

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
ÁSVÁNYTANI, GEOKÉMIAI ÉS KŐZETTANI TANSZÉK

**A DITRÓI ALKÁLI MASSZÍVUM ULTRAMAFIKUS
KUMULÁTUM KŐZETEINEK PETROGENETIKÁJA**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

ALMÁSI ENIKŐ ESZTER

Témavezető

Dr. Pál-Molnár Elemér

Szeged

2015

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A Ditrói Alkáli Masszívum [DAM] ultramafikus kumulátum kőzeteivel (hornblenditekkal) kapcsolatos korábbi kutatások eredményei megegyeznek abban, hogy ezek a kőzetek a masszívum fejlődésének korai szakaszában jöttek létre, de keletkezési körülményeik mind a mai napig vitatottak. Streckeisen (1938) szerint a masszívum hornblenditjei egy alkáli gabbrós olvadékból jöttek létre. Szintén Streckeisen (1960) a hornblenditek kialakulását alkáli szienit szülőmagma frakcionált kristályosodási – „in situ” differenciációja során elsőként elkülönült – összetevőiként értelmezte. Kräutner és Bindea (1995, 1998) szerint a hornblenditek képződése olivin-tartalmú piroxenittekhez köthető. Ezeket a piroxeniteket ultramafikus felső köpeny xenolitokként értelmezték. Véleményük szerint ezeket a köpeny eredetű kőzeteket egy felemelkedő gabbró típusú magma szállította a kéregbe, ahol a magma részlegesen hidratálódott, és a benne lévő xenolitok is metasomatikus átalakulást szenvedtek, amfibolosodtak és részlegesen vagy teljesen átalakultak hornblenditté. Pál-Molnár (1998, 2000) szerint a hornblenditek alkáli-szubalkáli, lemezen belüli kőzetek, amelyek utólagos folyamatok során Na-ban dúsultak és erős alkáli (miaszkitos) jelleget kaptak. Morogan et al.(2000) szerint az ultramafikus kőzetek egy autolitot képviselnek és elsődleges kumulátumból származnak.

Kutatásom célja, a Ditrói Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzetek keletkezési körülményeinek, a kőzeteket létrehozó olvadék összetételének, valamint a kumulátum kőzetek masszívumban betöltött szerepének pontosítása és meghatározása volt.

II. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A petrogenetikai vizsgálatokhoz részletesen elemeztem az ultramafikus kumulátum kőzetek szövétét és a kőzetalkotó ásványfázisok szöveti és kémiai jellemzőit, valamint a kőzetek fő- és nyomelem geokémiai tulajdonságait.

A Csibi-Jakab (Cibi-Jacob)-, Alsó- és Felső- Pietrăriei (Pietrăriei de Jos, Pietrăriei de Sus)-, Alsó- és Felső- Tarnica (Tarnița de Jos, Tarnița de Sus)-,

Orotva (Jolotca)-, Fülöp (Filep)-, Éles-patakok (Ascutit) völgyéből begyűjtött 120 kőzetmintából 45 vékonycsiszolat készült.

A kőzetek szövétét, illetve az ásványok jellemzőit Brunel-SP-300-P és Olympus BX 41 polarizációs mikroszkópokkal vizsgáltam a Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén. Az ásványok geokémiai összetételét „in situ” vizsgálatokkal a Berni Egyetemen Cameca SX-50 típusú elektronmikroszondával határoztuk meg. A gyorsítófeszültség 15 kV, míg a mintaáram 20 nA volt. Az ásványok (16 amfibol, 12 klinopiroxén, 4 titanit és 2 olivin szemcse) nyomelem és ritkaföldfém vizsgálatát a Cardiffi Egyetem Földtudományi és Oceanológiai Intézetében, New Wave Research UP213 Nd-YAG 213 nm UV lézeres rendszerrel összecsatolt Thermo X Series 2 ICP-MS készülékkel végeztük. A mérés során a lézer paraméterei a következők voltak: a lézernyaláb átmérője 40 μ m, a frekvencia: 10Hz, míg a lézer energiája: -5J/cm². Belső sztenderdként az elemek helyes koncentrációjának megadásához az előzetes elektronmikroszondás Si adatokat használtuk. A méréshez szükséges kalibráció és a belső standard korrekció Thermo Plasmalab programmal történt.

A teljes kőzet geokémiai vizsgálatok egy része (6 minta) a Stockholmi Egyetem Geológiai Tanszékén Finnigan MAT Element tömegspektrométerrel, míg a nyomelem- és ritkaföldfém-tartalmukat Varian Vista AX spektrométerrel történt. A fő- és nyomelemek koncentrációjának meghatározása ICP-emissziós spektrometria módszerrel és ICP-tömegspektrométerrel történt. A minták egy részének (8 minta) fő- és nyomelem geokémiai összetételének meghatározása az Edinburghi Egyetem Földtudományi Intézetében, Panalytical PW2404 hullámhosszdiszperzív XRF-fel történt, röntgenfluoreszcens spektrometriával. A minták kisebb (3 minta) részének vizsgálata az AcmeLabs Ltd. (<http://acmelab.com/>) akkreditált vancouveri (Kanada) laboratóriumában készült.

III. AZ EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

A dolgozatban bemutatott kutatás során az alábbi új tudományos eredmények születtek:

1. Terepi és szöveti megfigyelések, valamint teljes kőzet geokémiai és ásványkémia vizsgálatok alapján sikerült kimutatnom, hogy eddig a DAM szakirodalmában hornblenditként kezelt kőzettípusok ultramafikus kumulátumot képeznek, amelyek frakcionációs kristályosodás és akkumulálódás során keletkezett. Az ultramafikus kumulátumot három kőzettípus alkotja: olivin-piroxén hornblendit, plagioklász-tartalmú piroxén hornblendit és plagioklász-tartalmú hornblendit. Ásványos összetételük hasonló, a kőzetalkotó ásványok csak mennyiségükben különböznek.

2. A DAM ultramafikus kumulátum kőzeteinek legfontosabb kőzetalkotó ásványa az amfibol, amely interkumulusz és kumulusz fázisként is megjelenik. Az interkumulusz amfibol körbeveszi az olivin és piroxén ásványokat, a szemcseközi térben alakul ki, míg a kumulusz amfibol közvetlenül az olvadékból kristályosodik. A két amfibol csoport kialakulása különböző folyamatokhoz köthető. A kumulusz amfibol frakcionációs kristályosodás és akkumuláció során alakul ki, míg az interkumulusz amfibol az először kiváló ásványok (olivin, piroxén) és a H₂O-ban gazdag olvadék reakciójának eredményeként jön létre.

Az ásvány geokémiai vizsgálatok során először sikerült kimutatnom az ortopiroxén jelenlétét a Ditrói Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteiben. Az ortopiroxén enstatit, összetétele: $(\text{Fe}^{2+}_{0,49-0,59}\text{Mg}^{2+}_{0,35-0,46}\text{Ca}^{2+}_{0,04-0,05})(\text{Fe}^{3+}_{0,00-0,07}\text{Mg}^{2+}_{0,93-0,97}\text{Al}^{\text{VI}}_{0,00-0,02})(\text{Fe}^{3+}_{0,00-0,03}\text{Al}^{\text{IV}}_{0,02-0,05}\text{Si}_{1,92-1,96})\text{O}_6$. Megállapítottam, hogy az ortopiroxén egy xenokristály, a magma felemelkedése során került az olvadékba a környező kőzetekből, feltételezhetően alsó-kéreg régióban. A H₂O-ban gazdag olvadékban az ortopiroxén elkezdett átalakulni, amit a körülötte lévő vastag reakcióperem is bizonyít. Összetétele olyan ortopiroxénnel mutat hasonlóságot, amelyek kéreg eredetű xenolitokban vannak jelen

3. Vizsgálataim rámutattak, hogy az amfibol összetételén alapuló különféle termobarometriai összefüggések, egyenletek közül a Ridolfi és Renzulli (2012) alkáli rendszerekre kalibrált oxo-hygro-termobarométere alkalmazható a DAM ultramafikus kumulátum kőzeteire. Az amfibol barometriai számítások 6 ± 1 kbar (600 ± 100 MPa) közötti nyomáson zajl

kristályosodást jeleznek, ami középső-alsó kéreg körülményeknek felelnek meg. Átlagos kéregsrűséggel számolva ez ~25 km mélységet jelent. Az ultramafikus kumulátum kőzetek nagy része, ebben a mélységtartományban (középső-alsó kéreg, valamint kéreg-köpeny átmeneti zónában) keletkezik. Az amfibol termometriai számítások alapján a DAM ultramafikus kumulátum kőzeteiben lévő amfibolok 900-1050°C között kristályosodtak. A masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteinek kumulusz és interkumulusz amfiboljai is ugyanazt a kristályosodási nyomás és hőmérséklet értékeket mutatja.

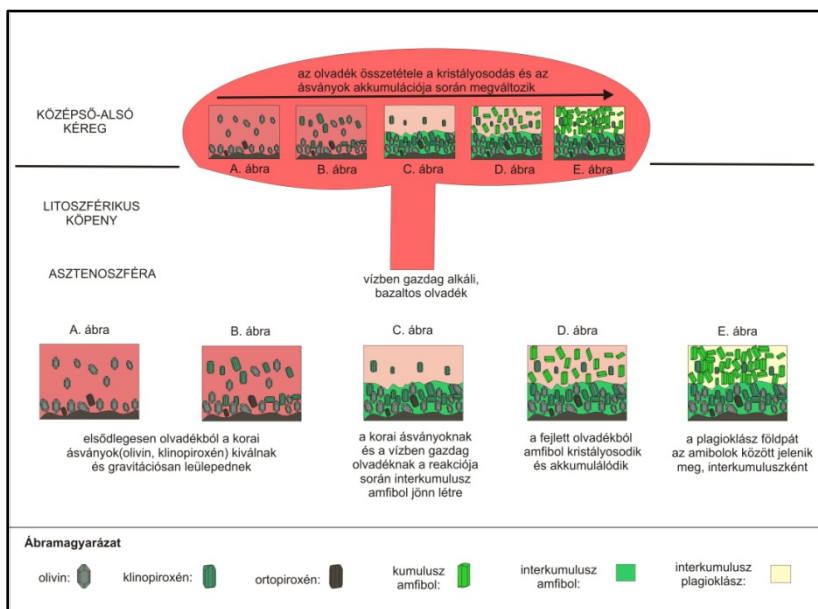
4. A részletes petrogenetikai vizsgálataim új megvilágításba helyezték a DAM kumulátum kőzeteinek (korábban hornblenditeeknek) a kialakulását. A kumulátumban lévő nagy mennyiségű H₂O-ban gazdag ásvány (amfibol, apatit) jelenléte, az ásványok összetétele, valamint mint az ásványok, mint a kőzetek HFSE és LIL elemekben való gazdagodás azt mutatja, hogy a kumulátum kőzeteket létrehozó olvadék, H₂O-ban gazdag alkáli bazalt-bazanitos olvadék volt, amely riftesedő környezetben a felső köpenyben lévő metasomatizált erek részleges olvadása során jött létre.

5. Megállapítottam, hogy az ultramafikus kumulátum kőzetek komagmásak a masszívum gabbroid kőzeteivel és a lamprofirokkal, valószínűleg ugyanazon H₂O-ban gazdag alkáli bazaltos olvadék volt a szülőmagmájuk. Ezeknek a kőzeteknek ásványos összetétele, teljes kőzet fő-és nyomelem összetétele valamint ritkaföldfém tartalma is nagyon hasonló a masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteinek összetételéhez.

Batki et al. (2014) szerint a masszívumban a lamprofiroknak az összetétele áll legközelebb az elsődleges magma összetételéhez. Keletkezése gazdagodott, gránát lherzolit 1-4%-os parciális olvadásához köthető. Ez a forráskőzet feltételezhetően 4 t% amfibolt (pargazit) tartalmaz. Ez a gazdagodott forrás régió szublitoszférikus metasomatikus zóna, ahol a metasomatizált erekben változó arányban amfibol ± karbonát ± oxidok ± apatit ± klinopiroxén van jelen. Ennek az olvadása során H₂O-ban gazdag alkáli magma keletkezett.

Az ultramafikus kumulátum kőzetekben lévő primitív kumulátum ásványok, klinopiroxének in situ ásvány nyomelem adatait valamint alkáli rendszerekben használt ásvány/olvadék megoszlási együtthatókat felhasználva kiszámoltam, annak az olvadéknak az összetételét, amellyel a klinopiroxén egyensúlyt tartott. Rámutattam, hogy ennek az olvadéknak az összetétele közel megegyezik a DAM lamprofirjainak összetételével.

6. A kőzettani és a geokémiai vizsgálatok alapján valamint az azokból levont petrogenetikai következtetések során egy lehetséges keletkezési modellt állítottam fel a Ditrói Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteinek keletkezésére (1. ábra). A kumulátum kőzetek kristályosodása középső-alsó kéreg régióban, egy H₂O-ban gazdag, alkáli bazaltos olvadékból történt.



1. ábra. A Ditrói Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteinek sematikus petrogenetikai modellje

Ebből az olvadékból váltak ki és gravitációsan ülepedtek le a korai ásványok (olivin, klinopiroxén) (1. ábra A, B). A korai ásványoknak és a H₂O-ban gazdag olvadéknak a reakciója során interkumulusz amfibol jött létre (1. ábra C). A Fe-Mg-gazdag ásványok kiválását követően az olvadék összetétele megváltozott. A késői fázisok (kumulusz amfibolok) már egy frakcionáltabb, fejlettebb olvadékból jöttek létre (1. ábra D). Az amfibolok akkumulációja után a maradék (interkumulusz) olvadékból plagioklász földpát kristályosodott ki (1. ábra E).

Hivatkozott irodalmak

- Batki, A., Pál-Molnár, E., Dobosi, G., Skelton, A. (2014): Petrogenetic significance of ocellar camptonite dykes in the Ditrău Alkaline Massif, Romania, *Lithos*, 200-201, 181–196.
- Kräutner, H.G., Bindea, G. (1995): The Ditrău alkaline intrusive complex and its geological environment. *Romanian Journal of Mineralogy*, 77/ 3 1–44.
- Kräutner, H.G., Bindea, G. (1998): Timing of the Ditrău alkaline intrusive complex (Eastern Carpathians, Romania). *Slovak Geological Magazine*, 4, 213–221.
- Morgan, V., Upton, B.G.J., Fitton J.G. (2000): The petrology of the Ditrău alkaline complex, Eastern Carpathians. *Mineralogy and Petrology*, 69, 227–265
- Pál-Molnár, E. (1998): A Ditrói szienitmasszívum földtani felépítése és petrológiája, különös tekintettel a hornblenditek és dioritok kialakulására. PhD értekezés.
- Pál-Molnár, E. (2000): Hornblendites and diorites of the Ditró Syenite Massif. Ed. Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged, Szeged, 172 p.
- Ridolfi, F., Renzulli, A. (2012): Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130 °C and 2.2 GPa. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 163, 877–895.

- Streckeisen, A. (1938): Das Nephelinsyenit-Massiv von Ditra in Rumänien als Beispiel einer kombinierten Differentiation und Assimilation. *erh. Schweiz. Naturf. Ges.*, 159–161.
- Streckeisen, A. (1960): On the structure and origin of the Nephelinsyenite Complex of Ditra (Transylvania, Roumania). *Rep. 21th IGC, 13*, 228–238.

IV. PUBLIKÁCIÓK

Folyóirat cikkek

- Szakáll, S., Kristály, F., Bigi, S., Papucs, A., **Almási, E.** (2006): High-temperature and late hydrous Ca minerals in the thermally metamorphosed limestone xenoliths from the basalt of Racosu de Jos, Persani Mts. (Romania). *Romanian Journal of Mineral Deposits*, 224–227.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., Ódri, Á., Kiss, B., **Almási, E.** (2015): Geochemical implications of the magmatic origin of granitic rocks from the Ditrău Alkaline Massif (Eastern Carpathians, Romania). *Geologia Croatica*, 68/1, 51–66.
- Almási, E.**, Batki, A., Kiss, B. (2015): Amfibolok a Ditrői Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteiben. *Földtani Közlöny*, 145/3 xxx-xxx.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., **Almási, E.**, Kiss, B., Upton, B.G.J., Markl, G., Odling, N. (2015): Origin of cumulates from the Ditrău Alkaline Massif, Romania, *Lithos*, in press

Önálló könyvrészlet

- Almási, E.E.**, Batki, A., Kiss, B. (2015): A Ditrői Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátum kőzeteinek amfiboljai. In: Pál-Molnár, E., Raucsik, B., Varga, A. Meddig ér a takarónk? A magmaképződéstől a

regionális litoszféra formáló folyamatokig, 23-26 (ISBN 978-963-306-389-7).

Heincz, A., Kiss, B., **Almási, E.E.** (2015): A Ditrói Alkáli Masszívum kristályosodási körülményeinek meghatározása amfibol termobarometria segítségével. In: Pál-Molnár, E., Raucsik, B., Varga, A. Meddig ér a takarónk? A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig, 64-67 (ISBN 978-963-306-389-7).

Konferencia kiadványok

Szakáll, S., **Almási, E.**, Köllő, A., Sajó, I., Vezzalini, G. (2006): New data about the minerals of the copper ore deposit at Balan (East Carpathians) and of limestone xenolithes from basalt at Racosu de Jos (Persani Mts.), Romania. Acta Mineralogica-Petrographica, 112.

Almási E., Szakáll S. (2005): Az alsórákosi bazalt üregkitöltő ásványtársulása. VII. Székelyföldi Geológus Találkozó. Geológia és környezetvédelem kiadványa, Csíkszereda, 28–29.

Szakáll S., Kristály F., Bigi, S., Papucs A., **Almási E.** (2006): Mészke xenolitikokhoz kapcsolódó víztartalmú kalcium-szilikátos ásványegyüttes az alsórákosi bazaltból (Persányi-hegység, Románia). VIII. Székelyföldi Geológus Találkozó kiadványa Csíkszereda, 78–80.

Almási E., Pál-Molnár E (2010): Hogyan tovább? Új kutatási irányok a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Wanek F, Gagy Pálffy A, Varga B (szerk.) XII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, Kolozsvár, 112–114.

Pál-Molnár E, György RE, **Almási E.**, Batki A, Sogrik E (2010): A Ditrói Alkáli Masszívum nefelinszenitjeinek ásványkémiái vizsgálata. In: Papucs A, Dénes I (szerk.) XII. Székelyföldi Geológus Találkozó Dénes István emlékkonferencia kiadványa, Barót, 24–25.

Almási, E. E., Pál-Molnár, E. (2011): A Ditrói Alkáli Masszívum peridotitjainak petrogenetikája geokémiai összetételük alapján, II. Közöttani és Geokémiai Vándorgyűlés kiadványa, Szeged, 11.

- Batki, A., **Almási, E.E.**, Sogrik, E., Pál-Molnár, E. (2011): A Vulcano Kutatócsoport munkája a Ditrói Alkáli Masszívumban. XIII. Székelyföldi Geológus Találkozó kiadványa, Gyergyószentmiklós, 11–17.
- Pál-Molnár, E., **Almási E. E.**, Sogrik, E. (2011): Origin of the peridotites from the Ditrău Alkaline Massif (Romania) by the mineralogy and mineral chemistry, 9th CETEG meeting, Skalský Dvůr, 57.
- Almási, E.E.**, Pál-Molnár, E., Batki, A. (2012): Mineralogy and mineral chemistry of hornblendites from the Ditrău Alkaline Massif (Romania) and its petrogenetic relations. Joint 5th Mineral Sciences in the Carpathians Conference and 3rd Central-European Mineralogical Conference, University of Miskolc, Miskolc. Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series, 7, 3.
- Almási E.E.**, Pál-Molnár E. (2012): Hornblenditek, mint a Ditrói Alkáli Masszívum legprimitívebb kőzetei, III. Közöttani és Geokémiai Vándorgyűlés kiadványa, Telkibánya, 3.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., **Almási, E.**, Kiss, B., Upton, B.G.J. (2015): Accumulation of early magmatic minerals: constraints on the origin and emplacement of hornblendites from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series, 9, 52.