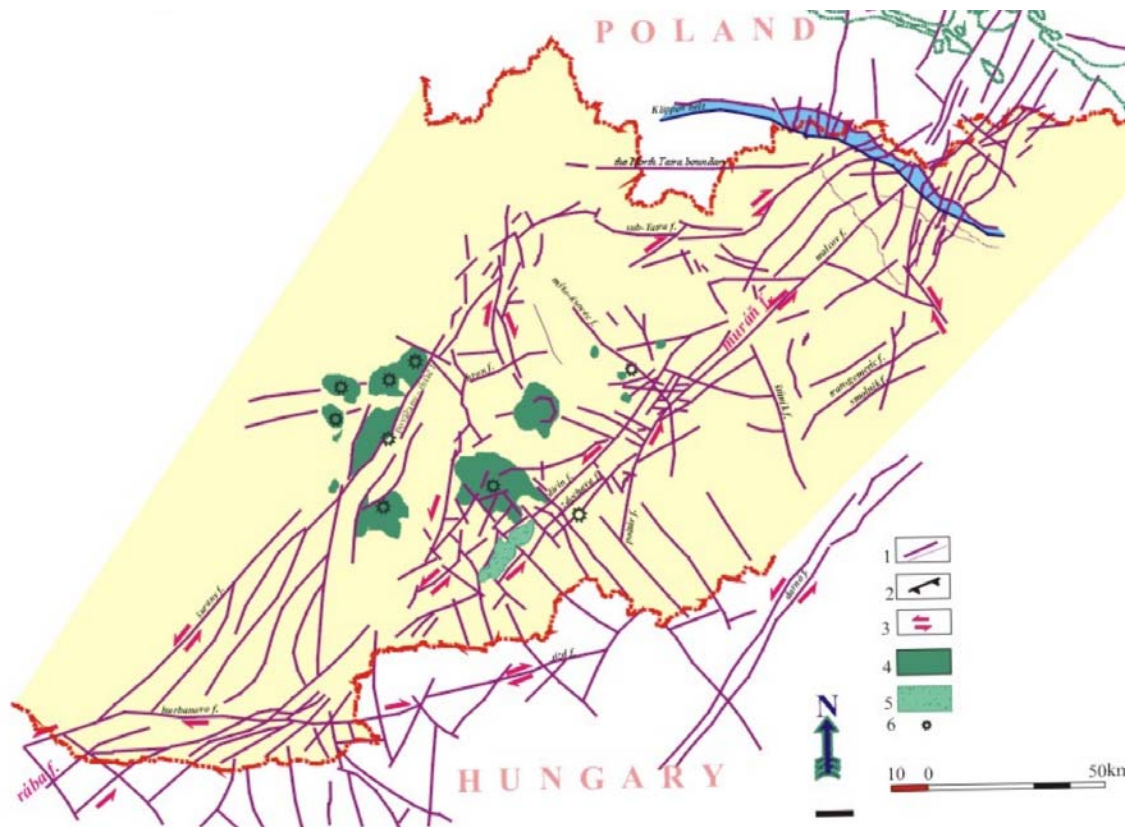


Tektonický charakter nadložních komplexů nad muráňským poruchovým systémem v oblasti centrálně-karpatského paleogénu (oblast Levočských vrchů) má sigmoidálně uspořádaní flyšových sekvencí, flyšové sedimenty byly v terciéru zrotované, o čemž svědčí nejen uložení jednotlivých pískovcových lavic, ale také 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 ottmagian).

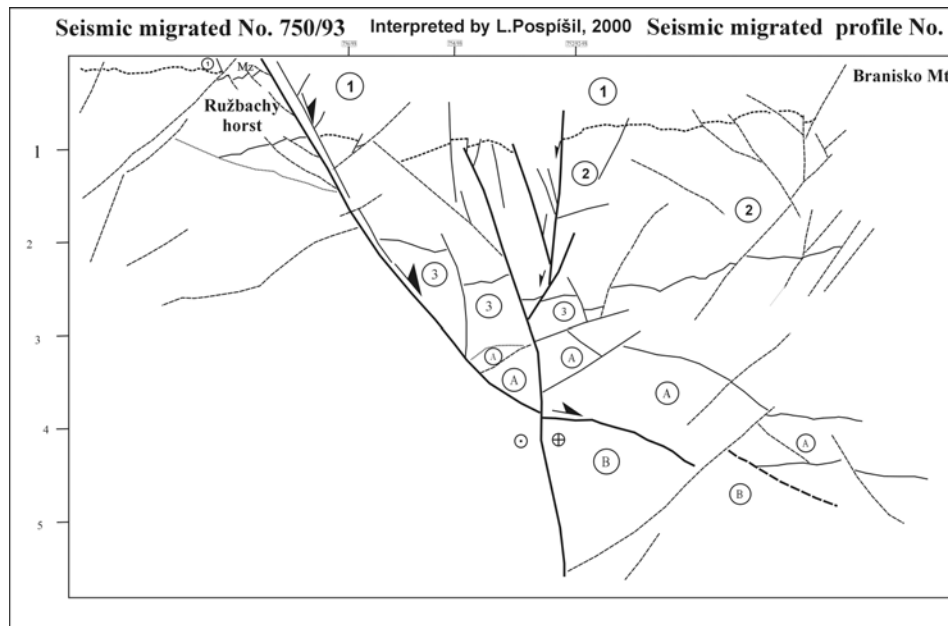
Fig. 3. Muráň - Malcov transcurrent system and its position in the area of Western Carpathians (Pospíšil et al., 1989). Explanations: 1 - fault; 2 - overthrust; 3 - strike -slip; 4 - andesites (Sarmatian to Upper Panonian); 5 - higher thickness of coal flots (Lower to Upper Ottmagian).

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).

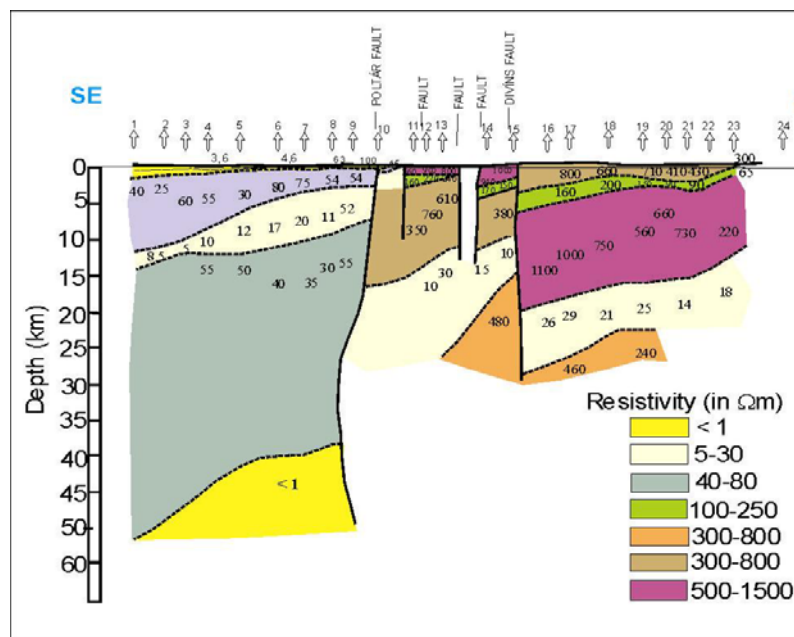
V území Levočských vrchů se nachází další regionální zlomy, ověřené seizmickým průzkumem a navazující na MMTZ. Jsou to kežmarský zlom (v některé literatuře nazývaný též jako popradský (Pospíšil, Hrušecký, 2001), (Obr. 4)) a zlom protínající ve směru SZ – JV celé Levočské vrchy (kluknovský zlom). Pro 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.



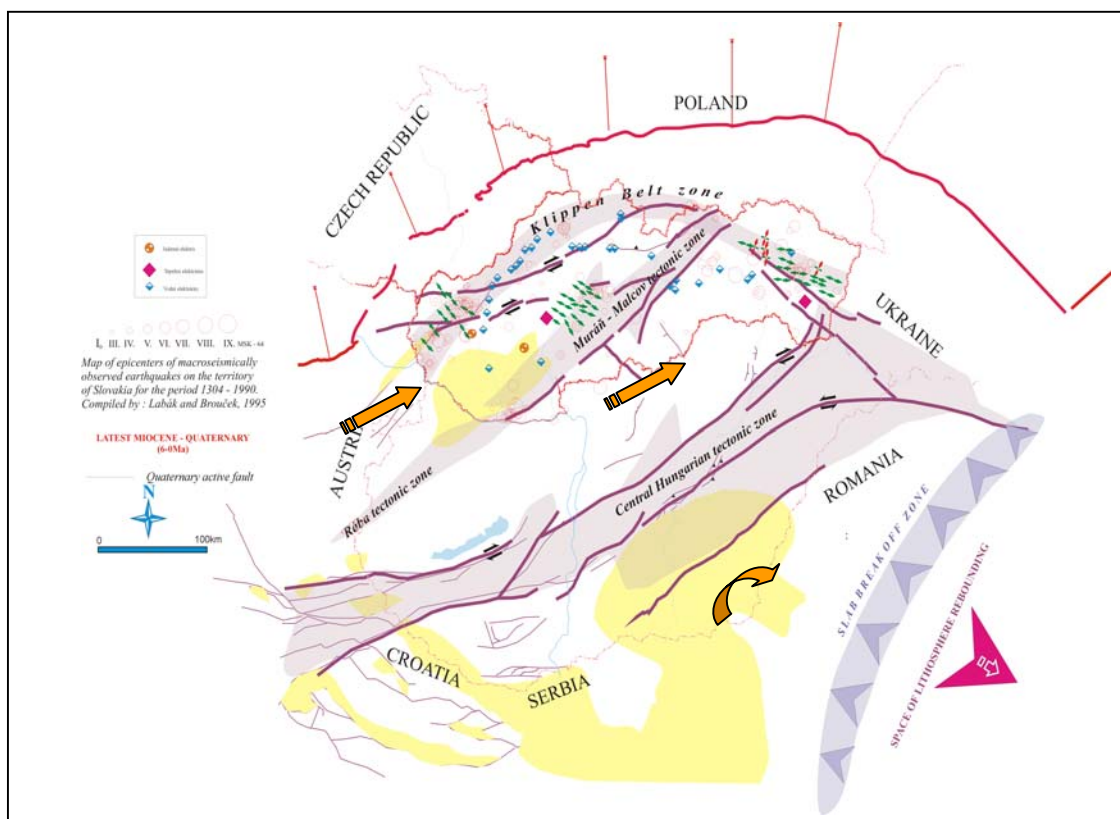
Obr. 5. Část magneto-telurického profilu 2T protínající MMTZ - divínský, muráňský a nejmladší poltárský zlom (Pospíšil et al. 1993).

Obrázek 6 shrnuje nejvýznamnější rizikové oblasti z pohledu seismotektonického a nejnovějších geodetických měření. Za nejhroženější 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 zasažena 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 šípky 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.

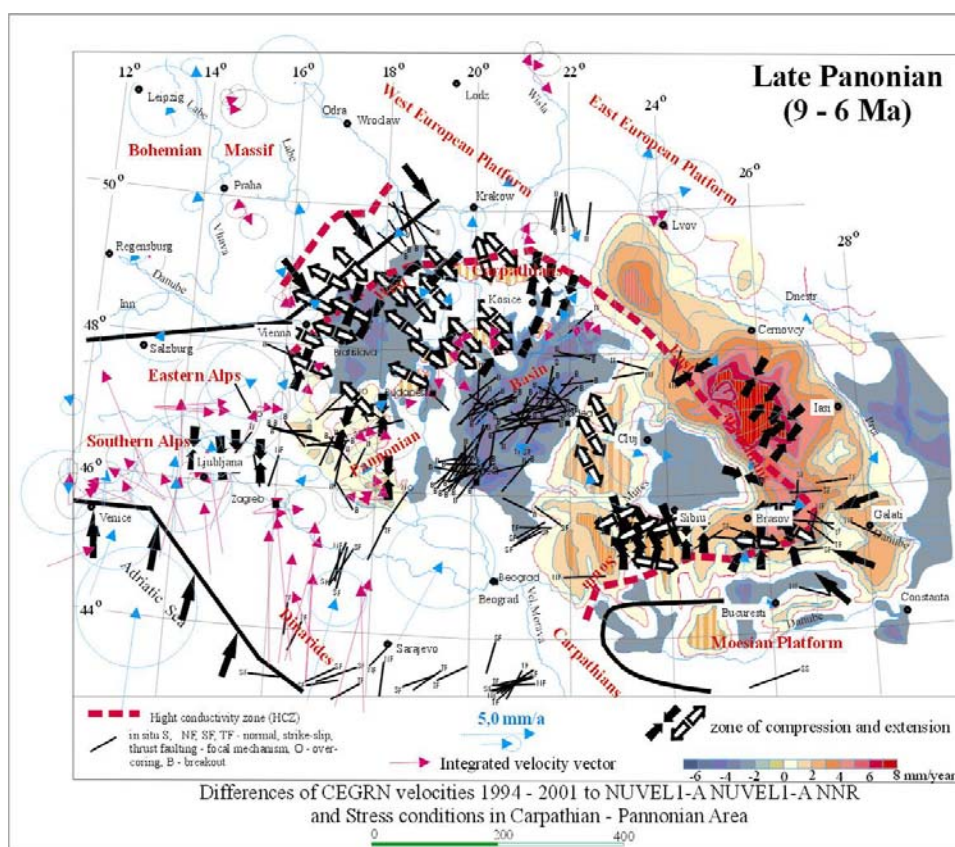
Problémy pro další výzkum

Je evidentní, že neogení 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., Rumpler, 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., Fritz, 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.