

A csomádi dácit petrogenézise: következtetések a magmatározó-rendszer felépítésére és folyamataira

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Kiss Balázs

Témavezető: Dr. Harangi Szabolcs, DSc, tanszékvezető egyetemi tanár

Földtudományi Doktori Iskola
Vezetője: Dr. Nemes-Nagy József

Földtan-Geofizika Doktori Program
Vezetője: Dr. Mindszenty Andrea



ELTE TTK Közettan-Geokémiai Tanszék

Budapest, 2014

I. Bevezetés, célkitűzés

A Kárpát-Pannon térségben az elmúlt 20 millió évben változatos vulkáni működés zajlott (pl. Pécskay és mtsi., 2006; Harangi és Lenkey, 2007), amely során bazaltos, andezites-dácitos, riolitos magmák törtek a felszínre. A legintenzívebb vulkáni működés a középső-miocénre tehető, de még a kvarterben is számos tűzhányó volt aktív, és még az elmúlt 500 ezer évben is három területen történtek kitörések. Ez alapján nem jelenthetjük ki egyértelműen, hogy a jelenlegi nyugodt helyzet azt jelenti, hogy a vulkáni működés már nem folytatódhat a térségünkben. Több kutató is felhívta már erre a figyelmet, például Szakács és mtsi. (2002): *„Nem zárható ki, hogy a jövőben vulkáni működéssel is együtt járó magmás tevékenység zajlódjon a Kárpát-Pannon térség azon területein, ahol a legutolsó vulkáni aktivitás zajlott..., további kutatások és folyamatos megfigyelés szükséges a veszély pontosabb feltárása érdekében”*. Később Harangi (2007) összegyűjtötte a rendelkezésre álló tudományos adatokat, és megállapította (pl. a vulkáni működés térbeli és időbeli eloszlása, a földköpeny olvadásának lehetősége alapján): *„A vulkáni működés jövőbeni folytatódásának lehetősége a Kárpát-Pannon térségben már nem csak tiszta spekuláció, de tudományos adatokkal is alátámasztott”*.

A legutolsó vulkánkitörések a Hargita-hegységtől délkeletre található Csomád tűzhányón következtek be mindössze 30-40 ezer évvel ezelőtt (pl. Harangi, 2007), amely a Kelemen-Görgény-Hargita vulkáni ív legfiatalabb tagja. Az ív mentén – ahol az elmúlt 12 millió évben folyamatos vulkáni működés zajlott – a képződmények fokozatos déli irányú fiatalodása és a felszínre került anyag mennyiségének csökkenése figyelhető meg (pl. Mason és mtsi., 1998). A Csomád egy dácitos lávadómkomplexum, amelyen belül két robbanásos kráter – a Mohos- és a Szent Anna-kráter – helyezkedik el. Emellett, a tűzhányó környezetében több lávadóm is található (pl. Kis-Haram, Bálványos), amelyek tágabb értelemben szintén a Csomádhoz tartoznak. A rendelkezésre álló koradatok (pl. Pécskay és mtsi., 1992, 1995; Szakács és mtsi., 1993) alapján a Csomád egy hosszú életű dácitos tűzhányó, amelynek működése már akár 1 millió évvel ezelőtt elkezdődhetett, és a vulkáni tevékenységet hosszú szünetek taglalták. Azonban a koradatok bizonytalanságára hívják fel a figyelmet a Tusnádfürdő mellett található tufabányában végzett ismételt korelemzések (Pécskay és mtsi., 1995; Moriya és mtsi., 1996), ahol a különböző módszerekkel kapott eredményekben nagyságrendi különbségek vannak. Egyre több adat azt sugallja, hogy a vulkán jelenlegi csendes állapota nem feltétlenül jelenti azt, hogy a tűzhányó már kialudt. Már az 1980-as években felvetődött Vasile Lazarescu által, hogy a tűzhányó alatt egy még mindig

forró magmakamra található, amit az akkoriban végzett hőáramvizsgálatok (itt található Románia legnagyobb hőáramú területe: $85\text{-}120\text{ mW/m}^2$) és egy mélyfúrás fúrólukában 1140 m mélységben mért $78\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet alapján írtak le Rădulescu és mtsi. (1983). A későbbi gáz-geokémiai (pl. Vaselli és mtsi., 2002) és a legújabb geofizikai vizsgálatok szintén arra utalnak, hogy a tűzhányó alatt olvadékot is tartalmazó magmás test lehet. A két legfrissebb geofizikai vizsgálat, amelyek különböző módszerekkel igyekeztek jellemezni a tűzhányó magmatározó-rendszerét, a kapott adatok alapján hasonló végkövetkeztetésre jutott, miszerint a Csomád alatt egy vertikálisan kiterjedt magmatározó helyezkedhet el, amely délkelet felé folytatódhat. A szeizmikus adatok elemzése a tűzhányó alatti földrengésekre is kiterjedt. Popa és mtsi. (2012) megállapították, hogy a Vrancea-zóna mellett épp a Csomád az a hely, ahol szeizmikus aktivitás észlelhető. Továbbá, a Csomád alatti földrengés-hipocentrumok egy vertikális kis sebességű zóna köré csoportosulnak 8 km-es mélységtől egészen a földköpenyig. E mélységtartományon belül, 8 és 20 km között helyezkedhet el a magmatározó. A magnetotellurikus vizsgálat adatainak 1D és 2D inverziós modellezése alapján $\sim 5\text{-}15$ km-es mélységközben egy nagyon kis fajlagos ellenállású ($<10\ \Omega\text{m}$) anomália mutatható ki, és bár a legfelső zónája ennek az anomáliának akár hidrotermálisan átalakult kőzetet is jelezhet, a mélyebb régiója valószínűleg egy olvadékot is tartalmazó magmás testet képviselhet (Novák és mtsi., 2012).

Mindezen megfigyelés tehát fontossá teszi, hogy minél pontosabban megismerjük a Csomád működését. A látszólag inaktív tűzhányók természetére jelentős részben a korábbi kitöréseket megelőző, mélybeli magmatározóban zajlott folyamatok feltárásával következtethetünk. E folyamatok megfejtésének kulcsa a vulkáni működés során felszínre került képződmények, esetenként a felszínre jutott plutoni (mélységi) kőzetek petrogenetikai vizsgálata. A megismerés eszközei pedig az integrált kőzetszöveti, illetve ásványszöveti és ásványkémiai elemzések, amelyeknek segítségével nem csak a kitörést megelőző folyamatok tárhatók fel, hanem sok esetben az is, hogy ezek milyen körülmények között (hőmérséklet, nyomás, redox viszonyok, magma összetétele, magma illótartalma) játszódtak le, mennyi idő alatt és mi okozhatta a vulkáni kitörések megindulását. Ezeket igyekeztem feltárni a Csomád kőzeteiben található fenokristályok részletes elemzésével. Vizsgálataim során kiemelt szerepet tulajdonítottam az amfibolnak, amely kiváló megfigyelője a tűzhányók alatt zajló magmás folyamatoknak, azok körülményeinek, és a magmás rendszer dinamikájára vonatkozóan is raktároz ismereteket (pl. Bachmann és Dungan, 2002; Rutherford és Devine, 2003; Sato és mtsi., 2005; Humphreys és mtsi., 2009b), így vizsgálatával egy amfibol perspektivikus képet kapunk a vulkán alatti magmatározó-rendszeréről (Thornber és mtsi.,

2008). Emellett, a cirkon geokronológiai vizsgálatokkal a vulkáni működés korát igyekeztem pontosítani.

II. Alkalmazott vizsgálati módszerek

A petrogenetikai vizsgálatokhoz részletesen elemeztem a dácitban található fenokristályok szöveti és kémiai jellemzőit, amelyen belül külön hangsúlyt fektettem az amfibol kristályokra. Első lépésben részletesen vizsgáltam a fenokristályok zónásságát és szöveti jellemzőit, amelyhez Nikon YS2-T polarizációs mikroszkópot és pásztázó elektronmikroszkópot használtam az ELTE Közettan-Geokémiai Tanszékén üzemelő AMRAY 1830 I/T6 pásztázó elektronmikroszkóppal (20 kV gyorsítófeszültségen a jobb képalkotás érdekében). A kisméretű ásványfázisok meghatározásához kémiai elemzést végeztem a készülékre szerelt PU9800 típusú ED-spektrométerrel. A fenokristályok geokémiai összetételét "in situ" vizsgálatok során pont- és vonalelemzések segítségével határoztam meg a bécsi Univerzitet Wien, Department für Lithosphärenforschung elektronmikroszkop-laboratóriumában, CAMECA SX100 típusú hullámhossz-diszperzív spektrométerekkel felszerelt műszeren. A gyorsítófeszültség 15 kV, a mintaáram 20 nA volt. Az amfibolok nyomelem-összetételének meghatározása 100 µm vastagságú polírozott vékonycsiszolatokból, LA-ICP-MS műszerrel történt az Utrechti Egyetem laboratóriumában. A belső standard elem a Ca volt, a mérés során az ásványszemcse méretétől függően 40-60 µm volt az alkalmazott sugárátmérő.

A cirkon geokronológiai vizsgálatokhoz a kőzetekből cirkon szeparátumokat állítottam elő nehézfolyadékos leválasztással. Ezt követően a geokronológiai vizsgálatokhoz szükséges műszeres elemzések Dunkl István közreműködésével zajlottak a Georg-August Göttingeni Egyetem laboratóriumában, továbbá a Kínai Tudományos Akadémia pekingi LCPU geokronológiai laboratóriumában. A ZrHe korméréseket a göttingeni laborban, az U-Pb korméréseket pedig a pekingi intézet ionszonda-laboratóriumában végezték.

III. Új tudományos eredmények (tézisek)

1.) Vizsgálataim révén következtetni tudtam a Csomádot tápláló magmatározó-rendszer felépítésére. Az amfibol barometriai számítások 200-300 MPa közötti nyomáson zajló kristályosodást jeleznek, ami felső kéregbeli körülményeknek felel meg. Átlagos kéregsűrűséggel számolva ez 8-12 km mélységet jelent. Ebben a mélységben helyezkedik

el a kitöréseket tápláló magmatározó, amely egy plutoni jellegű kristálykása-zónaként értelmezhető. Ettől elkülönülten, vélhetően az alsó kéregben vagy a kéreg-köpeny határon egy mafikus magmatározó is jelen van a zónás piroxén kristályok alapján.

- 2.) Kutatási eredményeim rávilágítanak az amfibolok összetett petrogenetikai jelentőségére. Az amfibolok szöveti és kémiai vizsgálata révén jellemeztem a kitörés előtti folyamatokat és azok körülményeit, továbbá becslést adtam azok időbeliségére is. Vizsgálataim rámutatnak arra, hogy az amfibol összetételén alapuló különféle termobarometriai számítások eredményeinek értelmezéséhez nélkülözhetetlen, hogy minél pontosabban meghatározzuk az amfibol kristálynövekedési sztratigráfiáját és a kristályosodását befolyásoló paramétereket.
- 3.) A mafikus kristálycsomók részletes elemzésével tisztáztam a dácitban megjelenő Mg-gazdag olivin és klinopiroxén kristályok eredetét. Felismerve e fázisok magmás eredetét, jellemezni tudtam a Csomád magmás rendszerében résztvevő mafikus magmákat. Az 1-es csoportba sorolt mafikus kristálycsomókban az olivinek primitív bazaltos magmát képviselnek, és a dácitban való megjelenésük arra utal, hogy a primitív magmák egy része akár közvetlenül benyomulhatott a felső kéregbeli magmatározóba. Ugyanakkor, a 2-es csoportba sorolt mafikus kristálycsomókban található klinopiroxén és olivin kristályok arra utalnak, hogy a mafikus magmák egy része nyílt rendszerű folyamatok révén, különböző fejlettségű mafikus magmák keveredése során fejlődött. Az olivinekből megjelenő Cr-spinell zárványok összetétele arra utal, hogy a Csomád alatti magmatározó-rendszerbe nyomuló primitív bazaltos magmák szubdukciós jellegű köpenyforrásból származnak.
- 4.) Az amfibol kristályok nagy felbontású vizsgálata alapján a bazaltos magmáknak alapvető szerepük lehetett a vulkánkitörések elindításában. Az amfibolok arra utalnak, hogy több mint 200 °C-os felfűtés érte a kristálykását a kitörést megelőzően, ami valószínűleg a benyomuló bazaltos magma következménye volt. A felfűtés hatására a felzúzó kristálykása részben újraolvadt, reaktiválódott, amelyben így megnőtt az olvadék részaránya, és kialakult a kitörésre képes magma. Az amfibol reakcióperemek vizsgálata arra utal, hogy a kristálykása felújulását követően akár hetek-hónapok alatt aktivizálódhatott a tűzhányó.
- 5.) A csomádi dácitban található fenokristályok részletes vizsgálatával fenokristálypopulációkat tudtam elkülöníteni, amelyhez elsősorban az amfibolokat használtam fel, mint korrelációs eszköz. Ez a kristálypopuláció-térképezés lehetőséget adott arra, hogy pontosan jellemezsem a magmás rendszer különböző komponenseit. Két fő komponens

különíthető el a dácitban: egy felzikus és egy mafikus komponens. A felzikus, Si-gazdag komponenst egy szolidusz-közeli, plutoni jellegű ásványegyüttes képviseli: hornblende, biotit, kvarc, káliföldpát, plagioklász, titanit, apatit, cirkon, allanit. Ezek az ásványfázisok egy dioritos-granodioritos kristálykásából vagy proto-plutonból származhatnak. A mafikus komponenst az olivin, a Cr-spinell és a klinopiroxén kristályok képviselik, amelyek bazaltos magma szerepére utalnak. Ezek mellett elkülöníthető még egy fenokristály-populáció - a pargazitok és a plagioklász mikrofeno-kristályok - amely a felzikus és a mafikus komponensek keveredése során alakult ki. Habár a Csomádot tápláló magmák homogén kémiai összetétele elfedi a magmás rendszer bimodális jellegét, a fenokristályok vizsgálata arra utal, hogy nagy részük antekristályként (vagyis komagmás, de nem a felszínre tört dácit magmában kristályosodott fázis) van jelen a kőzetekben, és a dácitok valójában különböző eredetű kristályok és olvadékok keveréke.

- 6.) Részletes petrogenetikai vizsgálataim új megvilágításba helyezték a csomádi dácit kialakulását. A Csomád kitöréseit viszonylag homogén kémiai és modális összetételű dácitos magmák táplálták, ami arra utal, hogy a magmás rendszerben hasonló folyamatok eredményeként jöttek létre. A dácitos magmák kialakulásában fontos szerepet játszott egy hosszú életű, dioritos-granodioritos proto-pluton vagy inkább kristálykása. Ismétlődő, nagy hőmérsékletű mafikus magmabenyomulások képesek voltak reaktiválni ezt az alapvetően kitörésre képtelen magmaanyagot, amelynek eredményeként előállt a kitörésre képes dácitos magma. Hasonló kristálykása-remobilizációs folyamatokra utalnak pl. a Fish Canyon tufa, a Chao coulée, a Mt. St. Helens vagy az Unzen dácitjának vizsgálati eredményei is (Bachmann és mtsi., 2002; de Silva és mtsi., 1994; Claiborne és mtsi., 2010; Nakamura, 1995), amely egy általános petrogenetikai modellt sejtet e tűzhányókat tápláló dácitos magmák esetében. A csomádi dácit vizsgálata tehát túlmutat pusztán a Csomád magmatározó-rendszerének megismerésén, hiszen egyben lehetőséget ad arra, hogy a dácitos tűzhányók magmás folyamatait általánosságban véve is jobban megértsük (pl. betekintést nyerjünk a kristálykása-reaktiváció folyamataiba).
- 7.) A cirkon geokronológia eredményei alapján a vulkáni működés jóval fiatalabb, mint azt a korábbi koradatok jelezték. A dolgozatban közölt (U-Th)/He koradatok szerint a vulkáni tevékenység a központi lávadómkomplexumban az elmúlt ~150 ezer évben zajlott két kitörési fázisban. Az első kitörési szakaszban (~150-100 ezer éve) effuzív vulkáni működés zajlott, amely során lávadómok türemkedtek a felszínre, majd ezt követően egy szünet állt be a vulkáni működésben, amely akár 40 ezer év hosszúságú is lehetett. A második kitörési fázisban (~50-30 ezer éve) a lávadóm-kitüremkedéseken kívül

robbanásos kitörések is történtek. A kapott koradatok arra is felhívják a figyelmet, hogy az effuzív és explozív kitörések nem választhatók szét teljesen, ahogy azt a korábbi vulkanológiai modell sugallta. A cirkon U-Pb kristályosodási korok arra utalnak, hogy a magmás rendszer kialakulásának fő időszaka 80-160 ezer évvel ezelőttre tehető, de elképzelhető, hogy a magmás tevékenység már ezt megelőzően elkezdődött kb. 300-400 ezer éve, amire az idősebb U-Pb koradatok utalhatnak. A cirkon kristályosodása az inaktív vulkáni periódusban arra utal, hogy a magmás rendszer akkor is aktív volt, amikor a felszínen nem zajlott vulkáni tevékenység.

IV. Következtetések

A Csomád tűzhányót tápláló magmák petrogenézise és a kitörések előtti folyamatok számos elemükben hasonlítanak és összevethetők a Földön máshol előforduló dácitos (és andezites) összetett tűzhányók esetében megfigyeltekkel. A csomádi dácit vizsgálata így túlmutat csupán e tűzhányó jellemzésén, és olyan kérdéseket feszeget, amelyek általában véve az andezites és dácitos vulkánok működésének természetét, a magmatározó-rendszerükben zajló folyamatok jellegét és azok körülményeit érintik. A Csomád a vulkáni amfibolok kristályosodásának egyfajta természeti laboratóriumaként tekinthető, ahol jó lehetőségek nyílnak e petrogenetikai szempontból kulcsfontosságú ásvány nagy felbontású vizsgálatára.

Részletes vizsgálataim azt mutatják, hogy a Csomádot tápláló dácitos magmák kialakulásában fontos szerepet kapott egy hosszú életű, felzikus kristálykása, amely önmagában kitörésre képtelen volt, azonban friss mafikus magmabenyomulások képesek voltak újra aktivizálni ezt a magmás testet. Ez arra utal, hogy a Csomád tűzhányó alatti magmatározó-rendszer még akkor is képes felújulni, ha a kitöréseket tápláló magmás testek már szolidusz-közeli állapotba kerültek.

V. Hivatkozott irodalmak jegyzéke

- BACHMANN, O. & DUNGAN, M. A. 2002: Temperature-induced Al-zoning in hornblendes of the Fish Canyon magma, Colorado. - *American Mineralogist* **87/8-9**, 1062-1076.
- BACHMANN, O., DUNGAN, M. A. & LIPMAN, P. W. 2002: The Fish Canyon Magma Body, San Juan Volcanic Field, Colorado: Rejuvenation and Eruption of an Upper-Crustal Batholith. - *Journal of Petrology* **43/8**, 1469-1503.
- CLAIBORNE, L. L., MILLER, C. F., FLANAGAN, D. M., CLYNNE, M. A. & WOODEN, J. L. 2010: Zircon reveals protracted magma storage and recycling beneath Mount St. Helens. - *Geology* **38/11**, 1011-1014.

- DE SILVA, S. L., SELF, S., FRANCIS, P. W., DRAKE, R. E. & CARLOS, R. R. 1994: Effusive silicic volcanism in the Central Andes: The Chao dacite and other young lavas of the Altiplano-Puna Volcanic Complex. - *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **99/B9**, 17805-17825.
- HARANGI, S. 2007: A Kárpát-Pannon térség legutolsó vulkáni kitörései - lesz-e még folytatás? (The last volcanic eruptions in the Carpathian-Pannonian Region - to be continued?). - *Földrajzi Közlemények* **131/4**, 271-288.
- HARANGI, S. & LENKEY, L. 2007: Genesis of the Neogene to Quaternary volcanism in the Carpathian-Pannonian region: Role of subduction, extension, and mantle plume. - *Geological Society of America Special Papers* **418**, 67-92.
- HUMPHREYS, M. C. S., EDMONDS, M., CHRISTOPHER, T. & HARDS, V. 2009b: Chlorine variations in the magma of Soufrière Hills Volcano, Montserrat: Insights from Cl in hornblende and melt inclusions. - *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73/19**, 5693-5708.
- MASON, P. R. D., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A. & DOWNES, H. 1998: Magmatic constraints on geodynamic models of subduction in the East Carpathians, Romania. - *Tectonophysics* **297**, 157-176.
- MORIYA, I., OKUNO, M., NAKAMURA, T., ONO, K., SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I. 1996: Radiocarbon ages of charcoal fragments from the pumice flow deposit of the last eruption of Ciomadul volcano, Romania. - *Summaries of Researches Using AMS at Nagoya University* **VII**, 252-255.
- NAKAMURA, M. 1995: Continuous mixing of crystal mush and replenished magma in the ongoing Unzen eruption. - *Geology* **23/9**, 807-810.
- NOVÁK, A., HARANGI, S., KISS, B., SZARKA, L. & CS., M. 2012: Combined magnetotelluric and petrologic constraints for the nature of the magma storage system beneath the Ciomadul volcano (SE Carpathians). European Geosciences Union General Assembly 2012, 14. Geophysical Research Abstracts, Bécs.
- PÉCSKAY, Z., LEXA, J., A., S., BALOGH, K., SEGHEDI, I., KONECNY, V., KOVÁCS, M., MÁRTON, E., KALICIAK, M., SZÉKY-FUX, V., PÓKA, T., GYARMATI, P., EDELSTEIN, O., ROSU, E. & ZEC, B. 1995: Space and time distribution of Neogene-Quaternary volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. - In: DOWNES, H. & VASELLI, O. (eds): *Neogene and Related Magmatism in the Carpatho-Pannonian Region*. Acta Vulcanologica **7**, 15-28.
- PÉCSKAY, Z., LEXA, J., SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I., BALOGH, K., KONECNY, V., ZELENKA, T., KOVACS, M., PÓKA, T., FÜLÖP, A., MÁRTON, E., PANAIOTU, C. & CVETKOVIC, V. 2006: Geochronology of Neogene magmatism in the Carpathian arc and intra-Carpathian area. - *Geologica Carpathica* **57/6**, 511-530.
- PÉCSKAY, Z., SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I., KARÁTON, D. 1992: Contributions to the geochronology of Mt. Cucu volcano and the South Harghita (East Carpathians, Romania). - *Földtani Közlöny* **122/2-4**, 265-286.
- POPA, M., RADULIAN, M., SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I. & ZAHARIA, B. 2012: New Seismic and Tomography Data in the Southern Part of the Harghita Mountains (Romania, Southeastern Carpathians): Connection with Recent Volcanic Activity. - *Pure and Applied Geophysics* **169/9**, 1557-1573.

- RADULESCU, D., SANDULESCU, M., VELICIU, S. 1983: A geodynamic model of the East Carpathians and the thermal field in the lithosphere. - *Anu. Inst. Geol. Geofiz.* **LXIII**, 135–144.
- RUTHERFORD, M. J. & DEVINE, J. D. 2003: Magmatic Conditions and Magma Ascent as Indicated by Hornblende Phase Equilibria and Reactions in the 1995–2002 Soufrière Hills Magma. - *Journal of Petrology* **44/8**, 1433-1453.
- SATO, H., HOLTZ, F., BEHRENS, H., BOTCHARNIKOV, R. & NAKADA, S. 2005: Experimental petrology of the 1991-1995 Unzen dacite, Japan. Part II: Cl/OH partitioning between hornblende and melt and its implications for the origin of oscillatory zoning of hornblende phenocrysts. - *Journal of Petrology* **46/2**, 339-354.
- SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I. & PÉCSKAY, Z. 1993: Peculiarities of South Hargitha Mts. as the terminal segment of the Carpathian Neogene to Quaternary volcanic chain. - *Revue Roumaine de Géologie Géophysique et Géographie, Géologie* **37**, 21-37.
- THORNBURGH, C. R., PALLISTER, J.S., LOWERS, H.A., ROWE, M.C., MANDEVILLE, C.W., MEEKER, G.P. 2008: Chemistry, Mineralogy, and Petrology of Amphibole in Mount St. Helens 2004-2006 Dacite. - In: SHERROD, D. R., SCOTT, W. E. & STAUFFER, P. H. (eds): *A Volcano Rekindled: The Renewed Eruption of Mount St. Helens, 2004-2006*. U.S. Geological Survey Professional Paper **1750**, 727-754.
- VASELLI, O., MINISSALE, A., TASSI, F., MAGRO, G., SEGHEDI, I., IOANE, D. & SZAKÁCS, A. 2002: A geochemical traverse across the Eastern Carpathians (Romania): constraints on the origin and evolution of the mineral water and gas discharges. - *Chemical Geology* **182/2-4**, 637-654.

VI. A kutatási témában megjelent közlemények

Referált tudományos folyóiratban megjelent közlemények:

- HARANGI, S., MOLNÁR, M., VINKLER, A. P., **KISS, B.**, JULL, A. T. J. & LEONARD, A. G. 2010: Radiocarbon dating of the last volcanic eruptions of Ciomadul Volcano, Southeast Carpathians, Eastern-Central Europe. - *Radiocarbon* **52/3**, 1498–1507.
- KARÁTSÓN, D., TELBISZ, T., HARANGI, S., MAGYARI, E., DUNKL, I., **KISS, B.**, JÁNOSI, C., VERES, D., BRAUN, M., FODOR, E., BIRÓ, T., KÓSIK, S., VON EYNATTEN, H. & LIN, D. 2013: Morphometrical and geochronological constraints on the youngest eruptive activity in East-Central Europe at the Ciomadul (Csomád) lava dome complex, East Carpathians. - *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **255/0**, 43-56.
- **KISS, B.**, HARANGI, S., NTAFLÓS, T., MASON, P. D. & PÁL-MOLNÁR, E. 2014: Amphibole perspective to unravel pre-eruptive processes and conditions in volcanic plumbing systems beneath intermediate arc volcanoes: a case study from Ciomadul volcano (SE Carpathians). - *Contributions to Mineralogy and Petrology* **167/3**, 1-27.

Válogatott konferenciakivonatok:

- **KISS, B.**, HARANGI, S., VINKLER, A. P. & NTAFLÓS, T. 2010: Inferences for the role of primitive mafic magmas in the genesis of the dacitic magmas of Ciomadul (SE Carpathians): a mineral-scale study. - *ACTA MINERALOGICA PETROGRAPHICA - ABSTRACT SERIES* **6**, 544.

- NÉMETH, G., **KISS, B.**, HARANGI, S. & NTAFLÓS, T. 2010: Textural and compositional features of zircons from the Ciomadul dacites: inferences for the magma chamber processes. - *ACTA MINERALOGICA PETROGRAPHICA - ABSTRACT SERIES* **6**, 547.
- HARANGI, S., **KISS, B.**, KARÁTSON, D., DUNKL, I., MAGYARI, E., MOLNÁR, M., NÉMETH, G., VINKLER, A. P. & NTAFLÓS, T. 2010: New results and assessment of the geochronology of the youngest volcano of the Carpathian region: Ciomadul (Csomád), East Carpathians. - *CBGA2010, The 19th Congress of the Carpathian Balkan Geological Association*, 39, Thessaloniki, Greece.
- JANKOVICS, É., **KISS, B.**, HARANGI, S., SÁGI, T. & NTAFLÓS, T. 2011: The role of primitive mafic magmas in the petrogenesis of the Ciomadul dacite (Central Europe). - *Abstract, Soufrière Hills Volcano 15 Years On Conference*, Montserrat, W.I.
- **KISS, B.**, HARANGI, S., SÁGI, T. & NTAFLÓS, T. 2011: The origin of the dacite of the Ciomadul (Csomád) volcano (SE Carpathians, eastern-central Europe). - *Abstract, Soufrière Hills Volcano 15 Years On Conference*, Montserrat, W.I.
- **KISS, B.**, HARANGI, SZ., MOLNÁR, K., JANKOVICS, M. É., LUKÁCS, R. & NTAFLÓS, T. 2012: Origin of the Ciomadul dacite, Carpathian-Pannonian Region, Eastern-Central Europe: Rejuvenation of a pre-existing crystal mush – AGU 2012 Fall Meeting.
- MOLNÁR K., HARANGI SZ., **KISS B.**, NTAFLÓS T. 2012: Disseminated crystal mush fragments in the Ciomadul dacite (SE Carpathians) – Joint MSCC & CEMC 2012, 5th Mineral Sciences in the Carpathians Conference & 3rd Central-European Mineralogical Conference.
- **KISS, B.** & HARANGI, SZ. 2013: A Kárpát-Pannon térség legfiatalabb tűzhányójának működése: utalás a hosszú ideig szunnyadó dáцитos vulkánok természetére és a felújulás veszélyeire – IV. Közöttani és Geokémiai Vándorgyűlés: Absztrakt kötet, p. 45.
- **KISS, B.**, HARANGI, S., PÁL-MOLNÁR, E., NTAFLÓS, T. & MASON, P. D. 2014: Amphibole perspective to unravel pre-eruptive processes and conditions in volcanic plumbing systems beneath intermediate arc volcanoes: a case study from Ciomadul volcano (SE Carpathians). – EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, EGU2014-958.

Ismeretterjesztő cikkek:

- **KISS, B.** & HARANGI, SZ. 2009: Mi történik a magmakamrában vulkáni kitörés előtt? - *Természet Világa*, 140/12, p. 540-543.
- HARANGI, SZ. & **KISS, B.** 2010: Lehet-e még vulkánkitörés a Kárpát-medencében? A legfiatalabb vállatása - *Élet és Tudomány*, 65/3, p. 80-82.