

Oblasti karpatské litosféry se zvýšeným rizikem a geodynamickou aktivitou.

Lubomil Pospíšil¹, Jitka Mikšová² and Miroslav Kováčik³

Risk and Geodynamically active areas of Carpathian lithosphere

This paper illustrates an application of multidisciplinary data analysis to the Carpathian–Pannonian region and presents a verification of a Complex model of the Carpathian - Pannonian lithosphere by recent data sets and geophysical data analyses and its utilization for the determination of risk and active geodynamic and tectonic zones of 1st order. This model can be used for the analysing any Carpathian area from the point of view of the seismic risk, hazards and geodynamic activity, which is important to know for the building of a repository for the radioactive wasted material. Besides the traditionally used geological (sedimentological and volcanological data) and geomorphological data (Remote Sensing), an emphasis was laid on geodetic, grav/mag data, seismic, seismological and other geophysical data (magnetotelluric, heat flow, paleomagnetic etc.). All available geonomic (geologic, geodetic, geophysical, geomorphological) data were verified and unified on the basis of the same scale and in the Western Carpathians on the Remote Sensing data. The paper concentrates on two problematic areas – the so call “rebounding area” in the Eastern Carpathians and the Raba – Muran - Malcov tectonic systems.

Key words: Lithosphere, Geophysical Data; seismology, Recent vertical movements; subduction; roll back, break off; slab; collision; seismic risk, Carpathians; Pannonian Basin;

Úvod

Poslední výzkumy litosféry Karpat, založené na komplexní analýze geologických, geochemických, strukturních a geofyzikálních dat (především seismických, seismologických a magnetotelurických) umožnili sestavit model vývoje této oblasti za období od spodního miocénu až po recent.

V tomto příspěvku se zabýváme možností využití těchto geologicko-geofyzikálních poznatků pro vymezení kritických oblastí, které mohou z hlediska geodynamického a především seismotektonického, představovat největší rizika pro výstavbu nejen úložišť radioaktivního odpadu, ale všech strategických staveb.

Detailněji se zaměřujeme na vymezení zón spojených s oblastí, kde v současnosti dochází k „reboundingu“ zbytkové litosféry svázané s pasivním okrajem euroazijského kontinentu (rCFB a platforma) a významu transkurentní zóny rába line a muráňsko-malcovského systému.

Geologická charakteristika

Karpaty a východní část Východních Alp se začaly posouvat do dnešní pozice v průběhu spodního miocénu. Zbytkový oceánický typ litosféry, podstýlající okrajové flyšové bazény (rCFB) začal subdukovat v jihozápadním směru, později západním až severozápadním směru. S tímto pohybem spojená, severovýchodním až východním směrem postupující migrace rozhraní akreční desky postupně snižovala rychlost v průběhu miocénu (Nemčok, et al., 2006a).

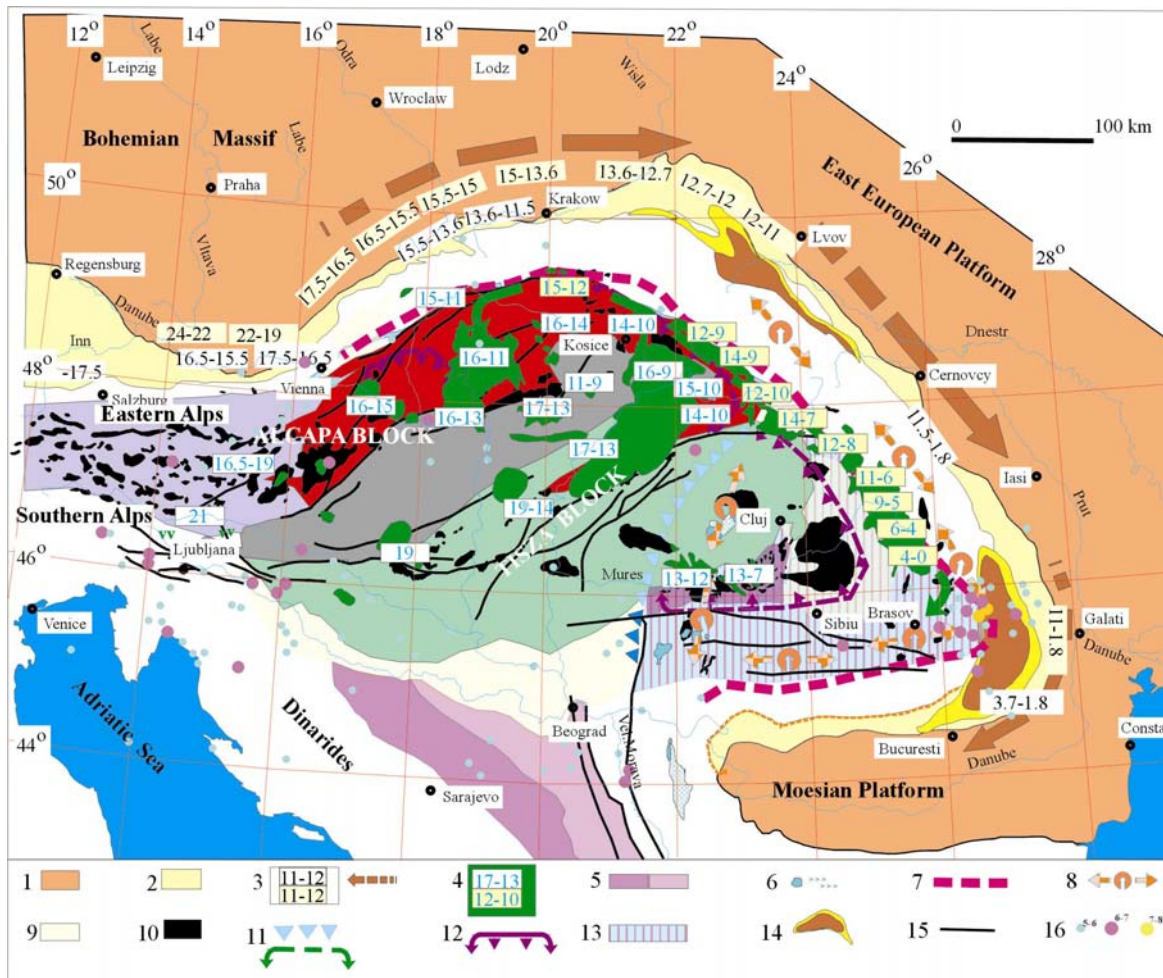
Pomalá rychlost subdukce způsobila: strmé upadání subdukující desky; v eggenburgu (22-19 mil.) došlo k zahájení extenze v orogenním zázemí s postupným vystupováním plášťových hmot; začátek explozí v kůře derivovaných vulkanických hmot nad vystupující astenosférou, s postupným mixováním s intermediárním vulkanismem spojeným s ponářející subdukující deskou; proces završuje mladý, v plášti derivovaný vulkanismus, spojený se zkracujícím se karpatským akrečním klínem (Nemčok et al., 1998, 2006a – Obr. 1).

Subdukce rCFB na konci spodního miocénu vedla ke kolizi s kontinentálním okrajem podél nejzápadnější části současného karpatského oblouku. Subdukce zpětně ustupující (roll-back) a ponářející se desky pod postupující vnitřní Karpaty, šikmé uzavírání flyšových pánví, progresivní změny procesu subdukce v kolizi od Z k V, podél východního okraje karpatského oblouku bylo řízeno postupným „odstřihnutím/odpálením“, subdukující oceánické desky (break off). Samotné odstřihnutí subdukující desky v prostoru Východních Karpat ovlivňováno vahou samotné desky a její pružností v oblastech spojených s kontinentální deskou (platformou).

¹ Lubomír Pospíšil, Ústav geodézie, FaSt, VUT Brno, Česká Republika

² Jana Mikšová, RAWRA, Praha, Česká Republika

³ Miroslav Kováčik, EN-GEO Consult, s.r.o., Bratislava, Slovenská Republika
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 8. 1. 2007)



Obr. 1. Karpatský model "roll-back" subdukce, "break-off" destrukce litosféry a následný "rebounding" interpretovaný na geologicko-geofyzikálních datech (Pospíšil, 2004; Nemčok et al., 2006).

Fig.1. Carpathian Model of the "Roll-back" type of subduction, the Break-off lithosphere destruction and following rebounding interpreted on geological and geophysical data (Pospíšil, 2004; Nemčok et al., 2006).

Vysvětlivky: 1 - platforma, 2 - předhlubeň, 3 - věky areálního vulkanismu

(roll back), 4 - věky lineárního vulkanismu (tear break off), 6 - vápenato-alkalický magmatismus (banatity, 90-60 mil),

7 - vysokovodivostní rozhraní, 8 - anomální trendy recentních vertikálních pohybů, 9 - externidy,

10 - zdroje magnetických anomálií z předterciárního podloží, 11 - osa, ve které došlo k odpálení subdukující oceánické litosféry,

12 - 13 - vymezení zbytkové části oceánické litosféry (rCFB) a, 14 - nejhlubší části předhlubní, 15 - hlavní zlomové pásma,

16 - ohniska zemětřesení s magnitudem 5 až 8.

Explanation: 1 - platform; 2 - Foredeep; 3 - age of intermediate calc-alkaline magmatics (areal volcanism) in Ma (roll back);

4 - age of linear volcanics in Ma (tear break off); 5 - ophiolite complex; 6 - calc-alkaline magmatics (banatites; 90-60 Ma);

7 - high conductivity boundary indicated by magnetotellurics; 8 - anomalous trends of recent vertical movements (platform area affected by isostatic rebound in reaction to slab break-off); 9 - hinterland areas; 10 - magnetic anomalies of Alpine pre-Tertiary sources,

11 - zone of speculative slab break-off; 12 - 13 - remnant of the subducted oceanic lithosphere, including transitional lithosphere

and adjacent part of passive continental margin in its northeast and south boundaries; 14 - maximal thickness of sediments in foredeep;

15 - main fault belts; 16 - earthquake foci with magnitude 5 to 8;

„Break-off“ byl zahájen na západě karpatského oblouku v období spodního miocénu, postupovalo podél oblouku do jeho současné pozice v oblasti mezi V. a J. Karpaty, kde došlo k oddělení od kontinentálního okraje evropské desky, a následnému ponoření pasivní subdukující desky, vliv své váhy, do hlubších úrovní astenosféry.

Rychlost bočního tektonického oddělování subdukující desky klesala s časem. Tomu odpovídá lineární uspořádání, s tímto procesem, spojeného intermediárního vulkanismu, který završil finální etapu kolize. Záznam a všechny dynamické procesy v litosféře spojené s tímto mechanismem byly detailně popsány v práci Nemčok et al., (2006a, b – Obr. 1).

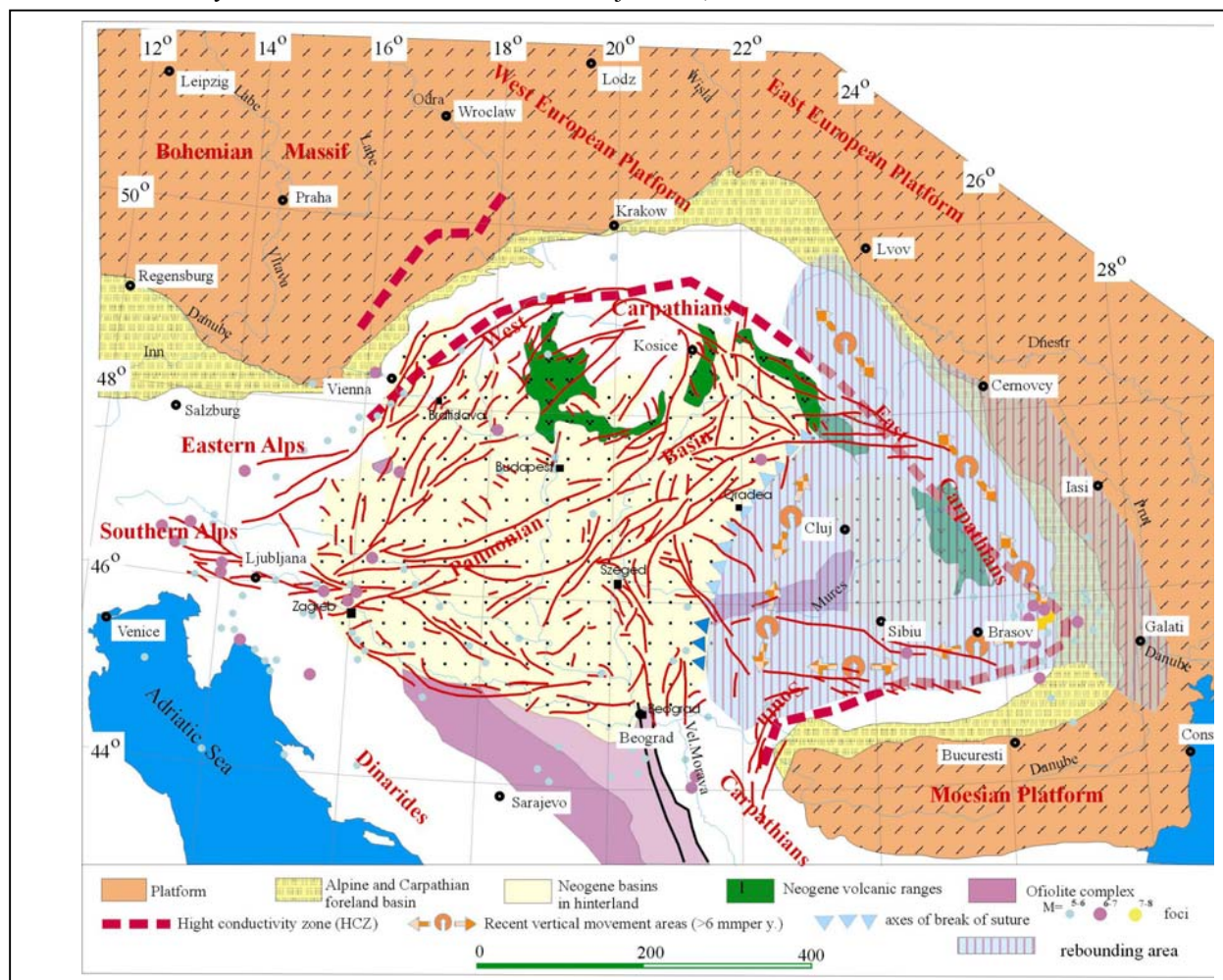
Post-subdukční deformace litosféry

Současná pozice lineárního terciárního magmatismu (Obr. 1) v porovnání s distribucí vnitrokarpatkých mikrodesek ukazuje na jejich různou mobilitu. Tyto procházely deformacemi spolu s postupujícím orogénem. Z palinspastických rekonstrukcí je prokázán vztah mezi procesem „break-off“ a eocén-oligocéním vulkanismem, migrujícím z Alp (von Blanckenburg and Davies, 1995) do Panonské pánve a zahrnujícím i eger-eggenburský lineární vulkanismus v Chorvatsku. Jeho pokračování možno sledovat na kontaktu Alp a Karpat v období karpat – spodní bádén. Tento proces je završen výstupy bádenského až kvartérního lineárního vulkanismu podél současného oblouku Karpat.

Věk lineárního vulkanismu i vztah k areálnímu vulkanismu v prostoru Západních Karpat a Panonského bazénu prokazuje jeho migraci od Z k V, zhruba odpovídá postupu a změnám v charakteru procesu subdukce/kolize. Tento vývoj je v souladu i s šířením, pohybem a odtržením subdukující desky

Prostorové a časové údaje lineárního vulkanismu umožňují zhruba určit projevy postupné ulamování ponořené oceánické desky a tak zjednoduřit komplikované dřívější modely (např. Csontos, 1995; Linzer, 1996).

Jak je uvedeno výše, magmatismus neumožňuje určit přesně dobu ulomení desky, avšak indikací pro přesnější vymezení této doby může být zánik středně bádenských ostrovů odpovídajících severních molasových depocenter (Kovač et al., 1989). Zatímco přítomnost ostrovů indikuje ohýbání litosféry na subdukující okraji (a flexural forebulge), jejich zánik zřejmě indikuje skutečnost, že vtažení ostrovů (vyboulení) do orogénu odpovídá odtržení (detachmentu) ponořené desky. Např. Lze odhadnout, že doba od vzniku trhliny a následného lineárního vulkanismu je cca. 1,6 mil. let.



Obr. 2. Vymezení zóny "reboundingu litosféry", ve které dochází k izostatickému vyrovnávání v rozsahu celé litosféry. Silná přerušovaná červená čára (vysokovodivostní rozhraní) vymezuje zhruba pasivní okraj kontinentu. Linie modrých trojúhelníků odpovídá ose sutury ve které došlo k odpálení subdukující oceánické litosféry.

Fig. 2. Limitation of the rebounded part of lithosphere where the complete isostatic balancing is realized. The thick dashed red line (high conductivity boundary) limits approximately the passive margin of the continent. The blue triangle line represents the suture axis where the subducted oceanic slab beaked off.

Održení subdukující desky následovalo kompenzování resp. vyrovnávání odtržených částí kontinentální litosféry (rebounding). Tento reversní, vertikální pohyb mohl zastavit subsidence v okrajových pánvích (předhlubni), způsobit výzdvih a zrychlení erozního procesu v čele orogenu.

Takovéto následné výzdvihy, které spojujeme s procesem “reboundingu” jsou známé z oblastí nejvýchodnějších polských vnějších Západních Karpat, zde odpovídají období svrchní bádén – sarmat (15–12 Ma - Nemčok et al., 1998; 2006a).

V současnosti můžeme tyto oblasti pozorovat v mapě recentních vertikálních pohybů (Obr. 2; Joo’ et al., 1985, Joó, in Pospíšil et al., 2006b). Předpokládáme, že pokračující vyrovnávání pohybů odtrženého zbytkové oceánické a s ní spojené kontinentální litosféry v okrajových částech Východních Karpat a východoevropské platformy je právě tím procesem, který umožňuje vysvětlit tyto vysoké hodnoty pohybů litosféry (5 až 8 mm/rok) a lokální, avšak hluboko zasahující seismicitu v této oblasti (Obr. 2). Naše interpretace těchto dat indikuje skutečnost, že zóna ovlivněná izostatickým vyrovnáváním ohybu litosféry (rebounding) ohraničuje oblast, která byla nečekaně ovlivněna odtržením a “odpálením” ponořené části desky.

Máme-li vymezit z hlediska recentní dynamiky litosféry území, kde může nastat katastrofické zemětřesení nelze než vymezit seismotektonicky aktivní oblast Vrancea. Poměrně dobře jsme schopni zmapovat analyzovat první kilometry zemské kůry, ale není možné vyloučit nečekaný projev nebo účinek vyvolaný procesy v hlubší úrovni litosféry. Z tohoto hlediska se jeví jako nebezpečná celá oblast reboundingu, t.j. trojúhelníkové území tvořené spojnicí pohoří Gutii – západním okrajem Moesijské platformy a oblastí Vrancea. V této oblasti se nachází rozsáhlý systém tektonických pásem, fungujících od prekambria, které, jak ukazují i seismologické, geodetické a magnetotelurické výzkumy jsou permanentně aktivizovány v celém terciéru až po recent. Pasivní okraj kontinentu v nejvýchodnějším ohybu Východních Karpat je podle mocností molasových sedimentů předhlubně (9 – 13 km) stále v nevybalancované pozici. Lze proto předpokládat, že pokračující proces zvedání zbytkové litosféry se bude ovlivňovat vyrovnávání napětí ve všech úrovních a tím může dojít k šíření seismické aktivity právě podél těchto, hluboce založených zlomů a původních grábenech. Proces reboundingu, může ovlivnit i relativně plytší úroveň litosféry, se stejně intenzivním dopadem na okrajové zóny karpatského orogenu. Pak nutně musíme očekávat, že výrazná zemětřesení nastanou nejen na vyrovnávacích zlomcích, ale i detašovaných a násunových plochách, tak jak tomu odpovídají fokální mechanismy v oblasti Vrancea (Nemčok et al., 2006a).

Neotektonicky aktivní bloky Západních Karpat.

Fusán, et al.(1979, 1981) vymezil na základě geofyzikálních a geodetických údajů v oblasti Západních Karpat sedm základních neotektonických bloků. I když tento model byl v průběhu dalších let modifikován a zpřesňován v generelu může být po doplnění akceptován pro další studie. Většina bloků má svou autonomní recentní dynamiku. Na základě strukturních analýz a interpretací údajů DPZ byly bloky dále detailizovány a zpřesňovány z hlediska pozdně alpinské aktivity (Pospíšil et al., 1993). Zvláště VSV-ZJZ zlomy hranský a podtatranský tektonický systém (Pospíšil et al., 1986) jsou aktivní od pliocénu až do recentu. Jako nejvýznamnější a nejproblematičtější se však jeví muráňsko-malčovský transkurentní systém s výrazným morfologickým projevem, včetně dominantních tektonických znaků, ale s minimální seismologickou odezvou, v porovnání s výše zmíněnými systémy hranským a podtatranským.

Muráň – malčovský tektonický systém (MMTS)

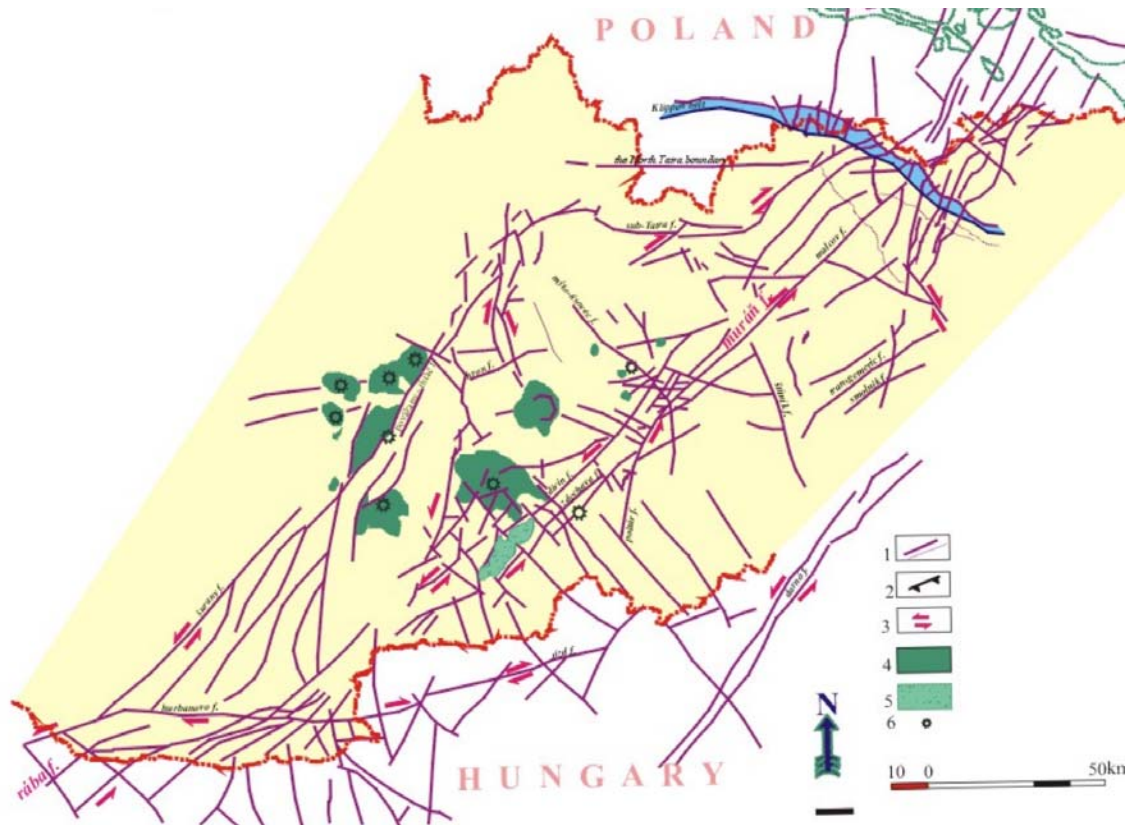
Při interpretaci družicových snímků z oblasti Západních Karpat, každého upoutá dominantní postavení c"výrazný morfologický projev muráňsko – malčovského tektonického systému (Pospíšil et al., 1989) (Obr. 3).

MMTS lze chápat jako zlomový systém složený ze dvou až třech hlavních paralelních zlomů směru SV – JZ, který je porušený až v prostoru Tisovce příčnými zlomy směru ZSZ – VJV prováděný i výlevy mladých andezitů (Bezák, 1988, Pospíšil et al., 1989; Marko, 1993, 2002). Zóna MMTS se projevuje nejen geomorfologicky, ale i v geofyzikálních datech (Obr. 4, 5) (Pospíšil, 2004).

Například v tíhových a magnetických mapách vytváří 10 – 20 km zónu anomálií orientovanou ve směru SV – JZ. Podobný záznam je patrný i v geologických datech a i v údajích DPZ. Zóna má charakter klasického transkurentního zlomového pásma (pásmo podél kterého dochází k horizontálním posunům ker zemské kůry), které je doprovázeno všemi extenzními i transpresními prvky. Horizontální posun, který se pro období mladšího terciéru odhaduje na cca 40 km (Pospíšil et al., 1989), je zastřen výrazným vertikálním posunem na jednotlivých větvích zlomového pásma (Obr. 4). Na zlomovém systému, od období vzniku až do současnosti, dominovala sinistrální (levostranná) složka pohybů Bezák, (1988).

Severovýchodním pokračováním muráňského zlomového pásma je malčovský poruchový systém, který detailně analyzoval (Nemčok J., 1978). Malčovský zlomový systém se projevuje jako tektonická porucha (resp. poruchový systém) vznikající na dvou nestejně rychle pohybujících se bloků v podloží centrálně-karpatského paleogénu Levočských vrchů a okraji flyšového pásma (Obr. 5).

Tektonický charakter nadložních komplexů nad muráňským poruchovým systémem v oblasti centrálně-karpatského paleogénu (oblast Levočských vrchů) má sigmoidálně uspořádaní flyšových sekvencí, flyšové sedimenty byly v terciéru zrotované, o čemž svědčí nejen uložení jednotlivých pískovcových lavic, ale také naměřené paleoproudové vektory (Nemčok, J., 1978). Zřetelné je to v Ujaku a v šambronském hřbetu, kde jsou flyšové vrstvy otočené do směru muráňské tektonické zóny (SV – JZ).



Obr. 3. Muráňsko - malcovský transkurentní systém a jeho pozice v oblasti Západních Karpat (Pospíšil et al., 1989). Vysvětlivky: 1- zlom, 2- násunová plocha, 3- strike-slip, 4- andesity (sarmat až svrchní panon), 5 – větší mocnosti uhelných slojí a vulkanitů (spodní až svrchní ottang).

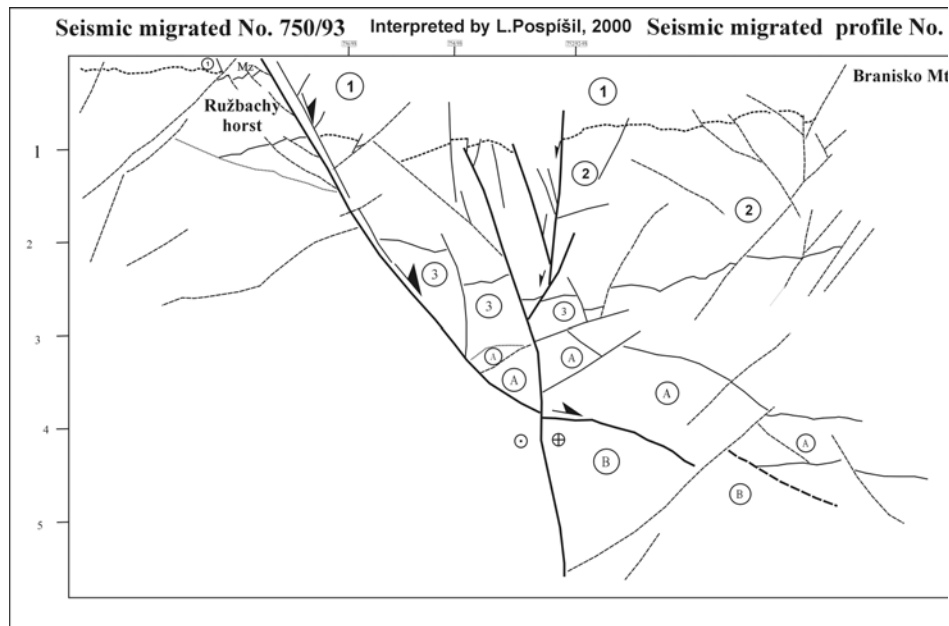
Fig. 3. Muráň - Malcov transcurrent system and its position in the area of Western Carpathians (Pospíšil et al., 1989). Explanations: 1 - fault; 2 - overthrust; 3 - strike -slip; 4 - andesites (Sarmatian to Upper Panonian); 5 - higher thickness of coal flots (Lower to Upper Ottangian).

V oblasti bradlového pásma se muráňská tektonická zóna na povrchu projevuje porušením bradlového pásma (bradel) v oblasti Ujak – Plaveč a formováním směrové deprese, kde se objevují spodní malcovské souvrství, označované jako strihovské souvrství.

Další 3 regionální zlomové zóny, zřetelné i ze satelitních snímků jsou vázány na seismotektonické oblasti Západních Karpat. Dvě z nich, myjavsko – podtatranský (ružbažský - dále jen MPTS) a hronské mají VSV – ZJZ směr a spolu s revuckým zlomovým systémem, tvoří velice geodynamicky aktivní a strukturně komplikovanou oblast, které není doposud z hlediska seismického hazardu dostatečně prozkoumaná.

Poslední strukturní prvek - severotatranský lineament (rozhraní), který zasahuje až do Českého masívu, prochází severně od východů krystalinika V. Tater a má východozápadní směr a kříží výše dva jmenované lineamenty v prostoru Staré Lubovně. Toto rozhraní je interpretováno pouze na základě údajů z DPZ (Potfaj et al., 1995).

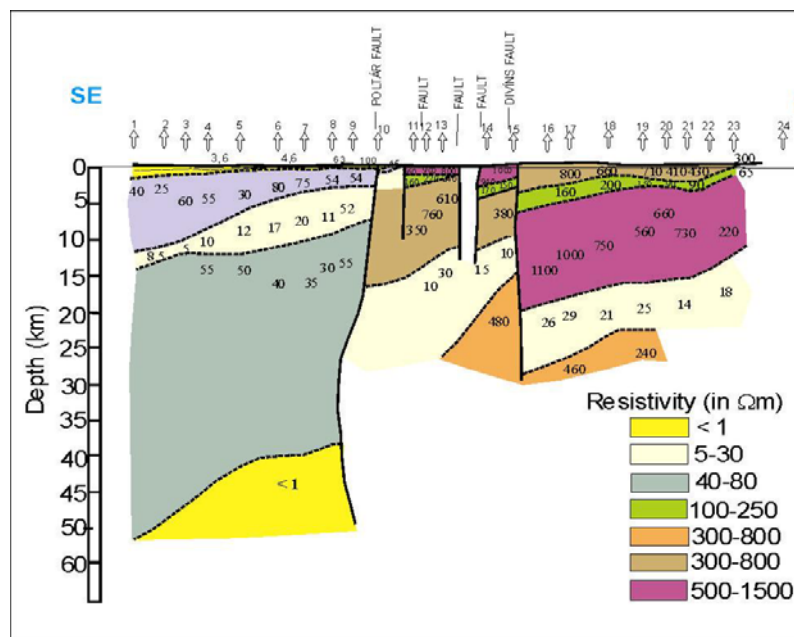
V území Levočských vrchů se nachází další regionální zlomy, ověřené seizmickým průzkumem a navazující na MMTZ. Jsou to kežmarský zlom (v některé literatuře nazývaný též jako popradský (Pospíšil, Hrušecký, 2001), (Obr. 4)) a zlom protínající ve směru SZ – JV celé Levočské vrchy (kluknovský zlom). Pro další studium mají dominantní význam z hlediska vazby na první dva uvedené zlomové systémy - MMTS a MPTS.



Obr. 4. Interpretovaný migrovaný reflexní seismický profil 750/93 a 754/93 (Pospíšil, Hrušecký, 2001). Na levé straně obrázku – podtatranské rozhraní přecházející na hloubkách cca 8 – 10 km do násunové plochy. Šipka označuje pozici muráňsko - malcovské tektonické zóny. Sekvence 1 – sedimenty centrálně-karpatského paleogénu.

Fig. 4. Interpreted migration reflection seismic profile 750/93 and 754/93 (Pospíšil, Hrušecký, 2001). At the left side of the picture - sub-Tatras boundary crossing at the depth of about 8 – 10 kms the detachment plain. The arrow indicates the position of the Murán - Malcov tectonic zone. Sequence 1 - sediments of Central Carpathian Paleogene.

Zvláštní pozornost si zaslouží skutečnost, že předložený geodynamický model litosféry (Nemčok et al., 1998, 2006) uspokojivě vysvětluje rozložení a orientaci napěťových podmínek v prostoru Karpat pro celý terciérní vývoj až po recentní období jak byl odvozen ze sedimentologických a strukturních dat (orientace vrás a zlomů) např. Royden et al. (1982) komprese z J k S ovlivňující vývoj pánví s E-W až SV-JZ (Grünthal, Stromayer, 1986). Podobné závěry vyplývají z řešení fokálních mechanismů, měření napětí in situ, nebo orientace mobilních zón (Nemčok et al., 2006a,b). Z toho lze nejen definovat základní příčiny pro horizontální pohyb podél MMTZ, ale rovněž naznačit možné rizika a důsledky těchto deformací na jednotlivé prostředí Západních Karpat.



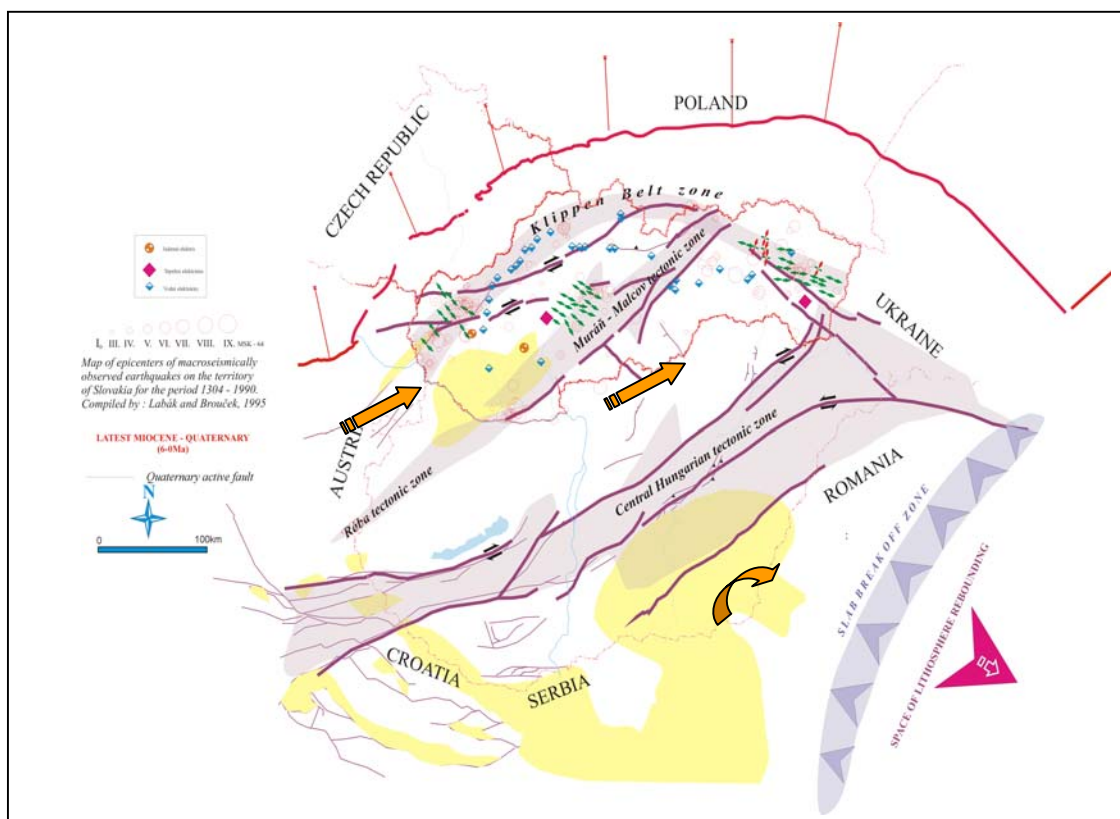
Obr. 5. Část magneto-telurického profilu 2T protínající MMTZ - divinský, muráňský a nejmladší poltárský zlom (Pospíšil et al. 1993).
Fig. 5. Part of the magnetotelluric section 2T crossing the MMTZ - Divin, Murán and the youngest Poltár fault (Pospíšil et al., 1993).

Obrázek 6 shrnuje nejvýznamnější rizikové oblasti z pohledu seismotektonického a nejnovějších geodetických měření. Za nejohroženější a nejrizikovější oblast považujeme oblast styku/protínání hronského rozhraní s MMTZ. Už dřívější výzkumy (Klinec et al., 1984; Bezák, 1988; Leško et al., 1980 aj.) překvapovaly údaji o obrovském výzdvihu V. a N. Tater a s tím spojenými deformacemi v nejmladším terciéru (např. na svazích N. Tater). Pohybové tendence na MMTZ a hronském systému ukazují na extenzní podmínky v bloku mezi těmito zlomy v období od panonu do recentu, což dokládají i intenzivní výlevy andesitů a vývoj pánví v blízkosti těchto zlomů.

Důležitější je situace z hlediska seismotektonického. Oblast křížení revúckého a hronského rozhraní je zasazena velmi často zemětřesením o intenzitách až 5°, zatímco MMTZ je téměř bez seismické aktivity, i když z morfologického hlediska je evidentní recentní aktivita (facetové, plochy, stovky metrů obnažená plocha divinského zlomu, atd.). Doposud se však neprovedly žádné klasické seismotektonické studie těchto jevů.

Velmi zajímavé poznatky přináší výsledky GPS měření v prostotu V. Tater a Levočských vrchů (Mojzes, Papčo, 2004). Na bodu GANO (lokality Gánovce), z kampaní realizovaných v letech 1998 a 1999 (vypočtený z řešení STU – IGS), byl zjištěn anomální vektor posunu který má směr zhruba S – Z, mění svou orientaci v následujícím období (1999 – 2000) na SSV směr. Následně pak ve třetím období mezi kampaněmi z let 2000 a 2001 má již orientaci JZ směru a v posledním, čtvrtém období tj. mezi kampaněmi v letech 2001 a 2002 je vektor posunu sledovaného bodu směru JV, zdá se jakoby zde docházelo k precesnímu pohybu.

Tyto pozoruhodně měnící se směry pohybu vektoru v jednotlivých obdobích se pokusili vysvětlit Dvořák et al., (2005) pomocí interpretace modelu rotace mikrobloku, který se nachází právě v systému MMTZ. V porovnání s geofyzikálními výsledky je možno najít řadu korelací, které naznačují a umožňují předpokládat recentní aktivitu MMTZ vycházející z pohybu bloků na úrovni detachmentu vnitřních Z. Karpat. Žel pro další analýzu chybí in situ strukturní a geofyzikální měření a pozorování. Jaká je současná situace mapování rozložení napětového pole, seismicity a údajů o horizontálních pohybových tendencích v prostoru Karpat poskytuje obrázek 7.



Obr. 6. Hlavní svrchně-alpínské aktivní zlomové systémy Západních Karpat s vyznačenými typy elektráren a ohnisky zemětřesení. Zelené šipky označují orientaci extenzních zón; na celém Slovensku orientace vektorů má směr SZ - JV.

Fig. 6. Main active upper Alpine tectonic zones of Western Carpathians with the location of the power plants types and earthquake foci. The green arrows indicate the orientation of the extension zones; in Slovakia the orientation of vectors is in the of NW - SE direction.

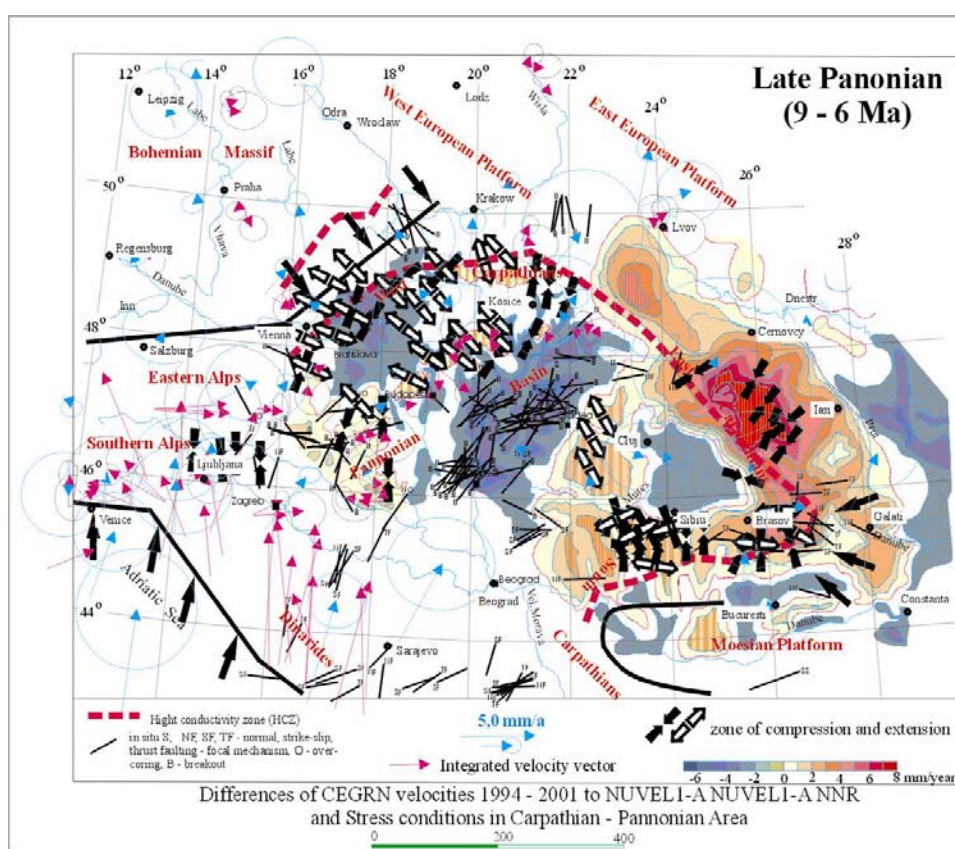
Problémy pro další výzkum

Je evidentní, že neogéní historie vnitrokarpatské extenze je prostorově e.g. (Fodor et al., 1999; Nemčok et al., 1998; Bada, 1999; Kováč et al., 2000) i z časového hlediska e.g. (Horvath, Royden, 1981; Horvath, Rumpler, 1984; Royden, 1988; Nemcok, Lexa, 1990; Horvath et al., 1995; Horvath, Tari, 1999) velmi komplexně popsána.

Proto bude třeba tento komplexní model ověřit prostřednictvím numerického a fyzikálního modelování. Některé pokusy už byly udělány (Ratschbacher et al., 1991b; Neubauer et al., 1999a). Zvláště se výzkum zaměřuje na analýzu recentní dynamiky zbytkové litosféry v prostoru zmíněného trojúhelníku Moesijská platforma, pohoří Apuseni a pasivním okrajem východoevropské platformy. Zde dominuje problém vyřešení a zdůvodnění vzniku intenzivní a hluboko založené seismicity v oblasti Vrancea.

Další geofyzikální, geodetické a geologické výzkumy bude vyžadovat studium kinematických rozhraní formující a řídicí dalekosáhlý pohyb částí bloků ALCAPA and Tisza-Dacia, který narušil a následně destrukoval rCFB zbytkovou oceanickou litosféru.

Zvláštní pozornost a studium, z hlediska výstavby investičních celků typu elektráren, hlubinných úložišť, bude vyžadovat výzkum oblasti podél MMTZ, včetně částí pokračujících a napojujících se na rábskou linii a do prostoru Levočských vrchů.



Obr. 7. Geodynamické pohybové tendence v prostoru Karpat. Napětové pole pro období svrchního panonu (9 - 6 mil r.) reprezentují silné černé šipky (Nemčok et al., 2006a). Červené a modré šipky znázorňují horizontální pohybové tendence (oblast Dinarid až 1,5 cm). Barevné plochy znázorňují recentní vertikální pohyby (Joó, 2006 in Pospíšil et al., 2006 - červenohnědé plochy - 6 až 8 mm/rok).
 Fig. 7. Geodynamic movement tendencies in the Carpathian area. The black arrows represent the strain field for the period of Upper Panonian (9 - 6 Ma – Nemčok et al., 2006a). The red and blue arrows represent the horizontal movement tendencies (Dinaride area up to 1,5 cm). The colored areas represent the recent vertical movements (Joó, 2006 in Pospíšil et al., 2006 – the red-brown areas - 6 to 8 mm/year).

Závěr

Souborné výsledky studia dynamiky litosféry Karpat potvrzují recentní aktivitu některých částí teritoria Karpat. Navržená doporučení pro zpřesnění znalostí o recentní aktivitě těchto území mohou přispět i k výběru resp. k zhodnocení vybraných území pro hlubinná úložiště.

Literatura – References

- Bada, G.: Cenozoic stress field evolution in the Pannonian Basin and surrounding orogens, Inferences from kinematic indicators and finite element modeling, *PhD Thesis, Vrije University, Amsterdam, 204 p, 1999.*
- Bezák, V.: Tektonický vývoj juhozápadnej časti veporika. In *Mineralia Slovaca., Vol. 20, Bratislava: Alfa, Bratislava, s. 131-142, 1988.*
- Csontos, L.: Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. In: H., Downes, O., Vaselli Eds., Neogene and related magmatism in the Carpatho - Pannonian region. *Acta Vulcanologica, 7(2): 1 – 13, 1995.*
- Dvořák, P., Pospíšil, L., Hotovcová, J., Mojzes M., Papčo, J.: Geo-analýza horizontálných pohybových tendenci na východním Slovensku. “Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment“, *Brno, XII, 1-2, 8-21, 2005.*
- Fodor, L., Csontos, L., Bada, G., Benkovics, L.: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens, a new synthesis of paleostress data, in B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth, and M. Seranne, eds., The Mediterranean basins, Tertiary extension within the Alpine orogen, Geological Society of London Special Publication, Bath, Geological Society of London. *Foldtani Kozlony, Bull. Hung., Geol. Soc., 120: 193-214, 1999.*
- Fusán, O., Ibrmajer, J., Plančár, J.: Neotectonics blocks’ of the West Carpathians. Geodynamics investigations in Czechoslovakia. *Final report. Publ. House of SAS Veda, Bratislava, pp. 187 – 192, 1979.*
- Horváth F., Tari, G.: IBS Pannonian Basin Project: Review of the main results and their bearings on hydrocarbon exploration. In: Durand B., Jolivet L., Horváth F and Séranne M., eds. The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. *Geol. Soc. Spec. Publ. No. 156, Geol. Society, London, 195-214, 1999.*
- Horvath, F., Rumpel, J.: The Pannonian basement: extension and subsidence of an Alpine orogene: *Acta Geologica Hungarica, v. 27, p. 229-235, 1984.*
- Horváth, F., Royden, L.: Mechanism for the formation of the Intra-Carpathian basin. A Review. *Earth Evol. Sci., 3-4, pp. 307-316, 1981.*
- Horváth, F., Cloetingh, S. A. P. L.: Stress - induced late - stage subsidence anomalies in the Pannonian basin, *Tectonophysics, v. 266, p. 287-300, 1996.*
- Hrušecký, I., Plašienka, D., Pospíšil, L.: Identification of the North European platform below the eastern part of the Western Carpathian Flysch belt, in J. Golonka and F. J. Picha, The Carpathians and their foreland: *Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84, p. 717 – 727, 2006.*
- Joó, I.: Map of Recent Vertical Movements in the Carpatho–Balkan Region: scale 1:1 million; *Cartographia, Budapest, 1985.*
- Kay, M.: Geosynclinal nomenclature and the craton. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 31, 1289-12983, 1947.*
- Kay, M.: North American Geosynclines. *Geol. Soc. Am. Mem., 48, 143, 1951.*
- Klinec, A., Pospíšil, L., Pulec, M., Feranec, J., Stankoviansky, M.: Identifikacia gravitačného prikrovu v Nizkých Tatrách, pomocou kozmických snimok. *Mineralia Slovaca (Brat.), 17, 6, 485-499, 1985.*
- Kováč, M., Márton, E., Šefara, J., Konečný, V., Lexa, J.: Miocene development of the Carpathian chain and the Pannonian Basin: Movement trajectory of lithospheric fragments, subduction and diapiric uprise of asthenospheric mantle. *Slovak Geol. Mag., 6, 2-3, 77-84, 2000.*
- Leško, B., Beránek, B., Varga, I.: Cisaillements horizontaux profonds sous les Karpates occidentales á la lumière des connaissances géophysiques. *Rev. Géomorphol. dynam. (Paris), 22, 3-4, pp. 255-266, 1980.*
- Linzer, H. G.: Kinematics of retreating subduction along the Carpathian arc, *Romania, Geology, v. 24, p. 167-170, 1996.*
- Maheľ, M.: Tectonics of the Carpathian-Balkan regions, explanations to the tectonic map of the Carpathian-Balkan regions and their forelands, *Bratislava, GÚDŠ, p. 453, 1974.*
- Marko, F.: Kinematics of the Muráň fault between Hrabušice and Tuhár village. In Rakús M. and J. Vozár, (Eds.). *Zb. Referátov “Geodynamický model a hlbinná stavba Západných Karpát”. In Konferencie-Sympózia-Semináre: 17-18.12.1992 v Bratislave, GÚDŠ, s. 253-261, 1993.*
- Marko, F.: Zlomy a ich úloha počas terciérnej evolúcie Západných Karpát (región ALCAPA- Západ). *Habilitačná práca, PrFUK, Katedra geológie a paleontológie, Bratislava, 88s, 2002.*
- Mojzeš, M., Papco, J.: The analysis of GPS measurement in Tatra mountain. *Acta geodynamica et Geomaterialia, Vol. 1, No 3, AVČR Praha, 2004, p. 115-124. ISSN 1211-1910*
- Nemčok, J.: Deformations of the flysch sediments as a impact of the basement dynamics. *Západné Karpaty. GÚDŠ, Bratislava, Ser. Geol, s.35-58, 1978.*

- Nemčok, M., Pogácsás, G., Pospíšil, L.: Activity timing of the main tectonic systems in the Carpathian – Pannonian Region in relation to the rollback destruction of the lithosphere, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 743 – 766, 2006b.
- Nemčok, M., Lexa, J.: Evolution of the basin and range structure around the Ziar mountain range, *Geologica Carpathica*, 41, 229-258, 1990.
- Nemčok, M., Coward, M. P., Sercombe, W. J., Klecker, R. A.: Structure of the West Carpathian accretionary wedge: insights from cross section construction and sandbox validation, *Physics and Chemistry of the Earth, Part A – Solid Earth and Geodesy*, v. 24, p. 659-665, 1999.
- Nemčok, M., Pospíšil, L., Hrušecký, I., Zsíros, T.: Subduction in the remnant Carpathian Flysch Basin, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 767 – 785, 2006a.
- Nemčok, M., Pospíšil, L., Lexa, J., Donelick, R. A.: Tertiary subduction and slab break-off model of the Carpathian - Pannonian region, *Tectonophysics*, v. 295, p. 307-340, 1998a.
- Neubauer, F., Fritiz, H., Genser, J., Kurz, W., Nemes, F., Wallbrecher, E., Wang, X., Willingshofer, E.: Structural evolution within an extruding block, model and application to the Alpine – Pannonian system, in F. K. Lehner and J. L. Urai, eds., *Aspects of tectonic faulting*, Springer, Berlin, p. 141-153, 1999.
- Pospíšil, L., Hrušecký, I.: Geophysics and Remote Sensing as confrontation and verification tools of geophysical interpretations: examples from the Western Carpathian research. In *Contributions to Geophysics & Geodesy, Vol.31, Special Issue, The 4th Slovak Geophysical Conference, Bratislava: SAV, 2001*.
- Pospíšil, L., Buday, T., Fusán, O.: Neotectonic movements in the West Carpathians. *Západné Karpaty, sér. geologie 16, GÚDŠ, Bratislava, p.65-84, 1993*.
- Pospíšil L., Bezák, V., Nemčok J., Feranec J., Vass, D., Obernauer, D.: Muránský tektonický systém - významný príklad horizontálnych posunů v Záp. Karpatech. In *Mineralia Slovaca Vol.21, Bratislava : Alfa Bratislava, s. 305-322, 1989*.
- Pospíšil, L., Ádám, A.: Review of the crust – lithosphere research in the Carpathians, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 635 – 649, 2006.
- Pospíšil, L., Ádám, A., Bimka, J., Bodlak, P., Bodoky, T., Dövényi, P., Granser, H., Hegedüs, E., Joo', A., Kendzera, A., Lenkey, L., Nemčok, M., Posgay, K., Pylypshyn, P., Sedlák, J., Stanley, W. D., Starodub, G., Szalaiová, V., Šály, B., Sutura, A., Varga, G., Zsíros, T.: Crustal and lithospheric structure of the Carpathian – Pannonian region — A geophysical perspective: Regional geophysical data on the Carpathian – Pannonian lithosphere, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 651 – 697, 2006.
- Pospíšil, L., Nemčok, J., Graniczny, M., Doktor, S.: Contribution of remote sensing to the identification of the strike slip faults in the West Carpathians. In *Mineralia slovaca Vol.18, Alfa Bratislava, s. 385-402, 1986*.
- Potfaj, M., Pospíšil, L., Graniczny, M.: "The North-Tatra boundary - A structural-morphological element of the West Carpathians"., *Journal EGRSE*, II., 2, s. 34-35, 1995.
- Ratschbacher, L., Merle, O., Davy, P., Cobbold, P.: Lateral extrusion in the Eastern Alps, *part 1, Boundary conditions and experiments scaled for gravity*, *Tectonics*, 10, 245-256, 1991b.
- Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H. G., Merle, O.: Lateral extrusion in the Eastern Alps, *part 2, structural analysis*, *Tectonics*, v. 10, p. 257-271, 1991a.
- Royden, L. H., Horvath, F., Burchfiel, B. C.: Transform faulting, extension and subduction in the Carpathian-Pannonian region., In *Geological Society of America Bulletin*, 73, s.717-725, 1982.
- Sloss, L. L.: Paleozoic stratigraphy in the Montana area. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 34, 423-451, 1950.
- Sloss, L. L., 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Bull. Geol. Soc.Am.*, 74, 93-114.
- Smith, A. G.: Plate tectonics and orogeny: a review. *Tectonophysics*, 33, 215-285, 1996.
- Tari, G., Dovenyi, P., Dunkl, I., Horvath, F., Lenkey, L., Stefanescu, M., Szafian, P., Toth, T.: Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data, in B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath, and M. Seranne, eds., *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen: Geological Society of London Special Publication, Bath, Geological Society of London, p. 215-250, 1999*.
- von Blanckenburg, F., Davies, J. H.: Slab break off, a model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps, *Tectonics*, v. 14, p. 120-131, 1995.