

ZÁRT ÉS NYÍLT RENDSZERŰ MAGMÁS FOLYAMATOK A DITRÓI ALKÁLI MASSZÍVUMBAN

MTA doktori értekezés tézisei

Pál-Molnár Elemér



„Vulcano” Kőzettani és Geokémiai Kutatócsoport
Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

Szeged, 2021

1. BEVEZETÉS

Több mint egy évszázadon keresztül az az elmélet volt elfogadott, miszerint a mélyégi magmás kőzetek sekély mélységben elhelyezkedő, hosszú élettartamú magmakamra anyagának megszilárdulásával alakultak ki. Azonban az elmúlt néhány évtized geofizikai, geokémiai, petrológiai, vulkanológiai és geológiai megfigyelései gyakran ellentmondanak a klasszikus magmakamra elméletnek. A magmás folyamatok termodinamikai és mechanikai törvényeket ötvöző, modern fizikai modelljei rávilágítottak, hogy a magmakamrák felépítése és kialakulásuk folyamata jóval bonyolultabb, mint ahogy azt korábban feltételezték (Cashman et al., 2017). A manapság elfogadott nézet szerint a magmás folyamatok a kéreg/litoszféra teljes vastagságában nyomon követhetők. Az így kialakuló olvadékok a kéreg/litoszféra sekélyebb régióiban halmozódnak fel egy olyan magmakamrára létrehozva, amely egy nagy kiterjedésű magmás rendszer legfelső – felszínhez legközelebbi – részét képviseli. A magmatározókban olyan zárt és nyílt rendszerű folyamatok mehetnek végbe, mint az akkumuláció, ismétlődő magmabenyomulás (periódikus újratöltődés), kristálykása-remobilizáció (Anderson, 1976) vagy a kéregasszimiláció (DePaolo, 1981). Mindezek mellett már az alsó litoszférában megindul a frakcionáció és az olvadékok elkülönülése (pl. Hildreth, Moorbath, 1988; Annen et al., 2006), valamint folyamatos átmenet figyelhető meg a litoszféra mélyebb régióira jellemző mafikus kumulátumok és a felső kéreg gránitos intrúziói között (Jagoutz, Schmidt, 2012).

A nyílt rendszerű magmás folyamatok módosíthatják a keletkező magma összetételét és stabilitását. Az olvadéklencsék destabilizációjával a fejlettebb olvadékok a felső kéregbeli rezervoároknak halmozódhatnak fel. A felső-kéregbeli nagy kiterjedésű magmás testek kialakulásához időszakos magmautánpótlásra van szükség, amelynek anyaga a magmás rendszer nagyobb mélységben kialakult olvadékfelhalmozódásaiból származik. Az egyes magmacsomagokban egyedi kristályok (antekristályok), több ásványból álló aggregátumok (glomerokristályok) és kumulátumfázisok is szállíthatódnak. A magmacsomagok megőrződhetnek a befogadó kőzettől éles határral elkülönülő, eltérő összetételű keveredési kőzetzárványok formájában, ugyanakkor elegyedhetnek is felhalmozódásuk során. Mindezek mellett a magmás rendszerek fejlődése során az egyik legmeghatározóbb folyamat a kristálykásától elkülönülő olvadékok frakcionációja (Lee, Bachmann, 2014).

A Ditrői Alkáli Masszívumban (a továbbiakban DAM) – a magmás kőzettan klasszikus mintaterületén – egy fosszilis magmatározó-rendszer megszilárdult kőzetanyaga tárul fel, azaz közvetlenül vizsgálhatók mindazon zárt és nyílt rendszerű, a litoszférát átszelő magmás folyamatok, amelyek a felszínre került kőzetanyag összetételének és szövetének vizsgálatából csak közvetetten tárhatók fel.

2. CÉLKITŰZÉSEK ÉS ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK

A felszínre kerülő kőzetanyag (láva és piroklasztitok) összetételének és szövetének vizsgálatából ugyan következtethetünk a magmatározóban uralkodó körülményekre, a teljes magmaösszetétel vizsgálatával nyomon követhetjük a magma fejlődését (pl. McKenzie, 1984; Solano et al., 2012; Connolly, Podladchikov, 2015), azonban – ezekből következtetve, sajnos – nincs mód a mélységi magmás képződmények teljes körű és pontos jellemzésére, ugyanis egyetlen kőzetmintán belül is lehetnek olyan ásványok, amelyek a szubvulkáni rendszer különböző régióiból származnak (Cashman, Blundy, 2013; Wallace, Bergantz, 2004; Berlo et al., 2007; Andrews et al., 2008; Ginibre et al., 2002).

Az elmúlt 2-3 évtized masszívummal kapcsolatos kutatásai elsősorban az SZTE „Vulcano” Kőzettani és Geokémiai Kutatócsoport munkájához köthetők. Az MTA doktori értekezés elkészítése a kutatói pálya egyik fontos állomása. Összefoglalja az eddig elért eredményeket és előrevetíti a jövő feladatait. Egy ilyen munka egyedül nem (vagy nagyon nehezen) kivitelezhető, különösen nem a földtudományok területén, ahol a csapatmunka elengedhetetlen feltétele a sikernek. Nincs ez másképp az én esetemben sem. Az itt bemutatott eredmények nem jöhettek volna létre kitűnő kollégáim nélkül.

A DAM magmás rendszerének vizsgálati sarokpontjai, mint minden zárt és nyílt magmás rendszer esetében a forrásrégió és a tektonikai környezet meghatározása, az elsődleges magmák (szülőmagmák) feltárása és a magmatározó-rendszer folyamatainak értelmezése. Ennek tükrében kutatásaim a magmatározó kőzettani felépítésének pontosítására, az egyes kőzetek terepi kapcsolatrendszerének meghatározására, a magmás benyomulás eddigi vitatott korának pontosítására, a kristálykása és magmabenyomulások közötti kölcsönhatások feltárására, a magmatározó folyamatok in situ – integrált szerkezeti és szöveti módszerekkel történő – leírására, a frakcionációs kristályosodás, keveredés és elegyedés, valamint a különböző olvadékok és a falkőzet, illetve a befogadó kőzet kölcsönhatásának megismerésére irányultak.

A magmatározó-rendszer folyamatainak ismeretében (gravitációs frakcionáció, magmakeveredés, magmaelegyedés, többszörös magmabenyomulás, visszakeveredés, frakcionáció, kéregasszimiláció-kontamináció) értelmezhetővé válnak a benyomulás idejére vonatkozó adataink, amelyek megerősíthetik a kialakulás tektonikai környezetére és a rendszer forrásrégiójára vonatkozó elképzeléseinket.

„A méltán híressé vált ditrói syenittömzs kőzeteivel és ásványaival számos ásvány-és földbuvár, valamint vegyész is foglalkozott; azonban két irányban nem tökéletesek az eddigi vizsgálatok eredményei: először, a syenittömzs kőzetei górcső alatt nincsenek még rendszeresen átkutatva, és másodsor, a hegytömzs tektonikai viszonyairól sem bírunk még kellő ismeretekkel.”

A fenti sorokat Koch Antal 142 évvel ezelőtt, 1879-ben vetette papírra. Gondolatának üzenete ma is érvényes. Megfelelő mennyiségű és minőségű adat hiányában ennek a munkánkknak sem lehet célja egy általános, minden kőzetre, magmás folyamatra kiterjedő petrogenetikai modell „felrajzolása”. Annak megítélése, hogy a valóságos történéseket közelítően és egyszerűsített módon leíró modellek milyen mértékben támaszkodnak a szimulációs eredményekre és/vagy a modellezett magmatározó tulajdonságaira nagyon relatív. Az elmúlt években született megannyi elfogadhatónak és kevésbé elfogadhatónak tűnő petrogenetikai modell (pl. Codarcea et al., 1957; Jakab, 1998, 2017; Honour et al., 2018; Ódri et al., 2020) jóságának megítélésében egyetlen alapvető elv vezetett (és vezet), a terepi megfeleltetés. Ezidáig a puzzle nem minden darabját sikerült a helyére tenni, így szerény célom nem lehet más, mint tovább keresni a kirakós elemeit. Van feladat, hiszen még nagyon sok a „gazdátlan”, helyét kereső darab!

Kutatásaim részletes terepi kőzettani térképezésre és nagyszámú mintavételezésre támaszkodnak. A kőzetrendszer-tani, szöveti, mikroszöveti vizsgálatok során Brunel-SP-300-P és Olympus BX 41 polarizációs mikroszkópokat használtam. Az optikai mikroszkópos petrográfiai vizsgálatokat pásztázó elektronmikroszkópos (AMRAY 1830 I/T6) vizsgálatokkal egészítettem ki. A pásztázó elektronmikroszkópra szerelt EDAX PV9800 típusú energiadiszipatív spektrométerrel a kisméretű ásványfázisok meghatározásához kémiai elemzést is végeztem, továbbá a kérdéses ásványfázisokat THERMO DXR Raman-spektrométer segítségével azonosítottam. A kőzetek modális ásványos összetételének meghatározásához (legalább 500 pont/vékonycsiszolat) Quantum GIS 2.14.0 térinformatikai szoftvert használtam.

A Tarnița Komplexum in situ mintavételezésénél nagy teljesítményű akkumulátoros fűrőt használtam. A fűrőre egy egyedi igényekhez gyártott, 2,5 cm külső átmérőjű, gyémántberakásos koronafűrőt helyeztünk fel. A koronafűrő maximálisan 5 cm mélységig hatolt be a kőzetbe. Az így gyűjtött minták átlagosan 3,5 cm hosszú, 2 cm átmérőjű hengerek voltak.

A K/Ar kormeghatározás – amfibol, biotit, földpát és földpátpótló ásványfrakciókon – lángfotométer és mágneses tömegspektrométer segítségével készült (Debrecenben, MTA Atommagkutató Intézet). Az in situ U-Pb kormeghatározás (titanit és cirkon) a göttingeni Georg-August Egyetem GÖOchron laboratóriumában excimer lézerrel és Thermo Finnigan Element2 tömegspektrométerrel történt.

Az egyes kőzetek teljes kőzet főelem összetételének meghatározása Finnigan MAT Element tömegspektrométerrel (HR-ICP-MS) (Stockholmi Egyetem Földtudományi Tanszék), az Edinburghi Egyetem Földtudományok Iskolájának Panalytical PW2404 hullámhosszdiszperzív, szekvenciális röntgenspektrométerével, továbbá a Bureau Veritas Mineral Laboratories (AcmeLabs, Vancouver, Kanada) laboratóriumában, ICP-ES-sel történt.

A kőzetek nyomelem összetételét Varian Vista AX ICP atomemissziós spektrométerrel (ICP-AES) (Stockholmi Egyetem Földtudományi Tanszék) és a Bureau Veritas Mineral laboratóriumában (AcmeLabs, Vancouver, Kanada) ICP-MS-sel határoztuk meg.

A kőzetalkotó és akcesszorikus ásványok fő- és nyomelemösszetételi elemzéseit JEOL Superprobe 733 típusú berendezéssel (a mérés idején MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet), a Berni Egyetem Földtudományi Intézetének Cameca SX-50 típusú, hullámhosszdiszperzív elektronmikroszondájával, a Tübingeni Egyetem Földtudományi Intézetének JEOL 8900 típusú, hullámhosszdiszperzív berendezésével, a cardiffi Egyetem Thermo X Series 2 ICP-MS készülékéhez csatolt New Wave Research UP213 Nd-YAG 213 nm UV lézer-rendszerével (LA-ICP-MS) és a Grazi Egyetemen (Karl-Franzens-Universität) energiadiszperzív és hullámhosszdiszperzív spektrométerrel egyaránt felszerelt JEOL JSM-6310 típusú elektronmikroszondájával, valamint egy New Wave ESI NWR 193 lézer rendszerrel felszerelt Agilent Technologies 7500 Series ICP-MS műszerével végeztük.

A karbonátos összetételű ocellumok katódlumineszcens vizsgálata egy Nikon E600 mikroszkóphoz csatolt hidegkatódos Reliotron típusú készülékkel történt (a mérés idején MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet).

A Sr- és Nd izotópösszetételi elemzések Stockholmban, a Svéd Természettudományi Múzeum Izotópgeológiai Laboratóriumában készültek egy 5 Faraday-detektorral felszerelt Finnigan MAT261 típusú termális ionizációs tömegspektrométerrel (TIMS).

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az új tudományos eredményeket hat fő témakörben foglalom össze:

- I. Pontos, kőzettani és geokémiai adatokkal alátámasztott, új digitális kőzettani térképek elkészítése; terepi – kőzettani, szerkezeti – megfigyelések.
- II. A masszívum korának és petrotektonikai környezetének egyértelműsítése.
- III. A masszívum szülőmagmájának meghatározása.
- IV. A kumulátumkőzetek kialakulási körülményeinek tisztázása.
- V. A magmakeveredési szövetek értelmezése
- VI. Többszörös magmabenyomulás és kristály-recirkuláció – a DAM különböző magmáinak forrása és fejlődéstörténete.

I. Pontos, kőzettani és geokémiai adatokkal alátámasztott, új digitális kőzettani térképek elkészítése, terepi – kőzettani, szerkezeti – megfigyelések

I/1. Kőzettani kutatásaim az 1987–1989, valamint az 1993–1996, illetve 2004–2020 közötti földtani (kőzettani) térképezési kampányokra támaszkodnak. Vezetéssel többszöri adategyeztető, terepi felvételező bejárással elkészítettük a DAM teljes területének 1:50000 méretarányú digitális földtani (kőzettani) térképét.

I/2. A 225 km²-en felszínre bukkanó DAM-ból további kutatás és mintagyűjtés céljából elkészítettem – a jelen dolgozat alapját is képező – az Orotva-patak medencéjétől északra eső egység (a DAM északi része) 1:5000-es méretarányú, digitalizált földtani (kőzettani) térképét. Ezen a területen a masszívum összes kőzettípusának természetes feltárása megtalálható.

A terepi – szerkezeti és kőzettani – megfigyelések talán egyik legfontosabb hozadéka az, hogy nem célszerű sem kőzettanilag, sem genetikailag a kumulátumkőzetek – dioritok (*s.l.*) külön-külön komplexumokba történő besorolása. Az újraértelmezett földtani térképről egyértelműen kitűnik, hogy ezek a kőzetek térben mindig egymás szomszédságában, egymással összefogazódva, egymás közti fokozatos átmenetben, vagy mafikus keveredési kőzetzárványokként jelennek meg. Tehát egy bonyolult felépítésű és tektonikájú litosztratigráfiai egységről van szó. Ezek a kőzetek nem csak petrográfiai, hanem petrogenetikai értelemben is külön értelmezésre szorulnak. Ennek következtében az ultramafikus és mafikus kőzettípusokat Tarnița Komplexum (ejtsd: Tarnica) néven egy kőzetkomplexumba soroltam, amely mind tartalmi, mind nevezéktani értelemben elfogadásra került a DAM szakirodalmában.

II. A masszívum korának és petrotektonikai környezetének egyértelműsítése

K/Ar és U-Pb koradatok alapján sikerült pontosítanom a masszívum kőzeteit létrehozó, zárt és nyílt rendszerű magmás folyamatok idejét, sorrendiségét és időtartamát. A koradatokot a megfelelő palinszasztikus rekonstrukciókkal kiegészítve a masszívum egykori paleogeográfiai környezetének meghatározását is lehetővé tették.

II/1. A legfrissebbj koradatok pontosítják a korábbi eredményeket, amelyek igen tág határok ($238,6 \pm 8,9$ Ma és $81,3 \pm 3,1$ millió év) között mozogtak. Az új K/Ar és U-Pb koradatok – az 1990 utáni, általam publikált korokat is figyelembe véve – viszonylag rövid rövid magmafejlődési szakaszt mutatnak ($238,6 \pm 8,9$ és $225,3 \pm 2,7$ millió év), hozzátevé, hogy a legmegbízhatóbb, U-Pb koradatok ~230 millió év körül szórnak. Ebben a rövid magmafejlődési szakaszban – miután az egyes kőzetek koradatai átfednek – az egyes magmás eseményekhez köthető kőzetek kialakulási sorrendje, szem előtt tartva a terepi összefüggéseket is, a következő: kumulátumkőzetek – dioritok (*s.l.*) – monzodioritok – monzonitok – szienitok – kvarcszienitok – gránitok – nefelinszienitok – tinguitok – lamprofirok – alkáliföldpátszénit aplitok.

II/2. A koradatok és tektonikai analógiák alapján a masszívum kialakulása egy, a Kelet-Európai kraton délnyugati részén, riftesedő, lemezen belüli környezetben végbemenő, rövid időtartamú (középső-késő triász, ladini-nori emelet) magmás eseményhez köthető. A rendelkezésre álló egyes kőzetek geokémiai adatai – lamprofirok, kumulátumkőzetek vagy a granitoidok – megerősítik a lemezen belüli eredetet.

III. A masszívum szülőmagmájának meghatározása – a kamptonitok petrogenetikai jelentőségének felismerése

III/1. A DAM kőzeteit átjáró lamprofir telérekben (kamptonitokban) két amfibol-populáció különböztethető meg, amelyek hasonló körülmények között kristályosodtak és folyamatosan csökkenő Yb/Eu aránnyal, valamint CaO és FeO^t-koncentrációval jellemezhetők. A kamptonit-I csoportba sorolt kőzetekre 7–9 kbar nyomáson és 755–838°C hőmérsékleten kristályosodott kaersutit jellemző. A kamptonit-II típusba tartozó kőzetekben hastingsit fordul elő, ami 6–9 kbar nyomáson és 666–779°C-on keletkezett. Olivin és klinopiroxén frakcionációja kizárólag a kamptonit-I csoport kőzeteiben figyelhető meg. Az Al–Fe-diopszid nagy nyomáson (kb. 12–20 kbar) és hőmérsékleten (1220–1300°C) alakult ki. A differenciáció előrehaladtával párhuzamosan csökkenő TiO₂- és V-koncentráció a titanit kristályosodásával van összefüggésben (kamptonit-II), míg a kamptonit-I típusba sorolt kőzetekben a kaersutit a meghatározó Ti-tartalmú fázis.

III/2. A telérekben szilikátos-karbonátos, valamint szilikátos összetételű ocellumok jelennek meg. A kalcit-albit ocellumok (kamptonit-I) kis mennyiségű biotitot és opakásványokat, olykor titanitot is tartalmaznak. Az ocellumok azután jöttek létre, hogy a kőzet mátrixában megjelenő amfibol nagy része kikristályosodott. Kialakulásuk kései

fázisú szegregációs folyamatokhoz köthető, amelyek során CO₂-gazdag gázbuborékok keletkeztek. A kamptonit-II csoportba tartozó kőzetek ocellumaiban és a kőzetek alapanyagában előforduló plagioklász összetétele megegyezik, így fejlődéstörténetük is hasonló lehetett. A plagioklász-tartalmú ocellumok reziduális, szienomonzonitos összetételű intersticiális olvadék szegregációjaként értelmezhetők.

III/3. A DAM területén előforduló kamptonitok 4% pargazitos amfibolt tartalmazó, gazdagodott összetételű gránát lherzolit köpeny eredetű forráskőzet 1–4 %-os parciális olvadásával alakultak ki.

A forrásrégió nyomelemekben való dúsulása egy szublitoszférikus metasomatizált zóna jelenlétére utal, amelyet amfibolgazdag ± karbonát ± oxidok ± apatit ± klinopiroxén-tartalmú erek jártak át. Ennek a metasomatikus zónának tulajdonítható az Si-telítetlen–telített kamptonitos magma illódús karaktere. A Nd-izotóptértékek és az erősen inkompatibilis nyomelem-összetétel azt is mutatja, hogy a kamptonitok egy asztenoszférikus HIMU (*high* ²³⁸U/²⁰⁴Pb (μ) mantle) típusú köpenykomponens jellegekkel rendelkező OIB forrásrégióból származnak.

III/4. A vizsgált kamptonitok kémiai összetétele lemezen belüli magmás tevékenységre utal, ami az alpi hegységképződés extenziós fázisához köthető.

III/5. A kamptonit telérek ásványtani és kőzetkémiai szempontból erős hasonlóságot mutatnak a kumulátumkőzetekkel (*s.l.* hornblenditekkel), foidgabbrókkal (*s.l.* dioritokkal), ami szoros petrogenetikai kapcsolatukra utal. Továbbá, eddigi ismereteink szerint, a kamptonitok képviselik az egyetlen bazaltos-bazanitos olvadékot, amely a masszívum teljes területét átjárja, ezért úgy gondoljuk, hogy megfeleltethetők a masszívum szülőmagmájával.

IV. A magmatározó rendszer folyamatainak leírása – a kumulátumkőzetek kialakulása

IV/1. A kumulátumkőzetek lencse alakú vagy szögletes tömbök formájában jelennek meg a DAM északi és középnyugati részén – az általam 2000-ben leírt – Tarnița Komplexumban előbukkanó diorit (*s.l.*) kőzetekben. A különböző ultramafikus kőzettípusok, olivin- és piroxéntartalmú, valamint csaknem monomineralikus hornblendit kumulátumok a magmakamra alján felhalmozódott függőleges kőzetsorozatként értelmezhetők. A terepi megfigyelések is a kőzetalkotó ásványok gravitációs úton történő felhalmozódását támasztják alá. Miután az alpi hegységképződési folyamatok következtében a masszívum elszakadt gyökérszónájától és kibillent eredeti helyzetéből, ezek a kőzetek az egykori magmatározó relatíve legmélyebb részén kialakult képződményeket képviselik.

IV/2. A kumulátumkőzetekben az amfibol kumulusz- és interkumulusz fázisként egyaránt jelen van. Az amfibol mellett a kumuluszásványokat olivin, diopszid és augit képviseli. A korai fázisban kristályosodott ásványok felhalmozódásával egyidőben

titanit, apatit és magnetit kristályosodott, amire a teljes kőzet minták magnéziumszámának és SiO_2 -tartalmának csökkenésével párhuzamosan növekvő CaO , FeO^\dagger , TiO_2 és P_2O_5 -koncentráció utal.

IV/3. A masszívum ultramafikus kumulátumközetei bazanitós összetételű szülőmagmából kristályosodtak. Az olivintartalmú kumulátumokban megjelenő kumulusz fázisú olivin és klinopiroxén szülőolvadékának becsült magnéziumszáma és nyomelem-eloszlása alapján a két ásványfázis azonos forrásból, korai lamprofiros olvadákokból származik. Az amfibol- és piroxéntartalmú kumulátumokban azonosított kumulusz klinopiroxén szintén lamprofiros olvadékból kristályosodott. A modellezett szülőolvadékok összetétele közötti eltérés arra utal, hogy az egykori magmatározóba különböző magmacsomagok nyomultak be. Az interkumulusz amfibol számított egyensúlyi olvadéka a lamprofirokénál primitívebb, míg a kumulusz amfibolé jóval fejlettebb összetételt mutat. A vizsgált ultramafikus kumulátumközetek ritka-földfém-összetétele lemezen belüli, riftesedő kontinentális peremhez köthető extenziós környezetre utal.

IV/4. A termobarometriai számítások alapján a kumulátumok az alsó-kéregben, ~ 1000 – 1050 °C hőmérsékleten és ~ 7 kbar nyomáson alakultak ki.

V. A magmatározó rendszer folyamatainak leírása – a magmakeveredési szövetek értelmezése

V/1. A Tarnița Komplexum magmakeveredési és magmaelegyedési folyamatainak vizsgálata a mafikus komplexum nyugati részén kialakított mesterséges feltáráson keresztül történt. Az integrált terepi, kőzettani (szerkezeti és szöveti), teljes kőzet fő- és nyomelem geokémiai, illetve ásványkémiai vizsgálatok egységesen arra utalnak, hogy a feltárásban lévő elnyúlt, lekerekített mafikus keveredési közezárványok a befogadó kőzet gabbroid magmájával azonos forrásból származó (komagmás) magmabenyomulások eredményeként alakultak ki. A befogadó magma más, attól eltérő összetételű magmával valószínűleg nem keveredett; a magmatározóba az ultramafikus, illetve felzikus közetzárványok már szilárd formában (xenolitiként) kerülhettek. Előbbi egy – a befogadó kőzetétől eltérő – olvadékot képviselhet, míg a felzikus xenolitikot valószínűleg kumulátum eredetűek.

V/2. A DAM szienit közeteinek (*s.l.*) részletes petrográfiai (makroszkópos és mikroszkópos) vizsgálata alapján a kőzetek a korábbi feltételezésekkel ellentétben nem egy homogén magmából kristályosodtak. Petrográfiai – szöveti – alapon a vizsgált kőzetek két különböző eredetű egységre oszthatók: szienit alapkőzet, illetve az ebben megjelenő, diszkréten elkülönülő mafikus keveredési közetzárványok. A tanulmányozott kőzetek szövetében magmakeveredésre és magmaelegyedésre utaló szerkezeti és szöveti bélyegeket (mafikus keveredési közetzárványok, prizmás és tús habitusú apatitok, zárványmentes peremű földpátok) azonosítottunk. Az alapkőzet és a mafikus

kőzetzárványok eltérő eredete miatt szükségessé vált az eddig homogén, egységes kőzetként kezelt szienitek keletkezésének és fejlődésének újraértelmezése.

VI. A többszörös magmabenyomulás és kristály recirkuláció – a DAM különböző magmáinak forrása és fejlődéstörténete

VI/1. A DAM kőzeteiben azonosított különböző klinopiroxén-populációk szövete és összetétele jól tükrözi a magmás folyamatok sokrétűségét, amelyekből a különböző magmák fejlődéstörténetére és forrására is következtethetünk. A különböző klinopiroxén kristályok olyan zárt és nyílt rendszerben végbemenő petrogenetikai folyamatok nyomait őrzik, amelyek fontos szerepet játszottak a masszívum magmás fejlődéstörténete során (pl. ismétlődő magmabenyomulás, a piroxének recirkulációja a különböző magmacsomagok kölcsönhatása során, magmakeveredés, frakcionációs kristályosodás és az ásványok akkumulációja).

A különböző szövetű és zonációjú klinopiroxének fő- és nyomelemgeokémiai összetétele alapján a vizsgált ásványok három típusa különböztethető meg: halványbarna, primitív, ferrovas-tartalmú, alumínium- és ferrovas-tartalmú, valamint króm-diopszid (hornblendetartalmú kumulátumok, kamptonit, tinguait telérek, ijolit kőzetzárványok); zöld, köztes, nátrium- és ferrovas-tartalmú diopszid, nátrium- és magnézium-tartalmú hedenbergit (diorit *s.l.*, szienit, ijolit, tinguait); zöld-sötétzöld, legfejlettebb összetételű egirin és egirinaugit (fenokristály nefelinszenitben, a kristályok pereme, valamint a kőzet alapanyagában megjelenő mikrolitok tinguaitban és ijolitban).

VI/2. A klinopiroxének összetétele alapján két magmaforrás és fejlődési trend különböztethető meg. A nagy Cr-tartalmú Fe-diopszid populáció egy bazanitos szülőolvadékból származó, korai kamptonitos magmából (M1) kristályosodott. A Nb- és Zr-gazdag Na-Fe diopszidok és nátrium- és magnézium-tartalmú hedenbergitek egy második magmaforráshoz (M2) köthetők. Az M1 magma frakcionációja során a Fe-diopszidokban nőtt a Hd-aránya, valamint a ritkaföldfémek koncentrációja. Ezzel egy időben a Na-gazdag magmából (M2) kristályosodó klinopiroxének összetétele a Na-diopszid-hedenbergittől folyamatos átmenetet mutat az egirinaugitos összetétel felé, amellyel párhuzamosan a Na/Ca arány növekedése mellett a nehéz ritkaföldfémek (*HREE*), Nb, Zr és Hf mennyisége is növekszik.

VI/3. A kamptonitban, kumulátumkőzetekben, tinguaitban és ijolitban megjelenő primitív nagy Cr-tartalmú Fe-diopszid populációk a korábban, a magmatározó mélyebbi részén frakcionációs kristályosodáson átesett bazanitos szülőolvadékok fejlődésének különböző fázisait képviselik és az M1 magma többszöri (ismétlődő) benyomulásával kerültek a rendszerbe. Ezek a Fe-diopszid fenokristályok (*s.s.*) képviselhetik a szülőolvadék fejlődésének legkorábbi fázisát. A korai kamptonitos magma kis-közepes mértékű, zárt rendszerben történő frakcionációs kristályosodásával differenciált mafikus magmák (M1a) alakultak ki. További frakcionációs kristályosodással és az

ásványok akkumulációjával keletkeztek a piroxéntartalmú kumulátumok kumulusz piroxén makrokristályai. Az olivintartalmú kumulátumok kumulusz piroxén mikrokristályai szintén zárt rendszerben fejlődtek, azonban közvetlenül a korai kamptonitos magmából (M1) kristályosodtak és halmozódtak fel.

VI/4. A nátrium- és ferrovastartalmú diopszidot, valamint recirkulált primitív diopszid antekristályokat tartalmazó M2 magma ijolitos összetételűvé fracionálódott (M2a magma). További fracionáció eredményeként fonolitos összetételű magma keletkezett (M2b magma), amelyből a nefelinszienit egirinaugit klinopiroxén fenokristályai (*s.s.*), valamint a tinguaít alapanyagában megjelenő egirinaugit mikrolitok kristályosodtak.

VI/6. Az M1 és M2 ismétlődő magmabenyomulásai következtében az egyszerre jelen lévő magmacsomagok többször is kölcsönhatásba léptek egymással, amely során kristály-recirkuláció és magmakeveredés történt. Ezek az események képviselik azokat a magmatározóban végbemenő nyílt rendszerű petrogenetikai folyamatokat, amelyek fontos szerepet játszottak a vizsgált magmás rendszer fejlődéstörténete során.

Az ásványok zonációjának elemzése, valamint az egyes fázisokkal egyensúlyt tartó olvadék összetételének meghatározása többek között a vizsgált kőzetek antekristály-tartalmára világított rá. A DAM kutatástörténete során elsőként tettünk említést a dioritos (*s.l.*), szienites, tinguaítos és ijolitos összetételű magmákat érintő antekristály recirkulációról. Az antekristály-tartalom jelentősen befolyásolhatja a magma eredeti összetételét, ezért a teljes kőzet geokémiai adatok értelmezése kellő körültekintést igényel. Vizsgálataink rámutattak, hogy az ásványgeokémiai elemzések nemcsak a szubvulkáni rendszerek rekonstrukciója, hanem a plutoni kőzetek kutatása során is nélkülözhetetlenek.

Hivatkozott irodalom

- Anderson, A.T. (1976): Magma mixing – petrological process and volcanological tool. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **1**, 3–33.
- Andrews, B.J., Gardner, J.E., Housh, T.B. (2008): Repeated recharge, assimilation, and hybridization in magmas erupted from El Chichon as recorded by plagioclase and amphibole phenocrysts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **175**, 415–426.
- Annen, C., Blundy, J.D., Sparks, R.S.J. (2006): The genesis of intermediate and silicic magmas in deep crustal hot zones. *Journal of Petrology*, **47**, 505–539.
- Berlo, K., Blundy, J., Turner, S., Hawkesworth, C. (2007): Textural and chemical variation in plagioclase phenocrysts from the 1980 eruptions of Mount St. Helens, USA. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **154**, 291–308.
- Cashman, K., Blundy, J. (2013): Petrological cannibalism: the chemical and textural consequences of incremental magma body growth. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **166**, 703–729.

- Cashman, K.V., Sparks, R.S.J., Blundy, J.D. (2017): Vertically extensive and unstable magmatic systems: a unified view of igneous processes. *Science*, **355**, 1–40.
- Codarcea, A. Codarcea, D.M., Ianovici, V. (1957): Structura geologică a masivului de roci alcaline de la Ditrău. *Buletin Științific, Secția de Geologie și Geografie*, **II/3–4**, 385–446.
- Connolly, J.A.D., Podladchikov, Y.Y. (2015): An analytical solution for solitary porosity waves: dynamic permeability and fluidization of nonlinear viscous and viscoplastic rock. *Geofluids*, **15**, 269–292.
- DePaolo, D.J. (1981): Trace-element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, **53**, 189–202.
- Ginibre, C., Worner, G., Kronz, A. (2002): Minor- and trace-element zoning in plagioclase: implications for magma chamber processes at Paríacota volcano, northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **143**, 300–315.
- Hildreth, W., Moorbath, S. (1988): Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **98**, 455–489.
- Honour, V.C., Goodenough, K.M., Shaw, R.A., Gabudianu, I., Hirtopanu, P. (2018): REE mineralisation within the Ditrău Alkaline Complex, Romania: Interplay of magmatic and hydrothermal processes. *Lithos*, **314–315**, 360–381.
- Jagoutz, O., Schmidt, M.W. (2012): The formation and bulk composition of modern juvenile continental crust: The Kohiștan arc. *Chemical Geology*, **298**, 79–96.
- Jakab, Gy. (1998): *Geologia Masivului alcalin de la Ditrău*. Pallas-Akadémia, Miercurea-Ciuc, 297 p.
- Jakab, Gy. (2017): *Geneza Masivului alcalin de la Ditrău*. Mark House, Gheorgheni, 166 p.
- Koch, A. (1879): A ditrői syenittömzs közettani és hegyszerkezeti viszonyairól. *Magyar Tudományos Akadémiai Értekezések*, **IX/2**, 49 p.
- Lee, C.-T.A., Bachmann, O. (2014): How important is the role of crystal fractionation in making intermediate magmas? Insights from Zr and P systematics. *Earth and Planetary Science Letters*, **393**, 266–274.
- McKenzie, D. (1984): The generation and compaction of partially molten rock. *Journal of Petrology*, **25**, 713–765.
- Ódri, Á., Harris, C., Le Roux, P. (2020): The role of crustal contamination in the petrogenesis of nepheline syenite to granite magmas in the Ditrău Complex, Romania: evidence from O-, Nd-, Sr- and Pb-isotopes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **175**, 100.
- Solano, J.M.S., Jackson, M.D., Sparks, R.S.J., Blundy, J.D., Annen, C. (2012): Melt segregation in deep crustal hot zones: a mechanism for chemical differentiation, crustal assimilation and the formation of evolved magmas. *Journal of Petrology*, **53**, 1999–2026.
- Wallace, G.S., Bergantz, G.W. (2004): Constraints on mingling of crystal populations from off-center zoning profiles: A statistical approach. *American Mineralogist*, **89**, 64–73.

Az értekezés témakörében készült tudományos publikációk listája

Tudományos folyóiratcikk

- Batki, A., Pál-Molnár, E., Bárdossy, A. (2004): Occurrence and petrology of lamprophyres from the northern part of the Ditrău Alkaline Massif, Eastern Carpathians, Romania. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **45/2**, 21–28.
- 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.
- Batki, A., Pál-Molnár, E.*, Jankovics, M.É., Kerr, A.C., Kiss, B., Markl, G., Heinz, A., Harangi, Sz. (2018): Insights into the evolution of an alkaline magmatic system: An in situ trace element study of clinopyroxenes from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Lithos*, **300–301**, 51–71.
- Fall, A., Bodnár, J.R., Szabó, Cs., Pál-Molnár, E. (2007): Fluid evolution in the nepheline syenites of the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania. *Lithos*, **95/3–4**, 331–345.
- Heincz, A., Pál-Molnár, E.*, Kiss, B., Batki, A., Almási, E.E., Kiri, L. (2018): Nyílt rendszerű magmás folyamatok: magmakeveredés, kristálycsere, kumulátum recirkuláció nyomai a Ditrói Alkáli Masszívumban (Orotva, Románia). *Földtani Közlemény*, **148/2**, 125–142.
- Jakab, Gy., Laczkó, A., Zólya, É., Zólya, L., Pál-Molnár, E., Zakariás, L. (2005): A Székelyföld értekezési területei. *Földtani Közlemény*, **135/3**, 459–478.
- Kovács, G., Pál-Molnár, E. (1998): Petrographical characteristics of Ditró (Orotva) granites, Eastern Carpathians, Transylvania, Romania: A preliminary description. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **39**, 35–48.
- Kovács, G., Pál-Molnár, E. (2005): A Ditrói Alkáli Masszívum granitoid közzeteinek petrogenézise. *Földtani Közlemény*, **135/1**, 121–143.
- Pál-Molnár, E. (1992): Petrographical characteristics of Ditró (Orotva) hornblendites, Eastern Carpathians, Transylvania (Romania): a preliminary description. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **33**, 67–80.
- Pál-Molnár, E. (1994a): Petrographical characteristics of Ditrău (Orotva) diorites, Eastern Carpathians, Transylvania (Romania). *Acta Mineralogica-Petrographica*, **35**, 95–109.
- Pál-Molnár, E. (1997): Composition of pyroxenes in hornblendites from the northern part of the Ditró Syenite Massif. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **38**, 123–130.
- Pál-Molnár, E., Árva-Sós, E. (1995): K/Ar radiometric dating on rocks from the northern part of the Ditrău Syenite Massif and its petrogenetic implications. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **36**, 101–116.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., Almási, E., Kiss, B., Upton, B. G. J., Markl, G., Odling, N.

- and Harangi, S. (2015b). Origin of mafic and ultramafic cumulates from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Lithos*, **239**, 1–18.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., Ódri, Á., Kiss, B., Almási, E. (2015c): Geochemical implications of the magmatic origin of granitic rocks from the Ditrău Alkaline Massif (Eastern Carpathians, Romania). *Geologia Croatica*, **68/1**, 51–66.
- Pál-Molnár, E., Kiri, L., Lukács, R., Dunkl, I., Batki, A., Szemerédi, M., Almási, E.E., Sogrik, E., Harangi, Sz. (2021): Timing of magmatism of the Ditrău Alkaline Massif, Romania – A review based on new U-Pb and K-Ar data. *Central European Geology*, **64**, 1–20.
- * Megosztott első szerző.

Könyvek, könyvfejezetek

- Almási E.E., Pál-Molnár, E., Batki, A. (2016): A Ditrói Alkáli Masszívum ultramafikus kumulátumközeteinek petrogenetikája. *GEOLITERA*, (ISSN 2062-2465), Szeged, 9–35.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2010): A Ditrói Alkáli Masszívum lamprofirjainak petrogenézise. *GEOLITERA*, (ISBN 978-963-306-013-1), Szeged, 9–71.
- Pál-Molnár, E. (1994b): A Ditrói Szienitmasszívum kialakulása a földtani megismerés tükrében. A Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai, Szeged, 85 p.
- Pál-Molnár, E. (2000): Hornblendites and diorites of the Ditró Syenite Massif. Ed. Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged, (ISBN 963-482-424-2), Szeged, 172 p.
- Pál-Molnár, E. (2010a): Geology of Székelyland. In: Szakáll, S., Kristály, F. (Eds.): Mineralogy of Székelyland, Eastern Transylvania, Romania, Csík County Nature and Conservation Society, (ISBN 978-606-8235-01-1), Sfântu Gheorghe, Miercurea Ciuc, Târgu Mureș, 33–43.
- Pál-Molnár, E. (2010b): Rock-forming minerals of the Ditrău Alkaline Massif. In: Szakáll, S., Kristály, F. (Eds.) (2010): Mineralogy of Székelyland, Eastern Transylvania, Romania. Csík County Nature and Conservations Society, (ISBN 978-606-8235-01-1), Sfântu Gheorghe–Miercurea-Ciuc–Târgu Mureș, 63–88.

Konferenciaközlemények, előadáskivonatok

- Almási, E., Pál-Molnár, E. (2010): Hogyan tovább? Új kutatási irányok a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Wanek, F., Gagy, Pálffy A., Varga, B. (Eds.) (2010): XII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Kolozsvár, Románia, EMT, 112–114.
- 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. *Acta Mineralogica-Petrographica – Abstract Series*, **7**, 3.

- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2004): Petrology of lamprophyres occurring in the northern part of the Ditrău (Ditró) Alkaline Massif (Jolotca Creek Basin), Romania. *Geolines*, **17**, 18–21.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2005): Geochemistry of lamprophyres of the Ditrău Alkaline Massif. *Geolines*, **19**, 20–22.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2006): Trace element and Nd-Sr isotopic composition of lamprophyres from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Geolines*, **20**, 17-18.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2006): Rock-forming minerals of lamprophyres from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Mineralogica Polonica*, **28**, 22–24.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2011): Camptonite from the Ditrau Alkaline Massif, Romania. In: Marks, M.A.W. (Ed.) (2011): Peralk-Carb 2011, workshop on peralkaline rocks and carbonatites. Tübingen, Németország, 7–9.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2010): Camptonites from Ditrau Alkaline Massif, Romania: Geochemistry and petrogenesis. In: Christofides, G., Kantiranis, N., Kostopoulos, D.S., Chatzipetros, A.A. (Eds.) (2010): Proceedings XIX Congress of the Carpathian-balkan Geological Association. Thessaloniki, Görögország, Carpathian-Balkan Geological Association, 191–197.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2010): Origin of camptonites from the Ditrau Alkaline Massif, Romania. In: Ludwiniak, M., Konon, A., Zylinska, A. (Eds.) (2010): 8th Meeting of the Central European Tectonic Group Studies, Warsaw, Lengyelország, 45–46.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2014): Parental melts from metasomatised mantle source: camptonites in the Ditrau Alkaline Massif, Romania. In: Nurdane, I., Gurham, Y. (Eds.) (2014): 30th International Conference on „Ore Potential of Alkaline, Kimberlite and Carbonatite Magmatism”. Abstracts Book, Antalya, Törökország, Akdeniz University, Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects (UCTEA), 21–23.
- Batki, A., Almási, E., Sogrik, E., Pál-Molnár, E. (2011): A Vulcano Kutatócsoport munkája a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Rübél, T. (Ed.) (2011): XIII. Székelyföldi geológus találkozó: A Ditrói Szienit Masszívum. Gyergyószentmiklós, Románia, Babes-Bolyai Tudományegyetem, 11–17.
- Batki, A., Pál-Molnár, E., Markl, G., Wenzel, T. (2012): Magma mixing in ijolite from the Ditrău Alkaline Massif, Romania: Textural relations and compositional variations of mafic minerals. In: First European Mineralogical Conference, Frankfurt am Main, EMC2012-46, 464.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2013): Parciális olvadékok metaszomatizált köpenyrégióból: lamprofitrok eredete a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Kovács, A. (Ed.) (2013): XV. Székelyföldi Geológus Találkozó, Kézdivásárhely, Románia, Incze László Céhtörténeti Múzeum, 28–30.
- Batki, A., Pál-Molnár, E. (2013): Alkáli magmatizmus telérfázisai a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Dályay, V., Sámson, M., Hámos, G. (Eds.) (2013): IV. Kőzettani

- és Geokémiai Vándorgyűlés Kiadványa, Pécs, Magyarhoni Földtani Társulat, 30–33.
- Batki, A., Pál-Molnár, E., Gregor, M. (2015): Klinopiroxének petrogenetikai jelentősége a Ditrói Alkáli Masszívum kőzeteiben. In: Pál-Molnár, E., Raucsik, B., Varga, A. (Eds.) (2015): Meddig ér a takarónk? A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig : 6. Közettani és geokémiai vándorgyűlés, 28–31.
- Heincz, A., Pál-Molnár, E., Kiss, B., Batki, A., Almási, E.E. (2017): Magmakeveredés és elegyedés nyomai a Ditrói Alkáli Masszívumban. In: Dégi, J., Király, E., Kónya, P., Kovács, I.J., Pál-Molnár, E., Thamóné, Bozsó E., Török, K., Udvardi, B. (Eds.) (2017): Ahol az elemek találkoznak: víz, föld és tűz határán: 8. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, 59–63.
- Kiri, L., Pál-Molnár, E., Batki, A., Kiss, B., Walter, H. (2019): Magmakeveredés nyomai a Ditrói Alkáli Masszívum szienit kőzeteiben. In: Pál-Molnár, E., H. Lukács R., Harangi, Sz., Szemerédi, M., Németh, B., Molnár, K., Jankovics, M.É. (Eds.) (2019): Saxa Loquuntur – Kőbe zárt történetek. (ISBN 978-963-306-674-4), Budapest, 52–52.
- Márton, I., Pál-Molnár, E., Luffi, P. (2003): The origin of amphiboles occurring in mafic and ultramafic rocks of the Ditrău Alkaline Massif (Eastern Carpathians, Romania). *Acta Mineralogica-Petrographica – Abstract Series*, **2**, 69.
- Pál-Molnár, E. (2000): Petrogenesis of the Tarnița Complex of the Ditrău (Ditró) Syenite Massif, Transylvania, Romania. *Acta Mineralogica-Petrographica*, **41**, Suppl., 83.
- Pál-Molnár, E. (2006): Granitoids from the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania. *Geolines*, **20**, 103–104.
- Pál-Molnár, E. (2006): A Ditrói Alkáli Masszívum petrogenézise. In: Wanek, F. (Ed.) (2006): Geológia és környezetvédelem. VIII. Székelyföldi Geológus Találkozó, Csíkszereda, Románia, Pro Geologia Egyesület, 23–25.
- Pál-Molnár, E. (2007): A Ditrói Alkáli Masszívum petrogenézise. In: IX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, EMT, 259–261.
- Pál-Molnár, E. (2010): A Ditrói Alkáli Masszívum petrogenetikai kutatása. In: Harangi, Sz., Lukács, R., Sági, T. (Eds.) (2010): I. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, 32.
- Pál-Molnár, E., Kovács, G. (2004): Magmatic evolution of granitoid rocks of the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania. In: Proceedings of the 32th International Geological Congress, Florence, Olaszország, 910.
- Pál-Molnár, E., Kovács, G. (2005): Magmatic evolution of granitoid rocks of the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania. Workshop on peralkaline rocks, Tübingen, Germany, Abstract Volume, 82–84.
- Pál-Molnár, E., Almási, E., Sogrik, E. (2011): Origin of the peridotites from the Ditrău Alkaline Massif (Romania) by the mineralogy and mineral chemistry. In: Lexa, O.,

- Jerabek, P., Zavada, P., Ulrich, S. (Eds.) (2011): Abstracts of the 9th Central European Tectonic Groups meeting Prague, Csehország, 57.
- Pál-Molnár, E., Kovács, G., Benő, É. (2003): Origin of granitoid rocks of the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania. *Acta Mineralogica-Petrographica – Abstract Series*, **2**, 83.
- Pál-Molnár, E., Sogrik, E., Batki, A., Dobosi, G. (2010): Mineralogy of syenites from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Acta Mineralogica-Petrographica – Abstract Series*, **6**, 529.
- Pál-Molnár, E., Ódri, Á., Batki, A. (2010): Mineralogy of nepheline syenite dykes from the Ditrău Alkaline Massif, Romania. *Acta Mineralogica-Petrographica – Abstract Series*, **6**, 529.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., Almási, E., Kiss, B., Upton, B.G.J. (2015a): 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.
- Pál-Molnár, E., Batki, A., Kiss, B., Jankovics, M. É., Almási, E.E., Heincz, A., Kiri, L., Szemerédi, M., Lukács, R., Mészáros, E., Harangi, Sz. (2019): Nyílt rendszerű magmás folyamatok a Ditrői Alkáli Masszívumban. In: Pál-Molnár, E., H. Lukács R., Harangi, Sz., Szemerédi, M., Németh, B., Molnár, K., Jankovics, M.É. (Eds.) (2019): Saxa Loquuntur – Kőbe zárt történetek. (ISBN 978-963-306-674-4), Budapest, 21–33.
- Pál-Molnár, E., György, R.E., Har, N., András, E. (2005): A Ditrői Alkáli Masszívum nefelinszienitjeinek ásványkémiái vizsgálata. In: Wanek, F. (Ed.) (2005): VII. Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia, EMT, Nagyvárad, 104–105.
- Walter, H., Pál-Molnár, E., Fintor, K., Kiri, L. (2018): Fluidumzárvány vizsgálatok a Ditrői Alkáli Masszívum telérkitöltő ásványfázisaiból. In: Szabó, Cs. (Ed.) (2018): Spring Wind 2018, DOSZ, 390–399.
- Walter, H., Pál-Molnár, E., Fintor, K., Kiri, L. (2018): Fluid inclusions in post-magmatic diopsides of Jolotca ore field (Ditrau Alkaline Massif). In: Neubauer, F., Brendel, U., Friedl, G. (Eds.) (2018): XXI International Congress of the CBGA, Abstracts: Advances of Geology in southeast European mountain belts. Salzburg, Ausztria, Bulgarian Academy of Sciences, 183.

Nem publikált kéziratok

- Pál-Molnár, E. (1994): Adalékok a Ditrői szienitmasszívum szerkezeti és közettani ismeretéhez. Szegedi Akadémiai Bizottság, Föld- és Környezettudományi Szakbizottság, 52 p.
- Pál-Molnár, E. (2008): Mezozoos alkáli magmatizmus a Kárpát régióban: a Ditrői Alkáli Masszívum petrogenézise. Kutatási jelentés, 80 p.