

**FLUIDUMOK SZEREPE A LITOSZFERIKUS KÖPENYBEN (PANNON
MEDENCE, NY-MAGYARORSZÁG): KÖPENYXENOLITOK
FLUIDUMZÁRVÁNYAINAK RÉSZLETES VIZSGÁLATA**

Berkesi Márta

A Doktori értekezés tézisei

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar

Földtudományi Doktori Iskola

Földtan-Geofizika Doktori Program

Közettani és Geokémiai Tanszék

Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium

Dr. Gábris Gyula, D.Sc. (*Természetföldrajzi Tanszék, ELTE, Budapest*)
a Doktori Iskola vezetője

Dr. Mindszenty Andrea, D.Sc. (*Ált. és Alkalmazott Földtani Tanszék, ELTE,
Budapest*)
a Doktori Program vezetője

Szabó Csaba, Ph.D. (*Közettani és Geokémiai Tanszék, ELTE, Budapest*)
témavezető

Jean Dubessy, D.Sc. (*Nancy-i Egyetem, Vandœuvre-lés-Nancy, Franciaország*)
konzulens

2011 ELTE Budapest

Kulcsszavak: köpeny xenolitok – természetes fluidumzárványok – szintetikus forrasztott szilikátkapilláris fluidumzárványok – CO₂-H₂O Raman spektrometria – fókuszált ionsugaras (FIB) technika – köpeny fluidumok nyomelemtartalma – fluidum metasomatózis – csapdázódást követő folyamatok – szilikátolvadék komponens

© 2011 –Berkesi Márta

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
A kutatás rövid bemutatása és célja	4
Elvégzett munka	5
A kutatáshoz felhasznált eszközök listája	5
Összefoglalás (tézisek)	6
Köszönetnyilvánítás	7
A kutatási témában eddig megjelent publikációk listája	7
Felhasznált irodalom	10

Bevezetés

A fluidumok és/vagy olvadékok szállítódása a köpenyben napjaink egyik legintenzívebben kutatott, de kevésbé ismert mechanizmus a mélylitoszférát formáló folyamatok sorában. Noha a metasomatizáló fluidumok (ágensek) migrációja, illetve ezek reakciója a kontinentális litoszférát alkotó peridotitos falközzel petrográfiailag és geokémiailag dokumentálható, a metasomatizáló olvadékok/fluidumok kémiai összetételére sokféle eredmény született az eddigi kutatások alapján. Eredetüket tekintve számos tudományos értelmezést ismerünk, ezáltal napjainkban is aktív vita tárgyát képezik. Köpenymetasomatózist okozhat szilikát olvadék (Schiano és Clocchiatti, 1994; Bali et al., 2007; 2008a,b; Dantas et al., 2009; Scambelluri et al., 2009; Hidas et al., 2010), vízgazdag fluidum/olvadék (Hartmann és Wedepohl, 1993; Zanetti et al., 1999) vagy karbonatit olvadék (Green és Wallace, 1988; Guzmics et al., 2008a; 2008b). A metasomatizáló ágensek összetételét és természetét a reaktív olvadék és/vagy fluidum által metasomatizált köpeny modális és geokémiai tulajdonságaiból is meg lehet becsülni karbonatitolvadék-metasomatózis (Rudnick et al., 1993; Watson et al., 1990; Yaxley et al., 1991; Yaxley et al., 1998) és szilikátolvadék-metasomatózis esetében is (Szabó et al., 1996; Scambelluri et al., 2009; Wulff-Pedersen et al., 1996). Utóbbira kiváló példa az ortopiroxén modális gazdagodása köpeny kőzetekben.

Peridotit kőzetekben talált ortopiroxén-gazdag litológia kialakulása több folyamat eredménye lehet. Korai modellek szerint a litoszférikus köpeny parciális olvadása okozhat modális összetételben olyan változást, hogy a kiinduló lherzolitos kőzetből harzburgitos, vagy akár dunites összetétel alakul ki (pl. Arai, 1980). Napjainkban azonban egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítanak az olvadék/kőzet kölcsönhatásának köszönhető, ortopiroxén modális hozzáadódásával magyarázott modellnek (Kelemen et al., 1992; 1998). Az egyik legelfogadottabb nézet szerint az ortopiroxén-gazdagodást egy, a lherzolittal reagáló SiO₂-gazdag olvadék okozhatja, amely a szubdukáló óceáni kéreg dehidratációja és parciális olvadása során keletkezhet (Arai et al., 2006; Dantas et al., 2009; McInnes et al., 2001). Más elképzelések szerint ez az olvadék inkább Si-túltelt alkáli vagy szubalkáli karakterű (Wulff-Pedersen et al., 1996; Arai et al., 2006).

A litoszférikus felsőköpenyben migráló olvadékok okozta egyértelmű elsősorban modális változást okozó hatás mellett az elmúlt évtizedben vált ismertté a (szuperkritikus) fluidumok szerepe a metasomatizáló eredményező folyamatokban. Szuperkritikus H₂O-gazdag fluidumok összetételét és viselkedését a felsőköpenyben számtalan tanulmány részletezi (Keppler, 1996; Newton és Manning, 2000; Scambelluri és Philippot, 2001; Kessel et al., 2005; Hermann et al., 2006; Spandler et al., 2007) annak ellenére, hogy a köpenykőzetek túlnyomó többségében a fluidumzárványok CO₂-gazdag fluidumot tartalmaznak (Roedder, 1984; Szabó és Bodnar, 1996; Andersen és Neumann, 2001; Frezzotti et al., 2002; Frezzotti és Peccerillo, 2007). A szubkontinentális litoszféra köpenyben migráló CO₂-gazdag fluidumokról, valamint a peridotittal történő kölcsönhatásokról, azaz a CO₂-gazdag fluidumok rejtett metasomatikus hatásáról jóval kevesebb ismeret áll rendelkezésre (Rosenbaum et al., 1996;

Scambelluri et al., 2004; Malaspina et al., 2006; Hidas et al., 2010). Ezek a tények vetették fel a szubkontinentális peridotitos köpenyben migráló jellegzetes, CO₂-gazdag fluidumok részletes kutatásának fontosságát. Doktori munkám célja tehát a peridotit xenolitokba zárt fluidumzárványok vizsgálata.

Mivel a szubkontinentális köpeny xenolitok fluidumzárványai döntően nagy sűrűségű CO₂-vel vannak kitöltve (pl. Andersen és Neumann, 2001 és hivatkozásai; Berkesi et al., 2007; 2009; Frezzotti et al., 1992; 2002; Frezzotti és Peccerillo, 2007; Roedder, 1965; 1983; Hidas et al., 2010), néhány évvel ezelőttig az általános szemlélet az volt, hogy a szubkontinentális litoszféra köpenyben migráló fluidumok egy komponesből („tisza CO₂”) állnak. Kísérleti munkák (pl. Egger, 1975) mindemellett bizonyították, hogy a tiszta CO₂ még nagy nyomáson és hőmérsékleten (P~20 kbar, T~1300 °C) sem játszik szerepet nyomelemek oldásában és ez által szállításában a litoszférikus köpenyben. Azonban a már korábban említett, köpenyfluidum-zárványokban kimutatott nyomelem-jellemvonás (Rosenbaum et al., 1996; Hidas et al., 2010), valamint OH-tartalmú leányásványok detektálása a zárványokban (pl. Frezzotti et al., 2002; 2010) rávilágított arra, hogy a „tisza CO₂” megközelítést újra kell értelmezni. Doktori munkámban igazolom a CO₂ mellett a H₂O közvetlen jelenlétét a fluidumban. Kimutatom továbbá, hogy csapdázódáskor a bezáródó CO₂-H₂O fluidumban oldott „szilikát olvadék komponens” is van. Ez utóbbinak nagy valószínűséggel kiemelkedő szerepe van a nyomelemszállításban.

A kutatás rövid bemutatása és célja

Doktori értekezésemben köpeny xenolitokba zárt fluidumzárványok részletes vizsgálatát végeztem el. A vizsgálatokhoz a Pannon-medence központi részéről, a Bakony-Balaton-felvidék vulkáni területéről választottam felsőköpeny xenolitokat. Mindemelett szintetikus zárványokat készítettem és megfigyeléseimet felhasználtam a természetes zárványokban zajló folyamatok pontosabb megismerése érdekében. A természetes minták fluidum-zárványainak kutatásával, valamint a szintetikus zárvány-adatok alkalmazásával a következő célokat tűztem ki: 1/ a részletes petrográfiai megfigyeléseket követően olyan reprezentatív fluidumzárványokat tartalmazó köpeny xenolitok kiválasztása, amelyek alkalmasak a további vizsgálatokhoz; 2/ a természetes fluidum-zárványokban található fázisok összetételének kvalitatív meghatározása, valamint amennyiben lehetséges kvantifikálása. Ez utóbbihoz szükséges cél a fázisok térfogatarányának meghatározása; 3/ az egykor csapdázódott fluidum összetételének lehető legpontosabban meghatározása; 4/ a csapdázódott fluidum izochorjának rekonstruálása a nyomás-hőmérséklet dimenzióban és a minimum csapdázódási nyomás meghatározása; 5/ a fluidum bezáródását követő, a zárványban lezajló folyamatok, fluidum/bezáró ásvány reakciók rekonstruálása; 6/ a litoszférikus köpenyben migráló (szuperkritikus) fluidum és a köpenyt alkotó lherzolitos kőzet kölcsönhatásának megismerése. Összeségében a fő célom a Pannon-medence központi régió alatti szubkontinentális litoszférikus köpenyben migráló fluidumok szerepének megértése volt.

Elvégzett munka

1/ A kiválasztott köpeny xenolitok részletes petrográfiai leírása, valamint a kőzetalkotó ásványfázisok elektronmikroszkopos és LA-ICPMS elemzése; 2/ szintetikus forrasztott kapilláris fluidumzárvány (CO₂-H₂O) előállítás; 3/ a természetes (n=110) és a szintetikus (n=24) fluidumzárványok mikrotermometriai vizsgálata; 4/ a természetes (n=60) és szintetikus (n=24) fluidumzárvány részletes Raman spektroszkópiai tanulmányozása; 5/ hét természetes fluidumzárvány fókuszált ionsugaras feltárása és SEM-EDX vizsgálata; 6/ a természetes fluidumzárványok (n=37) in situ LA-ICP-MS elemzése és a fluidumzárványokhoz köthető nyomelem-koncentrációk félmennyiségi meghatározása (n=7); 7/ A CO₂-ban oldott H₂O Raman csúcspozíciójának kalibrálása a szintetikus zárványokból kapott eredmények (n=24) alkalmazásával.

A kutatáshoz felhasznált eszközök listája

NIKON E600 kőzettani polarizációs mikroszkóp (ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest)

NIKON E4500 típusú digitális fényképezőgép (ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest)

JEOL JXA-8200 típusú elektron mikroszkop (Bayreuthi Egyetem, Bayerisches Geoinstitut, Németország)

CAMECA SX-100 típusú elektron mikroszkop (Bécsi Egyetem, Ausztria; Open University, Egyesült Királyság)

USGS- típusú gázáramoltatású hűthető-fűthető tárgyasztalú mikroszkóp (ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest)

NIKON E600 típusú polarizációs mikroszkópra szerelt nagyhőmérsékletű, számítógéppel vezérelt Linkam TS 1500 fűthető tárgyasztal (ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest)

Olympus típusú polarizációs mikroszkópra szerelt nagyhőmérsékletű, számítógéppel vezérelt Linkam THMS 600 hűthető-fűthető tárgyasztal (Nancy Egyetem, G2R laboratórium, Franciaország)

HORIBA Jobin Yvon Labram típusú Raman spektrométer (Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem, Budapest; Nancy Egyetem, G2R laboratórium, Franciaország)

HORIBA Jobin-Yvon LabRam HR típusú Raman spektrométer HR spectrometer (Nancy Egyetem, G2R laboratórium, Franciaország)

Agilent 7500 típusú LA-ICP-MS lézer ablációs induktív csatolású plazma tömegspektrométer, (Virginia Tech, USA; Nancy Egyetem, G2R laboratórium, Franciaország)

A forrasztott szilikátkapilláris zárványok elkészítésére tervezett nyomáskontrollált berendezés (Nancy Egyetem, G2R laboratórium, Franciaország)

FEI QUANTA 3D típusú FIB (fókuszált ionsugár)-SEM (pásztázó elektron mikroszkóp) berendezés (ELTE, TTK, Budapest)

Összefoglalás (tézisek)

A Pannon-medence központi részéről (Tihany és Szentbékáll) származó köpeny fluidumzárványok és bezáró xenolitjainak; valamint a szintetikus kapilláris fluidumzárványok részletes vizsgálatának főbb eredményei a következők:

(1) A fluidumzárványokat nem tartalmazó ("NOFLUID" csoportba sorolt) Tihanyi peridotit xenolitok módálisan ortopiroxénben gazdagodottak. A petrográfiai jellegük, valamint fő- és nyomelem jellemvonásuk alapján valószínű, hogy az ortopiroxén-gazdagodás egy SiO₂ és MgO-gazdag (boninites jellegű) olvadék és a peridotitos köpeny reakciójának eredménye.

(2) A fluidumzárványok melegítéssel kombinált Raman analízise alapján elmondható, hogy a fluidumzárványok esetenként jelentős mennyiségű H₂O-t tartalmaznak a fő komponens CO₂ mellett. Az eredmények azt sugallják, hogy a H₂O jelenléte köpeny fluidumzárványokban valószínűleg jóval általánosabb, mint azt eddig sejtteni lehetett. Ennek következtében a „tisztá” (közel „tisztá”), azaz csak CO₂ komponensből álló kémiai rendszer nem reprezentatív köpenyfluidumok összetételére. Eredményeim arra a metodológiai pontra is rávilágítanak, hogy a fluidumzárványokra rutinszerűen alkalmazott, kizárólag szoba hőmérsékleten végzett Raman analízis nem alkalmas a zárványok jelentős komponenseinek pontos meghatározására.

(3) A szintetikus kapilláris CO₂-H₂O fluidumzárványok fontos optikai kontrollt szolgáltattak a természetes fluidumzárványok H₂O-tartalmának meghatározásában (fűtéssel kombinált Raman analízis során). Mindemellett kimutattam, hogy a folyékony halmazállapotú CO₂-ban oldott H₂O Raman csúcspozíciója függ a CO₂ sűrűségétől. Legjobb tudomásom szerint ez az első olyan munka, amely a fent említett összefüggést kimutatta és kalibrálta. Ez az eredmény a jövőben a folyadék CO₂ sűrűségének pontosabb meghatározását teszi lehetővé azokban a nagy CO₂/H₂O aránnyal jellemezhető fluidumzárványokban, amelyekben a mikrotermometriai megfigyelések elsősorban a zárvány kis méretéből kifolyólag nem lehetségesek. A CO₂ sűrűség nagyobb pontossággal adható meg, mint a már korábbi tanulmányokban kidolgozott, kizárólag a CO₂ Raman csúcsok pozícióinak felhasználásával történő sűrűségszámítás esetében. A folyadék halmazállapotú CO₂-ban oldott H₂O Raman csúcának félértékessége és a CO₂ sűrűsége fordított arányosságban áll egymással. Ez azt sugallja, hogy a CO₂-ban oldott H₂O szimmetrikus rezgési energiájának perturbációját befolyásolják a környező CO₂ molekulák.

(4) A fókuszált ionsugaras feltárás során S-tartalmú szilárd fázist (vas-szulfid) és a zárvány falát filmszerű rétegeként borító kőzetüveget mutattam ki a köpeny fluidumzárványokban. A kőzetüvegek "hólyagüreges"

felszint mutatnak, amelyek a kőzetüveg dermedését megelőző olvadékból távozó illókat jelzik. Tudomásom szerint ilyen fluidumból kicsapódó kőzetüveget elsőként mutattam ki köpeny fluidumzárványokban. Vizsgálataim azt jelzik, hogy a litoszférikus köpenyben migráló CO₂-gazdag fluidum oldott szilikátolvadék komponenset tartalmaz.

(5) Az előző pontban említett szilárd fázisok mellett karbonát és kvarc leányásványok is azonosíthatók a fluidumzárványokban. Ezek a fázisok a CO₂-gazdag fázis és a bezáró orto- és klinopiroxén reakciójának termékei. A reakció a bezáródást követően ment végbe akkor, amikor a szobahőmérsékleten nemelegedő CO₂-gazdag és H₂O-gazdag fázisok még egy fluidumfázist alkották. A termodinamikai modellezés eredménye azt mutatja, hogy a kvarc és a karbonát leányásványokat létrehozó reakció körülbelül 400-600 °C kezdődhetett. Azonban az időközben a forró fluidumból a falra dermedő kőzetüveg fizikai gátat szabhatott a reakció teljes végbemenetelének. Ez konzerválta a reziduális CO₂-t és az újonnan képződött karbonát és kvarc leányásványokat a fluidumzárványokban. Mivel karbonátásványt számos más területről származó CO₂-gazdag fluidumzárványból leirtak már valószínűsíthető, hogy a kőzetüveg fontos alkotója általában az ilyen típusú zárványoknak.

(6) A vizsgált Tihanyi köpenyxenolitok fluidumzárványossága (pl. „NOFLUID”, „FLUIDPOOR”, „FLUIDRICH”) és a kőzet nyomelem geokémiája összefüggésben van egymással. Ez azt sugallja, hogy a Tihanyi xenolitok különböző mértékű rejtett metasomatózison estek át. A metasomatizáló ágens egy C-O-H-S és szilikát komponesekkel leírható CO₂-gazdag szuperkritikus fluidum lehetett.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Szabó Csabának és konzulensemnek Jean Dubessynek a doktori tanulmányaim alatt nyújtott folyamatos támogatásukért, ötleteikért és konstruktív kritikáikért. Az építő szakmai konzultációkért és a kellemes atmoszféráért a Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium (ELTE TTK, Budapest), valamint a G2R laboratórium (Géologie et Gestion des Ressources Minérales et Energétiques, Nancy Université, Nancy, Franciaország) tagjainak jár a köszönet. A laborok tagjai közül különös tekintettel köszönöm együttműködését Guzmics Tibornak, Hidas Károlynak, Pascal Robertnek, Mathieu Leisennek valamint Marie-Camille Caumonnak. A legnagyobb hála a Családomat (Apuka, Anyuka, Anna, Judit, Pisti, Bogi, Zsolti, gyerkőcök: Kini, Bogika, Hunorka) illéti, akiknek ezt a munkát ajánlom.

A kutatási témában eddig megjelent publikációk listája

Szakeikkek:

Berkesi, M., Hidas, K.J. és Szabó, Cs. (2007) Fosszilis geoterma rekonstruálása a Bakony–Balaton-felvidék alatti felsőköpenyben Tihanyról származó peridotit xenolitok CO₂ fluidumzárvány vizsgálatával. Magyar Geofizika, 48, 31-37. [Impakt faktor: - ; összes hivatkozások száma: 1, ebből független hivatkozások száma: 0].

Berkesi, M., Hidas, K., Guzmics, T., Dubessy, J., Bodnar, R.J., Szabó, Cs., Vajna, B., és Tsunogae, T. (2009) Detection of small amounts of H₂O in CO₂-rich fluid inclusions using Raman spectroscopy. Journal of Raman Spectroscopy, 40, 1461-1463. [Impakt faktor (2009): 3.526; összes hivatkozások száma: 6, ebből független hivatkozások száma: 3].

Guzmics, T., Mitchell, R.H., Szabó, Cs., **Berkesi, M.**, Milke, R. és Abart, R. (2011) Carbonatite melt inclusions in coexisting magnetite, apatite and monticellite in Kerimasi calciocarbonatite, Tanzania: melt evolution and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 161, 177-196. [Impakt faktor (2009): 3.497; összes hivatkozások száma: 2, ebből független hivatkozások száma: 2].

Terepnyakorlati kirándulásvezető:

Szabó, Cs., Kovács, I., Dégi, J., Kóthay, K., Török, K., Hidas, K., Kónya, P., **Berkesi, M.** (2010) From maars to lava lakes: ultramafic and granulite xenoliths associated with alkaline basaltic volcanism of the Pannonian Basin. Acta Mineralogica-Petrographica, Field Guide Series, 13, 1-32. IMA2010 Field Trip Guide HU5.

Fontosabb konferencia kivonatok:

Berkesi, M., Hidas, K. és Szabó, Cs. (2007) CO₂-rich fluid inclusions in upper mantle derived xenoliths (Western Hungary, Tihany): microthermometry and Raman microspectroscopic study. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XIX), Abstract Volume, p. 80.

Berkesi, M., Szabó, Cs., Bodnar, R.J. és Fedele, L. (2007) CO₂-bearing fluid inclusions in upper mantle xenoliths from Tihany (western Hungary): minimum trapping pressures and trace element compositions, Goldschmidt 2007 „atoms to planet” August 19 - 24, 2007 Cologne, Germany, Abstract series (A 83)

Berkesi, M., Hidas, K. és Szabó, Cs. (2007) Pressure preserved by CO₂-rich fluid inclusions: a case study from Tihany peridotites, western Hungary, European Mantle Workshop (EMAW 2007), Abstract series

Berkesi, M., Hidas, K. és Szabó, Cs. (2008) CO₂-rich fluid inclusion study in upper mantle peridotites (Pannonian Basin, western Hungary); Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00318, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-00318

Berkesi, M., Dubessy, J., Bali, E. és Szabó, Cs. (2008) Clinopyroxene-rich veins along subcontinental upper mantle material: a case study for a remnant of former migrating and interacting silicate melt (Pannonian Basin, western Hungary), Ninth Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Abstract Book, p.8.

Berkesi, M., Hidas, K., Guzmics, T., Dubessy, J., Bodnar, R.J., Szabó, C., Vajna, B., Pintér, Zs. és Tsunogae, T. (2009) Presence of H₂O in deep lithospheric fluid inclusions: a combined method of Raman spectroscopy and heating-freezing stage. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XX), 21-27 September, 2009, Granada, Spain, Programme and Abstracts, p. 29-30.

Berkesi, M., Hidas, K., Bodnar, R.J. és Szabó, C. (2009) Multiple evolution history recorded in Tihany peridotite series: melt/rock interaction and cryptic fluid metasomatism. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XX), 21-27 September, 2009, Granada, Spain, Programme and Abstracts, p. 27-28.

- Dubessy, J., Ding, J., Robert, P., Leisen, M., Giraud, A. és **Berkési, M.** (2009) Capillary techniques combined with vibrational spectroscopies applied to fluid inclusions and phase equilibria. European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XX), 21-27 September, 2009, Granada, Spain, Programme and Abstracts, p. 67-68.
- Dubessy, J., Ding, J., Robert, P., Leisen, M., Aparicio, B., Nguyen-Trung, Ch., **Berkési, M.** és Uteyev, R. (2010) Raman spectroscopy in capillary cells to 400°C and 2 kbar applied to geochemistry. *GeoRaman*, 28 June–02 July, Sydney, Australia
- Berkési, M.**, Hidas, K., Guzmics, T., Szabó, Cs., Dubessy, J., Bodnar, R. J. és Kovács, I. J. (2010) Fluid inclusions from mantle xenoliths, Central Pannonian Basin: a comparative study. Pan-American Current Research on Fluid Inclusions (PACROFI X), 07 -10 June, 2010, Las Vegas, USA,
- Szabó, Cs., **Berkési, M.**, Hidas, K., Guzmics, T., Bodnar, R.J. és Dubessy, J. (2010) Trace element transport by COHS fluids in the deep lithosphere: a fluid inclusion perspective. *Goldschmidt 2010*, 13-18 June, 2010, Knoxville, Tennessee, USA, Abstract series (A 1016)
- Berkési, M.**, Dubessy, J., Kovács, I., Szabó, Cs., Perucchi, A. és Vaccari, L. (2010) Using different methods to determine the composition of upper mantle fluid inclusions from the Central Pannon basin. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, August 21-27, 2010, Budapest, *Acta Mineralogica-Petrographica*, Abstract Series, 189.
- Berkési, M.**, Szabó, Cs., Dubessy, J., Kovács, I. és Bodnar, R.J. (2010) Mantle mineral- and glass-hosted fluid inclusions in mantle xenoliths from the Central Pannonia Basin, Hungary: The significance to determine the bulk composition in CO₂-rich system. 3rd Biennial Conference on Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI III) and International Conference on Thermobarogeochemistry (TBG-XIV), September 15-20, 2010, Novosibirsk, Russia, Abstracts, 28-29.
- Berkési, M.**, Guzmics, T., Szabó, C. és Dubessy, J. (2011): Advantage of the use of Focused Ion Beam technique to specify mantle fluid inclusions. ECROFI-XXI (European Current Research on Fluid Inclusions), elfogadott absztrakt

Felhasznált irodalom

- Andersen, T. és E.-R. Neumann (2001), Fluid inclusions in mantle xenoliths, *Lithos*, 55, 301-320.
- Arai, S. (1980), Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan, *Journal of Petrology*, 21, 141-165.
- Arai, S., K. Kadoshima és T. Morishita (2006), Widespread arc-related melting in the mantle section of the northern Oman ophiolite as inferred from detrital chromian spinels, *Journal of the Geological Society*, 163, 869-879.
- Bali, E., G. Falus, C. Szabó, D. W. Peate, K. Hidas, K. Török és T. Ntaflós (2007), Remnants of boninitic melts in the upper mantle beneath the central Pannonian Basin?, *Mineralogy and Petrology*, 90, 51-72.
- Bali, E., Z. Zajacz, I. Kovács, C. Szabó, W. Halter, O. Vaselli, K. Török és R. J. Bodnar (2008), A quartz-bearing orthopyroxene-rich websterite xenolith from the Pannonian Basin, western Hungary: Evidence for release of quartz-saturated melts from a subducted slab, *Journal of Petrology*, 49, 421-439.
- Bali, E., A. Zanetti, C. Szabo, D. W. Peate és T. E. Waight (2008), A micro-scale investigation of melt production and extraction in the upper mantle based on silicate melt pockets in ultramafic xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (Western Hungary), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155, 165-179.
- Berkési, M., K. Hidas, T. Guzmics, J. Dubessy, R. J. Bodnar, C. Szabó, B. Vajna és T. Tsunogae (2009), Detection of small amounts of H₂O in CO₂-rich fluid inclusions using Raman spectroscopy, *Journal of Raman Spectroscopy*, 40, 1461-1463.
- Berkési, M., C. Szabó, R. J. Bodnar és L. Fedele (2007), CO₂-bearing fluid inclusions in upper mantle xenoliths from Tihany (western Hungary): Minimum trapping pressures and trace element compositions, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, A83-A83.
- Dantas, C., M. Grégoire, E. Koester, R. V. Conceição és N. Rieck Jr (2009), The Iherzolite–websterite xenolith suite from Northern Patagonia (Argentina): Evidence of mantle–melt reaction processes, *Lithos*, 107, 107-120.
- Eggler, D.H. (1975), CO₂ as a volatile component of the mantle: the system Mg₂SiO₄-SiO₂-H₂O-CO₂. *Phys. Chem. Earth*, 9, 869-881.
- Frezzotti, M. L., T. Andersen, E.-R. Neumann és S. L. Simonsen (2002), Carbonatite melt–CO₂ fluid inclusions in mantle xenoliths from Tenerife, Canary Islands: a story of trapping, immiscibility and fluid–rock interaction in the upper mantle, *Lithos*, 64, 77– 96.
- Frezzotti, M. L., E. A. J. Burke, B. de Vivo, B. Stefanini és I. M. Villa (1992), Mantle fluids in pyroxenite nodules from Salt Lake crater (Oahu, Hawaii), *European Journal of Mineralogy*, 4, 1137-1153.
- Frezzotti, M. L. és A. Peccerillo (2007), Diamond-bearing COHS fluids in the mantle beneath Hawaii, *Earth and Planetary Science Letters*, 262, 273–283.
- Green, D. H. és M. E. Wallace (1988), Mantle metasomatism by ephemeral carbonatite melts, *Nature*, 336, 459-462.
- Guzmics, T., J. Kodolányi, I. Kovács, C. Szabó, E. Bali és T. Ntaflós (2008), Primary carbonatite melt inclusions in apatite and in K-feldspar of clinopyroxene-rich mantle xenoliths hosted in lamprophyre dikes (Hungary), *Mineralogy and Petrology*, 94, 225-242.

- Guzmics, T., Z. Zajacz, J. Kodolányi, H. Werner és C. Szabó (2008), LA-ICP-MS study of apatite- and K-feldspar-hosted primary carbonatite melt inclusions in clinopyroxenite xenoliths from lamprophyres, Hungary, Implication for significance of carbonatite melts in the Earth's mantle, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 1864-1886.
- Hartmann, G. és K. H. Wedepohl (1993), The composition of peridotites tectonites from the Ivrea Complex, northern Italy: Residues from melt extraction, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 1761-1782.
- Hermann, J., C. Spandler, A. Hack és A. V. Korsakov (2006), Aqueous fluids and hydrous melts in high-pressure and ultra-high pressure rocks: Implications for element transfer in subduction zones, *Lithos*, 92, 399-417.
- Hidas, K., T. Guzmics, C. Szabó, I. Kovács, R. J. Bodnar, Z. Zajacz, Z. Nédli, L. Vaccari és A. Perucchi (2010), Coexisting silicate melt inclusions and H₂O-bearing, CO₂-rich fluid inclusions in mantle peridotite xenoliths from the Carpathian-Pannonian region (central Hungary), *Chemical Geology*, 274, 1-18.
- Kelemen, P. B., H. J. Dick és J. E. Quick (1992), Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction in the upper mantle, *Nature*, 358, 635-641.
- Kelemen, P. B., S. R. Hart és S. Bernstein (1998), Silica enrichment in the continental upper mantle via melt/rock reaction, *Earth and Planetary Science Letters*, 164, 387-406.
- Keppler, H. (1996), Hydrous metasomatism of the sub-arc mantle, Lihir, Papua New Guinea: petrology and geochemistry of fluid metasomatized mantle wedge, *Nature*, 380, 237-240.
- Kessel, R., M. W. Schmidt, P. Ulmer és T. Pettke (2005), Trace element signature of subduction-zone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 km depth, *Nature*, 437, 724-727.
- Malaspina, N., J. Hermann, M. Scambelluri és R. Compagnioni (2006), Polyphase inclusions in garnet-orthopyroxenite (Dabie Shan, China) as monitors for metasomatism and fluid-related trace element transfer in subduction zone peridotite, *Earth and Planetary Science Letters*, 249, 173-187.
- McInnes, B. I. A., M. Grégoire, R. A. Binns, P. M. Herzig és M. D. Hannington (2001), Hydrous metasomatism of the sub-arc mantle, Lihir, Papua New Guinea: petrology and geochemistry of fluid metasomatized mantle wedge, *Earth and Planetary Science Letters*, 188, 169-183.
- Newton, R. C. és C. E. Manning (2000), Quartz solubility in concentrated aqueous NaCl solutions at deep crust-upper mantle metamorphic conditions: 2-15 kbar and 500-900 °C, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 2993-3005.
- Roedder, E. (1965), Liquid CO₂ inclusions in olivine bearing nodules and phenocrysts from basalts, *American Mineralogist*, 50, 1746-1782.
- Roedder, E. (1983), Geobarometry of ultramafic xenoliths from Loihi Seamount, Hawaii, on the basis of CO₂ inclusions in olivine, *Earth and Planetary Science Letters*, 66, 369-379.
- Roedder, E. (1984), Fluid inclusions, *Reviews in Mineralogy*, 12, 1-646.
- Rosenbaum, J. M., A. Zindler és J. L. Rubenstone (1996), Mantle fluids: Evidence from fluid inclusions, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 3229-3252.
- Rudnick, R. L., W. F. McDonough és B. W. Chappell (1993), Carbonatite metasomatism in the northern Tanzanian mantle—petrographic and geochemical characteristics, *Earth and Planetary Science Letters*, 114, 463-475.
- Scambelluri, M., J. Fiebig, N. Malaspina, O. Müntener és T. Pettke (2004), Serpentinite subduction: implications for fluid processes and trace-element recycling, *International Geology Review*, 46, 595-618.
- Scambelluri, M. és P. Philippot (2001), Deep fluids in subduction zones, *Lithos*, 55, 213-227.
- Scambelluri, M., R. Vannucci, A. De Stefano, M. Preite-Martinez és G. Rivalenti (2009), CO₂ fluid and silicate glass as monitors of alkali basalt/peridotite interaction in the mantle wedge beneath Gobernador Gregores, Southern Patagonia, *Lithos*, 107, 121-133.
- Schiano, P. és R. Clocchiatti (1994), Worldwide occurrence of silica-rich melts in sub-continental and suboceanic mantle minerals, *Nature*, 368, 621-624.
- Spandler, C., J. A. Mavrogenes és J. Hermann (2007), Experimental constraints on element mobility from subducted sediments using high-P synthetic fluid/melt inclusions, *Chemical Geology*, 239, 228-249.
- Szabó, C. és R. J. Bodnar (1996), Changing magma ascent rates in the Nógrád-Gömör Volcanic Field Northern Hungary/Southern Slovakia: Evidence from CO₂-rich fluid inclusions in metasomatized upper mantle xenoliths, *Petrology*, 4, 221-230.
- Watson, E. B., J. M. Brenan és D. R. Baker (1990), Distribution of fluids in the continental mantle, in *Continental Mantle*, edited by M. A. Menzies, pp. 111-125, Clarendon Press, Oxford.
- Wulff-Pedersen, E., E.-R. Neumann és B. B. Jensen (1996), The upper mantle under La Palma, Canary Islands: formation of K-rich silicic melt and its importance as a metasomatic agent, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 125, 113-139.
- Yaxley, G., A. J. Crawford és D. H. Green (1991), Evidence for carbonatite metasomatism in spinell peridotite xenoliths from western Victoria, Australia, *Earth and Planetary Science Letters*, 107, 305-317.
- Yaxley, G., D. H. Green és V. Kamenetsky (1998), Carbonatite metasomatism in the southeastern Australian lithosphere, *Journal of Petrology*, 39, 1917-1930.
- Zanetti, A., M. Mazzucchelli, G. Rivalenti és R. Vannucci (1999), The Finero phlogopite-peridotite massif: an example of subduction-related metasomatism, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134, 107-122.