

Opponensi vélemény

Lukács Réka

Cirkonalapú kutatások a Kárpát–Pannon térség neogén-kvarter Si-gazdag vulkáni képződményeinek korára, rétegtani szerepére és petrogenézisére

című MTA doktori értekezéséről

Elöljáróban annyit meg kell jegyeznem, hogy mivel az MTA doktorok testülete hiányos elfogulatlan vulkanológusokban, ezért kénytelen voltam elvállalni egy olyan téma bírálatát, amely a szakterületemtől távol esik. Részemről megtisztelő a feladat, de tény, hogy míg a téma általánosabb részeit, a sztratigráfiához és a vulkáni működéshez kapcsolódó kérdéseket jobban meg tudom ítélni, addig az erősen geokémiai tartalmú részekhez érdemben nem tudok hozzászólni, legfeljebb a külsőleg észlelhető esetleges logikátlanságokra, hiányokra rámutatni. Döntésemet segítette, hogy az értekezés publikációs háttere rendkívül erős, így a rangos folyóiratokban megjelent cikkek esetében bízhattam abban, hogy szakmailag alapos szűrővizsgálaton már keresztülmentek ezek az eredmények. Mindettől függetlenül igyekeztem legjobb tudásom szerint elbírálni az értekezést.

Lukács Réka ún. rövid értekezést nyújtott be, ami egy viszonylag új forma, feltételei a következők: 20-30 oldal terjedelem; a tézisek alapját képező 5-7 nemzetközileg elismert folyóiratban vagy könyvben megjelent publikáció, aminek a kérelmező meghatározó szerzője, vagy olyan társszerzője, akinek a tudományos hozzájárulása egyértelműen meghatározható. Továbbá az értekezés szerzőjének fel kell sorolnia legalább 5 olyan művet, amely fokozatának megszerzése után jelent meg nemzetközileg is elismert tudományos publikációként (cikkek esetén Q1 (SCImago) folyóiratban), amelynek első szerzője, és amelyekre összesen legalább 50 független WoS és/vagy Scopus hivatkozást kapott. Bár ezen feltételek ellemőrzése elsősorban a habitusvizsgálat feladata, de a rövid értekezés esetén különös súlya van, hogy ezek teljesüljenek, így ennek vizsgálatával kezdtem a bírálatot.

A téziszűzet szerint 9 publikáció szolgál a tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények alapjául, ezek egy kivétellel mind Q1-es publikációk (és egy van, ami Q2-es, *Geologica Carpatica*). A 9 felsorolt publikációból 6 esetben első szerző Lukács Réka, 1 esetben utolsó szerző és 2 esetben van köztes helyen, de ezek esetében is jól meghatározható az általa végzett munka, ami a cirkon vizsgálatokra vonatkozik. Ezekre a publikációkra összesen 270 független hivatkozás született (a bírálat készítéséig; ennél valamivel kevesebb a WoS/Scopus független, amit tételeken nem összegeztem, de az is jóval több, mint az előírt minimum).

A továbbiakban a disszertáció és a tézisek alapján fejtem ki véleményemet. A témaválasztás abból a szempontból időszerű, hogy a cirkonalapú új vizsgálati módszerek a közelmúltban tették lehetővé, hogy extrém kis mennyiségű mintából (egyedi kristályokból) kormeghatározást, nyomelem-megoszlást lehessen számítani, illetve ez alapján rétegtani korrelációt lehessen vizsgálni. Másfelől a vulkáni kockázatok megismerését is segíti, ha a

múltbéli vulkán-kitörések idő és térbeli nagyságrendjét jobban meg tudjuk becsülni, különösen olyan extrém kitörések esetében, mint amilyenek a Kárpát-medence miocén időszak szilíciumgazdag vulkáni működését jellemezték.

A rövid értekezés mindennel együtt 50 oldalból áll, de az irodalomjegyzéket és címlapot leszámítva a tartalmi rész megfelel az előírt maximális 30 oldalnak. Ezen belül 11 ábra fért el. A disszertáció szerkezete a „rövidséghez” igazodik, ennek megfelelően egy rövid bevezetést követ egy nagyon rövid kutatási módszertanról szóló fejezet. Ezt követi a lényegi részt kitevő „Eredmények és diszkusszió” című fejezet, mely témakörönként ismerteti az eredményeket. Ezekben szerepel az adott témához tartozó földtani háttér bemutatása (a Bükkalja, a Tokaji-hegység és a Csomád esetében), de a távoli területekkel való korrelációk vizsgálata esetén a szűk területi keretek miatt ennek kifejtésére már nincs lehetőség. Olvashatunk viszont, nagyon tömör kifejtésben, a konkrét mérési eredményekről, és az ezekből levonható általánosabb következtetésekről is.

Itt jegyzem meg, hogy ami az értekezés készítője számára előny, vagyis hogy nem kell „hosszú” (hagyományos) értekezést készíteni, az az olvasók, illetve általánosabban a tudományos élet számára veszteség. Egy hagyományos disszertáció esetén ugyanis jobban kifejezhetők az egyes pontok, a módszertantól az eredményeken keresztül alaposabb képet kaphat az olvasó a teljes munkáról, és ezáltal a folyóiratcikkek szintén rövidre szabott terjedelméhez képest nagyobb elmélyülést és egy-egy tudományterület jobb megismerését teszi lehetővé egy hosszabb értekezés. Mindez természetesen csak egy megjegyzés, és semmilyen értelemben nem jelent negatívumot a szerző tudományos eredményeinek megítélése szempontjából.

A disszertációban közölt eredmények közös lényege a cirkon vizsgálata, mely vulkáni kőzetekben való gyakorisága, magas olvadáspontja, nyomelemekben való gazdagsága, valamint kémiai és mechanikai ellenállóképessége miatt sokféle információt hordoz magában a kialakulásakor jellemző környezetről. A módszertant tömören tartalmazza a téziszfüzet és a disszertáció is. Ez áll a vulkáni kőzetek terepi mintázásából, a minták feldolgozásából, a cirkon kinyeréséből, a cirkonkristályok elektronmikroszkópos vizsgálatából, valamint a cirkonkristályok geokémiai elemzéséből (LA-ICP-MS, CA-IDP-MS, ionmikroszkóp segítségével), erre épülő kormeghatározási számításokból, a nyomelem-összehasonlítási statisztikák számításából, valamint a magmatározók modellezéséből. Lukács Réka a fenti eredményeit – nem titkoltan – csapatban dolgozva érte el. Az együttműködések szükségesek is a mai összetett tudományos feladatok elvégzéséhez. Az egyes eredmények tekintetében a saját feladatok pontosan dokumentáltak, ez szerepel a disszertációban és a tézisekben is. A cirkonalapú elemzésekben a terepi munka egy része, a laboratóriumi munka túlnyomó része, az adatok alapján végzett számítások túlnyomó része, az ebből levont következtetések, illetve a modellezési eredmények jelentős része megállapíthatóan Lukács Réka munkája, amit alátámasztanak a meghatározó szerzős (első szerzős) publikációk, továbbá az elnyert kutatási pályázatok (4 NKFI/OTKA, 2 Bolyai, 2 ÚNKP Bolyai+, Magyary ösztöndíj) is.

Az eredményeket a tézisek alapján értékelem, hiszen alapvetően ezek összegzik a tudományos megállapításokat. A rövid értekezés területi korlátai miatt a tézisek 1:2 arányban viszonyulnak a teljes disszertációhoz, ami egy szokatlan arány. Ennek megfelelően a

tézisfüzet nagyjából 50%-os arányban képezi le a teljes értekezést. Összesen 8 tézist fogalmaz meg a szerző. Ebből 6 tézis elsősorban a Bükkalja és a Tokaji-hegység vulkanitjaira fókuszál, 1 tézis tágabb területre vonatkozó korrelációs összefüggéseket fogalmaz meg, 1 tézis pedig a Dél-Hargita/Csomád vulkáni területről szól. A tézisek nem rövid tételmondatok, hanem hosszú, fél-egy oldalas összegzések. Kismértékben talán lehetne ezeket tömöríteni, de ezzel ugyanakkor veszítenének az információtartalmukból is.

Az **1. tézis** tulajdonképpen két állítást von egybe: egyrészt azt fogalmazza meg, hogy az LA-ICP-MS módszerrel mért U-Pb izotóparányok alapján számított kristályosodási korok igen nagy terjedelemben szórnak, és hogy ez esetben a legfiatalabb korpopuláció súlyozott átlagával közelíthető legjobban a kitörés ideje. Ezt az állítást 4+1 független méréssel támasztja alá (CA-ID-TIMS, illetve szanidin $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). Az állítás igazságtartalmát nem vitatom, és később más eredmények is ezt alátámasztani látszanak, de azért nem is érzem erősen bizonyítottnak, így ezt a részt csak részben fogadom el. A tézis második része (rövidítve) arról szól, hogy a Bükkalján 8 nagyobb kitörési egység különíthető el, melyek korát is megadja a szerző cirkonalapú számításokkal. Ezek a korok fiatalabbak és rövidebb időtartamot fednek le, mint amennyi a korábbi K/Ar koradatok alapján ismert volt. Az új korok elfogadhatók, összhangban vannak más friss publikációkkal (Hencz et al. 2024. *Lithostratigraphy of the ignimbrite-dominated Miocene Bükk Foreland Volcanic Area (Central Europe). Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 445, 107960.), ezért a tézisnek ezt a részét teljesen elfogadom. Hencz et al (2024) több kisebb kitörési eseményt is elkülönít, de ennek lehetőségét Lukács Réka sem zárta ki, így ez szintén nem jelent ellentmondást.

A **2. tézis** a Tokaji-hegységre vonatkozóan 4 robbanásos kitörési eseményt különít el és ezek korát is meghatározza LA-ICP-MS és CA-ID-TIMS módszerrel. A két módszer (mindkettő cirkon alapú) azonos korokat szolgáltatott a kitörésre, így ezek egymást igazolják. Az eredmények ezúttal is fiatalabbak, mint a korábbi K/Ar mérések alapján kapott eredmények. A magmatározóban hosszú idő alatt keletkező cirkonok kora jelentős szóródást mutat, amiből a Bayes-féle módszerrel nyert korokat tekinti a szerző a kitörés korának legjobb becsléseként. Ezt elfogadhatónak tartom. A disszertációban a jelölt arra is felhívja a figyelmet, hogy „a lézeres módszerrel kapott izotóparányokból számolt idősebb koradatokat feltehetően a mérési kráterbe kis mennyiségben bekerült idősebb (ante-) kristálydomének okozhatták”. Ez jelzi, hogy a szerző tisztában van a cirkon-koradatok értelmezésénél fellépő sokféle bizonytalansági tényezővel, amit fontosnak tartok a tudományos alaposág szempontjából.

A **3. tézis** arról szól, hogy a kormeghatározások eredményei és kisebb mértékben a közettani tulajdonságok alapján, a szerző a Magyar Rétegtani Albizottság keretében újraosztályozta a Bükkalja, illetve egész Észak-Magyarország kora és középső miocén szilíciumgazdag robbanásos vulkáni képződményeit. Ez az újraosztályozás a ma ismert tényeken alapul, de fontos kitételként szerepel, hogy a javasolt formációk mindegyike több vulkáni kitörést és kitörési egységet foglal(hat) magába. Ez a megfogalmazás ebben a formában korrekt, hiszen vannak párhuzamos kutatások, amelyek már jelezték is, hogy vannak olyan

kitörési egységek, amik konkrétan nem szerepelnek az újraosztályozásban. Egy dolgot nem érzek szerencsésnek az új nevezéktanban, hogy az új „Tari Dácit Lapillitufa” és a régi „Tar Dácittufa” két különböző egységet jelent, mivel a régi „Tar Dácittufának” az új beosztás szerint a „Bogácsi Dácit Lapillitufa Formáció” felel meg. Ez így összekeverhetővé teszi ezt a két formációt, ha valaki a régi és az új szakirodalmat is tanulmányozza. Kérdésem, hogy mi volt az a szempont, ami indokolta ennek az összekeverhető névnek a bevezetését?

A **4. tézis** a cirkon nyomelem-összetételének egyediségét fogalmazza meg, és hogy ez alapján jól korrelálhatók akár egymástól távoli piroklasztit egységek is. A cirkon és a közetüveg-szilánkok geokémiai eltérései alapján a magmatározóban lévő eltérő eredetű olvadéklencsék is kimutathatók. Ez a tézis olyan részletbe menő geokémiai információkat és petrogenetikai összefüggéseket fogalmaz meg, amelyek megítéléséhez nincs elég szakmai háttér, ezért ezt a többi bírálóra bízom.

Az **5. tézis** azt fejezi ki, hogy a cirkonkristályokban lévő Hf-izotóp adatok alapján a földköpeny- és földkéreg-eredetű magmák elkülöníthetők. Az eltérő arányok alapján egyrészt a piroklasztit egységek is jobban elkülöníthetők egymástól, másrészt ez az izotóparány információt ad arról, hogy a magma milyen mértékben származik a földköpenyből. És ebből az a nagyon érdekes következtetés vonható le, hogy míg a Bükkalja szilíciumgazdag vulkanizmusa még inkább kontinentális közetlemezen belül ment végbe, addig a Tokaji-hegység késő miocén vulkanizmusa már inkább a szubdukciós zónához közelebb. A megfogalmazás számomra logikus és követhető, de geokémiai ismereteim hiányosságai miatt erről sem tudok ennél biztosabb ítéletet mondani.

A **6. tézis** az összetett cirkon alapú korreláció lehetőségére mutat rá, illetve az ezzel kapcsolatos eredményeket ismerteti (egy tézishez képest) meglehetősen hosszú terjedelemben. Ezt a korrelációs lehetőséget a cirkon alapján számított koradatok, a nyomelem-összetétel és a Hf-izotóparányok jelentik (tehát „tripla azonosítóról” beszélhetünk). Ez alapján számos Északi-középhegységen belüli korrelált egységet ismertet a szerző, amit minden további nélkül, mint realiztikus felvetést, elfogadok. Ezen túlmenően távoli kárpát-medencei, illetve Kárpátokon túli (pl. Kárpát-kanyarban, Nördlingen Riesben) található vulkáni rétegekkel kapcsolatos korrelációk is szerepelnek ebben a tézisben. Amennyiben hamuról, azaz szórt és a légmozgásokkal terjedő anyagról beszélünk, úgy ezek a távolságok nem jelentenek problémát. Piroklaszt-árak esetében azonban már elég erős feltevés a sok száz kilométer. A jelenből (negyedikidőszakból) ismert legnagyobb kitörésekhez 100-150 km-es piroklaszt-árakat tudunk társítani. A geológiai múltból elvben van ennél nagyobb távolságra eljutó piroklaszt-árra is dokumentum. A fenti, cirkon alapú korreláció alapján is azonban az ekkora távolságú piroklaszt-árat inkább csak egy erős hipotézisnek tudom tekinteni, és bizonyítottan csak abban az esetben, ha a „közbenső állomások” is dokumentálva vannak. Tudom, hogy ezek vizsgálata nagy problémát jelent, mivel a Pannon-medence középső részein ezek a vulkáni üledékek igen nagy mélységben vannak eltemetve, de kérdezem, hogy a szerző tud-e olyan eredményekről, amik ezeknek a vulkáni rétegeknek a köztes helyzetét fúrások alapján dokumentálják? Továbbá

a tézisben szerepel, hogy összességében több mint 4000 km³ vulkáni anyag került a felszínre e robbanásos miocén vulkanizmus során. Ennek a térfogat-becslésnek a háttér-számítását azonban nem találtam meg az értekezésben. Röviden tudná-e ismertetni a jelölt, hogy ez a 4000 km³ hogyan lett megbecsülve? Továbbá elhangzik az az impozáns kijelentés is, hogy „Európa legnagyobb vulkánkitörései az elmúlt 20 millió évben a Pannon-medencében történtek.” Valóban nincs ehhez fogható méretű vulkánosság Európában? Például az itáliai vulkánok összessége nem produkált ehhez fogható mennyiségű anyagot? Ismer-e a jelölt ez utóbbira vonatkozó összesített becslést?

A **7. tézisben** a szerző cirkonkorok kristályterületi felbontással végzett kormeghatározása alapján a magmatározó fennállásának időtartamára következtet. E szerint a nagy robbanásos kitörések előtt a bükkaljai piroklasztitokat produkáló magmatározók 300-700 ezer évig, a Tokaji-hegységhez kapcsolódó magmatározók pedig 46-265 ezer évig voltak aktívak. Az előző tézisben említett térfogatbecslést és szakirodalmi adatokat felhasználva a szerző megbecsüli a teljes szilíciumgazdag magmás rendszer térfogatát, amit a jelenleg ismert legnagyobb rendszerekkel (Puna-Altiplano; Yellowstone) hasonlít össze. Ezeket az eredményeket, mint jelenlegi legjobb közelítéseket, elfogadom.

A **8. tézis** a Dél-Hargita, azon belül kiemelten a Csomád vulkanizmusával foglalkozik. Ebből kiderül, hogy a cirkon kristálydoménekén végzett kormeghatározások (U-Pb, (U-Th)/He) alapján egyes cirkonkristályok több mint 150 ezer éven keresztül keletkeztek. A cirkonkristályok koreloszlása időben folytonos, ami alapján a magmatározó hosszú idő keresztül való fennállására, valamint a hőmérsékletének lassú csökkenésére lehet következtetni. A Csomád magmatározó rendszere legalább 1,5 millió éves. Modellszámítások alapján 2 millió éven keresztül átlag $1,3 \cdot 10^{-4}$ km³/év magmafluxus kellett ennek a rendszernek a fenntartásához, és ezen idő alatt mindösszesen 260 km³ magma nyomult be a földkéregbe. A tézisekből és a disszertációból nem derül azonban ki, hogy ez a 260 km³-es érték hogyan jött ki? További kérdésem, hogy a modell paraméterek mi alapján lettek beállítva, volt-e változtatás a paraméterekben? Például rövidebb időtartam és nagyobb fluxus esetén nem jöhetett-e ki ugyanez az összesített érték? Ha a Csomád kőzetmintái alapján a legidősebb cirkonkor 1,5 millió éves, akkor a modellszámítás miért 2 millió évre lett futtatva? Milyen meggondolások (szakirodalmi adatok) alapján lett a vulkáni/plutoni arány 1:25-1:30 arányban meghatározva?

A tézisnek azt a részét, hogy „Eredményeink először mutattak rá arra, hogy hosszú inaktív időkkel jellemezhető vulkáni területek alatt is fennállhat folyamatosan földkéregbeli magmatározó”, az elsőség szempontjából nem fogadom el (vö. *Lipman, P.W. 2007: Incremental assembly and prolonged consolidation of Cordilleran magma chambers: Evidence from the Southern Rocky Mountain volcanic field. Geosphere 3(1): 42–70. doi: <https://doi.org/10.1130/GES00061.1>*; továbbá *Tierney, C. R., Schmitt, A. K., Lovera, O. M., & de Silva, S. L. (2016). Voluminous plutonism during volcanic quiescence revealed by thermochemical modeling of zircon. Geology, 44(8), 683-686.*), de ettől függetlenül a jelen eredményeket értékes hozzájárulásnak tartom a magmatározók időbeliségének vizsgálatában,

és a tézist elfogadom azzal a megjegyzéssel, hogy a magma modellezésével kapcsolatos bizonytalanságokat ez esetben kicsit jobban kellett volna hangsúlyozni.

A **8b. tézis** a Dél-Hargitán belüli vulkáni működés változásait, elsősorban a magmaösszetétel különbségeit tárja fel az utolsó 2 millió évben. A változások oka, „hogy >2 Ma éve egy jelentős kőzetlemez leszakadás és gyors lesüllyedés történhetett, majd a <1–1,7 Ma időszakban a még jelenleg is lassan süllyedő kőzetlemez körüli asztenoszféra földköpeny áramlások és a közel függőleges, vélhetően óceáni kőzetlemez dehidratációja együttesen okozhatta a magma összetétel változásokat.” Vannak-e geofizikai adatok, melyek e közel függőleges óceáni kőzetlemez-darab létét és elhelyezkedését alátámasztják? A kérdéstől függetlenül a magmaösszetétel változására vonatkozó eredményeket elfogadom.

Összességében a tézisek mindegyikét elfogadom, azokat is, ahol kisebb pontosításokkal kapcsolatban kérdéseket tettem fel.

Néhány kisebb kritikai megjegyzésem van csupán a fentiekén kívül. Ezekre a magyarázat a választott „rövid értekezés” forma. Az értekezés ábrákban nagyon szegény, számomra földrajzusként különösen fájó a térképek hiánya, és mivel a témának nagyon sok területi vonatkozása van, ezeket jó lett volna a disszertációban is szerepeltetni. Természetesen a hivatkozott cikkekben ezek az ábrák föllelhetők, csak az értekezésbe nem fértek bele. Másfelől pedig „nem-geológusként” a cirkon kristályokról készített katódlumineszcens (CL) képekből is szívesen láttam volna néhányat, legalább példa jelleggel a csomádi kőzetminták elemzése kapcsán. Végeredményben a tézisek lehetnének kicsit tömörebbek, a disszertáció meg hosszabb és ábrákban gazdagabb, de ez inkább a műfaj kritikája, mint a szerzőé.

Egyebekben az értekezés és a tézisek formai szempontból teljesen megfelelők, szerkezeti felépítésük jól átlátható, a mondatok szakmailag és nyelviileg teljes mértékben korrektek, a stílus precíz és világos.

A kapcsolódó, rangos folyóiratokban megjelent publikációk hitelesítik az értekezésben és a tézisekben megfogalmazott eredményeket. Ezek a publikációk a PhD után jelentek meg és egyértelműen alátámasztják, hogy a szerző a tématerület nemzetközileg is elismert kutatója. A publikációkban szereplő szerzőtársak hazai és külföldi kutatók közül kerültek ki, továbbá a szerző kutatómunkássága egy részét külföldi laborokban végezte, ami szintén igazolja, hogy nemzetközi szinten is versenyképes és eredményes kutatótevékenységet végez.

A fentieket figyelembe véve az értekezésben és a tézisekben bemutatott eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez és a nyilvános védés kitűzését javaslom.

Budapest, 2025. február 14.



.....

dr. Telbisz Tamás
egyetemi docens
az MTA doktora