

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta,

Katedra fyzickej geografie a geoekológie

Klub učiteľov geovied

odborná skupina pri Slovenskej geologickej spoločnosti pri SAV

Nové trendy v geovedách – geovedné vzdelávanie učiteľov

Projekt KEGA č. 088UK-4/2013

Geológia, geodynamika a seizmoaktívne zóny alpsko-karpato-panónskeho regiónu

TEXT K PREDNÁŠKE

prof. RNDr. Michal Kováč, DrSc.

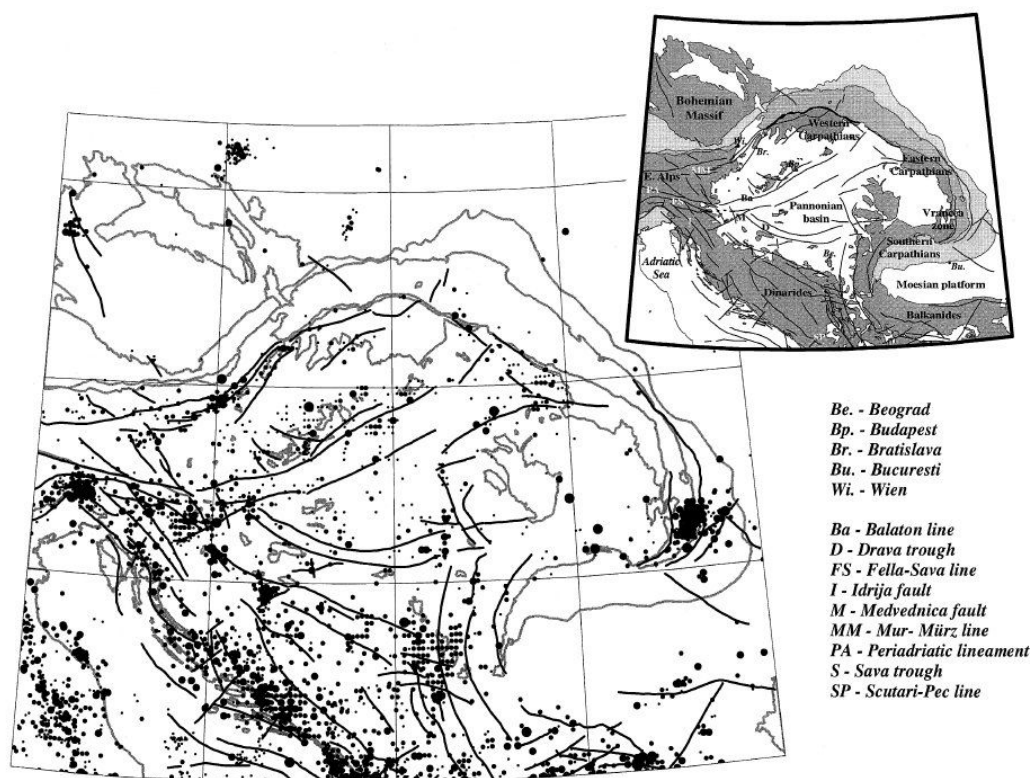
2014

Realizáciu prednášky podporila:

KEGA č. 088UK-4/2013: Nové trendy v geovedách – geovedné vzdelávanie učiteľov

Model **seizmoaktívnych zón širšieho okolia Slovenska** – teda Západných Karpát vychádzal predovšetkým z úvah zohľadňujúcich tektoniku v kontexte kolízie alpsko-karpatského horského reťazca s európskou platformou, ako aj so zohľadnením vývoja panónskeho zaoblúkového systému paniev. Skúmaná oblasť okrem nášho územia pokrýva juhozápad Poľska, východnú časť Čiech, východné časti Rakúska, územie Maďarska a príslušné časti Slovinska, Chorvátska a Srbska. Z neotektonického hľadiska môžeme túto oblasť rozčleniť na celky odlišujúce sa súčasnou seizmicitou, tektonickým štýlom, typom a orientáciou zlomov a hĺbkovou distribúciou hypocentier na: **Český masív, Východné Alpy & Západné Karpaty a Panónsky systém paniev** (Obr.1).

G. Bada et al. / Geodynamics 27 (1999) 501–527

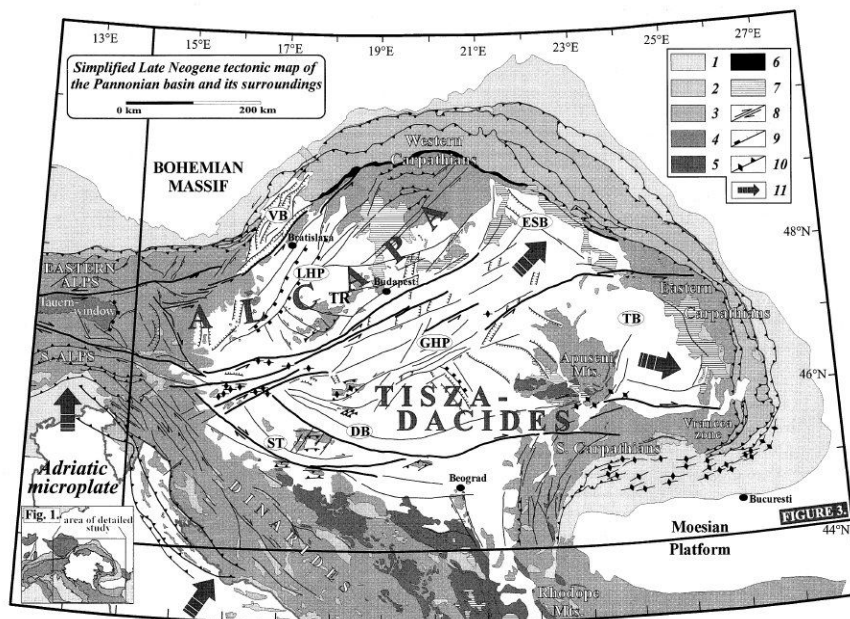


Obr. 1.: Seizmicita študovanej oblasti (podľa Gerner et al., 1997 & Bada et al., 1999). Znáznornené sú len zemetrasenia s magnitúdom 2 a vyšším. Veľkosť kružníc je proporcionálne veľkosti magnitúda. Hlavné aktívnych zlomy a tektonické jednotky predstavujú "hrubé čiary"; skratky miest v pravej časti obrázku.

Súčasná stavba Českého masívu, ako súčasť európskej platformy je výsledkom starej varískej orogenézy. Len úzky pás východoalpsko-západokarpatského predpolia bol čiastočne ovplyvnený dvomi geologicky mladšími avšak rozdielnymi udalosťami (posledných 50 miliónov rokov): paleo- až mezoalpínska extenzia a vznik grábenov na svahoch európskej platformy a mezo- až neoalpínska subdukcia a kolízia s čelom orogénu. Ani jedna z týchto udalostí však neovplyvnila kontinentálnu kôru platformy vznikom zlomov, alebo iných štruktúr, ktoré by poukazovali na zvýšenú seizmickú aktivitu v súčasnosti.

V pohoriach Východné Alpy a Západné Karpaty možno za rozsiahle seizmoaktívne zóny považovať niektoré štruktúry napr. línie Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg SEMP, Mur – Mürz – Leitha MML, alebo PAL: periadriatický lineament, ktoré sú zväčša výsledkom subdukcie v čele Álp a Karpát, ďalej tektonického úniku mikroplatne ALCAPA z alpskej oblasti a jej šikmej kolízie s európskou platformou. Za pokračovanie línie PAL sa považuje MHL: stredomaďarský lineament, ktorého aktivita je tlmená stenšenou kôrou nad vyklenutím

astenosféry v panónskej oblasti (Obr. 2). Subdukčno – kolízne udalosti vo Východných Alpách a v Západných Karpatoch vytvorili ich dnešnú štruktúru – tektonickú stavbu veľkých rozmerov. V Alpách je severoeurópska platforma podsunutá pod orogén a hraničí s južnou, Apúlskou platňou na povrchu pozdĺž periadriatickej línie (PAL); v Západných Karpatoch sa berie do úvahy okrem nasunutia na platformný okraj aj subdukcia akrečnej prizmy Vonkajších Západných Karpát pod mikroplatňu ALCAPA, a dá sa stotožniť zhruba s priebehom bradlového pásma (PKB).

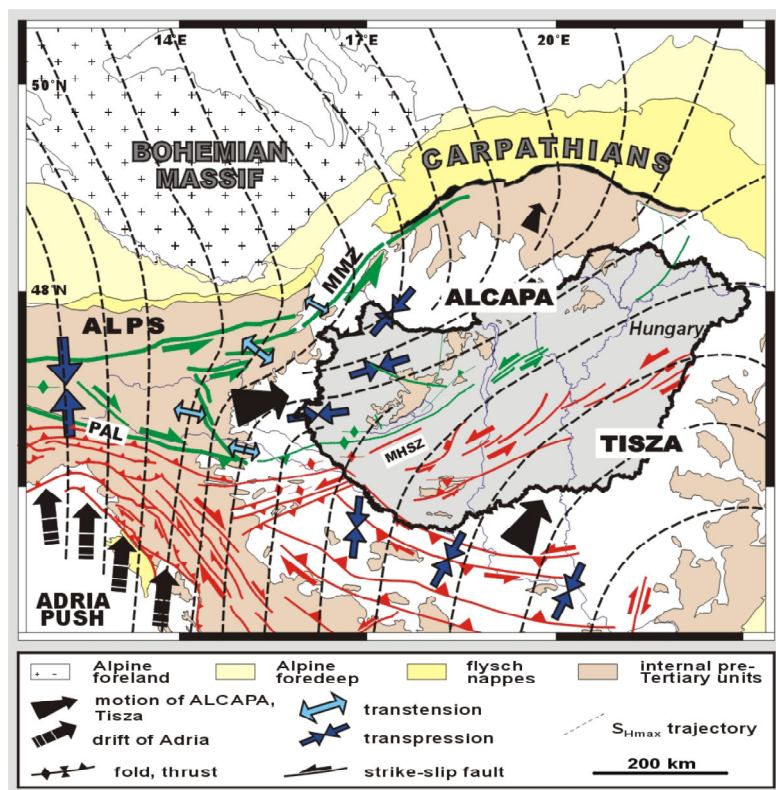


Obr. 2.: Štruktúrne jednotky a okolie panónskej oblasti: 1) čálna priehlbina, 2) flyšové pásmo, 3) vnútorné predterciérne jednotky, 4) peninikum, 5) vardarské pásmo, 6) pieninské bradlové pásmo, 7) neogénne až kvartérne alkalické a vápenato-alkalické vulkanity, 8) horizontálne posuny, 9) zlomy a listrické zlomy zlomy "čierne štvorce" znamenajú úklon zlomov, 10) násuny, spätné prešmyky a vrásky 11 smer pohybu hlavných kôrových blokov: DB - Drávská panva, ESB - Východoslovenská panva, GHP - Veľká uhorská nížina, LHP - Malá uhorská nížina, ST - Sávsky tróg, TB - Transylvánska panva, TR - Zadunajské stredohorie, VB - Viedenská panva, zlomy označené hrubými čiarami oddeľujú hlavné kôrové bloky: mikroplatni ALCAPA a Tisza-Dacia (podľa Bada et al. 1999).

Súčasná tektonická aktivita alpsko-karpatsko-panónskej oblasti je primárne kontrolovaná pohybom a rotáciou Apúlskej mikroplatne proti smeru hodinových ručičiek voči Európe okolo pólu v Západných Karpatoch (Obr. 3). Tlak tejto mikroplatne spôsobuje intenzívne skrátenie v juhoalpsko-dinárskej oblasti, prejavujúce sa aktivitou násunov a zlomov; čoho dôkazom je celkový seizmický obraz a kôrová deformácia. Súčasná kinematika panónskej panvy odráža tiež tento proces, prejavujúci sa horizontálnym posunom na MHL, ako aj až kompresnými štruktúrami vo vnútri panónskej panvy. Tento fakt zároveň naznačuje, že extenzný režim sa v panónskej panve ukončil a prebieha štruktúrna inverzia kontrolovaná tlakom z juhozápadu.

Orientácia súčasného, tektonického napätového poľa panónskej panvy a okolia vykazuje nápadný lúčovitý obraz maximálneho horizontálneho napätia šíriaceho sa od adriatickej mikroplatne. S - J orientovaná kompresia pozorovaná v severnom cípe južných Álp sa postupne mení na SV – JZ orientáciu pozdĺž Dinaríd. Tento vzor je ďalej pozorovateľný vo vnútri panónskej panvy, zatiaľ čo v zóne Vrancea, v juhovýchodných Karpatoch možno pozorovať V – Z až VJV – ZSZ orientovanú kompresiu. Modelovanie konečných napätových

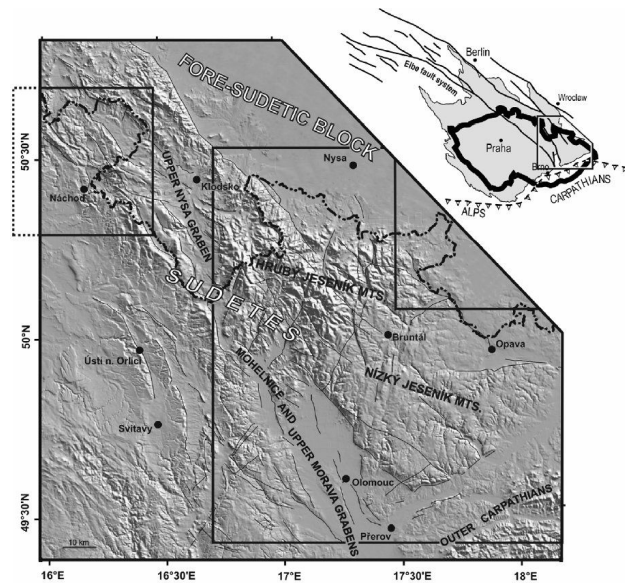
prvkov naznačuje, že napätový režim je v panónskej panve určený výraznými tektonickými faktormi v celom zbiehajúcom sa priestore súvisiacim s kolíziou Afriky a Európy.



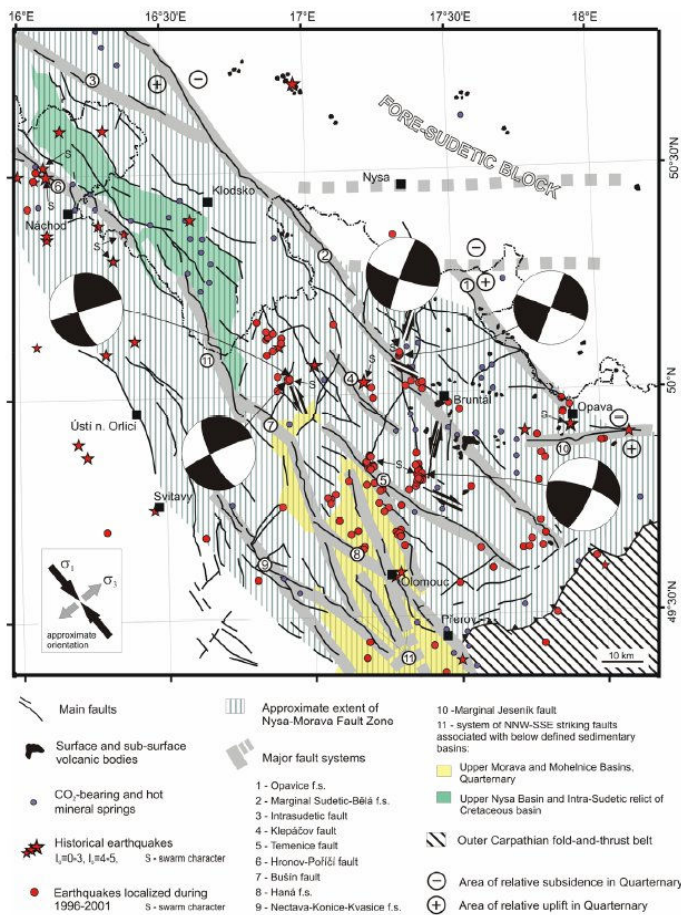
Obr. 3: Náčrt sumarizujúci hlavné kinematické charakteristiky zlomov; znázornené sú tiež externé sily ovplyvňujúce túto oblasť (podľa Bada et al. 1999).

Český masív

Český masív patrí k najstabilnejšej časti okolia Slovenska, a horizontálne pohyby merané tu celkovo nepresahujú 1 mm/rok. Tento starý a stabilný litosferický blok je však porušený SZ – JV orientovaným **labským zlomovým systémom**, ktorý je sledovateľný od Severného mora prinajmenšom po čelo flyšových príkrovov Západných Karpát (Obr. 4). Oblasť nachádzajúca sa v JV časti zlomového systému, zahŕňajúcej SV časť Českej republiky a priľahlých oblastí Poľska vykazuje zvýšenú tektonickú aktivitu spojenú s touto štruktúrou. Podľa Špaček et al., (2006), došlo v tejto oblasti v období medzi 1996-2003 celkovo k 153 mikrozemetraseniam. Lokálne magnitúda sa pohybujú medzi 0,6 a 1,8 a seizmická energia bola často uvoľnená v zemetrasných rojoch. Päť seizmických udalostí meraných na piatich staniciach umožnili určenie fokálneho mechanizmu. Väčšina súčasnej seizmickej aktivity je koncentrovaná v 40 – 60 km širokom pásme generálne SZ – JV smeru. Táto štruktúra predstavuje regionálnu zónu oslabenia v rámci JV ukončenia labského zlomového systému definovaného sieťou prepojených zlomov z ktorých je mnoho hlboko založených a niektoré súvisia ľahkými až miernymi historickými zemetraseniami. Zvyšnú tektonickú aktivitu možno interpretovať ako výsledok množstva vhodne orientovaných zlomov a ich prepojenia do veľkých zlomových systémov v blízkosti zaklesnutia vonkajších Karpát. Ďalej ako dôsledok treťohorného vulkanizmu a s ním spojennej post vulkanickej aktivity čo naznačuje, že pretlakové fluidá môžu predstavovať potenciálny spúšťací mechanizmus zemetrasných rojov (Obr. 5).



Obr. 4. Tieňovaná reliéfná mapa študovanej oblasti a jej poloha v rámci labského zlomového systému a Českého masívu (ľavý horný roh). Osvetlenie zo severovýchodu. Hlavné zlomy sú znázornené čiernymi líniami. Česko-Poľská štátna hranica je znázornená prerušovo-bodkovanou čiarou.



Obr. 5.: Schématická mapa tektonickej situácie vo východných Sudetách a interpretácia jej súčasnej dynamiky. Historické a nové zemetrasenia sú znázornené červenými hviezdami a kruhmi. Pramene karbonátových a termálnych vôd znázornených modrými kruhmi boli zostavené podľa Květ & Kačura (1976, 1978), Jetel & Rybářová (1979) a Dowgiallo (1991). Rozsah povrchových a podpovrchových vulkanických telies zostavené podľa Gruntorád & Lhotská (1973) a Dowgiallo (1991). Zlomy boli odvodené z reliéfnaj mapy; zvýraznené sú hlavné zlomové systémy a zlomová zóna Nysa-Morava.

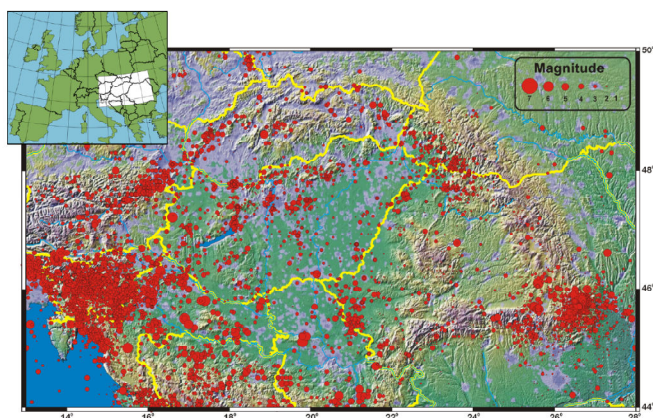
Panónska panva a priľahlé časti Východných Álp a Západných Karpát.

Pre panónsky panvový systém a priľahlé oblasti Západných Karpát a Východných Álp je charakteristická stredná úroveň tektonickej aktivity. V súčasnosti je litosféra vystavená kompresii, výsledkom čoho je aktívna inverzia zápolia horského reťazca a okraja panvového systému od obdobia mladšieho pliocénu až kvartéru. Mechanická pevnosť karpatskej litosféry ako aj stenšenej - roztiahnutej panónskej litosféry je extrémne nízka a preto je náchylná k ďalšej deformácii, štruktúrne reaktivácii a sústredenie pnutia (Obr. 3). Distribúcia seizmicity čiastočne sleduje najaktívnejšie štruktúry kontrolované reaktiváciou starších (alpínskych) zlomov a strižných zón podložia. Prevažujúci štýl deformácie sa postupne mení z čelnej zóny "posun Adrie" v Dinaridách smerom dovnútra panónskej panvy od čistej kontrakcie cez transpresiu až po horizontálne posuny a normálne zlomy (Bada et al., 2001). Na západe spôsobujú reverzné zlomy najmä vrásnenie nadložných usadenín (neogén až kvartér). Smerom k východu začína prevládať štýl horizontálnych posunov buď v transtenznom (lokálnom) extenznom tektonickom režime, alebo v transpresnom (lokálnom) režime.

Tóth et al., (2002) zostavili ucelený katalóg zemetrasení, ktorý zahŕňa historické, aj prístrojovo zaznamenané zemetrasenia v panónskom priestore. Katalóg obsahuje viac ako 20 000 udalostí siahajúcich od r. 456 n.l. po rok 1998 a považuje sa za úplný pre zemetrasenia väčšieho rozsahu ako M 6.4 od r. 1500, pre zemetrasenia väčšieho rozsahu ako M 4.7 od r. 1800 a pre magnitúda väčšie ako 3.5 od r. 1880 (Obr. 6). V kombinácii s napäťovými údajmi odvodených od 190 riešení fokálnych mechanizmov pre jednotlivé zemetrasenia tieto údaje poskytujú relatívne hutný základ na zhodnotenie seizmických zdrojov a seizmotektonických modelov vo vnútri aj v okolí panónskej panvy. Seizmicita v panónskej panve je miernejšia v porovnaní s jej okrajovými časťami; hoci distribúcia uvoľnenia celkovej seizmickej energie indikuje aj súčasnú deformáciu. Plytké uloženie hypocentier sa viaže na u väčšiny udalostí na hĺbky medzi 6 a 15 km. Diagramy fokálnych mechanizmov ukazujú, že k horizontálnym posunom a prešmykom dochádza takmer výlučne v Južných Alpách a v Dinaridách. Vo Východných Alpách a Západných Karpatoch poukazujú diagramy fokálnych mechanizmov výlučne na charakter horizontálnych posunov. V panónskej panve sa zdajú byť dominantné zlomy typu násunov a horizontálnych posunov, zatiaľ čo k zemetraseniam v oblasti Vrancea dochádza v kompresnom režime spojenom s násunovou tektonikou.

L. Tóth et al.: Seismicity in the Pannonian region – earthquake data

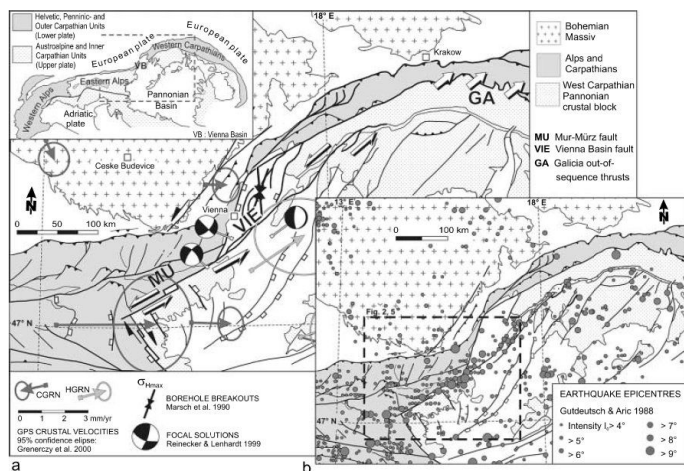
11



Obr. 6: Distribúcia epicentier zemetrasení v panónskej oblasti (44.0–50.0 N; 13.0–28.0 E). Databáza zemetrasení oblasti obsahuje viac ako 20 000 historických a prístrojovo zaznamenaných udalostí od 456 n.l. po 1998. Z mapy sú vylúčené udalosti ak presnosť polohy epicentra bola menšia ako 50 km. Veľkosť kruhov zodpovedá vypočítaným magnitúdam (podľa Tóth et al., 2002).

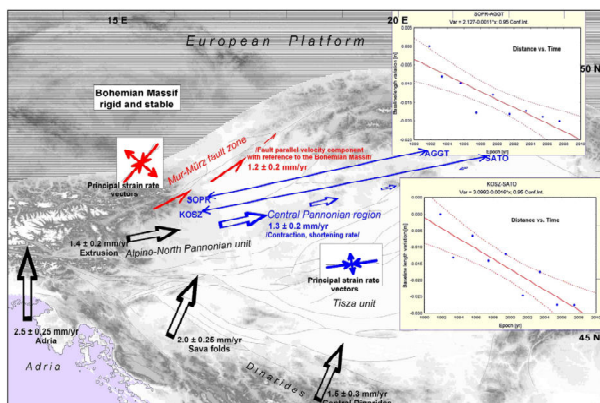
Vo Východných Alpách a Západných Karpatoch poukazujú diagramy fokálnych mechanizmov výlučne na charakter horizontálnych posunov najčastejšie SSZ – JJV a S – J orientácie najväčšieho horizontálneho napätia. V panónskej panve sa zdajú byť dominantné násunové zlomy, a zlomy typu horizontálnych posunov so SSV – JJZ a SV – JZ orientáciou maximálnych horizontálnych napätí. Epicentrá zemetrasení v panónskej oblasti poskytujú dosť nepresný obraz. Je pomerne zložité rozhodnúť, či sa zemetrasenia vyskytujú skôr na izolovaných miestach alebo v pozdĺžnych zónach. Bada et al. (1999) a Gerner et al. (1999) navrhli možné vysvetlenie obrazu seizmicity uvoľnením akumulovaného napätia vo viacerých existujúcich zónach oslabenia, čo zodpovedá starším tektonickým štruktúram alebo oslabeným oblastiam z dôvodu ich zloženia alebo termálneho pôvodu. Nízka seizmicita severu a východu panónskej oblasti naznačuje, že väčšina energie pochádzajúcej z relatívneho pohybu adriatickej dosky je pohltená Dinaridami a panónskou panvou. Gerner et al., (1999) stanovili uvoľnenie akumulovanej energie zemetrasenia poukazujúc na to, že táto energia je významne vyššia v panónskej panve ako v Západných Karpatoch. Tento fakt podporuje reologické modelovanie výsledkov autorov Lenkey et al., (2002), ktorí zistili, že v panónskej panve možno za krehkú časť kôry považovať len jej vrchnú 10-14 km hrubú časť.

Zlomový systém **Mur-Mürz-Leitha** predstavuje sinistrálny horizontálny posun medzi Východnými Alpami, Západnými Karpatmi a panónskou panvou (Obr. 7). Tvorí zároveň hranicu medzi stabilnou, rigídnu litosférou Českého masívu a na SV unikajúcou mikroplatňou ALCAPA (Ratschbacher et al., 1991; Peresson and Decker, 1997; Grenczy et al., 2000; Linzer et al., 2002; Konečný et al., 2002). Aktívne zlomy prevažne predstavujú reaktivované miocénne štruktúry (Decker et al., 2005). Priemerná rýchlosť sinistrálneho posunu je okolo 1–2 mm/rok (Grenczy et al., 2000; Decker et al., 2005). Seizmická aktivita spojená so zlomovým systémom je mierna s fokálnymi hĺbkami väčšinou menej ako 12 km. Seizmická aktivita je sústredená do hĺbok približne 30-40 km širokého pruhu pozdĺž zlomového systému (Hinsch and Decker, 2003). Kôrové a litosferické charakteristiky okolia zlomového systému MML sa významne líši od charakteristiky vnútorných častí panónskeho panvového systému. Hrúbka kôry presahuje 32 km (Horváth, 1993), zatiaľ čo hrúbka litosféry presahuje 120 km a predstavuje viac ako dvojnásobok minimálnej hrúbky v panónskej panve (približne 60 km). Tepelný tok (50–70 mW/m²) predstavuje len asi polovicu jeho hodnoty v panónskej panve (Lenkey et al., 2002). GPS merania poukazujú na zreteľnú kontrakciu a naznačujú, že pohyb mikroplatne ALCAPA sa v tejto oblasti absorbuje (Grenczy, 2002).



Obr. 7: Tektonický náčrt mapy horizontálnych zlomov na okraji viedenskej panvy (VBTF) a MML medzi Alpami a Karpatmi (Hinsch & Decker 2003). Štruktúrne mapy znázorňujú (a) recentnú kinematiku a orientácie maxima horizontálnych napätí a (b) seizmicitu pozdĺž zlomovej zóny. VIE, Viedenská panva typu pull-apart; MU zlom Mur–Murz; LA zlom Lavantalsky; GA, haličský násunový systém.

Analýzy autorov Bus et al., (2009) prezrádzajú, že v centrálnej panónskej oblasti je rýchlosť geodetickej deformácie významne vyššia ako rýchlosť seizmickej deformácie. Na základe oslabenia litosféry, napätových magnítud a regionálneho charakteru seizmicity navrhujú nízke hodnoty pomeru rýchlosti seizmickej/geodetickej deformácie priradiť aseizmickému uvoľneniu prevládajúceho kompresného napätia a nie oneskorenému veľkému zemetraseniu. V zóne Mur-Mürz-Leitha sa zdá byť seizmická zložka deformácie výrazne vyššia, hoci miera neistoty pomeru rýchlosti seizmickej/geodetickej deformácie je vysoká. Tieto výsledky odrážajú rôzny mechanizmu deformácie, rôznu reológiu a rôzny tektonický štýl skúmaných oblastí (Obr. 8).

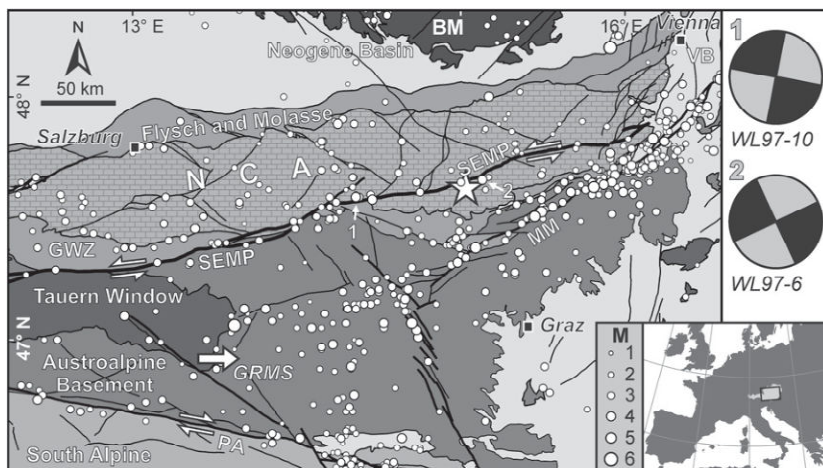


Obr. 8: Kinematika seizmogénnej zóny Mur-Mürz a MMH- panónskej seizmogénnej zóny. Znáznornené je maximum hlavných uniformných napätových osí a relatívne posuny v dvoch oblastiach. Znáznornené sú tiež zmeny dĺžky posunov získaných z GPS pre dva vektory preklenujúce centrálnopanónsku oblasť (Bus et al. 2009).

Plan et al., (2010) uvádza, že zlom **Salzachthal-Ennstal-Mariazell-Puchberg** (SEMP), hlavný zlomový systém v európskych Alpách je aktívny (Obr. 9). Ovplyvnil laterálnu extrúziu centrálnej časti Východných Álp smerom k panónskej panve. Hlavná tektonická aktivita tohto zlomu spadá do obdobia oligocénu a miocénu. Poškodené kvaple z jaskyne krasového masívu v oblasti Hochschwab (Štajersko, Rakúsko) zahŕňajú masívne sintre porušené zlomom. Supeprozícia mladších sintrových vrstiev umožňuje ohraničenie časového rámca tektonických udalostí použitím U/Th datovania. Najmladší sinter neporušenej generácie má asi 118 tisíc rokov (koniec posledného interglaciálu) a najstaršia vrstva po udalosti porušenia má asi 9 tisíc rokov (raný holocén). Tektonická udalosť ohraničená týmito vrstvami súhlasí s prerušením rastu počas poslednej doby ľadovej a korešponduje s vysokou alpskou polohou tejto jaskyne. Geologické dôkazy vylučujú iný, ako tektonický mechanizmus deformácie. Tieto nové údaje sa zhodujú s vektorom kontinuálnych GPS meraní ako aj s prístrojovo nameranými seizmickými údajmi a spolu dokladajú, že SEMP je aktívny zlom a že laterálna extrúzia východných Álp pokračuje.

Speleotémy a morfológia jaskyne Hirschgruben podávajú dôkaz o ~25 cm posune pozdĺž VSV sinistrálneho zlomu, ktorý je časťou zlomovej zóny SEMP. U/Th datovanie kalcitu pred a po tektonickej udalosti po prvý raz poskytuje absolútne datovanie časového rámca pred touto tektonickou udalosťou, teda medzi 118 tisíc rokov (koniec posledného interglaciálu) a približne 9 tisíc rokov. Keďže iný, ako tektonický mechanizmus môžeme vylúčiť, tieto údaje potvrdzujú, že SEMP je aktívny zlom. Seizmické údaje a vektory staníc GPS túto interpretáciu podporujú a dokazujú, že extrúzia východných Álp je pokračujúcim procesom. Tektonicky porušené kvaple prinášajú jedinečné kvantitatívne obmedzenie neotektonickej aktivity predovšetkým v horkých oblastiach, kde činnosť ľadovcov

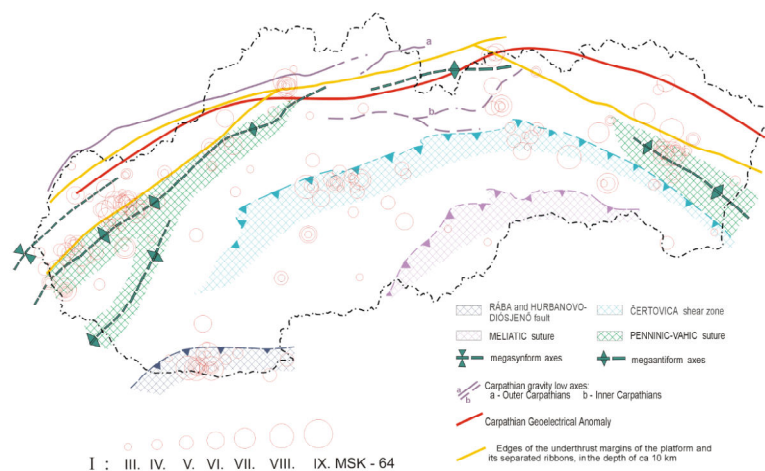
a intenzívna erózia zahladili geomorfologické dôkazy recentnej zlomovej aktivity na povrchu. V súčasnosti uznávaný kôrový napäťový režim vo väčšine Alpskej oblasti (Burkhard & Grünthal 2009) ja založený na veľkom súbore údajov fokálnych mechanizmov (Pavoni 1987; Deichmann 1992a; Grünthal & Stromeier 1992; Kastrup 2002; Pavoni et al. 1997). Zlomy sú prevažne horizontálne posuny. Existuje niekoľko málo oblastí s prevládajúcim extenzným mechanizmom, lokálne sú tiež pozorované násuny. Pozdĺž oblúka západných Álp existuje dobrá korelácia medzi topografiou a typom zlomov. Táto korelácia naznačuje príčinnú súvislosť medzi topografickým zaťažením a seizmicitou; pozorovaná súvislosť pripomína gravitačný kolaps pohoria (Avouac & Burov 1996).



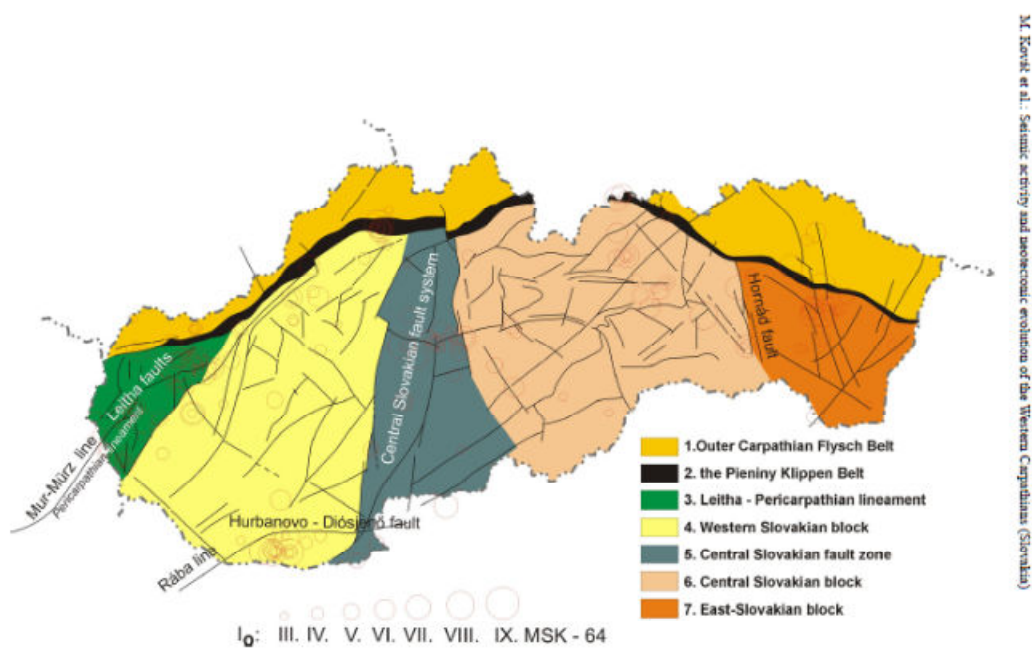
Obr. 9: Geologická mapa Východných Álp. SEMP—zlom Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg, PA—periadriatický zlom, MM—zlom Mur-Mürz, BM—Český Masív, GWZ—Grauwacken zóna, —severné vápencové Alpy, VB—Viedenská panva. Kruhy indikujú epicentrá zemetrasných udalostí od 1900 (Reinecker and Lenhart, 1999). Priemer symbolov je úmerný magnitúdam. Jednoduché šípky indikujú východný smer pohybu 1.0 ± 0.6 mm/a stanice GPS GRMS vo vzťahu k Českému masívu (Grenerczy et al., 2005). Párové polo-šípky ukazujú sme strihu SEMP a PA. Jaskyňu Hirschgruben označuje biela hviezda. Dva diagramy fokálneho mechanizmu dostupné z SEMP indikujú sinistrálny posun V – VSV orientovaných zlomov. (Reinecker and Lenhart, 1999); podľa Plan et al. 2010.

Seizmická aktivita **Západných Karpát** úzko súvisí s reologickými vlastnosťami kôry, ako aj s štruktúrnym modelom jej tektonickej stavby (Kováč et al. 2002). Štruktúrny model pohoria poukazuje na kombináciu prinajmenšom dvoch štruktúrnych prvkov rôznych vekov. Najstarší mezozoický obraz predstavujú najmä paleoalpínske sutúrne zóny (Obr. 10). Neoalpínske zlomové systémy (Obr. 11), predovšetkým zlomové zóny horizontálnych posunov rozdeľujú orogén na bloky s rôznou hrúbkou kôry a litosféry a predstavujú tak významné rozhrania z hľadiska seizmického ohrozenia.

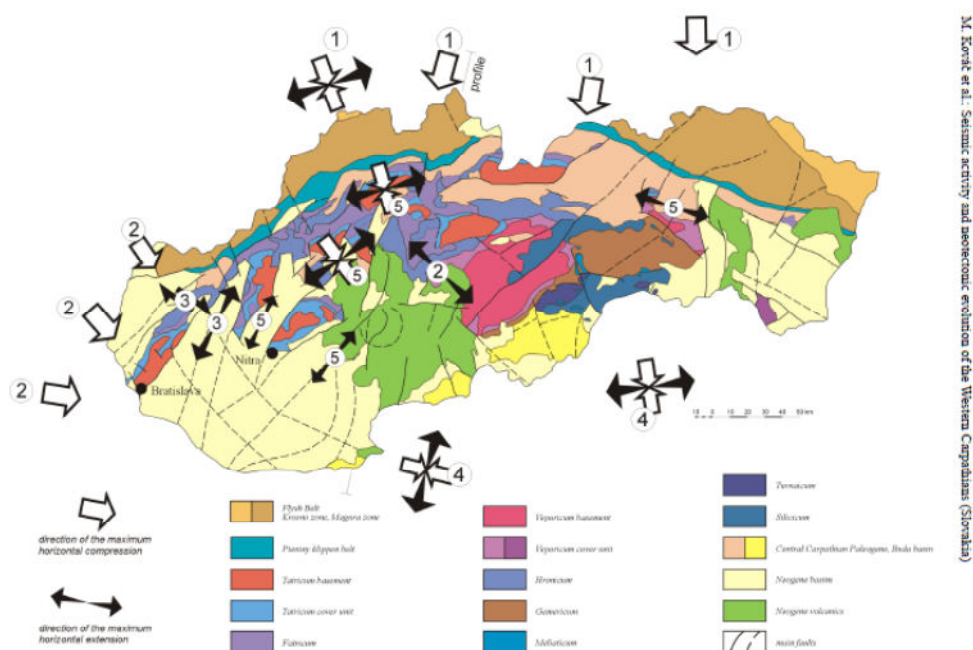
Recentné tektonické režimy sú kontrolované súčasným napäťovým poľom a vertikálnymi pohybmi (Obr. 12). Ak vezmeme do úvahy všetky vyššie spomenuté údaje ohľadne siezmicity, tektoniky atď., môžeme vyvodiť záver že najrizikovejšou oblasťou je styčná zóna Východných Alp a Západných Karpát (MML) a jej predĺženie smerom ku Karpatom. Zvyšok Západných Karpát v súčasnosti nepredstavuje významu seizmoaktívnu oblasť, vďaka prevládajúcemu extenznému tektonickému režimu, kde prevládajú poklesy v dôsledku izostatického výzdvihu pohoria. Podobné črty boli pozorované aj v Alpách (Burkhard & Grünthal 2009) a možno ich považovať za „gravitačný kolaps“. Niekoľko dôkazov pre tento fenomén sa našlo vo všetkých veľkých pohoriach sveta (Dewey 1988).



Obr. 10: Mapa sutúr a hlavných zón skrátenia v Západných Karpatoch (Plašienka et al., 1997a) a porovnanie s epicentrami makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska v období 1034–1990 (Labák & Brouček, 1996). Šrafované plochy kontúrujú hĺbkový dosah spodných jednotiek do hĺbky asi 5 km pod predterciérnym povrchom.



Obr. 11: Mapa nealpínskeho zlomového systému a neotektonických oblastí (blokov) Slovenska (Hók et al., 1997; Hók & Kováč, 1999) porovnané s epicentrami makroseizmicky pozorovaných zemetrasení pre oblasť Slovenska v období 1034–1990 (Labák & Brouček, 1996).



Obr. 12: Recentná mapa napätového poľa Slovenska (Hók et al., 2000). Čísla v kruhoch: meral: 1) – Jarosinski (1997), in-situ merania z vrtov a fokálne mechanizmy; 2) – Pospíšil et al.(1992), fokálny mechanizmus zemetrasenia; 3) – Labák et al. (1997), fokálny mechanizmus zemetrasenia; 4) – Gerner (1992), in-situ merania z vrtov; 5) interpretácia analýzy napätového poľa tektonicky porušených pliocénnych a pleistocénnych hornín.

Zhrnutie

Neotektonické obmedzenia definujúce seizmický zdroj v kontexte neoalpínskej kolízie orogénu s platformou a vývoja panónskeho panvového systému so zohľadnením vstupu súčasnej seizmicity boli základom široko škálovému rozčlenenia okolia Slovenska s možným seizmickým ohrozením na: Český masív, Východné Alpy a Západné Karpaty (SEMP – MML) a panónsky panvový systém (MHL). Budúce štúdie by mali byť zamerané na presnú definíciu tektonického a štruktúrneho vývoja jednotlivých vyššie uvedených jednotiek, detailnú analýzu depocentier panónskeho panvového systému, ako aj menších paniev orogénneho pásma, ďalej na diskusiu o možných príčinách a zdrojoch vulkanickej aktivity, definíciu miocénnych mikroplatiní, sutúr a pohyblivých zón. Interdisciplinárny prístup využívajúci okrem geológie a geofyziky tiež geomorfologické metódy a GPS merania by mal pomôcť v budúcnosti pripraviť podrobnejšiu bázu pre definitívne zhodnotenie seizmického ohrozenia.

ROZŠÍŘENÁ LITERATÚRA ZAOBERAJÚCA SA DANOU PROBLEMATIKOU:

AVOUAC, J.P. & BUROV, E.B. 1996: Erosion as a driving mechanism of intracontinental mountain growth. *Journal of Geophysical Research* 101/B8, 17747–17769.

BADA, G., HORVÁTH, F., CLOETINGH, S., COBLENTZ, D.D. & TÓTH, T., 2001. The role of topography induced gravitational stresses in basin inversion: the case study of the Pannonian basin. *Tectonics* 20, 343–363.

BADA, G., HORVÁTH, F., GERNER, P., FEJES, I. 1999: Review of the present day geodynamics of the Pannonian basin: progress and problems, *Geodynamics* 27, 501–527

BADA, G., HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZAFIÁN, P., WINDHOFFER, G. & CLOETINGH, S 2007: Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. *Global and Planetary Change*, 58, 165–180.

BALLA Z., 1994: Basement tectonics of the Danube Lowlands. *Geol. Carpath.*, 45, 271–281.

BECKER A., 1993: An attempt to define a „neotectonic period“ for central and northern Europe. *Geol. Rundschau*, 82, 67–83.

BEZÁK V., ŠEFARA J., BIELIK M. & KUBEŠ P., 1987: Model of the Western Carpathian lithosphere. In: Grecula P., Hovorka D. & Putiš M. (eds): *Geological evolution of the Western Carpathians*. Mineralia Slov. – Monograph, Bratislava, 25–34.

BIELIK, M., KLOSKA, K., MEURERS, B., ŠVANCARA, J., WYBRANIEC, S., AND CELEBRATION 2000 POTENTIAL FIELD WORKING GROUP: FANCSIK, T., GRAD, M., GRAND, T., GUTERCH, A., KATONA, M., KRÓLIKOWSKI, CZ., MIKUŠKA, J., PAŠTEKA, R., PETECK, Z., POLECHOŇSKA, O., RUESS, D., SZALAI OVÁ, V., ŠEFARA, J. AND VOZÁR, J. 2006: Gravity anomaly map of the CELEBRATION 2000 region, *Geol. Carpath.*, 57, 3, 145–156.

BURKHARD, M. & GRÜNTAL, G. 2009: Seismic source zone characterization for the seismic hazard assessment project PEGASOS by the Expert Group 2 (EG1b), *Swiss J. Geosci.* 102, 149–188

BUS, Z., GRENERCZY, GY., TÓTH, L. & MÓNUS, P. 2009: Active crustal deformation in two seismogenic zones of the Pannonian region — GPS versus seismological observations. *Tectonophysics*, 474, 343–352

CAPORALI, A., MARTIN, S. & MASSIRONI, M., 2003: Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS network — II. Strain rate versus seismicity and structural geology. *Geophysical Journal International* 155 (1), 254–268.

CSONTOS L., NAGYMAROSY A., HORVÁTH F. & KOVÁČ 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.

CSONTOS, L., & VÖRÖS, A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 210, 1– 56

DECKER, K., PERESSON, H., HINSCH, R., 2005: Active tectonics and Quaternary basin formation along the Vienna Basin Transform fault. *Quaternary Science Reviews* 24, 305–320.

DEICHMANN, N. 1992A: Recent seismicity of the northern Alpine foreland of Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 85/3, 701–705.

DEWEY, J.F. 1988: Extensional collapse of orogens. *Tectonics* 7/6, 1123–1139.

DOWGIALLO J., 1991: Geothermal systems of the Sudetes. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, A-19, 251–264.

DUDEK, A., 1980: The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia. *Rozprawy. Českosloven-ské Akademie Věd* 90, 1–85.

EDEL, J.B. & WEBER, K., 1995: Cadomian terranes, wrench faulting and thrusting in the Central-Europe Variscides — Geophysical and geological evidence. *Geologische Rundschau* 84 (2), 412–432.

EGGER, H., KRENMAYR, H.G., MANDL, G.W., MATURA, A., NOWOTNY, A., PASCHER, G., PESTAL G., PISTOTNIK J., ROCKENSCHAUB M. & SCHNABEL, W. 1999: Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1: 1500000. *Geol. Bundesanst., Wien*.

ELIÁŠ M., SCHNABEL W. & STRÁNÍK Z., 1990: Comparison of the Flysch Zone of the Eastern Alps and the Western Carpathians based on recent observations. In: Minaříková D. & Lobitzer H., (eds): Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. *Fed. Geol. Surv., Vienna, Geol. Surv., Prague*, 37–46.

FAUPL P. & WAGREICH M., 1992: Cretaceous flysch and pelagic sequences of the Eastern Alps: Correlations, heavy minerals, and palaeogeographic implications. *Cret. Research*, 13, 387–403.

FAUPL P. & WAGREICH M., 2000: Late Jurassic to Eocene palaeogeography and geodynamic evolution of the Eastern Alps. *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 92, 79–94.

FRANKE, W., 2000: The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. *Geological Society Special Publication* 179, 35–56.

FRIEBE, J. G. 1993: Sequence stratigraphy in a mixed carbonatesiliciclastic depositional system (Middle Miocene; Styrian Basin, Austria). *Geologische Rundschau*, 82, 281–294.

FROITZHEIM, N. & MANATSCHAL, G. 1996: Kinematics of Jurassic rifting, mantle exhumation, and passive-margin formation in the Austroalpine and Penninic nappes (eastern Switzerland). *Bull. Geol. Soc. Amer.* 108, 1120–1133.

FROITZHEIM, N., SCHMID, S.M. & FREY, M. 1996: Mesozoic paleogeography and the timing of eclogite-facies metamorphism in the Alps: A working hypothesis. *Eclogae Geol. Helv.* 89, 81–110.

FÜLÖP J., BRESZNYÁNSZKY K. & HAAS J. 1987: The new map of the Pannonian basin basement in the Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 30, 3–20.

FUSÁN O., BIELY A., IBRMAJER J., PLANČÁR J. & ROZLOŽNÍK L., 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát (Basement of the Tertiary of the Inner West Carpathians). *GÚDŠ, Bratislava*, 1–103.

GERNER, P. 1992: Recent stress field in Transdanubia (Western Hungary). *Földtani Közlöny*, 122, 89–105.

GERNER, P., BADA, G., DÖVÉNYI, P., MÜLLER, B., ONCESCU, M.C., CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., 1999: Recent tectonic stress and crustal deformation in and around the Pannonian Basin: data and models. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Séranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Special Publications, vol. 156. Geological Society, London, pp. 269–294.

GRAD, M., BRÜCKL, E., MAJDÁNSKI, M., BEHM, M., GUTERCH, A. AND CELEBRATION 2000 AND ALP 2002 WORKING GROUPS 2009: Crustal structure of the Eastern Alps and their foreland: seismic model beneath the CEL10/Alp04 profile and tectonic implications. *Geophys. J. Int.*, 177, 279–295

GRECULA P. & ROTH Z., 1978: Kinematický model Západních Karpat v souborném řezu (Kinematic model of the West Carpathians). *Sbor. Geol. Věd, Geologie*, 32, 49–73.

GRENERCZY, G., 2002: Tectonic processes in the Eurasian–African plate boundary zone revealed by space geodesy. In: Stein, S., Freymueller, J.T. (Eds.), *Plate Boundary Zones*. AGU Geodynamics Series, vol. 30. American Geophysical Union, 67–86.

GRENERCZY, GY., FEJES, I. AND KENYERES, A. 2002: Present crustal deformation pattern in the Pardi Region: constraints from Space Geodesy. — In: CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., BADA, G. and LANKREIJER, A., (eds) *Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system*. — EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3, pp. 35–67.

GRENERCZY, GY., KENYERES, A., 2005: Crustal deformation between Adria and the European Platform from space geodesy. In: Pinter, N., Grenerczy, Gy., Weber, J., Stein, S., Medak, D. (Eds.), *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards*. NATO ARW Series, vol. 61. Kluwer Academic Publishers, pp. 321–334.

GRENERCZY, GY., KENYERES, A., FEJES, I., 2000: Present crustal movement and strain distribution in Central Europe inferred from GPS measurements. *Journal of Geophysical Research* 105, 21835–21846.

GROSS, M. 2003: Beitrag zur Lithostratigraphie des Oststeirischen Beckens (Neogen/Pannonium; Österreich). Österreichische Akademie der Wissenschaften, Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen, 16, 11–62

GRÜNTAL, G. & STROMEYER, D. 1992: The recent crustal stress field in central Europe – trajectories and finite-element modeling. *Journal of Geophysical Research* 97/B8, 11.805–11.820.

GRUNTORÁD J. & LHOTSKÁ Z., 1973: Geophysical research into neovolcanic rocks of the Nízky Jeseník Mts. In: *Geophysical Survey in the Jeseníky Mts.*, Charles University, Prague, 56–74 (in Czech).

GUY, A., EDEL, J-B., SCHULMANN, K., TOMEK, Č. & LEXA, O. 2011: A geophysical model of the Variscan orogenic root (Bohemian Massif): Implications for modern collisional orogens. *Lithos*, 124, 144–157.

HAAS, J., HAMOR, G., JAMBOR, A., KOVACS, S., NAGYMAROSY, A. & SZENDERKENYI, T. 2001: *Geology of Hungary*, Eötvös University Press, Budapest, 317pp.

HALÁSOVÁ, E., HUDÁČKOVÁ, N., HOLCOVÁ, K., VASS, D., ELEČKO, M. & PERESZLÉNYI, M. 1996: Sea ways connecting the Filakovo - Petervasara Basin with the Eggenburgian/Burdigalian open sea. *Slovak Geological Magazine*, 2, 125–136.

HAMILTON W., JIŘÍČEK R. & WESSELY G., 1990: The Alpine-Carpathian floor of the Vienna Basin in Austria and ČSSR. In: Minaříková D. & Lobitzer H. (eds): Thirty years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia. *Fed. Geol. Surv., Vienna, Geol. Surv., Prague*, 46–55.

HARZHAUSER, M. & PILLER W. E. 2004: Integrated stratigraphy of the Sarmatian (Upper Middle Miocene) in the western Central Paratethys. *Stratigraphy*, 1, 65–86.

HINSCH, R. & DECKER, K., 2003: Do seismic slip deficits indicate an underestimated earthquake potential along the Vienna Basin Transfer Fault System? *Terra Nova* 15 (5), 343–349.

HINSCH, R., DECKER, K., 2003: Do seismic slip deficits indicate an underestimated earthquake potential along the Vienna Basin Transfer Fault System? *Terra Nova* 15 (5), 343–349.

HÓK J., KOVÁČ M., KOVÁČ P., NAGY A. & ŠUJAN M., 1999: Geology and tectonics of the NE part of the Komjatice Depression. *Slovak Geol. Mag.*, 5, 187–199.

HÓK, J., BIELIK, M., VANKO, J., KOVÁČ, P., AND ŠUJAN, M. 2000: Neotectonic character of Slovakia (in Slovak, English summary). *Mineralia Slovaca*, 32, 459–470.

HÓK, J., KOVÁČ, P., MADARÁS, J., MAGLAY, J., KOVÁČ, M., BARÁTH, I., SABOL, I., SLÁVIK, M., AND LUKAJ, M. 1997: Neotectonic and geomorphological evolution of the territory of Slovakia, part Geology (in Slovak). Manuscript report, *Geol. Surv. Slov. Rep.*, Bratislava, 1–77.

HORVÁTH F., 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 226, 333–357.

HORVÁTH, F. & CLOETHING, S. 1996: Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian Basin. — *Tectonophysics*, 266, pp. 287–300.

HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1984: The Pannonian basement: extension and subsidence of an alpine orogene. — *Acta Geol. Hungarica* 27, pp. 229–235.

HORVÁTH, F., 1993: Towards a mechanical model of the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics* 226, 333–357.

HORVÁTH, F., BADA, G., WINDHOFFER, G., CSONTOS, L., DÖVÉNYI, P., FODOR, L., GRENERCZY, G., SÍKHEGYI, F., SZAFIÁN, P., SZÉKELY, B., TÍMÁR, G., TÓTH, L. & TÓTH, T., 2005: Atlas of the presentday geodynamics of the Pannonian Basin: Euroconform maps with explanatory text. http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm.

HORVÁTH, F., SZALAY, A., DÖVÉNYI, P. & RUMPLER, J. 1986: Structural and thermal evolution of the Pannonian basin: An overview. In: Burrus, J. (ed.) *Thermal Modelling in Sedimentary Basins*. Editions Technip, Paris, 339–358.

HRUBCOVÁ, P., SRODA, P., GRAD, M., GEISLER, W. H., GUTERCH, A., VOZÁR, J., HEGEDÜS, E. & SUDETES 2003 WORKING GROUP 2010: From the Variscan to the Alpine Orogeny: crustal structure of the Bohemian Massif and the Western Carpathians in the light of the SUDETES 2003 seismic data *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04766.x

HRUŠECKÝ I. 1999: Central part of the Danube Basin in Slovakia: Geophysical and geological model in regard to hydrocarbon prospection. *Explor. Geophys., Remote Sensing and Environment* 6, 1, 2—55.

HRUŠECKÝ I., 1999: Central part of the Danube basin in Slovakia: geophysical and geological model in regard to hydrocarbon prospection. *Explor. Geophys. Remote Sens. Environ.*, 6, 2—55.

HRUŠECKÝ I., PERESZLÉNYI M., HÓK J., ŠEFARA J. & VASS D., 1993: Stavba podunajskej panvy vo svetle interpretácie nových a reinterpretácie starších geofyzikálnych údajov (The Danube Basin geological pattern in the light of new and reinterpretation of older geophysical data). In: Rakús M. & Vozár J. (eds): *Geodynamický model a hlbinná stavba Západných Karpát* (Geodynamic model and deep structure of the Western Carpathians). GÚDŠ, Bratislava, 291—296.

JÁMBOR, A . 1989: Review of the geology of the s. l. Pannonian formations of Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 32, 269—324.

JAROSINSKI, M. 1997: Distribution of the contemporary stress field in the western part of the Polish Outer Carpathians (in Polish). *Przegląd Geologiczny*, 45, 768—776.

JETEL J. & RYBÁŘOVÁ L., 1979: Mineral Waters of North Moravian Province. Ústřední ústav geologický (Czech Geological Survey), Prague (in Czech)

KALVODA, J., BABEK, O., FATKA, O., LEICHMANN, J., MELICHAR, R., NEHYBA, S. & SPAČEK, P., 2008: Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. *International Journal of Earth Sciences* 97 (3), 497—518.

KASTRUP, U. 2002: Seismotectonics and stress field variations in Switzerland. Unpubl. PhD thesis, ETH Zürich.

KILÉNYI E. & ŠEFARA J. (EDS), 1989: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. Eötvös Lóránd Geophys. Inst., Budapest, Hungary.

KOLLER F. & HÖCK V., 1992: The Mesozoic ophiolites in the Eastern Alps: A review. In: Neubauer F. (ed.): *The Eastern Central Alps of Austria. ALCAPA Field Guide*, Graz, 115—125.

KOLLMANN, K. 1965: Jungtertiär im Steirischen Becken. *Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien*, 57, 479—632.

KONEČNÝ, V., KOVÁČ, M., LEXA, J. & ŠEFARA, J. 2002: Neogene evolution of the Carpatho – Pannonian region: an interplay of subduction and back-arc diapiric uprise in the mantle. *EGS Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.* 1, 105-123.

KÖROÖSSY, L. 1988: Hydrocarbon geology of the Zala Basin in Hungary. *Altalános Földtani Szemle*, 23, 3—162.

KÖROÖSSY, L. 1989: Hydrocarbon geology of SE Transdanubia, Hungary. *Altalános Földtani Szemle*, 24, 3—122.

KOSI, W., SACHSENHOFER, R. F. & SCHREILECHNER, M. 2003: High resolution sequence stratigraphy of Upper Sarmatian and Pannonian Units in the Styrian Basin, Austria. *Oesterreichische Akademie der Wissenschaften, Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen*, 16, 63—86.

KOVÁČ , M., HOLCOVÁ , K. & NAGYMAROSY, A. 1999: Paleogeography, paleobathymetry and relative sea-level changes in the Danube Basin and adjacent areas. *Geologica Carpathica*, 50, 325–338.

KOVÁČ M., SYNÁK R., FORDINÁL K., JONIAK P., TOTH CS., VOJTKO R., NAGY A., BARÁTH I., MAGLAY J. & MINÁR J. 2011: Late Miocene and Pliocene history of the Danube Basin: inferred from development of depositional systems and timing of sedimentary facies changes. *Geol. Carpathica* 62, 6, Doi 10.2478/v10096-011-0037-4.

KOVÁČ P. & HÓK J., 1993: The Central Slovak Fault System – the field evidence of a strike-slip. *Geol. Carpath.*, 44, 155–159.

KOVÁČ P. & HÓK J., 1996: Tertiary development of the western part of Klippen Belt. *Slovak Geol. Mag.*, 2/96, 137–149.

KOVÁČ, M. & MÁRTON, E. 1998: To rotate or not to rotate: Palinspastic reconstruction of the Carpatho - Pannonian area during the Miocene. *Slovak. Geol. Mag.*, 4, 2, 75-85.

KOVÁČ, M. & PLAŠIENKA, D. et al. 2002: Geological structure of the Alpine – Carpathian – Pannonian junction and neighbouring slopes of the Bohemian Massif. Comenius University Bratislava, 5-84. (ISBN 80-223-1700-4).

KOVÁČ, M., BARÁTH, I., HARZHAUSER, M., HLAVATÝ, I. & HUDÁČKOVÁ, N. 2004: Miocene depositional systems and sequence stratigraphy of the Vienna Basin. *Cour. Forsch. – Inst. Senckenberg*, Frankfurt am Main, 246, 187-212.

KOVÁČ, M., BIELIK, M., HÓK, J., KOVÁČ, P., LABÁK, P., MOCO, P., PLAŠIENKA, D., ŠEFARA, J. & ŠUJAN, M. 2002: Seismic activity and neotectonic evolution of the Western Carpathians (Slovakia). *EGS Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.* 3, 167-184.

KOVÁČ, M., KRÁL, J., MÁRTON, E., PLAŠIENKA D. & UHER P. 1994: Alpine uplift history of the Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic, sedimentary and structural data. *Geol. Carpath.*, 45, 2, 83-97.

KOVÁČ, M., LEXA, J., KONEČNÝ, V. & ŠEFARA, J. 2002: Geodynamic evolution of the Carpathian – Pannonian region during the Neogene. *Geol. Carpath.*, 53, spec. issue, 1-2.

KREJČÍ O. & STRÁNÍK Z., 1993: Tektogeneze flyšového pásma na jižní Moravě (Tectogenesis of the Flysch Belt in southern Moravia). In: Hamršíd B. (ed.): *Nové výsledky v terciéru Západních Karpat* (New results from the Tertiary of the western Carpathians). *Sborník referátů z 11. konference o mladším terciéru* (Brno, 27.–28.4.1992). *Knihovnička ZPN*, 21–32.

KREJČÍ O. et al., 1996: Geodynamický model styku Českého masívu a Karpat (Geodynamic model of the Bohemian Massif – Carpathians junction). *Zpráva za roční etapu 1995*, MS, Archiv ÚÚG, Praha.

KVĚT R. & KAČURA G., 1976: Mineral Waters of South Moravian Province. Ústřední ústav geologický (Czech Geological Survey), Prague (in Czech).

KVĚT R. & KAČURA G., 1978: Mineral Waters of North Moravian Province. Ústřední ústav geologický (Czech Geological Survey), Prague (in Czech).

LABÁK, P. & BROUČEK, I. 1996: Catalogue of macroseismically observed earthquakes on the territory of Slovakia (version 1996, in Slovak). Manuscript, Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci., Bratislava, 15p.

LABÁK, P., BYSTRICKÁ, A., MOCZO, P., & ROSENBERG, L. 1997: Probabilistic seismic hazard computation for the Bohunice Nuclear Power Plant site. Manuscript, Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci., Bratislava, 3–20.

LABÁK, P., BROUČEK, I., GUTDEUTSCH, R., & HAMMERL, CH. 1996: The June 5, 1443 Central Slovakia earthquake. ESC XXV General Assembly, Abstracts, Reykjavik, p. 141.

LANKREIJER A., KOVÁČ, M., CLOETINGH, S., PITONÁK, P., HLÔŠKA, 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.

LENKEY, L., DÖVÉNYI, P., HORVÁTH, F. & CLOETHING, S.A.P.L., 2002: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. EGU Stephan Mueller Special Publication Series, vol. 3, pp. 29–40.

LEXA J., KONEČNÝ V., KALIČIAK M. & HOJSTRÍČOVÁ V., 1993: Distribúcia vulkanitov karpatsko-panónskeho regiónu v priestore a čase (Distribution of volcanics in the Carpathian-Pannonian region in space and time). In: Rakús M. & Vozár J. (eds): Geodynamický model a hlbinná stavba Západných Karpát (Geodynamic model and deep structure of the Western Carpathians). Konf. Symp. Sem., GÚDŠ Bratislava, 57–69.

LINZER H.-G., RATSCHBACHER L. & FRISCH W., 1995: Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. *Tectonophysics*, 242, 41–61.

LINZER, H., DECKER, K., PERESSON, H., DELL'MOUR, R. & FRISCH, W., 2002: Balancing lateral orogenic float of the Eastern Alps. *Tectonophysics* 354, 211–237.

MAGYAR I., GEARY D.H. & MÜLLER P. 1999: Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 147, 151–167.

MAHEĽ M., 1981: Island character of Klippen Belt; Vahicum – continuation of southern Penninicum in West Carpathians. *Geol. Zbor. – Geol. Carpath.*, 32, 293–305.

MAHEĽ M., 1986: Geologická stavba československých Karpát. 1 – Paleoalpínske jednotky (Geological structure of Czechoslovak Carpathians. 1 – Palealpine units). Veda, Bratislava, 503 s.

MÁRTON, E. & FODOR, L. 2003: Tertiary paleomagnetic results and structural analysis from the Transdanubian Range (Hungary): rotational disintegration of the Alcapa unit. *Tectonophysics* 363, 201– 224

MÁRTON, M., TISCHLER, M., CSONTOS, L., FÜGENSCHUH, B. & SCHMID, S.M. 2007: The contact zone between the ALCAPA and Tisza-Dacia megatectonic units of Northern Romania in the light of new paleomagnetic data. Birkhäuser Verlag, Basel, 2007, Swiss j. geosci., DOI 10.1007/s00015-007-1205-5

MEULENKAMP, J. E., KOVÁČ, M. AND CÍCHA, I. 1996: On Late Oligocene to Pliocene depocenter migrations and the evolution of the Carpathian - Pannonian system. *Tectonophysics*, 266, 301–317.

MIŠÍK M., 1978: Kontinentálne, brakické a hypersalinické fácie v mezozoiku Centrálnych Západných Karpát a otázka vynorených oblastí (Continental, brakish and hypersaline facies in the Mesozoic of the Central Western Carpathians and the problem of emerged areas). In: J.

Vozár ed.: Paleogeografický vývoj Západných Karpát (Paleogeographic evolution of the Western Carpathians). Konf. Symp. Sem., GÚDŠ Bratislava, 35–48.

MIŠÍK M., CHLUPÁČ I. & CÍCHA I., 1985: Stratigrafická a historická geológia (Stratigraphical and historical geology). SPN, Bratislava, 570 p.

MUSIL R., 1993: Geologický vývoj Moravy a Slezska v kvartéru (Geological evolution of Moravia and Silesia during the Quaternary). In: Přichystal A., Obstová V. & Suk M. (eds): Geologie Moravy a Slezska (Geology of Moravia and Silesia). Mor. Zem. Muz., Brno, 133–155.

NAGYMAROSY, A. 1981: Chrono- and biostratigraphy of the Pannonian basin: a review based mainly on data from Hungary. *Earth Evolution Science*, 1, 183–194.

NEMČOK, M. 1993: Transition from convergence to escape: field evidence from the West Carpathians, *Tectonophysics*, 217, 117–142.

NEMČOK, M., MARKO, F., KOVÁČ, M. & FODOR, L. 1989: Neogene tectonics and paleostress changes in the Czechoslovakian part of the Vienna Basin. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 132, 443–458.

NEUBAUER F., DALLMEYER R.D. & TAKASU A., 1999: Conditions of eclogite formation and age of retrogression within the Siegraben unit, Eastern Alps: Implications for Alpine-Carpathian tectonics. *Schweiz. Mineral. Petrol. Mitt.*, 79, 297–307.

NEUBAUER F., MÜLLER W., PEINDL P., MOYSCHWITZ G., WALLBRECHER E. & THÖNI M., 1992: Evolution of Lower Austroalpine units along eastern margins of the Alps. In: Neubauer F. (ed.): *The Eastern Central Alps of Austria. ALCAPA Field Guide*, Graz, 97–114.

PAHR A., 1991: Ein Diskussionbeitrag zur Tektonik des Raumes Alpenostende – Kleine Karpaten – Pannonisches Becken. In: Lobitzer H. & Császár G. (eds): *Jubiläumsschrift 20 Jahre Zusammenarbeit Österreich – Ungarn. Teil 1*, Wien, 297–305.

PAVONI, N. 1987: Zur Seismotektonik der Nordschweiz. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 80/2, 461–471.

PAVONI, N., MAURER, H.R., ROTH, P. & DEICHMANN, N. 1997: Seismicity and seismotectonics of the Swiss Alps. In: *Results of NRP 20 deep structure of the Swiss Alps* (edited by Pfiffner, O.A., Lehner, P., Heitzmann, P., Mueller, S. & Steck, A.). Birkhäuser Verlag, Basel, 24 1–250.

PÉCSKAY, Z., LEXA, J., SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I., BALOGH, K., KONEČNÝ, V., ZELENKA, T., KOVACS, M., PÓKA, T., FÜLÖP, A., MÁRTON, E., PANAIOTU C. & CVETKOVIĆ, V. 2006: Geochronology of Neogene magmatism in the Carpathian arc and intra-Carpathian area. *Geol. Carpath.*, 57, 6, 511–530.

PĚNIČKOVÁ, M. & DVOŘÁKOVÁ, V. 1985: Final report of the hydrocarbon prospection in Danube basin during 1973–1983. MS, Geophysical Institute, Brno.

PERESSON H. & DECKER K., 1996: From extension to compression: Late Miocene stress inversion in the Alpine-Carpathian-Pannonian transition area. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 41, 75–86.

PERESSON, H. & DECKER, K., 1997: The Tertiary dynamics of the northern Eastern Alps (Austria): changing palaeostresses in a collisional plate boundary. *Tectonophysics* 272, 125–157.

PLAN, L., GASEMANN, B., SPÖTL, CH., DECKER, K., BOCH, R. & KRAMERS, J. 2010: Neotectonic extrusion of the Eastern Alps: Constraints from U/Th dating of tectonically damaged speleothems *Geology*, June 2010, v. 38, p. 483-486.

PLAŠIENKA D., 1995: Pôvod a štruktúrne postavenie vrchnokriedových sedimentov v severnej časti Považského Inovca. Druhá časť: Štruktúrna geológia a paleotektonická rekonštrukcia (Origin and structural position of Upper Cretaceous sediments in the northern part of the Považský Inovec Mts. Part two: Structural geology and paleotectonic reconstruction). *Mineralia Slov.*, 27, 179–192.

PLAŠIENKA D., 1995: Mesozoic evolution of Tatric units in the Malé Karpaty and Považský Inovec Mts.: implications for the position of the Klappe and related units in western Slovakia. *Geol. Carpath.*, 46, 101–112.

PLAŠIENKA D., 1995: Cleavages and folds in changing tectonic regimes: the Veľký Bok Mesozoic cover unit of the Veporicum (Nízke Tatry Mts., Central Western Carpathians). *Slovak Geol. Mag.*, 2/95, 97–113.

PLAŠIENKA D., 1999A: Definition and correlation of tectonic units with a special reference to some Central Western Carpathian examples. *Mineralia Slov.*, 31, 3–16.

PLAŠIENKA D., 1999B: Tektonochronológia a paleotektonický model jursko-kriedového vývoja centrálnych Západných Karpát (Tectonostratigraphy and paleotectonic evolution of the Central Western Carpathians during the Jurassic and Cretaceous). *Veda*, Bratislava, 127 p.

PLAŠIENKA D., GRECUŁA P., PUTIŠ M., KOVÁČ M. & HOVORKA D., 1997A: Evolution and structure of the Western Carpathians: an overview. In: Grecula P., Hovorka D. & Putiš M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. *Mineralia Slov. – Monogr.*, Bratislava, 1–24i.

PLAŠIENKA D., PUTIŠ M., KOVÁČ M., ŠEFARA J. & HRUŠECKÝ I., 1997B: Zones of Alpidic subduction and crustal underthrusting in the Western Carpathians. In: Grecula P., Hovorka D. & Putiš M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. *Mineralia Slov. – Monogr.*, Bratislava, 35–42.

POGÁCSÁS, G., SZALAY, A., BÉRSZY, I., BARDÓCZ, B., SZALÓKI, I. & KONCZ, I. 1996: Hydrocarbons in Hungary, exploration and developments (extended abstracts). In: Wessely, G. & Liebl, W. (eds) Oil and Gas in Alpidic Thrust Belts and Basins of Central and Eastern Europe. *EAGE, Special Publications*, 5, 37–39.

POSPÍŠIL, L., BUDAY, T., AND FUSÁN, O. 1992: Neotectonic movements in the Western Carpathians (in Slovak, English summary). *Západné Karpaty, Geológia*, 16, 65–84,.

PŘICHYSTAL A., 1996: Moravskoslezské bradlové pásmo (Moravo-Silesian Klippen Belt). *Geol. Výzk. Mor. Slez.* 1995, 113–118.

PUTIŠ M., KOTOV A.B., UHER P., SALNIKOVA E.B. & KORIKOVSKY S.P., 2000A: Triassic age of the Hrončok pre-orogenic A-type granite related to continental rifting: a new result of U-Pb isotope dating (Western Carpathians). *Geol. Carpath.*, 51, 59–66.

RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., LINZER, H.G., MERLE, O., 1991: Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural analysis. *Tectonics* 10 (2), 257–271.

REINECKER J. & LENHARDT W.A. 1999: Present-day stress field and deformation in eastern Austria. *Int. J. Earth. Sci.* 88, 532–550.

ROYDEN L.H. & DÖVÉNYI P., 1988: Variations in extensional styles at depth across the Pannonian Basin System. In: Royden L.H. & Horváth F. (eds): The Pannonian Basin. AAPG Mem., 45, 235–255.

ROYDEN L.H., 1985: The Vienna basin: a thin skinned pull-apart basin. In: Biddle K.T. & Christie-Blick N. (eds): Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ. 37, Tulsa, 319–339.

ROYDEN, L. H. 1993a: The tectonic expression of slab pull at continental convergent boundaries. *Tectonics*, 12, 303–325.

ROYDEN, L. H. 1993b: Evolution of retreating subduction boundaries formed during continental collision. *Tectonics*, 12, 629–638.

SACHSENHOFER, R. F. 1996: The Neogene Styrian Basin: An overview. *Mitteilungen der Gesellschaft der Bergbaustudenten Österreichs*, 41, 19–32.

SAUER R., SEIFERT P. & WESSELY G., 1992: Guidebook to excursions in the Vienna Basin and the adjacent Alpine-Carpathian thrustbelt in Austria. *Mitt. Öster. Geol. Ges.*, 85, 264 p.

SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. 2008: The Alps-Carpathians-Dinaric orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.* 101, 139–183.

SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. 2004: Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae geol. Helv.* 97 (2004) 93–117.

SCHNABEL W., 1992: New data on the Flysch zone of the Eastern Alps in the Austrian sector and new aspects concerning the transition to the Flysch Zone of the Carpathians. *Cretaceous Res.*, 13, 405–419.

ŠPAČEK, P., SÝKOROVÁ Z., PAZDÍRKOVÁ J., ŠVARA J. & HAVÍŘ J. 2006: Present-day seismicity of the south-eastern elbe fault system (NE Bohemian Massif). *Stud. Geophys. Geod.*, 50, 233–258.

SRODA, P., CZUBA, W., GRAD, M., GUTERCH, A., TOKARSKI, A. K., JANIK, T. , RAUCH, M., KELLER, G. R., HEGEDŰS, E., VOZÁR J. AND CELEBRATION 2000 WORKING GROUP 2006: Crustal and upper mantle structure of the Western Carpathians from CELEBRATION 2000 profiles CEL01 and CEL04: seismic models and geological implications, *Geophys. J. Int.*, 167, 737–760

STAMPFLI, G. 2000: Tethyan oceans. In: WINCHESTER J.A. et al. (Eds.): *Tectonics and Magmatism in Turkey and the surrounding area*. Spec. Publ. Geol. Soc. London 173, 1–23.

SZENTGYÖRGYI, K. & JUHÁSZ, G. K. 1988: Sedimentological characteristics of the Neogene sequences in SW Transdanubia, Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 31, 209–225.

SZTANÓ, O. 1994: The tide-influenced Pétervására sandstone, Early Miocene, Northern Hungary: sedimentology, paleogeography and basin development. *Geologica Ultraiectina*, 120, 1–153.

TANAÁCS, J. & RÁLISCH, E. 1990: Kainozoós képződmények alulnézeti térképe. [Worm-eye map of the Cenozoic formations of Hungary] Hungarian Geological Institute, Budapest.

TARI G., 1995: Phanerozoic stratigraphy of the Hungarian part of the NW Pannonian Basin. In: Horváth F., Tari G. & Bokor Cs. (eds): *Hungary: extensional collapse of the Alpine orogene*

and hydrocarbon prospects in the basement and basin fill of the western Pannonian Basin. Guidebook fieldtrip No. 6, AAPG Internat. Conf. Exhib., Nice, 21–46.

TARI, G., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1992: Styles of extension in the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 208, 203–219.

TOLLMANN A., 1976: Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. Deuticke, Wien, 449 p.

TOLLMANN A., 1977: Geologie von Österreich. Bd. I: Die Zentralalpen. Deuticke, Wien, 766 p.

TOLLMANN A., 1978: Eine Serie neuer tektonischer Fenster des Wechselsystems am Ostrand der Zentralalpen. *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 68 (1975), 129–142.

TOMEK Č. & HALL J., 1993: Subducted continental margin imaged in the Carpathians of Czechoslovakia. *Geology*, 21, 535–538.

TOMEK Č., 1993: Deep crustal structure beneath the central and inner West Carpathians. *Tectonophysics*, 226, 417–431.

TOMEK, Č. & THON, A. 1988: Interpretation of seismic reflection profiles from the Vienna Basin, the Danube Basin and the Transcarpathian Depression in Czechoslovakia. *AAPG Mem.*, 45, 171–182.

TOMEK, Č., IBRMAJER, I., KORÁB, T., BIELY, A., DVOŘÁKOVÁ, L., LEXA, J., AND ZBOŘIL, A. 1989.: Crustal structures of the West Carpathians on deep reflection seismic line 2T (in Slovak, English summary). *Mineralia Slovaca*, 21, 3–26.

TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSÍROS, T., KISZELY, M. & KOSZTYU, Z., 2002b: Hungarian Earthquake Bulletin 2001. *GeoRisk*, Budapest. 77 pp.

TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSÍROS, T., KISZELY, M., 2002a: Seismicity in the Pannonian Region—earthquake data. In: Cloetingh, S., Horváth, F., Bada, G., Lankreijer, A. (Eds.), *Neotectonics and Surface Processes: the Pannonian Basin and Alpine/Carpathian System*. St. Mueller Special Publication Series, vol. 3. European Geosciences Union, Katlenburg-Lindau, Germany, pp. 9–28.

TRÜMPY, R. 1992: Ostalpen und Westalpen – Verbindendes und Trennendes. *Jb. Geol. B.-A.* 135, 875–882.

VASS, D., ELEČKO, M., ET AL. 1998: Geology of Rimavska' kotlina depression. *Slovak Geological Survey*, 5–160.

VASS, D., HÓK, J., KOVÁČ, P. & ELEČKO, M. 1993A: The Paleogene and Neogene tectonic events of the Southern Slovakia depressions in the light of the stress-field analyses. *Mineralia Slovaca*, 25, 79–92.

WACHTEL G. & WESSELY G., 1980: Die Tiefbohrung Berndorf-1 in den Östlichen Kalkalpen und ihr geologischer Rahmen. *Mitt. Österr. Geol. Gesell.*, 74/75, 127–165.

WERNICKE, G. 1985: Uniform sense simple shear of continental lithosphere. *Canadian Journal of Earth Science*, 22, 108–125.

WESSELY G., 1992: The Calcareous Alps below the Vienna Basin in Austria and their structural and facial development in the Alpine-Carpathian border zone. *Geol. Carpath.*, 43, 347–353.

ZSÍROS, T., 2000: Seismicity and seismic hazard of the Carpathian basin: Hungarian Earthquake Catalogue (456–1995). HAS GGRI. (in Hungarian).