

**Felsőköpeny peridotitok mikroszerkezeti vizsgálata: alkalmazásuk a Belső-Kárpáti-medencerendszer kialakulásához kapcsolódó köpenyfolyamatok megértésében**

**Falus György**

Témavezető:

**Szabó Csaba**

Eötvös Loránd Tudományegyetem,  
Természettudományi Kar,  
Kőzettani és Geokémiai Tanszék

**2004**

## **Előzmények**

A Belső-Kárpáti-medencerendszer az alpi orogén késői szakaszában, az adriai és az európai lemez konvergenciája következtében jött létre (pl: Kázmér és Kovács, 1985; Balla, 1988; Csontos et al., 1992; Csontos, 1995; Fodor et al., 1999). Az orogén ék keleti irányú kiszökését, amely a Pannon-medence képződéséhez vezetett, extenziós összeomlás, valamint a kárpáti szubdukció aktív szivóhatása kísérte. A medence képződéséhez jelentős litoszféra-kivékonyodás is társult (pl: Csontos, 1995; Török, 1995; Fodor et al., 1999; Tari et al., 1999; Falus et al., 2000; Huisman et al., 2001). A neogén-kvarter alkáli bazaltos vulkanizmus, amely elszórtan jelenik meg a medencerendszer egész területén, nagy mennyiségű felsőköpeny eredetű xenolitot tartalmaz, kiváló lehetőséget biztosítva a felsőköpeny fizikai és kémiai állapotának tanulmányozására. A bazaltvulkánok kitöréséhez feltételezhetően mélyfészű földrengések is kapcsolódhattak (Falus et al., 2004).

A Belső-Kárpáti-medencerendszer felsőköpeny eredetű zárványain az elmúlt évtizedekben hazai és külföldi kutatók intenzív közettani és geokémiai vizsgálatokak végeztek (pl: Embey-Isztin, 1976, 1984; Embey-Isztin et al., 1989, 2001ab; Kurat et al., 1991; Downes et al., 1992; Szabó és Taylor, 1994; Szabó et al., 1995ab; Vaselli et al., 1995, 1996; Dobosi et al., 1999; Falus et al., 2000, Bali et al., 2001, 2002; Dobosi, 2003), hogy megismerjék a kőzetek litológiáját, fő- és nyomelem-, valamint izotópgeokémiai tulajdonságait. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a medencerendszer alatti litoszféra hasonló a Föld más területeiről megvizsgált, sekély szubkontinentális litoszférájához. Jelentős kapcsolat mutatkozott a xenolitok összetétele és szövete (amely deformációs állapotuknak feleltethető meg) között (pl: Downes et al., 1992; Szabó et al., 1995a). Ezen túlmenően a zárványok egyensúlyi hőmérséklete, valamint oxigénfugacitása is jelentős kapcsolatot mutat a szövettel (Szabó et al., 1995a). Azonban mindezekig nem létezett olyan modell, amely a xenolitok szöveti fejlődését egyértelműen össze tudta volna kapcsolni a geokémiai jellemvonással és fejlődéssel.

A geokémiai vizsgálatokkal párhuzamosan, de azoktól teljesen különálló módon fejlődtek a deformáció-, szövet- és szerkezetvizsgálati módszerek, és az eredmények értelmezése is. Nemcsak a vizsgálati módszerek robbanásszerű fejlődése (Fjedorov-asztaltól a visszaszórt elektrondiffrakcióig), hanem a mikroszerkezetek kinematikai értelmezése is gyökeresen megváltozott (pl: Wenk és Christie, 1991). A laboratóriumi kísérletek különösen nagy figyelmet szenteltek az olivin

szerkezetalakulásának megértésére (pl: Carter és Avé Lallemant, 1970, Mercier és Nicolas, 1975; Zhang et al., 2000), lévén ez az ásvány a leggyakoribb köpenyfázis. A kísérleti eredményeket sikeresen alkalmazták természetes peridotitok mikroszerkezetének (azaz kitüntetett kristálytani irányainak) értelmezésére (pl: Soedjatmiko and Christensen, 2000). Ezek a munkák azonban nem foglalkoztak részletesen az átkristályosodás és a geokémia kapcsolatával.

Munkám fő célkitűzései:

- 1) A Belső-Kárpáti-medencerendszer xenolit lelőhelyeiről származó makroszkópos deformációt mutató felsőköpeny zárványok részletes szöveti és mikroszerkezeti vizsgálata;
- 2) A felsőköpenyben végment deformációt kiváltó folyamatok mennyiségi és minőségi leírása;
- 3) Belső-Kárpáti-medencerendszer kialakulása következtében végbemenő köpenyfejlődés dinamikus (reálisabb) képének megalkotása.

#### **Alkalmazott kutatási módszerek**

A Belső-Kárpáti-medencék ismert xenolit lelőhelyeiről több száz zárvány közül majdnem 50, makroszkóposan deformációt mutató zárványt választottam ki. A kiválasztott zárványokból petrográfiai vékonycsiszolatok készültek. Amennyiben lehetséges volt, olyan zárványok mikrodeformációs vizsgálatát is elvégeztem, amelyeket korábbi geokémiai vizsgálatok során már részletesen elemeztek (Vaselli et al., 1995, 1996; Szabó et al., 1995b).

A vékonycsiszolatokon modális összetétel-meghatározást, szöveti elemzést (Mercier és Nicolas, 1975 módszere alapján), és mikroszerkezeti vizsgálatot végeztem Nikon Eclipse E600 POL polarizációs mikroszkóp segítségével. Az olivinek orientáció-meghatározását Ernst Leitz féle Fjedorov-asztalon végeztem (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium). Amennyiben lehetséges volt, minden mintában száz olivin kristály orientációját határoztam meg. Az eredményeket sztereografikus projekcióban, alsó félgömb, egyenlő területű vetületben ábrázoltam. Különleges szöveti képet mutató zárványokon miszorientációs vizsgálatok is készültek, amelyeknek eredményeit kristálytani koordinátarendszerben ábrázoltam. Mindkét esetben a geometriai számítások elvégzéséhez számítógépes programot készítettem.

A munkában felhasznált geokémiai összetételek jelentős részét korábbi irodalmakból emeltem ki (pl: Kurat et al., 1991; Downes et al., 1992; Szabó és Taylor, 1994; Szabó et al., 1995b; Vaselli et al., 1995, 1996; Falus et al., 2000, Embey-Isztin et al., 2001; Bali et al., bírálat alatt). Saját elemzéseimet JEOL Superprobe JXA-8600 hullámhossz diszperzív detektorokkal felszerelt elektronmikroszondával készítettem a Firenzei és a Bristoli Egyetem Földtudományi Tanszékén. Mindkét laboratóriumban természetes és szintetikus standardokat használtunk, az eredmények korrekciójához Bence és Albee (1968) módszerét alkalmaztuk. Az összetétel meghatározásához fázisonként 2-5 mérést végeztem el.

## **Eredmények**

- 1) A Belső-Kárpáti-medencerendszer képződése az alpi kollízió, és az azt követő kilökődés, valamint az európai lemez afrikai lemez alá történő szubdukciója és hátragördülése eredményeként zajlott le. A Belső-Kárpáti-medencerendszert két litoszférikus egység (ALCAPA és TISZA) építi fel. Az egységeknek eltérő a miocén előtti története, de a kora miocénben lezajlott összekapcsolódásukat követően azonos tektonikai, szerkezeti, geodinamikai és geokémiai fejlődésen mentek keresztül. A medence-képződéshez kapcsolódva zajlott a litoszférikus köpeny deformációja és geokémiai fejlődése is.
- 2) A köpenyzárványok egyensúlyi hőmérséklete feltételezhetően a felsőköpenyben elfoglalt, függőleges irányban egymáshoz viszonyított helyzetüket tükrözi egyes lelőhelyeken belül. A nagyobb egyensúlyi hőmérsékletű zárványok jelentősebb mélységből származnak, míg az kisebb egyensúlyi hőmérsékletű zárványok sekélyebb köpenyt reprezentálnak.
- 3) A bazaltos főelemek szabályszerű csökkenése a vizsgált xenolitokban a csökkenő mélységgel (csökkenő egyensúlyi hőmérséklettel) feltételezhetően több, egymással összeadódó köpenyfolymat, amely a:
  - kontinentális kéreg képződéséhez kapcsolódó, ősi, kimerülés adiabatikus nyomáscsökkenés során fellépő, növekvő mértékű parciális olvadás; és/vagy

- áramló olvadékok/fluidumok és a köpeny között fellépő, piroxént felemésztő és olivint képző reakciók eredménye.
- 4) A gazdagodási folyamat(ok), amely elsősorban inkompatibilis nyomelemek összetételében mutatkozik meg, az ősi kimerülési folyamat után zajlott(ak). A metasomatizáló fluidumok áramlása magmás erek, nyírózónák mentén történt, azonban a szemcsehatár menti fluidum áramlás szintén fontos lehetett a sekély felsőköpeny egészének metasomatizálása során.
  - 5) A medencerendszer alatti köpenyben megfigyelhető deformációs jelenségek nagyrészt a Belső-Kárpáti-medencerendszer képződéséhez kapcsolódnak, ugyanakkor nem kizárható ősi deformációs elemek megőrződése sem.
  - 6) A Belső-Kárpáti-medencerendszer képződése során jelentős litoszférakivékonyodás történt, amelyre egyértelműen utalnak a Stájer-medence, Kisalföld és Persány-hegység területéről előkerült gránát szimplektitek. Geobarometriai számítások alapján a medenceképződést megelőzően a litoszféra 40-50 km-rel vastagabb lehetett.
  - 7) Az olivin kristályok orientáció eloszlás-vizsgálata alapján megállapítható, hogy a medencerendszer északi és keleti peremén az egyensúlyi hőmérséklettől függetlenül uralkodóan (010)[100] siklatási rendszer szerinti kristályplasztikus deformáció fordult elő a felsőköpenyben. A medencerendszer központi területein megjelenő zárványok esetében ugyanakkor egyértelmű kapcsolat mutatkozik az egyensúlyi hőmérséklet (~származási mélység) és az aktív siklatási rendszer között. A nagyobb mélységből származó xenolitok a (010)[100] siklatási rendszer szerinti kristályplasztikus deformációról tanúskodnak. Ugyanakkor a sekélyebb mélységből származó zárványok a (010)[100] rendszer mellett más siklatási rendszerek aktivációját is jelzik, leginkább a (100)[001] siklatási rendszer és a (010) szerinti csavar diszlokációk befolyásáról tesznek tanúbizonyságot. A jelenség feltételezhetően a mélység függvényében eltérő feszültségtérben zajló deformációt jelezhet. A sekély köpeny jelentős lapulást (több irányú extenzió következtében) szenvedhetett, amely a felszínen is nyomomonkövethető. A köpeny

mélyebb zónájában a deformáció asztenoszférikus folyás során mehetett végbe, majd a deformáció megszűnésével a litoszféra részévé vált.

- 8) A Persány-hegység területéről előkerült milonitos felsőköpeny xenolitok egyedülállóak az egész medencerendszer zárványi között. A deformáció lokalizációja olvadék-beáramláshoz kapcsolódhat. A deformáció kiváltó oka a szubdukálódó európai lemez közelsége lehetett.
- 9) A termálisan relaxált, statikusan átkristályosodott közetszövetek (pl.: ekvigranulárus) kialakulása fiatal folyamatokhoz, pl: az asztenoszféra feláramlásának hőhatásához, olvadék/fluidum perkolációhoz kapcsolódik, amely beindíthatta mind az alszemcse rotációt, mind a statikus átkristályosodást és a szemcseméret-növekedést is. A statikus átkristályosodás, ugyanakkor nem változtatott jelentősen a köpeny szerkezetén.
- 10) A felsőköpeny zárványok szerkezetében kimutatott anizotrópia jelentős hatással lehet az olvadékok és fluidumok áramlására. Sőt, egy olyan fontos tényező lehet, amely befolyásolja a felszínen megjelenő vulkanitok területi eloszlását is.  
Az anizotrópia ténye és a medencerendszer központi zónája alatt deformációs vizsgálatokkal kimutatott szerkezeti domén, amely lapított ekvigranuláris szövevettel, kb. 1000 °C-os egyensúlyi hőmérséklettel és kimerített főelemösszetétellel jellemezhető, arra utal, hogy az anizotrópia jelensége, éppen úgy, mint számos helyen világszerte, a Belső-Kárpáti-medencerendszer területén is kimutatható geofizikai módszerekkel. A mikroszerkezeti vizsgálatok, geokémiai és geofizikai módszerek együttes alkalmazása elősegítheti olyan területek köpenyszerkezetének feltárását is, ahol a vulkáni tevékenység nem mintázta meg a felsőköpenyt. Továbbá, az ilyen típusú vizsgálatok jelentősen hozzájárulnának a medence-képződési és hozzá kapcsolódó deformációs és olvadék/fluidum áramlási folyamatok megértéséhez

**A doktori témakörében írt publikációk:**

**Cikkek:**

- Falus, Gy.**, Szabó, Cs. and Vaselli, O., (2000) Mantle upwelling within the Pannonian Basin: evidence from xenolith lithology and mineral chemistry. *Terra Nova*, 12 (6), 295-302.
- Falus, Gy.**, Drury, M.R., Roermund van H.L.M. and Szabó, Cs. (2004) Magmatism-related localized deformation in the mantle: a case study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 146, 493-505.
- Szabó, Cs., **Falus, Gy.**, Zajacz, Z., Kovács, I., Bali, E., (2003) Composition and Evolution of Lithosphere beneath the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Tectonophysics* (in press)

**Absztraktok:**

- Falus, Gy.**, van Roermund, H.L.M., Drury, M.R., Szabó, Cs. and Gál, Á. (2001) The mechanism of development of a mantle shearzone: evidence from a xenolith (Szentbékállai, Bakony—Balaton Highland, Hungary). *PANCARDI 2001, Sopron. Abstracts*, pp-4. *poszter*
- Falus, Gy.**, Szabó, Cs., Vaselli, O. and Gál, Á. (2001) Evidence for mantle upwelling within the Pannonian Basin. *PANCARDI 2001, Sopron. Abstracts*, po-11. *előadás*
- Falus, Gy.**, van Roermund, H.L.M., Drury, M.R., Szabó, Cs. and Gál, Á. (2001) The mechanism of development of a mantle shearzone: evidence from a xenolith (Szentbékállai, Bakony—Balaton Highland, Hungary). *MINPET 2001, Vienna. Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **146**, pp. 78. *poszter*
- Falus, Gy.** (2002) Paleoszeizmicitás a Pannon-medencében: felsőköpeny zárványok, mint ősi földrengések hírmondói, 2002. Salgótarján, March 22-23., program és absztrakt, Magyar Geofitikusok Egyesülete, XXXIII. Ifjú Szakemberek Ankétja, p 22-23. *előadás*
- Szabó, Cs., Kovács, I., Bali, E., **Falus, Gy.**, Török, K. and Vaselli, O. (2002) Composition and evolution of Lithosphere beneath the Carpathian-Pannonian Region. *Mantle Responses to Tethyan Closure IGCP 430 2<sup>nd</sup> Annual Workshop*. April 1-10, 2002, Halong Bay City, Vietnam. Program with abstracts, pp. 58.

- Falus, Gy.** and Szabó, Cs. (2002) Deformation analysis in upper mantle peridotite xenoliths and their correspondence to the formation of the Pannonian Basin: first results. Fourth International Workshop on Orogenic Lherzolites and Mantle Processes. August 26- September 3, 2002, Samani, Hokkaido, Japan. Abstract volume, pp. 29. *poszter*
- Falus, Gy.**, Drury, M.R., Roermund van H.L.M. and Szabó, Cs. (2002) Brittle/plastic deformation by melt induced weakening in a peridotite-pyroxenite xenolith from Szentbékállá (Bakony—Balaton Highland, Hungary). Fourth International Workshop on Orogenic Lherzolites and Mantle Processes. August 26- September 3, 2002, Samani, Hokkaido, Japan, pp. 27. *poszter*
- Szabó, Cs., Bali, E., **Falus, Gy.**, Török, K., Vaselli, O. and Downes, H. (2002) Composition and evolution of lithospheric mantle beneath the Pannonian Basin: review. Fourth International Workshop on Orogenic Lherzolites and Mantle Processes. August 26- September 3, 2002, Samani, Hokkaido, Japan, pp. 165.
- Szabó, Cs., **Falus, Gy.**, Bali, E., Kovács, I., Zajacz, Z. & Hidas, K. (2003) Composition and evolution of lithospheric mantle beneath the Pannonian Basin: a petrographic and geochemical review. Mineral Sciences in the Carpathians. March 6-7, Miskolc Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica, abstract series, Miskolc, March 6-7, 2003 pp. 98. *előadás*
- Hidas, K., **Falus, Gy.** and Szabó, Cs. (2003) Petrographic evidence of extension of the Pannonian Basin. Mineral Sciences in the Carpathians. Acta Mineralogica-Petrographica, abstract series, Miskolc, March 6-7, 2003 pp. 42.
- Szabó, Cs., **Falus, Gy.**, Kovács, I., Zajacz, Z., Bali, E. & Hidas, K. (2003): Composition and evolution of lithospheric mantle beneath the Pannonian basin: a petrographic and geochemical review. Mining - Metallurgy and Geology Conference, Zilah, pp. 85.
- Szabó, Cs., **Falus, Gy.**, Bali, E., Kovács, I., Zajacz, Z., Hidas, K. & Peate, D.W. (2003): Composition and evolution of lithospheric mantle beneath the Pannonian basin: a petrographic and geochemical review. The fourth Stephan Müller Conference of the European Geosciences Union, Geodynamic and tectonic evolution of the Carpathian Arc and its foreland: Environmental tectonics and continental topography - Abstract volume, pp. 16.



- Falus, Gy. & Szabó, Cs. (2003)** Deformation analysis in upper mantle peridotite xenoliths: Deformed xenoliths: their role and correspondence to the formation of the Pannonian Basin. 2003 Kore – Hungary International Joint Seminar on Litosphere evolution of the Korean Peninsula and Subcontinental Lithospheric Mantle Study in the Pannonian Basin, Hungary. Pusan National University, Pusan Korea, 2003. December 8-14, pp. 7.
- Falus, Gy., Szabó, Cs and Hidas K. (2004)** Deformation in the upper mantle during the formation of the Pannonian Basin: deformation analysis of peridotite xenoliths from young alkali basalts. 32 IGC conference, Florence, 2004. 20-24 August. (nyomtatásban).
- Falus, Gy., Szabó, Cs, Vaselli, O., and Hidas, K. (2004)** Garnet symplectites and their significance: a case study from the Little Hungarian Plain Volcanic Field, western Pannonian Basin. 32 IGC conference, Florence, 2004. 20-24 August. (nyomtatásban).

#### **Felhasznált irodalom**

- Bali, E., Szabó, Cs., Török, K. & Vaselli, O. (2001): The significance of carbonate-bearing and carbonate-free silicate melt pockets in the upper mantle: a case study on Szentbékállá ultramafic xenoliths, Bakony-Balaton Highland Volcanic Field. (in Hungarian with English abstract). Bulletin of the Hungarian Geological Society, **131**, 415-442.
- Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O. and Török, K. (2002): Significance of silicate melt pockets in upper mantle xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Western Hungary. Lithos, **61**, 79-102.
- Balla Z (1988) Clockwise paleomagnetic rotations in the Alps in the light of the structural pattern of the Transdanubian Range (Hungary). Tectonophysics, **145**, 277-292.
- Bence, A., E. and Albee, A., L. (1968): Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. Journal of Geology, **76**, 382-403.
- Carter NL, Avé Lallemant HG (1970) High temperature flow of dunite and peridotite. Bulletin of the Geological Society of America, **81**, 2181-2202.
- Csontos L, Nagymarosy A, Horváth F, Kovac M (1992) Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. Tectonophysics, **208**, 221-241.

- Csontos, L (1995) Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. *Acta Vulcanologica*, **7**, 1-13.
- Dobosi G., Kurat G., Jenner G.A., Brandstätter F. (1999): Cryptic metasomatism in the upper mantle beneath Southeastern Austria: a Laser Ablation Microprobe - ICP - MS study. *Mineralogy and Petrology*, **67**, 143-161
- Dobosi G. (2003) Geochemistry of the upper mantle and lower crust based on the study of mafic volcanites and xenoliths, primarily on the example of the Karpathian Basin. Doctor of Science Thesis, pp 294.
- Downes, H., Embey-Isztin, A. and Thirlwall, M.F. (1992): Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from the western Pannonian Basin (Hungary): evidence for an association between enrichment and texture in the upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology.*, **107**, 340-354.
- Embey-Isztin, A. (1976): Amphibolite/lherzolite composite xenolith from Szigliget, north of the Lake Balaton, Hungary. *Earth and Planetary Science Letters*, **31**, 297-304.
- Embey-Isztin, A., Dobosi, G. and Downes, H. (2001b): Geochemical characterization of the Pannonian Basin mantle lithosphere and asthenosphere: an overview. *Acta Geologica Hungarica*, **44**, 259-280.
- Embey-Isztin, A., Scharbert, H.G., Dietrich, H. and Poulditis, H. (1989): Petrology and geochemistry of peridotite xenoliths in alkali basalts from the transdanubian volcanic region. *Journal of Petrology*, **34**, 317-343.
- Embey-Isztin A, Dobosi G, Altherr R and Meyer H-P. (2001): Thermal evolution of the lithosphere beneath the western Pannonian Basin: evidence from deep-seated xenoliths. *Tectonophysics* **331**, 285-306.
- Falus, Gy., Szabó, Cs. and Vaselli, O., (2000) Mantle upwelling within the Pannonian Basin: evidence from xenolith lithology and mineral chemistry. *Terra Nova*, **12**, 295-302.
- Falus, Gy., Drury, M.R., Roermund van H.L.M. and Szabó, Cs. (2004) Magmatism-related localized deformation in the mantle: a case study. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **146**, 493-505.
- Fodor L, Csontos L, Bada G, Györfi I, Benkovics L (1999) Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: Durand B, Jolivet L, Hortváth F, Séranne M (Eds): *The*

- Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geological Society, London. Special publication **156**, 295-334.
- Huismans RS, Podladchikov YY, Cloetingh S (2001) Dynamic modelling of the transition from passive to active rifting: Application to the Pannonian basin. *Tectonics*, **20**, 1021-1039.
- Kázmér M, Kovács S (1985) Permian-Paleogene paleogeography along the eastern part of the Insubric-Periadriatic lineament system: evidence for the continental escape of the Bakony-Drauzug unit. *Acta Geologica Hungarica*, **28**, 71-84.
- Kurat G, Embey-Isztin A, Karcher A, Scharbert H (1991) The upper mantle beneath Kapfenstein and the Transdanubian Volcanic Region, E-Austria and W Hungary: A comparison. *Mineralogy and Petrology*, **44**, 21-38.
- Mercier, J-CC. Nicolas A (1975). Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology*, **6**, 454-487.
- Soedjatmiko B, Christensen NI (2000) Seismic anisotropy under extended crust: evidence from upper mantle xenoliths, Cima Volcanic Field, California. *Tectonophysics* **321**, 279-296.
- Szabó Cs, Taylor LA (1994) Mantle petrology and geochemistry beneath Nógrád-Gömör Volcanic Field, Carpathian-Pannonian Region. *International Geological Review*, **36**, 328-358.
- Szabó Cs, Harangi Sz, Vaselli O, Downes H, (1995a) Temperature and oxygen fugacity in peridotite xenoliths from the Carpathian-Pannonian Region. *Acta Vulcanologica*, **7**, 231-239.
- Szabó, Cs., Vaselli, O., Vannucci, R., Bottazzi, P., Ottolini, L., Coradossi, N. and Kubovics, I. (1995b): Ultramafic xenoliths from the Little Hungarian Plain (Western Hungary): a petrologic and geochemical study. *Acta Vulcanologica*, **7**, 249-267.
- Tari G, Dövényi P, Dunkl I, Horváth F, Lenkey L, Stefanescu M, Szafián P, Tóth T (1999): Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data. In: Durand B, Jolivet L, Hortváth F, Séranne M (Eds): The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geological Society, London. Special publication **156**, 215-250.
- Török K (1995) Garnet breakdown reaction and fluid inclusions in a garnet clinopyroxenite xenolith from Szentbékállá (Balaton Highland, W-Hungary). *Acta Vulcanologica*, **7**, 285-290.

- Vaselli O, Downes H, Thirlwall M, Dobosi G, Coradossi N, Seghedi I, Szakacs A, Vannucci R (1995) Ultramafic Xenoliths in Plio-Pleistocene alkali basalts from the Eastern Transylvanian Basin: depleted mantle enriched by vein metasomatism. *Journal of Petrology*, **36**, 23-53
- Vaselli O, Downes H, Thirlwall MF, Vannucci R, Coradossi N (1996) Spinel-peridotite xenoliths from Kapfenstein, (Graz Basin, Eastern Austria): a geochemical and petrological study. *Mineralogy and Petrology*, **57**, 23-50.
- Wenk HR, Christie JM (1991) Comments on the interpretation of deformation textures in rocks. *Journal of Structural Geology*, **13**, 1091-1110.
- Zhang S, Karato S, Fitz Gerald JD, Faul UH, Zhou Y (2000) Simple shear deformation of olivine aggregates, *Tectonophysics*, **316**, 133-152.