

**Fluid/melt – wall rock interaction in the upper mantle
beneath the central Pannonian basin**

(Fluidum/olvadék – mellékkőzet kölcsönhatás a Pannon medence
központi területe alatti felsőköpenyben)

Bali Enikő

Témavezető:

Szabó Csaba

ELTE, TTK, Közettani és Geokémiai Tanszék

David W. Peate

University of Iowa, Department of Geoscience

Tartalomjegyzék:

Előzmények	2
Vizsgálati módszerek	3
Analitikai módszerek	3
Eredmények	4
Köszönetnyilvánítás	6
A Ph.D. munkához kapcsolódóan megjelent publikációk	7
Irodalomjegyzék	9

Előzmények

Felsőköpeny eredetű zárványokat tartalmazó neogén-kvarter alkali bazaltok a Kárpát-Pannon régió központi (Kisalföld, Bakony--Balaton felvidék) és szegély zónájában (Stájer medence, Nógrád-Gömör, Erdélyi medence) egyaránt megtalálhatók. Ezek a xenolitok lehetőséget nyújtanak a felsőköpeny fejlődésének tanulmányozására. A zárványok vizsgálata során számos köpenyfolyamat vált ismertté a régióban, mint pl. a különböző mértékű parciális olvadás, metasomatózis, valamint a köpeny deformáció. Korábbi tanulmányok rámutattak arra, hogy egy ősi (~1 Ga, terciernél mindenképpen idősebb; Embey-Isztin et al., 2001), jelentős kimerülést követően elsősorban a deformált köpenyanyag gazdagodott jelentősen nyomelemekben, valamint Nd-Sr radiogén izotópokban. Ezt a gazdagodást, amely elsősorban a Pannon medence központi részén volt megfigyelhető, Downes et al. (1992) a befogadó bazalthoz, valamint (a Kárpáti fronton zajló) szubdukció során felszabadult olvadékokhoz/fluidumokhoz kötötte.

A legtöbb munka eddig olyan zárványokkal foglalkozott, amelyeket ún. modális metasomatózis nem ért, így sokkal kisebb figyelmet fordítottak korábbi szerzők a piroxén-gazdag és az amfibol-tartalmú zárványoknak (Embey-Isztin, 1976; Embey-Isztin et al., 1989; Downes et al., 1992; Dobosi et al., 2003; Török et al., 2003). Továbbá mind a klinopiroxenitok kialakulását, mind az amfibolok létrejöttét a befogadó alkali bazaltos magmatizmus termékének tekintették (Downes et al., 1992; Dobosi et al., 2003). Az utóbbi évtizedek technikai fejlődése lehetőséget nyújtott kis szemcseméretű ásványegyüttesek, szilikátolvadék-csomók, erek, zárványok vizsgálatára, amelyek tanulmányozása az elmúlt néhány évben vált lehetővé. Ennek következtében ezeknek az ásvány+kőzetüveg csomóknak a vizsgálatára is kiterjedt a kutatók figyelme (pl: Szabó et al., 1995, 1996; Embey-Isztin és Scharbert, 2000; Bali et al., 2001; 2002).

E munka fő céljai:

1. Az eddig kevésbé tanulmányozott xenolitok, mint az ortopiroxén-gazdag websteritek, a websterit-ereket tartalmazó lherzolitok, valamint szilikátolvadék-csomókat magukba foglaló peridotitok és piroxenitok részletes szöveti, fő- és nyomelem, valamint izotóp összetétel meghatározása;

2. A köpenyben migráló, változatos összetételű fluidum/olvadék, valamint a köpeny, mint mellékkőzet reakcióinak és a reakció termékek keletkezési feltételeinek meghatározása;
3. A Pannon medence központi része alatti felsőköpenyt ért összetett kimerülési és gazdagodási folyamatok összesítése.

Vizsgálati módszerek

A begyűjtött kőzetmintákból 50-150 μm vastag, mindkét oldalán polírozott vékonycsiszolat készült. Ez a technika lehetővé tette a xenolitokban előforduló olvadék- és fluidzárványok vizsgálatát és szintén alkalmas további *in situ* analitikai vizsgálatokra. A csiszolatokból részletes petrográfiai vizsgálatokat követően történt meg a kijelölt szemcsék, aggregátumok elemzése.

Analitikai módszerek:

Az elektronsugaras mikroanalízist JEOL Superprobe JXA-8600 WDS és JEOL Superprobe JXA-8200 WD/ED készülékkel végeztem a Firenzei Egyetem Földtani Tanszékén, valamint a koppenhágai Geocenterben. Mindkét laboratórium természetes és szintetikus sztenderdeket alkalmaz és Bence és Albee (1968) módszerét használja korrekció számításához. Az átlagösszetételek meghatározásához fázisonként 2-5 pontelemzést készítettem.

A fázisok nyomelem tartalmának *in situ* meghatározására lézer ablációs ICP-MS méréseket CETAC LSX-200 lézer ablációs rendszerrel felszerelt Elan 6100 ICP-MS-sel végeztem a koppenhágai Geocenterben. Az elemzések vonalmenti ill. raszteres mérési módszer alkalmazásával történtek. Kalibrálásra NIST610 és NIST612 szintetikus sztenderdeket használtam (Pearce et al. 1997 értékeit használva) és a fázisok mikroszondával meghatározott CaO-tartalmát alkalmaztam belső sztenderdként.

Az Pb-izotóp mérések a koppenhágai Danish Lithosphere Centre Axiom multikollektoros ICP-MS készülékével készültek, "double spike" módszerrel (Baker et al. 2004, Chemical Geology-hoz elküldve). A Sr-izotóparányok meghatározása VG sector 54 TIMS berendezéssel történt a Koppenhágai Egyetem Geológiai Intézetében. A Sr és Pb izotóp elemzéseket binokuláris mikroszkóp alatt szeparált, zárványmentes klinopiroxéneken, valamint 3 minta esetén szilikátolvadék-csomókon végeztük. A klinopiroxéneket 8N HCl-ban áztattuk Teflon mintatartókban (a felszíni kontamináció

eltávolítása végett), míg az olvadékcsonókat nem áztattuk. A szeparátumokat 7N HNO₃+HF keverékében, 7N HNO₃-ban majd 6M HCl-ban oldottuk. Az oldást követően anion ill. kation cserélő gyanták segítségével választottam le a Pb-t és Sr-t. A Sr-t Re-szára helyeztem H₃PO₄ TaF aktivátor segítségével, míg az Pb elemzése oldatból történt.

Eredmények

1) A Bakony-Balaton-felvidékről (elsősorban Szentbékálláról, ritkábban Szigligetről) előkerült, modális metasomatózist szenvedett zárványokat petrográfiai vizsgálatok során három fő közetcsoportha különítettem el. Ezek: a) ortopiroxén-gazdag websteritek, b) websterit és klinopiroxenit ereket tartalmazó lherzolitok, valamint c) szilikátolvadék-csonókat tartalmazó peridotitok és piroxenitek. Eddig az ortopiroxén-gazdag websteritekről, valamint websterit-eres lherzolitokról a Bakony--Balaton felvidéki területről az irodalomban nem történt említés.

2) A részletes fő- és nyomelem-geokémiai, valamint izotópos vizsgálatok megerősítették, hogy az ortopiroxén-gazdag, valamint a websterit-eres xenolitok az eddig ismert peridotitos és piroxenites kőzetektől eltérők és eddig még nem, vagy részleteiben nem vizsgált folyamat során jöhettek létre. Emellett a szilikátolvadék-csonók igen változatos összetételű kőzetekben jelennek meg, azonban elsősorban ekvigranuláris ill. poikilites szövetű zárványok jellegzetes összetevői (Bali et al., 2001, 2002).

3) A szilikátolvadék-csonók kialakulásának főbb tényezői: a) mindegyik vizsgált xenolit olvadék-csonóinak kialakulásában jelentős szerepe volt az amfiboloknak. Nyomelem összetételek alapján még azokban a mintákban is ki lehetett mutatni, amelyekben az amfibol már nem megfigyelhető. b) Az amfibol megolvadása mellett a klinopiroxén (+/-ortopiroxén) megolvadásával szintén számolni kell ahhoz, hogy az olvadék-csonók összetételét modellezni tudjuk.

4) Az olvadék-csonók egy részében az amfibol és klinopiroxén megolvadása mellett kimutatható külső forrásból származó olvadék/fluidum jelenléte, amelynek összetétele (nyomelem eloszlása) nagyon különbözik a befogadó bazaltétól. Ezek az olvadék-csonók a köpenyben migráló metszomatizáló olvadék és az amfibol+klinopiroxén reakció termékei. A migráló olvadékok geokémiai karaktere szubdukálódott kőzetlemezéből származó olvadéokra emlékeztet.

5) Az olvadék-csomók egy része tartalmaz karbonátot. A karbonátok főelem-összetételükben nem mutatnak különbséget, azonban nyomelem-tartalmukat tekintve nyomelemekben gazdag és nyomelemekben szegény típus különíthető el.

6) A websterit és klinopiroxenit ereket tartalmazó lherzolitokban az ereket felépítő ásványok kémiai egyensúlyba kerültek a lherzolitos mellék kőzettel fő-, nyomelem és izotóp összetételek tekintetében egyaránt. Nagynyomású és hőmérsékletű kísérleti kőzettani munkák (pl. Gaetani és Grove 1998) alapján feltételezhető, hogy a websterit erek nem közvetlen kristályosodási termékek, hanem fertilis (primitív köpenyhez közel álló összetételt mutató) peridotit és H₂O-tartalmú alkali bazaltos olvadék reakciótermékei. Ezzel szemben a klinopiroxenit erek hasonló olvadékok közvetlen kristályosodási termékei lehetnek.

7) A websterit erek több generációja is elkülöníthető, amelyek közül az idősebb (kisebb Al-tartalmú piroxéneket tartalmazó) kialakulását követően deformálódhatott ill. kisebb mértékű parciális olvadáson mehetett keresztül, míg az Al-gazdag piroxéneket tartalmazó anyagok az erek kialakulása után jelentős deformációs ill. olvadási hatást nem szenvedtek.

8) A websterit- és klinopiroxenit-eres xenolitok klinopiroxénjeinek zonássága *in situ* olvadás eredményeként jöhetett létre, az olvadásban külső forrásból származó olvadék/fluidum hatása nem igazolható. A zonásság nyomás csökkenés és enyhe hőmérséklet emelkedés hatására alakult ki MOHO mélységben.

9) Az ortopiroxén gazdag websterit zárványok a petrográfiai és geokémiai vizsgálatok alapján inkább tekinthetők boninites magma kristályosodási (vagy boninit és peridotit reakció) termékeinek, mint egy erősen kimerült peridotitos kőzet és H₂O-tartalmú fluidum reakció termékeinek. Ezt bizonyítja a a) xenolitok nagy egyensúlyi hőmérséklete és oxigén fugacitása, továbbá b) a klinopiroxénnel egyensúlyt tartó olvadék számolt nyomelem összetétele.

10) Az elvégzett vizsgálatok arra utalnak, hogy a Bakony--Balaton-felvidék vulkáni terület alatti felsőköpenyt több ütemben érte különböző eredetű olvadékokhoz/fluidumokhoz kapcsolódó metasomatózis. Ezek közül: a) a legfiatalabb esemény az olvadékcsoportok kialakulása lehetett, mivel anyaguk nem kristályosodott ki teljesen, bennük jelen van a kőzetüveg, képződésük *in situ* amfibol+klinopiroxén±ortopiroxén olvadásként ill. metasomatózis hatására történt amfibol+klinopiroxén olvadásként modellezhető, ahol a metasomatizáló olvadék szubdukálódott kőzetlemezéből származhat; b) a websterit- és klinopiroxenit-erek egy

része szintén fiatal esemény termékei lehetnek, hiszen nem mutatják parciális olvadás és deformáció nyomait, az erek asztenoszférikus olvadékból jöhettek létre a Pannon medence alatti asztenoszféra felboltozódásnak során; c) az ortopiroxén gazdag websteritek lehetnek a legidősebb esemény termékei. Akár fluid-metaszomatózis, akár boninites eredetűnek tekintjük e köpeny fragmentumokat, szubdukálódott kőzetlemez közvetlen közelében kialakult testek maradványairól lehet szó. A Kárpáti ív mentén történt szubdukció jelentős távolsága felveti azt a lehetőséget, hogy ezek a testek egy idősebb szubdukciós folyamat során alakulhattak ki.

Köszönetnyilvánítás

Hálás vagyok témavezetőimnek, Szabó Csabának (ELTE), aki az első lépésektől kezdve követte és segítette munkámat, és David W. Peate-nek (University of Iowa) aki az utolsó lökést adta, ahhoz, hogy elkészüljön. Köszönettel tartozom a Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium (ELTE) valamint a Danish Lithosphere Centre (Koppenhága) kutatóinak és hallgatóinak a hasznos konzultációkért.

A Ph.D. munkához kapcsolódóan megjelent publikációk:

Cikkek:

Bali, E., Szabó, Cs., Török, K. és Vaselli, O. (2001): Karbonáttartalmú és karbonátmentes szilikátolvadék-csomók jelentősége a felsőkőpenyben a szentbékáliai köpenyeredetű ultrabázisos zárványok példáján. Földtani Közlöny, 131/3-4, 415-442.

Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O. és 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.

Szabó, Cs., Falus, Gy., Zajacz, Z., Kovács, I., **Bali, E.** (2004): Composition and evolution of lithosphere beneath the Carpathian-Pannonian region: a review. Tectonophysics (elfogadva).

Konferencia kiadványokban megjelent absztraktok:

Bali, E., Falus, Gy., Szabó, Cs., Vaselli, O. és Török, K. (1999): Carbonatite metasomatism in the upper mantle beneath the Bakony-Balaton Highland and Little Hungarian Plain Volcanic Fields, Western Hungary: evidence from upper mantle xenoliths. Orogenic Lherzolites and Mantle Processes, Pavia, September 12-15. 1999., Abstracts Volume, Ofioliti, 53-54. *(poszter prezentáció)*

Bali, E. (1999): Geochemical research of melt pockets from upper mantle xenoliths (Bakony - Balaton Highland and Little Hungarian Plain Volcanic Field, Western Hungary). MinWien99, Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Beihefte zum European Journal of Mineralogy, 11, MinWien 99, Wien, 1999. August 28.- September 1., abstract, 67. *(poszter prezentáció)*

Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O. és Török, K. (2000): Carbonate bearing melt pockets and veins in upper mantle xenoliths from Bakony - Balaton Highlands and Little Hungarian Plain, Hungary. Minerals of the Carpathians International Conference, Miskolc, March 9-10, 2000., Acta Mineralogica-Petrographica, XLI., 13. *(poszter prezentáció)*

Bali, E. (2000): Szilikátolvadék-csomók jelentősége Bakony – Balatonfelvidéki ultrabázisos zárványokban. Bányász – Kohász – Földtan Konferencia, Kolozsvár, 2000, Március 17-19. 70. *(előadás)*

Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O. és Török, K. (2000): The significance of melt pockets in upper mantle xenoliths from the alkali basalts of the Bakony - Balaton Highland

- Volcanic Field, western Hungary. Mantle Dynamic Implications for Tethian Natural Hazard Mitigation, Kovászna, June 16-22. 2000., 3. *(előadás)*
- Bali, E.,** Szabó, Cs., Vaselli, O. és Török, K. (2000): Origin of melt pockets in upper mantle xenoliths from the Bakony - Balaton Highland Volcanic Field, Western Hungary. *Vijesti* 37/3, 18. *(PANCARDI konferencia, Dubrovnik, előadás)*
- Szabó, Cs., Kovács, I., **Bali, E.,** Falus, Gy., Török, K. és Vaselli, O. (2002): Composition and Evolution of Lithosphere Beneath the Carpathian-Pannonian Region. Mantle Dynamic Implications for Tethian Natural Hazard Mitigation 58.
- Bali, E.,** Szabó, Cs., Vaselli, O. és Török, K. (2002): Carbonate-bearing melt pockets in upper mantle xenoliths from the Pannonian Basin. European carbonatites: implications for the sub-European mantle and their geohazard potential, Chieti - Abstract Volume. 57. *(előadás és poszter prezentáció)*
- Szabó, Cs., **Bali, E.,** Falus, Gy., Török, K. Vaselli, O. és Downes, H. (2002): Composition and evolution of lithospheric mantle beneath the Pannonian basin: review. Fourth International workshop on Orogenic Iherzolites and mantle processes- Abstract volume, 165-166.
- Bali, E.,** Peate, D.W., Zanetti, A. és Szabó, Cs. (2003): Significance of silicate melt pockets in the evolution of the subcontinental lithospheric mantle beneath the central Pannonian basin. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice. Geophysical Research Abstracts, 5, EAE 03-A 00654. *(poszter prezentáció)*
- Szabó, Cs., Falus, Gy., Kovács, I., Zajacz, Z., **Bali, E.** és Hidas, K. (2003): A Pannon-medence alatti köpenylitoszféra összetétele és fejlődése: közettani és geokémiai áttekintés. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia, Zilah, 85.
- Szabó, Cs., Falus, Gy., **Bali, E.,** Kovács, I., Zajacz, Z., Hidas, K. és 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, 16. *(előadás)*
- Szabó, Cs., Falus, Gy., Zajacz, Z., Kovács, I., **Bali, E.** és Hidas, K. (2003): Composition and evolution of the lithosphere beneath the Carpathian Pannonian region: a review. 2003 Korea-Hungary International Joint seminar on Lithosphere Evolution of the Korean Peninsula and Subcontinental Lithospheric Mantle in the Pannonian Basin, Hungary, Abstract volume, 1-4.

Bali, E., Szabó, Cs és Peate, D.W. (2003): Mantle heterogeneity beneath the central Pannonian Basin. 2003 Korea-Hungary International Joint seminar on Lithosphere Evolution of the Korean Peninsula and Subcontinental Lithospheric Mantle in the Pannonian Basin, Hungary, Pusan National University, Abstract volume, 48-53. *(előadás)*

Bali, E. (2004): Speciális ortopiroxén gazdag kőzetek jelentősége a felsőköpenyben. 35. Ifjú Szakemberek Ankétja, Sárospatak, 2004, március 19-20. Programfüzet, 23-24. *(előadás)*

Bali, E., Szabó, Cs., Török, K., Peate, D.W. és Bodnar, R.J. (2004): Significance of orthopyroxene-rich rocks in the upper mantle: a case study on xenoliths from alkali basalts of the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Western Hungary. 32th IGC, Abstract volume, in press. *(előadás)*

Irodalomjegyzék:

Baker, J.A., Waight, T.E. és Meyzen, C. (2004). Pb isotopic analysis of standards and samples using a ^{207}Pb - ^{204}Pb double spike and thallium to correct for mass bias with a double-focussing MC-ICP-MS. Chemical Geology, submitted.

Bali, E., Szabó, Cs., Török, K. és Vaselli, O. (2001): Karbonáttartalmú és karbonátmentes szilikátolvadék-csomók jelentősége a felsőköpenyben a szentbékállai köpenyeredetű ultrabázisos zárványok példáján. Földtani Közlöny, 131/3-4, 415-442.

Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O. és 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.

Bence, A., E. és Albee, A., L. (1968): Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. Journal of Geology, 76, 382-403.

Dobosi, G. Downes, H., Embey-Isztin, A. és Jenner, G.A. (2003): Origin of megacrysts and pyroxenite xenoliths from the Pliocene alkali basalts of the Pannonian Basin (Hungary). Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, 178/3, 217-237.

Downes, H., Embey-Isztin, A. és 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. és Scharbert H.G. (2000): Glasses in peridotite xenoliths from the western Pannonian basin. *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici*, 92, 5-20.
- 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. és Downes, H. (2001): Geochemical characterization of the Pannonian Basin mantle lithosphere and asthenosphere: an overview. *Acta Geologica Hungarica*, 44, 2001 2-3, 259-280.
- Embey-Isztin, A., Scharbert, H.G., Dietrich, H. és Poulditis, H. (1989): Petrology and geochemistry of peridotite xenoliths in alkali basalts from the transdanubian volcanic region. *Journal of Petrology*, 34, 317-343.
- Gaetani, G.A. és Grove, T.L. (1998): The influence of water on melting of mantle peridotite. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 131/4, 323-346.
- Kelemen, P.B., Dick, H.J.B. és Quick, J.E. (1992): Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction in the upper mantle. *Nature*, 358, 635-644.
- Pearce N. J. G., Perkins W. T., Westgate J. A., Gorton M. P., Jackson S. E., Neal C. R. és Chenery S. P. (1997): A compilation of new major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Journal of Geostandards and Geoanalysis* 21, 115-144.
- Szabó, Cs., Bodnar, R.J. és Sobolev, A.V. (1996): Metasomatism associated with subduction-related, volatile-rich silicate melt in the upper mantle beneath the Nógrád-Gömör Volcanic Field, Northern Hungary/Southern Slovakia: Evidence for silicate melt inclusions. *European Journal of Mineralogy*, 8, 881-899.
- Szabó, Cs., Vaselli, O., Vannucci, R., Bottazzi, P., Ottolini, L., Coradossi, N. és Kubovics, I. (1995): Ultramafic xenoliths from the Little Hungarian Plain (Western Hungary): a petrologic and geochemical study. *Acta Vulcanologica*, 7(2), 249-267.
- Török, K., **Bali, E.**, Szabó, Cs. és Szakál, J.A. (2003): Sr-barite droplets associated with sulfide blebs in clinopyroxene megacrysts from basaltic tuff (Szentbékáll, western Hungary). *Lithos*, 66, 275-289.