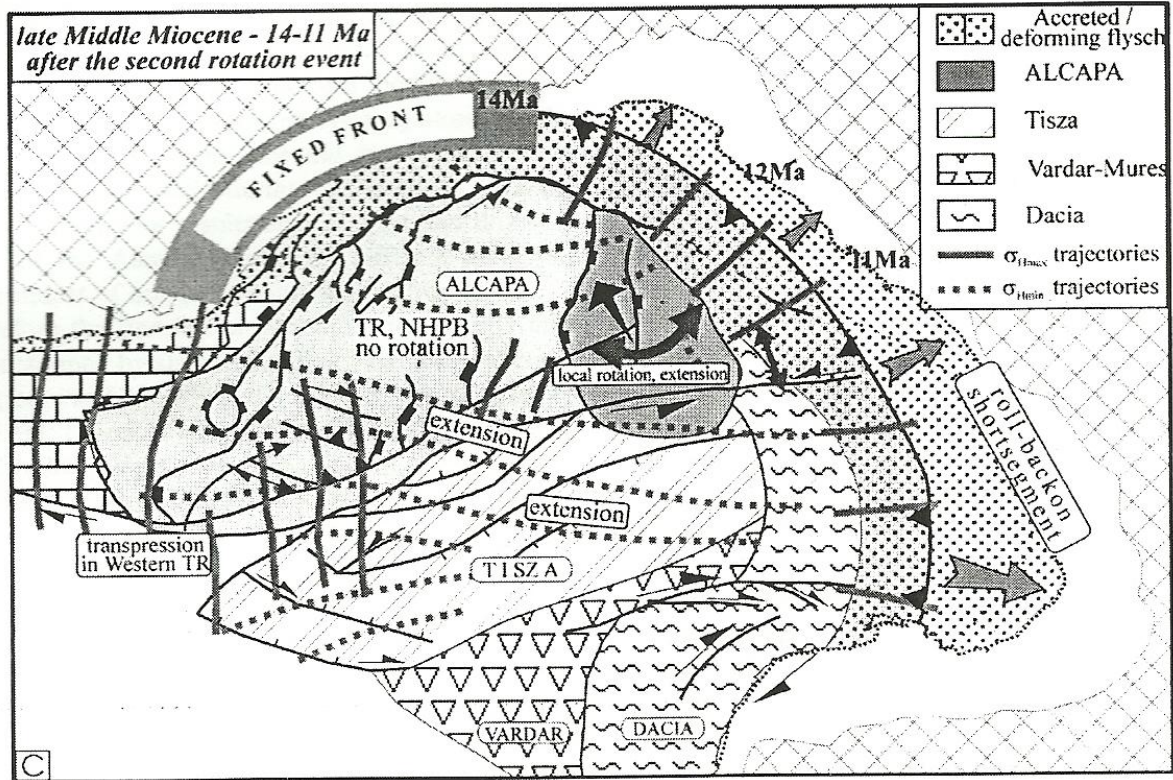
Převzato z Kováč et al. (1998)

Příloha B (1. část) – Geodynamický model

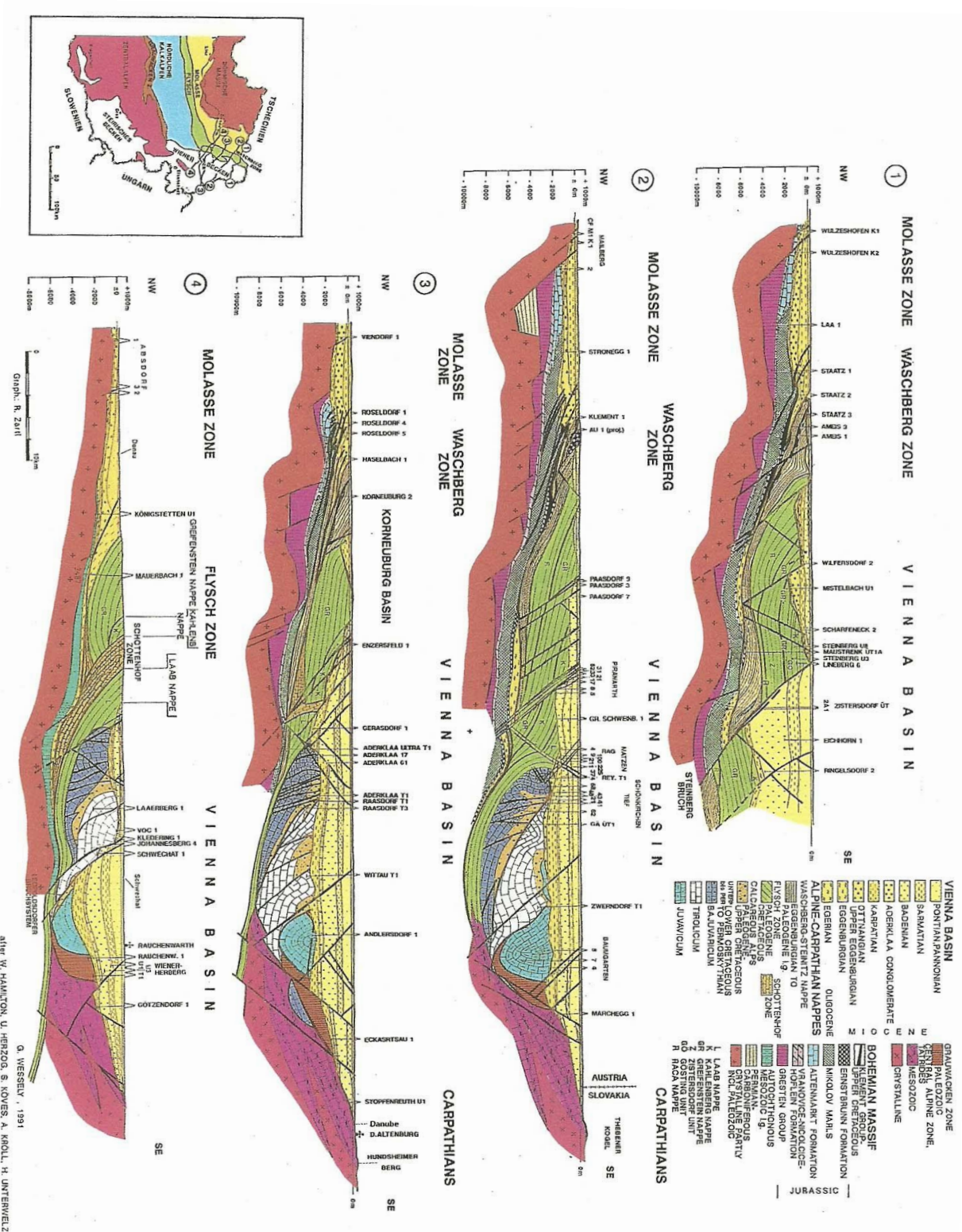
Geodynamický model pro kombinovaná paleomagnetická a tektonická data v Transdanubské oblasti a přilehlých orogénech. Patrná diferenciální rotace ALCAPA desky.



Příloha B (2. část) – Geodynamický model



Příloha C – série profilů vedených vídeňskou pánví



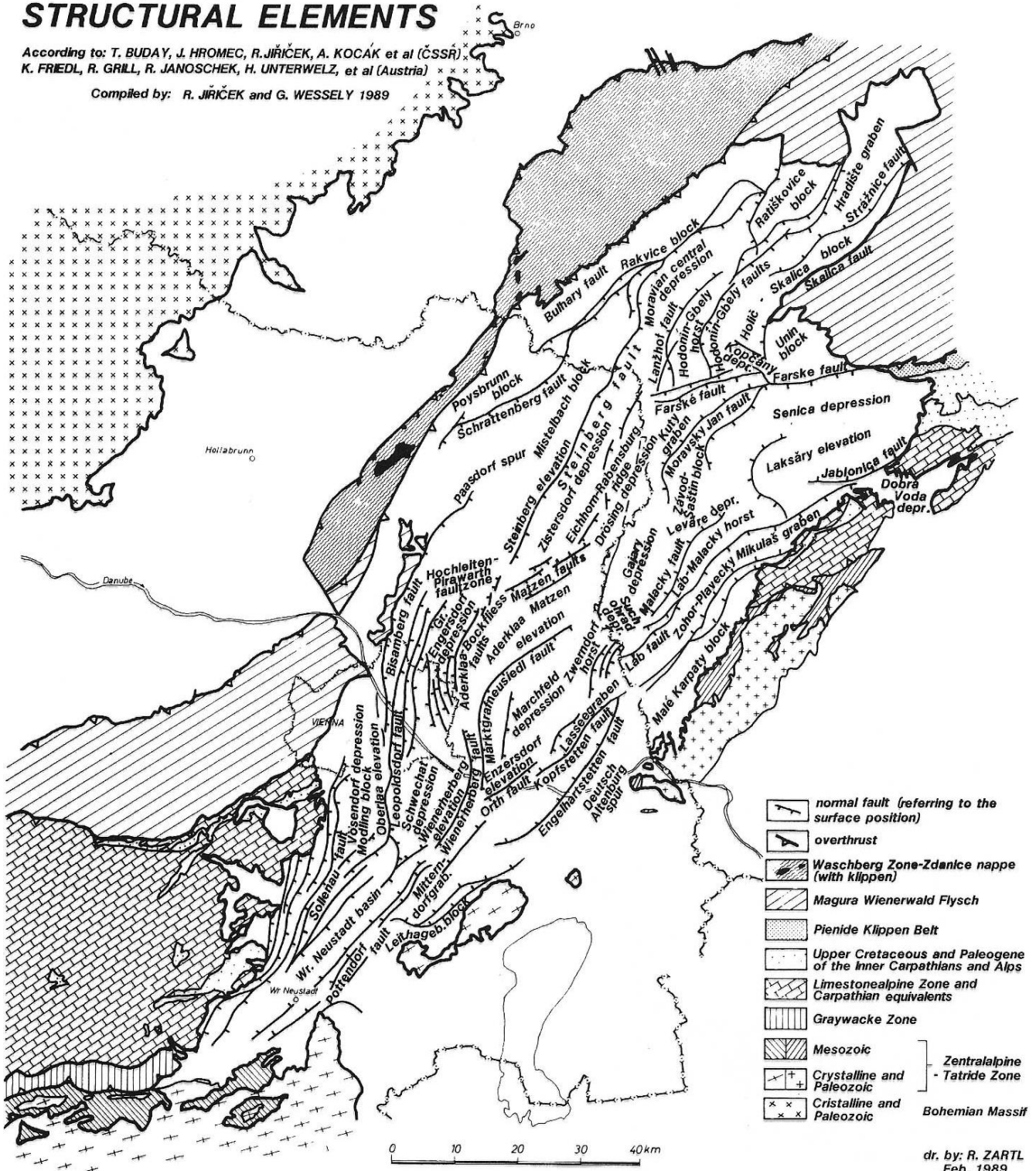
Převzato z Zimmer & Wessely (1996)

Příloha D – Strukturní plán vídeňské pánve

VIENNA BASIN MAIN STRUCTURAL ELEMENTS

According to: T. BUDAY, J. HROMEK, R. JIŘÍČEK, A. KOČAK et al (ČSSR),
K. FRIEDL, R. GRILL, R. JANOSCHEK, H. UNTERWELZ, et al (Austria)

Compiled by: R. JIŘÍČEK and G. WESSELY 1989



dr. by: R. ZARTL
Feb. 1989

Převzato z Hamilton et al. (1991)

Příloha E – Přehled dostupných seismických 2D profilů

Přehled získaných 2D seismických profilů			
Profily z ČGS-Geofondu (nemigr.)	Profily z MND (migr.)		
	587/75	634/84	634/84
581/76	581/76		635/84
	583/76	632A/84	
584/76	584/76	641/84	641/84
	588/76	642/84	642/84
600/79		643/84	643/84
601/79		644/84	
602/79		677/86	
606/79		678/86	
607/79		679/86	
611/79	611/79	366/87	
155A/80		56/88	
	183D/80	57/88	
238A/80		60/88	
281/82		64/88	
	284/82	65/88	
609/82		66/88	
610/82		22/89	
630/82	630/82	386/91	
631/82		387/91	387/91
	600/84	388/91	388/91
604/84		389/91	389/91
629/84	629/84	392/91	392/91
	633/84	393/91	393/91
		393A/91	393A/91
		394/91	

Pro výslednou interpretaci zlomového systému na západním okraji pánve byly použity červeně označené migrované profily.

Příloha F – Přehled zpracovávaných vrtů a karotáží

Vrt		Karotážní měření					
Název	Zkratka	Orientovaný úklon	Přirozená radioaktivita	Zdán. měř.odpor	Vlastní potenciál	Seismokarotáž	VSP
		UKLON	GR/ GR_API	RAG2/ RAPL	SP		
Břeclav 30	BREC-30	ANO	GR, GR_API	RAG2	ANO	ANO	ANO
Poštorná 2	PO-2	ANO	GR	RAPL	ANO	NE	NE
Sedlec 1	SED-1	ANO	GR	RAG2	ANO	NE	NE
Lednice 9	Le-9	NE	NE	NE	NE	ANO	NE
Hrušky 9	Hr-9	NE	NE	NE	NE	ANO	NE
Hrušky 228	Hr-228	NE	NE	NE	NE	ANO	NE
Hrušky 234	Hr-234	NE	NE	NE	NE	ANO	NE
Hrušky 240	Hr-240	NE	NE	NE	NE	ANO	NE

Příloha G – Mapa interpretovaných seismických profilů s vyznačenými vrty

