

## A K61182. sz. Fluidumok a Bakony-Balaton-felvidék litoszférájában c. OTKA pályázat zárójelentése.

Témavezető: Dr. Török Kálmán

### Bevezetés

A négy éves kutatás során a Balaton-felvidéki bazaltokból származó kéregxenolitok petrográfiai, geokémiai és fluidumzárvány-vizsgálatára került sor. Egyrészt jellemeztük a xenolitok fő szövetét adó csúcsmetamorf ásványgyűttesek összetételét, kialakulási körülményeit és fluidumtartalmát, hogy rekonstruálhassuk a csúcsmetamorf körülményeknek megfelelő kéreg felépítését, mely az Alpi orogenezis során jöhetett létre. A további ásványgyűttesek és fluidumgenerációk vizsgálatával lehetővé vált a kéreg közei metamorf- és fluidumfejlődésének nyomonkövetése. A reakciók mind arra mutatnak, hogy az ALCAPA egység kilökődése, valamint a Kárpát-medence extenziója során a kéreg kivékonyodott. Másrészt a második év végén kérvényezett és engedélyezett részleges témaváltoztatás keretében megvizsgáltuk a mafikus gránát granulitokban lejátszódott egyes ásványreakciókat, melyek a metamorf fejlődéstörténet későbbi, a kilökődés és extenzió során lejátszódott eseményeiről adnak információkat.

Műszeres vizsgálatok közül sor került fluidumzárvány-vizsgálatokra mikrotermometriával (hűthető-fűthető tárgyasztallal ellátott mikroszkóppal) és Raman spektroszkópiával, valamint ásványkémiai mérésekre elektronmikroszondával és termobarometriai számításokra a kutatás első részében. A reakciók vizsgálata elektronmikroszondával, téremissziós elektronforrással rendelkező mikroszondával, transzmissziós elektronmikroszkóppal és analitikai TEM-mel történt nemzetközi együttműködés keretében. Két fontos reakció elemzésére került sor. Az egyik a gránát izokémikus szétesése szubmikronos szemcseméretű szimplektit. A reakció részletes műszeres vizsgálatával és termodinamikai modellezésével a reakció végbemenetelének helyére és időtartamára kerestük a választ. A gránát körüli szimplektitek LA-ICP-MS vizsgálatával a befogadó bazalt és a szimplektit közötti kémiai kölcsönhatást is kimutattuk. A másik fontos reakció a Fe-Ti oxidok szételegyedése, majd reakciója a befogadó bazalttal. Itt a szételegyedett ilmenit-magnetit és a bazalt hatására létrejött Al-gazdag titanomagnetit szegély között figyeltünk meg diffúziós zónásságot. A megfigyelt kémiai zónásság diffúziós modellezésével vontunk le következtetéseket többek között a xenolit-bazalt kölcsönhatás idejére.

### Az eredmények összegzése

#### I. Az alsó kéreg vizsgálata

##### A kéregxenolitok típusai

A Bakony—Balaton-felvidék vulkáni terület (BBFVT) bazalt piroklasztitjaiból, illetve bazaltból ismert kéregxenolitok többféle típusra oszthatók, melyek a kéreg különböző mélységeiben helyezkedtek el és bennük különböző fluidumok találhatók:

##### 1. Bázisos gránátos granulitok.

Ásványos összetételük: Gránát, klinopiroxén, plagioklász ± ortopiroxén ± amfibol ± szkapolit ± kvarc ± biotit. Akcesszóriaként ilmenit, rutil, titanit, apatit, ritkán cirkon jelenik meg. A pályázat négy éve alatt 5 Bakony-Balaton-felvidéki lelőhelyről származó kb. 350 mafikus gránát granulit xenolit vékonycsiszolatos, szöveti-szerkezeti vizsgálatára került sor. Ezekből

választottuk ki a további műszeres vizsgálatra (mikroszonda, fluidumzárvány-vizsgálatok, stb.) a legmegfelelőbbeket.

A granulitok pontos keletkezési p-T körülményeinek tisztázására termo-barometriai számolásokat végeztünk. A különböző geotermométerek és geobarométerek által adott eredmények jelentősen eltértek egymástól, ezért teszteltük és összehasonlítottuk az irodalomban elérhető geotermo- és geobarométereket, hogy kiválaszthassuk a legmegfelelőbbet. Vizsgálataink szerint a BBFVT mafikus granulitjainak esetében a legjobb az Eckert et al. (1991) Grt–Cpx–Pl és Grt–Opx–Pl geobarométer és az Ai (1994) Grt–Cpx geotermométer kombinált alkalmazása.

A fenti módszereket alkalmaztuk 52 mafikus gránát granulit xenolit egyensúlyi ásványgyűtéseire és 1-1,6 GPa nyomást és 750-1070°C hőmérsékletet kaptunk. A nyomás és hőmérséklet meghatározás hibáját figyelembe véve az adatokra egy kb. 15 °C/km meredekségű geotermá fektethető. A p-T adatok megfelelnek egy folyamatos, 35-57 km mélységben elhelyezkedő kéregszelevénynek.

A mafikus gránát granulitok többféle, egymást követő fluidummal jellemezhetők, melyek lelőhelyenként is eltérhetnek egymástól. A fluidumzárványok összetételét Raman spektroszkópiával határoztuk meg.

a.  $\text{CO}_2 \pm \text{CO} \pm \text{C} \pm \text{H}_2\text{S} \pm \text{N}_2$  (elsődleges zárványok plagioklászban, gránátban, ritkábban klinopiroxénben); A C szerves anyagot jelent, amelyet több fluidumzárványban és a xenolitokban is kimutattunk Raman-spektroszkópiával, illetve mikroszkópos vizsgálatokkal. Egyes xenolitokban gyakran találhatunk szerves anyagot zárványként a kőzetalkotó ásványokban, illetve intersticiálisan is. A szerves anyag legalább két generációban az ismétlődő kőzet-fluidum kölcsönhatások során jöhetett létre.

b.  $\text{CO}_2 + \text{CO} \pm \text{C}$  másodlagos zárványok plagioklászban és klinopiroxénben;

c.  $\text{CO}_2 +$  kis mennyiségű CO és/vagy  $\text{N}_2$  másodlagos zárványok plagioklászban és klinopiroxénben;

d. tiszta  $\text{CO}_2$  plagioklászban és klinopiroxénben.

A legnagyobb sűrűségű zárványokat az elsődlegesek között találhatjuk, míg a "d" csoport tagjai a legkisebb sűrűségűek, melyek a mai alsó kéregnek megfelelő mélységben (17-28 km) záródtak be.

Az elsődleges fluidumzárványok a granulitok keletkezésekor a kőzettel egyensúlyba jutott fluidumokat reprezentálják. A másodlagos fluidumzárványgenerációk pedig az Alpokból való kilökődés és az extenzió során megnyílt repedések mentén a kéregben migráló fluidumokról tanúskodnak. Az alsó kéregben migráló fluidumokról azonban nem csak a fluidumzárványok tudósítanak, hanem a fluidum-kőzet kölcsönhatások során létrejött ásványok, mint pl. a feljebb említett szerves anyag és a néhány xenolit esetében tapasztalt, egymással párhuzamos, szkapolitban dús erecskék jelenléte. A szkapolitok összetétele kb. fele-fele részben karbonát-szulfát szkapolit, amely a fluidumok összetételére is enged következtetni (COS fluidum).

## 2. Metapelites granulitok

A metapelites granulitokon belül ásványos összetételük alapján két csoportot különítettünk el:

a.) Az első csoport ásványos összetételét általában 90-95%-ban gránát és sillimanit teszi ki. Akcesszóriaként elsősorban kvarc, plagioklász és rutil fordul elő, ritkábban korund, spinell, biotit, káliföldpát, grafit is található bennük. Egy xenolitot találtunk a vizsgált 70 között, amelyben a gránát és a sillimanit mennyisége nem haladta meg a 60%-ot és a plagioklász, a káliföldpát és a biotit mennyisége viszont kőzetalkotónak mondható.

b.) A második csoportba a plagioklász-gránát szirtek sorolhatók. Az említett két ásványon kívül tartalmazhatnak több-kevesebb korundot, spinellt, ortopiroxént, ilmenitet, rutilt, biotitot, kvarcot.

A metapelites granulitok képződési hőmérsékletét a Perchuk és Lavrentyeva (1983) gránát-biotit termométerrel és a Fuhrman és Lindsley féle (1980) földpát termométerrel becsültük.

Az előbbivel 740-920°C-ot, a másodikkal 830-950°C-ot kaptunk. A GASP barométer (Aranovich és Podlesski, 1982) alkalmazásával tudtuk becsülni a nyomást, amely 0,93-1,25 GPa volt 900°C-on. A plagioklász-gránát szirtek általában nem tartalmaznak geotermo-barometriára alkalmas ásványegyütteseket. Egy xenolit esetében, amelyben ortopiroxént találtunk, tudtunk hőmérsékletet és nyomást számolni, amely 890-910°C-nak és 1GPa-nak adódott. Az összetett xenolitok, ahol a plagioklász-gránát szirtek mafikus gránát granulitokkal vannak kontaktusban, szintén azt mutatják, hogy ezek a kőzetek az alsó kéregben fordulnak elő.

Általában CO<sub>2</sub>-gazdag elsődleges (nagy sűrűségű) és másodlagos (kis és közepes sűrűségű) fluidzárványokat találunk gránátban, illetve plagioklászban. Egyes esetekben a gránátok nagy mennyiségű elsődleges zárványt tartalmaznak. A Raman spektroszkópiás mérések alapján egyes elsődleges fluidumzárványokban a metán, valamint főleg másodlagosakban a nitrogén is megjelenik.

### 3. Plagioklász-ortopiroxén-gránátszirt.

Egyes helyeken ezekben a kőzetekben a gránát mennyisége elérheti az 50-60%-ot is. A fenti ásványokon kívül akcesszóriaként tartalmazhatnak rutilt, ilmenitet, biotitot és kvarcot. Jellemző ezekre a kőzetekre a nemegyensúlyi szöveti domének túlsúlya. Főleg összetett xenolitokban találhatjuk, ahol gránát-plagioklász szirt és bázisos gránátos granulit között helyezkedik el. A plagioklász-ortopiroxén-gránátszirt geotermo-barometriai adatai viszonylag szűk sávban találhatóak (T=880-900°C, p=1,2-1,3GPa).

Ez a xenolittípus sokkal gyakrabban tartalmaz fluidumzárványokat, mint a többi. Általában mind elsődleges, mind pedig másodlagos CO<sub>2</sub>-gazdag fluidumzárványokkal találkozhatunk. A szén-dioxid mellett esetenként más gázok is előfordulnak. Elsődleges CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> zárványokat azonosítottunk gránátokban, valamint tiszta CO<sub>2</sub> zárványokat biotit reliktumokat tartalmazó ortopiroxénben. Másodlagos zárványokat több ásványban is találtunk. Plagioklászokban CO<sub>2</sub>-CO, ortopiroxénekben és gránátban tiszta CO<sub>2</sub> zárványok találhatóak. Érdekesség, hogy az elsődleges és a másodlagos fluidumzárvány generációk sűrűsége hasonló.

A szöveti és ásványkémiaili jellegzetességek arra utalnak, hogy a kőzet fluidum (olvadék) és a mellékkőzet kölcsönhatása során képződött. Az olvadék a korábban biotitot és kvarcot is tartalmazó domének parciális olvadásával jöhetett létre. Azonban az elérhető kísérleti adatok alapján (Nair és Chacko, 2002) a plagioklász-ortopiroxén-gránátszirt képződési hőmérséklete nem haladja meg a kőzetben megjelenő F-, és Ti-gazdag biotit olvadáspontját. Mivel kísérleti irodalmi adatok szerint (pl. Peterson & Newton, 1990) CO<sub>2</sub>-gazdag (esetleg vizet is tartalmazó) fluidumok jelenléte a biotit-kvarc-plagioklász rendszer olvadáspontját csökkenteti, a parciális olvadás nagy valószínűséggel a CO<sub>2</sub>-gazdag fluidumok beáramlásának hatására ment végbe egyes fluidumvezető csatornák mentén (Erre nagyon jó szöveti bizonyítékot szolgáltatnak a feljebb említett elsődleges CO<sub>2</sub> fluidumzárványok biotit relikumos ortopiroxénben.). A fluidum vezető csatornák kialakulása és a parciális olvadást eredményező fluidumbeáramlás nagy valószínűséggel az ALCAPA blokk Alpokból való kilökődésének/extenziójának megindulásakor fellépő deformációs folyamatokkal hozható összefüggésbe. A K-tartalmú ásványok hiánya az olvadástermékekben, illetve a szélsőségesen resztit jellegű (90-95%-ban gránátot és sillimantot tartalmazó) metapelites granulit xenolitok megjelenése is arra utal, hogy a parciális olvadás során képződött olvadékok jelentős része elhagyhatta az alsó kérget.

### 4. Klinopiroxén-plagioklász szirtek.

Az említett két ásvány mellett tartalmazhatnak ortopiroxént, kvarcot, szkapolitot, illetve akcesszóriaként Fe-Ti oxidokat, grafitot, titanitot. Igen ritkán plagioklászból, klinopiroxénből ± magnetitből álló, gránát utáni pszeudomorfozák is találhatóak a kőzetben. A klinopiroxén-plagioklász geobarometria alapján három csoportot különíthetünk el:

a) Nagy nyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek. Ezekben található a gránát utáni pszeudomorfózák és nem tartalmaznak sem kvarcot, sem pedig szkapolitot. Ezek a kőzetek 1-1,4 GPa, illetve 1,2-1,7 GPa nyomáson képződtek 800 °C illetve 1000 °C képződési hőmérsékletet feltételezve, azaz a mafikus gránát granulitokkal együtt fordulnak elő az alsó kéregben kb. 48-60 km mélységben. Tiszta, elsődleges és másodlagos CO<sub>2</sub> fluidumzárványokat tartalmaznak. Az elsődleges zárványok sajnos felnyíltak és magasabb kéregszinteken jutottak újra egyensúlyba.

b) Közepes nyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek. Az ide tartozó kőzetek gyakran tartalmaznak kvarcot, ritkábban szkapolitot, vagy ortopiroxént és mindegyiknek magmás szövete van. A klinopiroxén-plagioklász geobarométerrel számolva ezek a kőzetek 0,5-0,8 GPa nyomáson képződtek, ha 800 °C képződési hőmérsékletet tételezünk fel. Tiszta, elsődleges és másodlagos CO<sub>2</sub> zárványokat tartalmaznak, melyek megerősítik a geobarométerrel kapott nyomást. A közepes nyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek a barometriai számolások alapján 20-28 km mélységben képződtek a középső kéregben.

c) Kisnyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek, vagy szkarnok. A klinopiroxén-plagioklász geobarométerrel számolva ezek a kőzetek 0,28-0,35 GPa nyomáson jöttek létre 900 °C képződési hőmérsékletet feltételezve a mejonit jelenléte alapján. Elsődleges és másodlagos, többnyire tiszta CO<sub>2</sub> fluidumzárványokat tartalmaznak. Egy xenolitban sikerült Raman spektroszkópiával kis mennyiségű H<sub>2</sub>S-t kimutatni a szén-dioxid mellett. A fluidumzárványok izochorjaiból hasonló nyomásértékeket számoltunk, mint a geobarometriából. Ez alapján a kisnyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek kb. 8-11 km mélységből származnak, ottani mész-szilikát kőzetek nagy hőmérsékletű kontakt metamorfózisával jöttek létre.

#### 5. Felzikus granulitok.

Igen ritka típus, mindössze három xenolit került elő a több százból. Főképpen kvarcból és plagioklászból állnak, kevesebb ortopiroxént, klinopiroxént, biotitot, káliföldpátot és gránátot tartalmazhatnak. Káliföldpátot csak antiperitites szételegyedésként figyeltünk meg plagioklászban. Gyakori a relik magmás poikilitos szövet.

Termobarometriai méréseink szerint a felzikus granulitok képződési körülményei: T=750-850°C, p=0,5-0,6GPa. Tehát ezek a kőzetek a középső kéregből származnak, ahol a közepes nyomású klinopiroxén-plagioklász szirtekkel együtt találhatjuk őket. Mivel mind a két kőzettípusnak relik magmás szövete van, úgy gondoljuk, hogy a xenolitok a középső kéreg szintjén megkezdett felzikus-neutrális intrúziókból származhatnak.

Kevés fluidumzárványt tartalmaznak, egyes kvarcokban ritka, elsődleges CO<sub>2</sub>-CO zárványokat mértünk.

#### 6 Buchitok

Igen nagy hőmérsékletű kontakt metamorfózist (pirometamorfózist) szenvedett kőzetek. Ásványos összetételük szerint háromféle típust különböztethetünk meg:

a.) mullit + korund + spinell + Al-gazdag ortopiroxén ± terner földpát;

b.) gránát + plagioklász + Al-gazdag ortopiroxén + spinell;

c.) osumilit + cordierit + ortopiroxén + magnetit.

Mindegyik típusban jelentős mennyiségű kőzetüveg található. Fluidumzárványok csak az „a” típusú buchitokban találhatóak. Kis sűrűségű elsődleges CO<sub>2</sub> zárványok jelennek meg a meg nem olvadt kvarcokban és nagy sűrűségű, kis szalinitású NaCl-os vizes zárványok a kőzetüvegben. Egyes helyeken kevert CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl fluidzárványok is megjelentek az olvadékban. Az „a” típusú buchitok vízben túltelített rendszerben képződtek, míg a „c” típusúak vízben szegény környezetben. Ez magyarázza az eltérő ásványos összetételt. A buchitok anyakőzetei kvarcban, ritkábban földpátban gazdag, csillámokat (biotitot, muszkovitot) tartalmazó kis-közepes fokú metamorf kőzetek voltak. A közepes fokúak tartalmaztak gránátot, illetve cordieritet is. A buchitok ásványos összetételük és földpát termometria alapján nagy-igen nagy hőmérsékletű (900-1100°C) kontakt metamorfózissal

képződtek a felső kéregben. A fluidumzárványok izochorjai alapján a kontaktmetamorfózis 0,2-0,3GPa nyomáson, azaz 12-14 km mélyen zajlott le.

### **Kéregfelépítés az extenzió előtt**

A termobarometriai számítások alapján a kéreg kb. 57-60 km vastag lehetett, ebből 22-26 km volt az alsó kéreg, mely főleg bázisos granulitból állt, kevesebb metapelittel, plagioklász-gránát szirttel, plagioklász-ortopiroxén-gránátszirttel és klinopiroxén-plagioklász szirttel. A középső kéregben felzikus granulitokat és klinopiroxén-plagioklász szirteket találhatunk, majd efölött a kontakt metamorfózist szenvedett kis-közepes fokú metapeliteket-metapszammitokat és mész-szilikát kőzeteket. Az előbbiekből a felnyomuló bazalt hatására lettek a buchitok, utóbbiakból pedig a kisnyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek (szkarnok). Érdemes megjegyezni, hogy a vastag kéreg miatt az extenzió és kilökődés előtt a litoszférában a spinell peridotitos felső köpeny viszonylag vékony lehetett (maximálisan 6-9 km). Egy másik lényeges következménye a vastag alsó kéregnek, hogy a felső köpenyben ekkor nem képződhettek spinell piroxenitek, csak gránát piroxenitek, mert a nyomás meghaladta a spinell piroxenitek stabilitási mezejét. Spinell piroxenitek csak az extenzió során, illetve utána képződhettek, amikor a felső köpenyben a nyomás már nem haladta meg az 1,2 GPa-t. Ez kb. 42-44 km-es mélységet jelent.

### **Fluidumok térbeli és időbeli eloszlása.**

A fluidumok változatossága szembeötlő a kéregzárványokban mind horizontálisan, mind vertikálisan, mind pedig az időben. Az alsó kéregt reprezentáló kőzetek fluidumzárványaiban sokféle fluidumot találhatunk ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ), de a domináns fluidum az egész kéregben 10-12 km alatt a szén-dioxid. Vagy tiszta szén-dioxid zárványokban, vagy más gázzal (ritkán gázokkal) elegyedve található, de minden keveréket tartalmazó fluidumtípusban a  $\text{CO}_2$  mennyisége messze a legnagyobb.

A fluidumok eloszlása közettípusonként más és más, de a legnagyobb változatosságot a mafikus gránát granulitok esetében tapasztalhattuk, ahol szinte valamennyi gáz előfordul a  $\text{CH}_4$  kivételével a Raman spektroszkópiás mérések alapján. A legkisebb változatosságot a nagynyomású klinopiroxén-plagioklász szirtek mutatják, ahol csak tiszta szén-dioxidot találunk. A többi alsó kéreg kőzetben általában mind tiszta  $\text{CO}_2$ , mind pedig valamilyen más gázzal alkotott keverékek előfordulnak. Felfelé haladva a kéregben mindinkább szembetűnő a  $\text{CO}_2$  dominanciája és a többi komponens egyre inkább elmarad, vagy mennyiségük a nyomnyira korlátozódik. A közepes nyomású klinopiroxén-plagioklász szirtekben csak tiszta szén-dioxid zárványokat találunk, ahogyan a szkarnokban található fluidumzárványok is ezt a gázt tartalmazzák egy kivétellel, ahol nyomnyi mennyiségű  $\text{H}_2\text{S}$ -t is kimutattunk Raman-spektroszkópiával. A mai kéreg közepén, nagyjából 12-15 km mélységben a buchitosodott metamorf kőzetekben a fluidumzárványokban megjelenik a mikrotermometriával jól kimutatható víz is az olvadékokban rekedt fluidumzárványokban. Hasonló az időbeli tendencia az alsó kéregben a mafikus gránát granulitokban, ahol a változatos elsődleges fluidumegyüttes a fejlődés során az egyre tisztább  $\text{CO}_2$  felé fejlődik. A mai alsó kéregben bezáródott késői másodlagos fluidumzárványok csak ritkán tartalmaznak a szén-dioxidon kívül más gázokat. A többi kőzetben ez a tendencia nem mindig adódik egyértelműen.

## **II. Reakciók vizsgálata**

Két fontos folyamat elemzésére került sor. Az egyik a gránát szétesése szubmikronos szemcseméretű szimplektitté. A reakció részletes műszeres vizsgálatával és termodinamikai

modellezésével a reakció végbemenetelének helyére és időtartamára kerestük a választ. A gránát körüli szimplektitok LA-ICP-MS vizsgálatával a befogadó bazalt és a szimplektit közötti kémiai kölcsönhatást is kimutattuk. Emellett vizsgáltuk a Fe-Ti oxidok reakcióit is. Nagy felbontású elemtérképek és termodinamikai modellezés segítségével ebben az esetben is elkülönítettük az alsó kéregben lezajlott, valamint a befogadó bazalttal való kölcsönhatáshoz köthető reakciókat. Diffúziós modellezéssel következtetéseket vontunk le többek között a xenolit-bazalt kölcsönhatás idejére.

A mafikus gránátos granulitok csúcsmetamorf ásványai számos esetben mutatnak reakciókat, melyek egy része az alsó kéreg fejlődéséhez köthető a Pannon-medence extenziója során, más része pedig a befogadó bazalttal való kölcsönhatás során alakult ki. Az alsó kéreg fejlődéséhez jellemzően nyomáscsökkenéses reakciók társulnak, illetve gyakran figyelhetők meg metasomatikus reakciók a kéregben migráló fluidumok/olvadékok valamint a csúcsmetamorf ásványok között. A befogadó bazalttal való érintkezés során a hőmérséklet jelentősen megemelkedett, ami a víztartalmú fázisok olvadásához vezetett. Emellett a befogadó bazalt sok esetben metasomatizálta az alsó kéregben kialakult ásványegyütteseket. A metamorf fejlődés e két eltérő szakaszában lejátszódott reakciók sok esetben csak szubmikronos petrográfiai és ásványkémiai vizsgálatokkal különíthetők el. A pályázat ideje alatt két folyamatot vizsgáltunk részletesen, a gránát bomlását, valamint a Fe-Ti oxidok reakcióit.

## **1. Gránát bomlása**

A mafikus gránátos granulitok mindegyikében megfigyelhető, hogy a gránát ortopiroxén-plagioklász-spinel szimplektitté alakul, melynek szemcsemérete a reakciófronttól a gránát korábbi szegélye felé haladva fokozatosan durvul. Elektronmikroszkopos elemtérképek és LA-ICP-MS elemzések segítségével kimutattuk, hogy a szubmikronos szemcseméretű szimplektitok átlagösszetétele megegyezik a prekursor gránátéval, tehát ebben az esetben a gránát bomlása izokémikus. A reakciófronttól távolodva a befogadó bazaltból származó elemek koncentrációja a szimplektitben fokozatosan nő. A bazalt által okozott kémiai összetétel változás gyakran igen jelentős mind a főelemek, mind pedig a nyomelemek tekintetében. A szubmikronos szemcseméretű, a gránáttal izokémikus szimplektitok termodinamikai vizsgálata megmutatta, hogy a szimplektitok a gránátból jelentős nyomáscsökkenés hatására, a kéreg extenziós kivékonyodása során jöttek létre. A reakciófront, valamint a szubmikronos szimplektitok transzmissziós elektronmikroszkopos vizsgálata alapján irreverzibilis termodinamikai megfontolások segítségével modellt állítottunk fel a szimplektitképződés sebessége és a kialakuló mikroszerkezet leírására. A modell alapján a szimplektit képződése a jelenlegi alsó kéregnek megfelelő mélységben több, mint 120000 év alatt ment végbe.

## **2. Fe-Ti oxidok reakciói.**

Termodinamikai modellezés alapján a csúcsmetamorf körülmények között homogén ilmenitből az alsó kéreg fejlődése során titanomagnetit lamellák elegyedtek szét oxigénfugacitás-változás hatására. A szételegyedett Fe-Ti oxidokra a befogadó bazaltból Al-gazdag titanomagnetit szegély kristályosodott. Ennek hatására kémiai zónásság jött létre a szételegyedett Fe-Ti oxidok és a titanomagnetit szegély között. Termodinamikai elemzés alapján megállapítottuk, hogy az alsó kéregben képződött titanomagnetit egyetlen esetben sem őrizte meg eredeti összetételét. Nagyfelbontású elemtérképek és szemikvantitatív vonalmenti analízis segítségével kimutattuk, hogy az ilmenit lamellák szegélye egy <math><1\mu\text{m}</math> szélességű zónában kémiai egyensúlyba jutott a titanomagnetit szegéllyel 1200°C-on. A titanomagnetit

lamellákban megfigyelt Fe-Ti zónásság diffúziós modellezése alapján a xenolit-bazalt kölcsönhatás időtartama 9-20 órának adódott.

E két pontban összefoglalt vizsgálataink felhívják a figyelmet arra, hogy a xenolit-bazalt kölcsönhatás igen rövid időtartama ellenére is jelentős fő- és nyomelembeli változásokat eredményezhetett a xenolitokban.

### **Hivatkozott irodalom**

Ai Y. Contrib. Mineral Petrol 115: 467–473, (1994)

Aranovich, L.J., Podlesski, K.K. Doklady Akad. Nauk. 251, 101-103, (1982).

Eckert, J.O. Newton R.C., Kleppa O.J. Amer Mineral 76: 148–160, (1991)

Fuhrman, M.L., Lindsley, D.L., Am. Mineral., 73/3-4, 201-215 (1988).

Perchuk, L.L., Lavrenteva, I.V. In: Saxena, S.K. (ed) Kinetics and equilibrium in mineral reactions. Adv. Phys. Geochem., 3, 199-239, Springer New York (1983)

### **Megjegyzés**

A megfelelő helyen felsorolt publikációk mellett a pályázat támogatásával készült Dégi Júlia (a pályázat résztvevő kutatója) „Detailed study of mafic lower crustal xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field; Relationships between metamorphic processes in the lower crust and the formation of the Pannonian Basin” című, summa cum laude minősítéssel az ELTE Földrajz-Földtani doktori iskolájában 2010. január 25.-én megvédett PhD dolgozata is. A OTKA támogatása a dolgozat köszönetnyilvánítás (acknowledgements) fejezetében fel lett tüntetve.