

# **Szubdukció nyomában a Pannon-medence területén: felsőköpeny víztartalmának kutatása peridotit kőzetzárványok mikroszerkezeti vizsgálata alapján**

## **Bevezetés**

A víz jelenléte a felsőköpenyben óriási hatással van a különböző parciális olvadási folyamatokra. Ezáltal közvetlenül befolyásolja a felsőköpeny reológiai viselkedését és így hat a lemeztektónikai folyamatok sebességére. Ezáltal komolyan hatást gyakorolhat az orogenezis, vulkanizmus, medence-képződés és gyakorlatilag minden nagytektonikai folyamat intenzitására és sebességére. A Pannon-medence alatti felsőköpenyben a víz jelenlétének ismerete tehát elengedhetetlen ahhoz, hogy a régió kialakulására és fejlődésére vonatkozóan reális képet alkossunk.

A földtudományok jelenlegi állása szerint jelentős mennyiségű víz kizárólag egyetlen módon, a *szubdukció* révén kerülhet a felsőköpenybe. Víztartalom kimutatása a felsőköpeny kőzetalkotó ásványaiban több módon lehetséges. A Fourier Transzformációs Infravörös Spektroszkópia alkalmas arra, hogy a kristályszerkezetbe épült hidrogéneket közvetlenül detektálja. Ezáltal lehetőség nyílik a kőzetek „víztartalmának” közvetlen megvizsgálására (pl. Bell et al., 2003). Ugyanakkor, közismert, hogy a „víz” rendkívül gyors diffúzióval távozik a felsőköpenyt dominánsan felépítő olivin szerkezetéből a hűlés során (Mackwell és Kohlstedt, 1990, Grant et al., 2006). Így a még a rendkívül gyorsan - alkáli bazaltos vulkanizmus által - a felszínre szállított peridotit xenolitok esetében is felmerülhet, hogy az amúgy víz gazdag környezetből származó olivin kristályoknak ténylegesen van-e számottevő (>100 ppm H/Si) víztartalmuk.

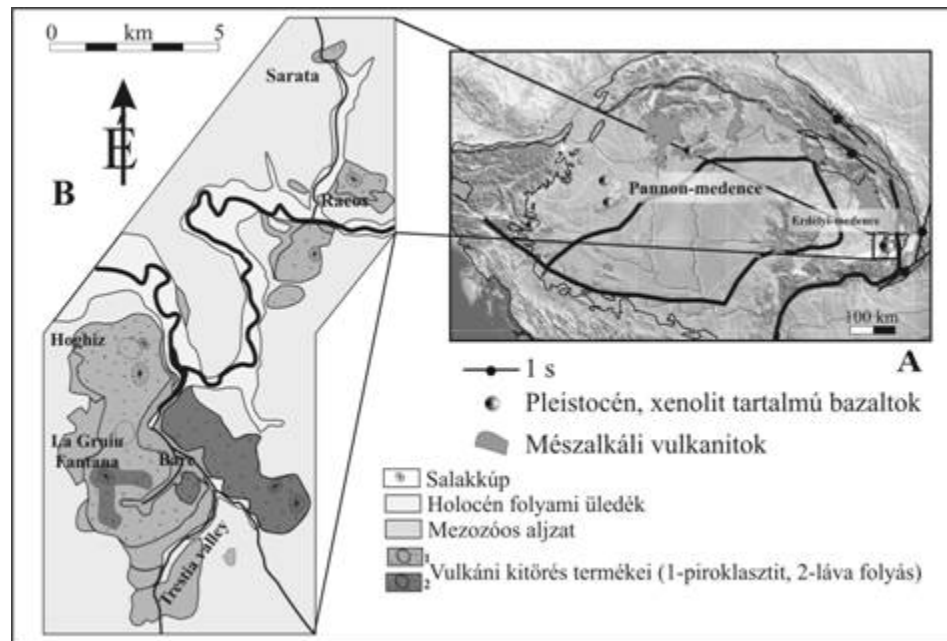
A felsőköpeny víztartalmának „mérésére” vonatkozóan alternatív módszereket is segítségül hívhatunk. Már korai kísérletek (Mackwell et al., 1985) is jelezték, hogy víz jelenlétében a felsőköpenyben uralkodó olivinek, kristályplasztikus deformáció során – amely az uralkodó deformációs mechanizmus, felsőköpeny körülmények között – az általánosan elterjedt (010)[100] siklatási rendszer ('a'-siklatás) helyett, a víztartalom, kőzetfeszültség és hőmérséklet függvényében (Jung és Karato, 2001; Katayama et al., 2004) más siklatási rendszerek aktiválódása során zajlik a deformáció: pl.: (010)[001] siklatási rendszer ('b'-siklatás); (100)[001] siklatási rendszer ('c'-siklatás) és a (001)[100] siklatási rendszer ('e'-siklatás) (Katayama et al., 2004) aktiválódhat. A különböző siklatási rendszerek aktiválódása során deformálódott felsőköpeny kőzetek mikroszerkezete (olivin orientáció-eloszlása), amely különböző elektronoptikai módszerekkel, sőt adott esetben egyszerű fényoptikai vizsgálatokkal is meghatározható,

markánsan eltér a száraz köpenyben kialakult 'a'-siklatás során kifejlődő mikroszerkezettől. A különböző siklatási rendszerek azonosítása így megfeleltethető - a deformáció során jelen lévő - adott minimális vízmennyiségnek. A módszer segítségével pedig a felsőköpeny egykori víztartalma, így szubdukciós környezettől való távolsága feltérképezhető.

## Erdélyi-medence

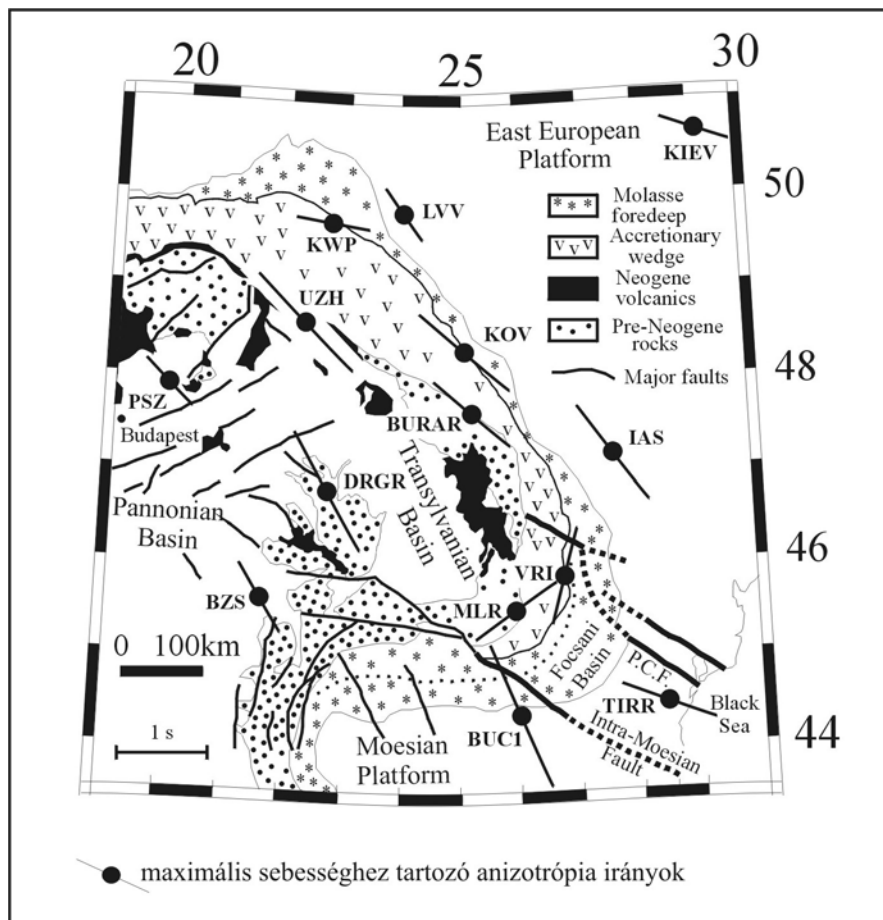
Bár a Pannon-medence kainozoós fejlődésével foglalkozó irodalmak több, időben és területileg eltérő szubdukciós eseményt említenek (pl., Csontos, 1995). Ezen események tényleges megléte, valamint a felsőköpenyre és ezen keresztül a különböző nagytektonikai folyamatokra gyakorolt hatásuk nem minden esetben ismert, vagy kellően alátámasztott. Ennek következtében a vizsgálatok megkezdéséhez olyan területet választottunk a Pannon-medence, illetve tágabb értelemben a Pannon-Kárpáti Régió területén, amely esetében a leginkább számíthatunk a szubdukciós jegyek meglétére. Így a részletes vizsgálatokat a Vrancea-zóna "felett" elhelyezkedő felsőköpenyt megmintázó persány-hegységi xenolitokkal kezdtük.

1. ábra. a) Pannon-Kárpáti térség geológiai térképe b) A vizsgált xenolitokat tartalmazó bazaltok geológiai térképe



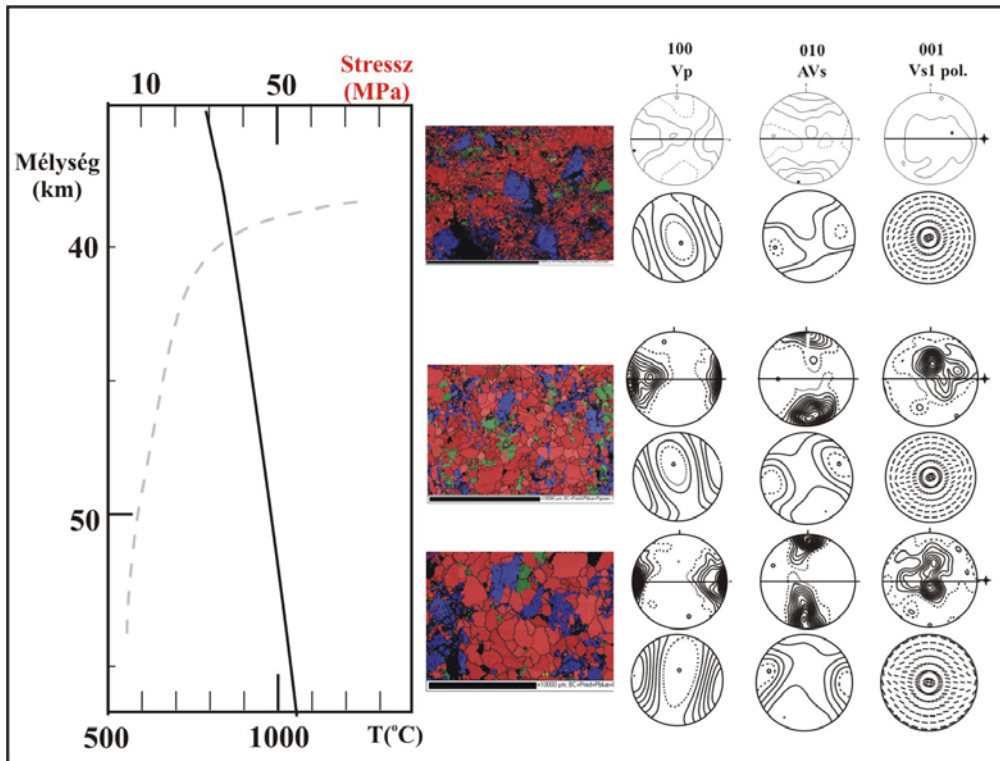
A projekt során a Pannon-Kárpáti Rendszer keleti területén (1. ábra) gyűjtött, felsőköpenyből származó xenolitok visszaszórt elektrondiffrakciós vizsgálatát, illetve a kapott eredményekből a

szeizmikus sebesség, illetve szeizmikus anizotrópia értékek számítását végeztem, kiegészítve főelem-összetétel vizsgálattal, infravörös spektroszkópiai mérésekkel és nyomás-hőmérséklet értékek becslésével. Ez a régió a feltételezett kárpáti szubdukció közelében helyezkedik el, egykori ívelőtti pozícióban. Mindezek mellett a kárpáti szubdukciós folyamatnak ez az egyetlen területe, ahol a szubdukció léte (hagyományos értelemben vett óceáni lemez szubdukciója) komolyan alátámasztott (Hauser et al, 2005). A legújabb szeizmikus vizsgálatok kimutatták, hogy a Kárpáti ív alatt az ível párhuzamos maximális szeizmikus sebesség anizotrópia irányok jelentkeznek (Ivan et al., elfogadva Tectonophysics-be; 2. ábra). Ez a jelenség, egyes vélemények szerint (Jung és Karato, 2001; Lassak, 2006) a peridotit kőzetek „nedves” deformációjából fakad.



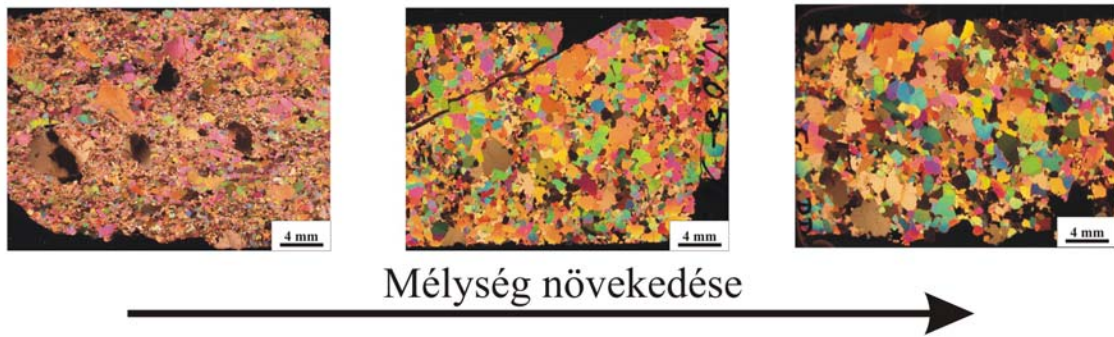
2. ábra Maximális sebességhez tartozó anizotrópia irányok a Keleti-, és Déli-Kárpátok területén Ivan et al. (Tectonophysicsbe elküldve 2007) alapján

Eredményeink kimutatták, hogy a Pannon-Kárpáti rendszer keleti területei alatt található litoszféra köpeny a szubdukció-kollízió folyamata során deformációt és a deformációhoz kapcsolódó átkristályosodást szenvedett. A vizsgált litoszféra szelvényben a deformáció jellege folyamatosan változik a mélység felé (3. ábra),



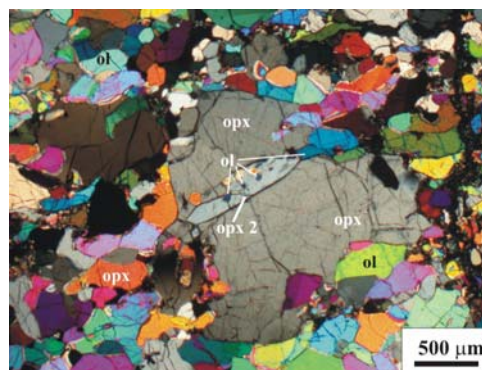
**3. ábra** Kristálytani irányítottság és szeizmikus anizotrópia, valamint a hőmérséklet és stressz változása a mélység függvényében 3 reprezentatív peridotit xenolit esetében.

vagyis csökkenő feszültség és növekvő hőmérséklet jellemzi az átkristályosodást, amelyet folyamatosan növekvő kristálytani irányítottság és szeizmikus anizotrópia kísér. Ezzel párhuzamosan a kőzetek átkristályosodott mátrixának mérete is folyamatosan változik, vagyis a mélység felé haladva a szemcseméret folyamatosan növekszik (4. ábra).



**4. ábra** *Reprezentatív peridotitok szemcseméretének változása a mélység felé*

Bizonyítottá vált az is, hogy a térségben megfigyelhető, ível párhuzamos maximum szeizmikus sebesség irányok magyarázhatók a litoszféra, kollízió során elszenvedett deformációjával, továbbá igazoltuk, hogy a térség alatt nem volt, úgynevezett nedves deformáció, tehát semmiképpen nem beszélhetünk, úgynevezett „köpenyék” szerkezetéről. Bár alárendelten megjelennek magas víztartalmú fluidumok, vagy olvadékok áramlását és a felsőköpennyel történt reakcióját igazoló szöveti bélyegek (5. ábra), amelyek estünkben olivin rovására kristályosodó ortopiroxének voltak.



**5. ábra** *Olivin rovására kristályosodó ortopiroxén.*

#

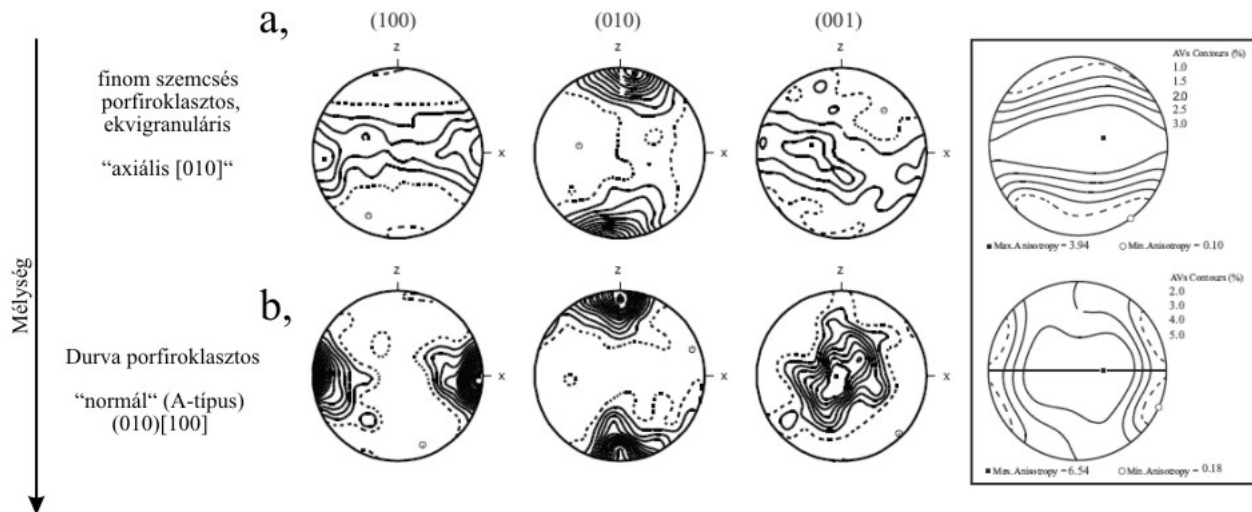
## **A Pannon-medence központi területei (Kisalföld, Balaton-felvidék, Nógrád-Gömör)**

A Pannon-medence központi területeinek peridotit xenolitjai komoly eltérést mutatnak az Erdélyi-medence kőzeteihez képest. Az olivinek deformációját tekintve 2 különböző, határozottan elkülönülő csoport jelenik meg. Az egyik csoportba szigorúan a durvaszemcsés porfiroklasztos peridotitok tartoznak, amelyek bazaltos főelemben gazdag összetételt mutatnak (Downes et al., 1992; Szabó et al., 1995), egyúttal a xenolit-együttes legnagyobb egyensúlyi hőmérsékletével jellemezhetőek (1050-1150 °C) (Szabó et al., 1995). Az említett csoport olivinjeinek deformáltsága "normális", úgynevezett A-típusú irányítottságot mutat, amelyek megfelelnek korábbi kísérletek (Zhang et al., 2000) leírásának. A víztartalom összemérhető az Erdélyi területek mélyebb zónáiban megjelenő xenolitokéval.

A másik xenolit-csoportba olyan finomszemű porfiroklasztos és ekvigranuláris peridotitok tartoznak amelyeknek általában kicsi az egyensúlyi hőmérsékletük (800-900 °C) (e.g., Szabó et al., 1995) geokémiai összetételük pedig nagy változatosságot mutat (Downes et al., 1992). Az ebbe a csoportba sorolt xenolitok szokatlan deformációs bélyegeket mutatnak (**6a. ábra**). Az olivin kristályok b-tengelyei a foliációra merőleges pontba mutatnak, míg az a- és c-tengelyek a loliáció síkjában folyamatos eloszlást mutatnak. Ezt, a természetes peridotitok között ritkán megjelenő szövettípust axiális [010] típusnak nevezi az irodalom (Tommasi et al., 1999). A víztartalom kicsi, olivinek esetében gyakran a kimutatási határérték közelében van.

A kőzeteket felépítő ásványok anizotrópiájából fakadó szeizmikus anizotrópia értékeket Dave Mainprice programjával számoltuk az ásványok irányítottságának, és modális összetételének ismeretében. A két deformációs típuson áthaladó szeizmikus hullámok háromdimenziós eloszlását a **6b. ábra** szemlélteti. A szeizmikus anizotrópia nagysága növekszik az „A-típusú” szövetű xenolitoknál. A nyíróhullámok esetében a maximális anizotrópia mértéke 3.92 % - 6.5 % között változik. Feltételezéseink

szerint ezeket az értékeket mintázzák meg azok az ún. SKS-hullámok, amelyek közel függőlegesen haladnak, abban az esetben, ha a lineáció iránya közel vízszintes, míg a foliáció a felszínnel nagyjából merőleges.



6. ábra A 2 jellegzetes deformáltságú csoport olivinjeinek orientáció-eloszlása és jellegzetes 3D szeizmikus anizotrópia eloszlása

Mindezek alapján, a tényleges szeizmikus anizotrópia értékek ismeretében (kb. 1s - Houseman et al., 2007), illetve a kéregből származó anizotrópia elhanyagolásával, becsülhető az anizotróp rétegek vastagsága. Attól függően, hogy a két eltérő deformációs jelleget mutató felsőköpeny-réteg milyen módon helyezkedik el egymáshoz képest, a megfigyelt anizotrópia kialakulásáért 82 - 106 km vastagságú, a jelentősebb anizotrópiát mutató, az A-típusú deformációval jellemzett, mélyebb felsőköpenyen kell a szeizmikus hullámnak kell áthaladnia. Feltételezéseink alapján a felsőköpenyek ez az alsó része az alpi orogenezis és kollízió során kilökődött asztenoszféra anyagot reprezentálja.

A fenti feltételezést erősítik a területen végzett szeizmikus anizotrópia mérések, amelyek egyértelműen jelzik, hogy a tágabb régióra jellemző ÉNy-DK-i anizotrópia trend (Dricker et al., 1999; Kummerow and Kind, 2006; Ivan et al., 2009; Meissner et al., 2002; Vinnik et al., 1994;) csak a Pannon-medencében törik meg és fordul K-Ny-i irányba.

## **Összefoglalás**

A Pannon-medence alatti felsőköpeny részletes mikrodeformációs és ellenőrző infravörös spektroszkópai vizsgálata alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- 1) A Pannon-medence felsőköpenye minden esetben kristályplasztikus deformáció jeleit mutatja;
- 2) Jelentős eltérés mutatkozik a kelet-erdélyi és medence központi területek felsőköpenye között. Míg a kelet-erdélyi területen a mélységgel fokozatosan változó deformáltságot azonosítottunk, addig a medence központi területein kétrétegű felsőköpeny jelenléte feltételezhető;
- 3) A kristályplasztikus deformáció során aktiválódott siklatási rendszer minden esetben a normál, ún. A-típusú siklatás, amely a felsőköpeny-körülményekre legjellemzőbb siklatási rendszer;
- 4) Vizsgálataink során sem a kelet-erdélyi, sem a nógrád-gömöri területen (amelyek a feltételezett szubdukciós frontokhoz a legközelebb estek) nem találtunk nagy víztartalomban bekövetkező deformációra utaló jeleket;
- 5) A nagy víztartalom hiányát az infravörös spektroszkópai mérések is megerősítették;
- 6) A részben a projekt keretében mért szeizmikus anizotrópia adatok jól összevethetők a xenolitokban megfigyelt anizotróp karakterrel. A xenolitok alapján becsülhető, hogy a szeizmikus anizotrópia kialakulásáért egy kb. 82-106 km vastag anizotróp felsőköpeny domén lehet felelős;
- 7) A vizsgálati eredmények a jelenleg elfogadott, a Pannon-medence kialakulására vonatkozó geodinamikai fejlődés revíziójának szükségességét mutatják. Különös tekintettel a Pannon-medence központi területein feltételezhető rétegzett felsőköpeny jelenléte az alpi orogén térségből kilökődő asztenoszféra jelentős szerepét sejteti.



## **Irodalomjegyzék**

- Csontos L., 1995. Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. *Acta Vulcanologica*. 7, 1-13.
- Downes, H., Embeyisztin, A., Thirlwall, M.F., 1992. Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from the Western Pannonian basin (Hungary) - evidence for and association between enrichment and texture in the upper mantle: *Contributions to Mineralogy and Petrology* 109, 340-354.
- Dricker, I., Vinnik, L., Roecker, S., Makeyeva, L., 1999. Upper-mantle flow in EasternEurope. *Geophysical Research Letters* 26, 1219-1222.
- Hauser, F., Raileanu, V., Fielitz, W., Bala, A., Prodehl, C., Polonic, G., Schulze, A., 2001. VRANCEA99: the crustal structure beneath the southeastern Carpathians and the Moesian Platform from a seismic refraction profile in Romania. *Tectonophysics*. 340, 233– 256.
- Ivan, M., Popa, M., Ghica, D., 2008. SKS splitting observed at Romanian broad-band seismic network. *Tectonophysics* 462, 89–98.
- Jung H., Karato S.-I., 2001. Water-induced fabric transitions on olivine. *Science*. 293, 1460-1463.
- Kneller E.A., van Keken P.E., Karato S., Park, J., 2005. B-type olivine fabric in the mantle wedge: Insights from high-resolution non-Newtonian subduction zone models, *Earth Planet. Sci. Lett.* 237, 781-797.
- Kummerow, J., Kind, R., 2006. Shear wave splitting in the Eastern Alps observed at the TRANSALP network. *Tectonophysics* 414, 117-125.
- Lassak T.M., Fouch M.J., Hall C.E., Kaminski, E., 2006. Seismic characterization of mantle flow in subduction systems: Can we resolve a hydrated mantle wedge? *Earth Planet. Sci. Lett.* 243, 632-649.
- Mackwell S.J., Kohlsted D.L., Paterson, M.S., 1985. Role of water in the deformation of olivine single-crystals. *J. Geophys. Res.* 90, 11 319-11 333.
- Meissner, R., Mooney, W.D., Artemieva, I., 2002. Seismic anisotropy and mantle creep in young orogens. *Geophysical Journal International* 149, 1-14.

- Szabó, C., Harangi, S., Vaselli, O., Downes, H., 1995. Temperature and oxygen fugacity in peridotite xenoliths from the Carpathian-Pannonian Region. *Acta Vulcanologica* 7, 231-239.
- Tommasi, A., Tikoff, B., Vauchez, A., 1999. Upper mantle tectonics: three-dimensional deformation, olivine crystallographic fabrics and seismic properties. *Earth and Planetary Science Letters* 168, 173-186.
- Vinnik, L.P., Krishna, V.G., Kind, R., Bormann, P. and Stammer, K., 1994. Shear-wave splitting in the records of the German regional seismic network. *Geophysical Research Letters*, 21 (6), 457-460.
- Zhang, S., Karato, S., Fitzgerald, J.D., Faul, U.H., Zhou, Y., 2000. Simple shear deformation of olivine aggregates. *Tectonophysics* 316, 133-152.