

## Kormeghatározások a Kárpát-medence szarmata utáni alkáli bazaltjain, a kormeghatározás módszertani problémái.

### *A Tihany vulkán kormeghatározása*

Az első összefoglaló munkánk a Balaton-felvidék alkáli bazaltjainak K/Ar kormeghatározásáról 1986-ban jelent meg (Balogh et al.). Ebben a közleményben és az azzal egy időben készült kutatási jelentésben (Balogh et al., 1985) a Tihany vulkánról 12 koradatot közöltünk, amelyeket részben teljes kőzeten, részben kőzetfrakciókon mértünk A minták két lelőhelyről, a Barátlakásoktól és a Dióstetőről származtak. Az egyes koradatok eléggé szórtak, a két lelőhely adatait izokron diagramban ábrázolva  $7,56 \pm 0,50$  M év (Barátlakások, Balogh et al., 1986), ill.  $7,35 \pm 0,45$  M év (Dióstető, Balogh et al., 1985) izokron korokat határoztunk meg, ezeket a korokat bizonyos fenntartásokkal földtani kornak fogadtuk el. A Barátlakások esetén a minták K tartalmának hasonlósága (1,53 - 1,87 %) volt a fenntartásunk oka, fennállt ugyanis a lehetőség, hogy a pontok nem izokronra, hanem keveredési vonalra illeszkednek. Dióstető esetén az izokron 4 pontra illeszkedett, de általában alacsony volt a radiogén Ar bedúsulása, különösen a legalacsonyabb K tartalmú mintában.

A Tihany vulkán korának pontos ismerete 2 okból különösen fontos. (i) Valószínűleg ez a Balaton-felvidék legidősebb bazaltvulkánja, továbbá Jámor (1980) és Müller és Magyar (1992) munkái alapján igen nagy rétegtani jelentősége van a kor pontos ismeretének. Emiatt a két fentebb elemzett koradat mellett további vizsgálatokra volt szükség. Az alapvetően piroklasztikumokból felépülő vulkán kormeghatározása azonban bonyolult és bizonytalan kimenetelű volt. Újabb vizsgálatokhoz ezért csak a többlet Ar tartalmú bazaltok kormeghatározására kidolgozott kritérium rendszerünk (Balogh et al., 1994) elkészülte után fogtunk hozzá. Kritérium rendszerünk szerint a legmegbízhatóbb korokat egyetlen bazalt minta frakcióira illesztett izokrontól remélhetjük, ha a frakciók K tartalma között elég nagy a különbség, s ha a frakciók atmoszférikus Ar tartalma alacsony és hasonló. Ez utóbbi követelménnyel a többlet Ar és a K tartalom között fennálló korreláció lehetősége kerülhető el.

Az újabb kísérletek eredményeiről egy konferencia absztrakt (Harangi et al., 1995) és egy, az ELTE Geofizikai Tanszéke részére készített kutatási jelentés (Balogh, 1995) született, a siker azonban nem volt teljes, elsősorban a kormeghatározásra kevésbé alkalmas minták használata miatt. E munkák eredménye az idős kor bizonyítása volt,  $7,80 \pm 1,07$  M év,  $7,91 \pm 1,01$  M év és  $7,93 \pm 1,00$  M év izokron korokat határoztunk meg, s kritérium rendszerünk segítségével kimutattuk e korok realitását.

Az idős kor azonban pontatlan maradt. A jelen pályázat keretében, a legújabb vulkanológiai eredményeket felhasználva sikerült a Tihany vulkán működésének kezdetére megbízható és pontos kort meghatározunk. Ez jelentős mértékben a jó mintaválasztásnak, és a frakciók előállítására kidolgozott módszerünknek köszönhető.

Az 1000C jelű minta 9 frakciójából 8 illeszkedik izokronra, ezek K tartalma a 0,49 - 2,65 % tartományban van (tehát igen jelentős az eltérés). Az izokron kor  $7,92 \pm 0,22$  M év, a metszéspont a  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  tengellyel nem utal a hibahatárt meghaladó többlet Ar jelenlétére.

Ez a koradat annyiban értékesebb az előzőeknél, hogy megbízható és pontos is. A jelen munka során elért eredményeink a következőkben foglalhatók össze:

1. Kimutattuk, hogy a Tihany vulkán a Balaton-felvidék alkáli bazalt vulkánosságának a kezdetét jelzi, s meghatároztuk ezt a kort.

2. Kulcsfontosságú koradatot sikerült meghatározni a *Congeria balatonica* és a *Prosodacnomya* zónák határára.

3. Valószínűsítettük, hogy a Gödrös bazaltja a legfiatalabb, s valószínűleg a még elég bizonytalan,  $6,24 \pm 0,73$  -  $5,94 \pm 0,41$  M év kortartományban keletkezett.

4. Mindezekből következik, hogy a Tihany vulkán és Maar nem egy vulkán egyszeri kitörésével keletkezett, hanem több, térben közeli kis vulkán (nested volcanic system) időben jobban elhúzódozó tevékenységének eredményeként jött létre.

#### *A Hegyestű vizsgálata*

A jelen pályázattól függetlenül Németh Károly sikeresen megszervezte több Balaton-felvidéki bazalt Ar/Ar kormeghatározását Hollandiában. Az eredmények alapvetően egyeztek 1986-ban publikált K/Ar koradatainkkal (Balogh et al., 1986), kivéve a Hegyestűt, ahol jelentős volt az eltérés a K/Ar és az Ar/Ar korok között. Az Ar/Ar plato ill. inverz izokron kor  $7,7 - 8,0$  millió évnél adódott. Pontosabban: az általunk 1986-ban közölt K/Ar korok a  $7,91 - 6,23$  M év kortartományban szórtak, de elég jól illeszkedtek egy  $5,96 \pm 0,41$  M évet meghatározó izokronra, amit akkor koreként elfogadtunk. Ebben az izokronra való illeszkedés mellett az is közrejátszott, hogy egy ugyanazon törésvonalon lévő szomszédos bazalt domb (Barnag) izokron kora hasonló volt.

Célul tűztük ki a K/Ar és Ar/Ar korok közötti korkülönbség okának kiderítését és a pontos kor meghatározását. Ez a munka a Hegyestű korának tisztázása mellett fontos módszertani eredményekre is vezetett a leucit és nefelin tartalmú bazaltok kormeghatározására, az Ar/Ar módszer alkalmazására és a Hegyestű kialakulására vonatkozóan.

Hozzákezdünk a kérdés részletes vizsgálatához. Minthogy 1986 előtt még viszonylag kevés tapasztalattal rendelkezünk, még azt a lehetőséget sem vetettük el, hogy kísérleti hibát vétettünk, bár valószínűbb volt az izokron módszer helytelen használata. Az amsterdami, a debreceniél sokkal jobban felszerelt, laboratórium eredményeinél sem tudtuk kizárni a hibát. Pl. a Ca/K arányra 13,3-at adtak meg, mi tudtuk, hogy a helyes érték kb. 3,5. Mérés előtt a bazaltot HF-dal kezelték. Minthogy pl. a hasadvány nyomokat vulkáni üvegben 1 perces HF-dos maratással hívják elő, elképzelhető volt, hogy a savas kezelés annyira megnöveli a bazalt felületét, hogy besugárzás alatt a  $^{39}\text{Ar}$  egy része kiszabadul az ásványból, s ezért az Ar/Ar kor idősebb lesz. Végezetül az Ar/Ar módszer alkalmazásakor is észrevétlen maradhat a többlet Ar, ugyanis az Ar/Ar módszer alkalmazásakor is kialakulhat keveredési vonal, sőt, a többlet Ar és a K korrelációja is hibás korokat eredményezhet, hasonlóan a K/Ar izokron korokhoz.

Az első eredményeket az 1. táblázatban foglaltam össze. Meglepően, a koradatok lényegesen fiatalabbak voltak, mint az 1986-os közleményünkben (Balogh et al.) foglaltak, a  $4,33 - 5,90$  M év kortartományban szórtak.

Észrevettem azonban, hogy ha az argonkivonó berendezést a szokásos  $250\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérséklet helyett (a szakirodalom  $300\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten javasolja az argonkivonó berendezés melegítését a közet felületén adszorbeált atmoszférikus Ar eltávolítása céljából) csak  $150\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten melegítjük a berendezést, akkor egészen hasonló korokat kapunk ( $7,60 - 7,94$  M év, ha a nagy hibájú,  $< 1\text{ }\mu\text{m}$ -es frakción mért  $8,53 \pm 1,30$  M év kortól eltekintünk) mint az amsterdami laboratórium. A teljes biztonság érdekében 2004-ben 2 mintát az okayamai laboratóriumban is megmértünk. Az eredmények ( $7,63$  ill.  $7,70$  M év) igen jól egyeztek az amsterdami laboratórium és a debreceni laboratórium mérsékelt kikályházás mellett kapott eredményeivel. A meglepő azonban az volt, hogy az okayamai laboratóriumban HCl-lel

1. Táblázat. A Hegyestű 6204 és 6539 sz. mintáinak frakcióin mért K/Ar korok

Mért frakció	K tart. %	Kor, millió év $\pm 1 \sigma$ Debrecen, előmelegítés hőmérséklete		Okayama HCl-lel kezelt	
		250 °C	150 °C	K tart. %	Kor, mill. év
A: w.r.	2,102	5,40 $\pm$ 0,26	7,74 $\pm$ 0,30	0,778	7,63 $\pm$ 0,24
A: D1M1	3,128	4,33 $\pm$ 0,20			
A:D1M2	2,823	5,41 $\pm$ 0,21			
A:D2M1	2,083	4,97 $\pm$ 0,20		0,704	7,70 $\pm$ 0,21
A:D2M2	2,084	4,59 $\pm$ 0,50	7,60 $\pm$ 0,31		
A:D2M3	2,129	4,41 $\pm$ 1,0			
A:D3M2	1,707		7,67 $\pm$ 0,31		
B:w.r.	1,941	5,22 $\pm$ 0,25	7,94 $\pm$ 0,52		
C:<1 $\mu$ m	2,580	5,90 $\pm$ 0,72	8,53 $\pm$ 1,30		
6539 D<2,61 g/cm <sup>3</sup> 30-45 $\mu$ m	4,789	4,82 $\pm$ 0,21	7,80 $\pm$ 0,38		

kezelték mérés előtt a bazaltot, s ez a savas kezelés a K tartalmat kb 2,1 %-ról 0,7 - 0,78 %-ra csökkentette.

A fenti eredmények bizonyítják, hogy (i) a Hegyestű bazaltjából az előmelegítés szokásos hőmérsékletén a radiogén Ar jelentős része eltávozik, (ii) a savas kezelés során feloldott ásványok felelősek az argonveszteségért, és (iii) a feloldott ásványok szintén a kőzet lehűlése során képződtek. Megválaszolatlan maradt viszont, hogy melyek az argont könnyen leadó ásványok, és mi a Hegyestű bazaltjának igazi kora.

Kovács-Pálffy Péter a MÁFI-ban volt szíves XRD vizsgálatokkal megnézni a bazanit ásványos összetételét. Piroxént (augit), plagioklász (albit), illitet, olivint (forsterit) és kevés leucitot, nefelint és igen kis koncentrációban amfibolt mutatott ki. A HCl-es kezelés után az ásványokból piroxén, plagioklász és illit maradt. A K tartalom csökkenését a nefelin és leucit feloldódása okozhatta, de nem biztos, hogy kizárólag e két ásvány a felelős az effektusért, mert elképzelhető, hogy az igen kis szemcseméretű illit is feloldódott a sósavas kezelés során. Az ásványos összetételre hasonló eredménnyel járt az okayamai egyetemen végzett EMP mérés is (Thanh et al., 2004), azzal az eltéréssel, hogy a kb 3  $\mu$ m-es felbontású szonda illitet nem észlelt. Eredményeik ezen részét egy konferencia közleményben ismertettük (Balogh et al., 2005). Ugyanezen cikkben modellszámítással mutattuk meg, hogy a keveredési vonal az Ar/Ar módszer alkalmazásakor is összetéveszthető az igazi izokronnal, sőt, inverz keveredési vonal is lehetséges. Ezen túlmenően, szintén megmutattuk, hogy teljesen hasonlóan a K/Ar

izokron korokhoz, a  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  izokronok is lehetnek félrevezetőek, ha a többlet Ar és a K között lineáris összefüggés áll fenn. Ezzel egyértelműen kimutattuk, hogy az Ar/Ar módszer alkalmazásakor is indokolt az óvatosság, s a K/Ar módszerre kidolgozott kritérium rendszerünk használata itt sem fölösleges.

2. Táblázat. A Hegyestű 6539 sz. bazalt mintájának HCl-es kezelése után előállított frakcióin Okayamában mért korok

Mért frakció	K tart. %	$^{36}\text{Ar}$ $10^{-10}$ cc STP/g	Kor millió év $\pm \sigma$
w.r.	1,137	6,76	7,68 $\pm$ 0,22
D1M1	1,847	45,7	8,17 $\pm$ 0,43
D1M2	1,990	33,2	7,91 $\pm$ 0,33
D5M1	0,441	5,97	7,55 $\pm$ 0,45
D5M2	0,492	6,24	7,91 $\pm$ 0,47

D1:  $d < 2,72 \text{ g/cm}^3$ , D5:  $d > 2,92 \text{ g/cm}^3$

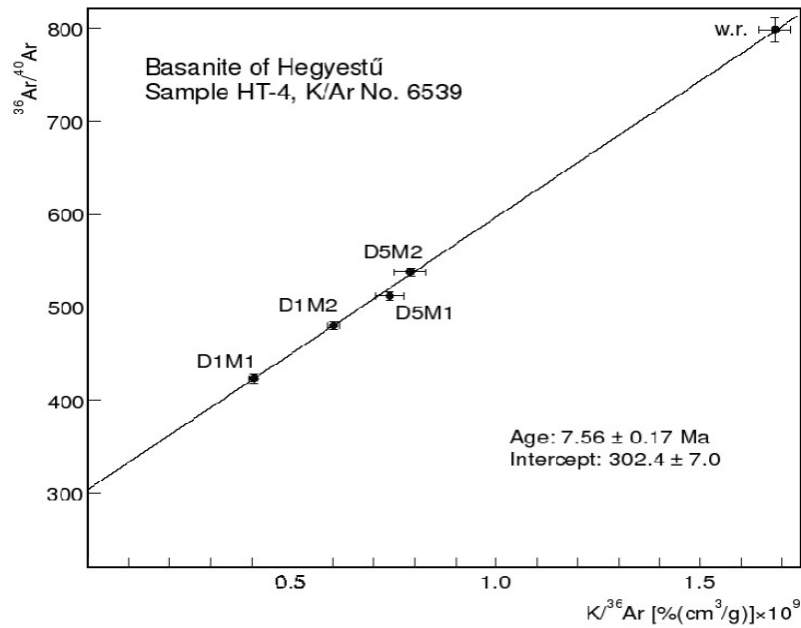
A továbbiakban a Hegyestű megbízható korának meghatározása céljából 6 bazalt mintát vizsgáltunk meg, ezek közül kívántuk kiválasztani a kormeghatározásra legalkalmasabbat.

Ezen minták K tartalma 2,035 %-tól 0,307 %-ig terjedt, az alacsony K tartalmú minta különlegességnek számít. A sósavas kezelés során a minták tömegvesztése 19,2 - 32,1 %-os volt, K tartalmuk 1,137 - 0,326 5-ra csökkent. A teljes K veszteség 28,0 - 63,5 % volt, a feloldott anyag K tartalma pedig 1,8 - 6,42 %(!).

Kormeghatározásra a HT-4 jelű bazaltot választottuk ki. A frakciókat a sósavval kezelt kőzetből állítottuk elő, ezáltal megőriztük a lehetőséget a többlet Ar és a K tartalom korrelációjának ellenőrzésére. Az adatok a 2. táblázatban láthatók. Az 5 frakció K tartalma 0,44 - 1,99 %-ig terjed. Mind az 5 pont illeszkedik egyenesre, a K tartalom és az atmoszférikus Ar tartalom között nincs korreláció, ezért azt indokolatlan feltételezni a többlet Ar és a K tartalom között is. A meghatározott  $7,56 \pm 0,17$  M év kor elfogadható a bazanit benyomulásának koraként, és nem különbözik lényegesen az Ar/Ar koroktól sem.

Összefoglalva: a Hegyestűn végzett méréseink megmutatták, hogy leucit és nefelin tartalmú kőzetek esetén a kormeghatározást megkülönböztetett gondossággal kell végezni, ellenőrizni kell a kőzet Ar-megtartó képességét. Ez vagy különböző hőmérsékletű előmelegítés után végzett kormeghatározásokkal tehető meg, de lehetőség van a két ásvány feloldására, amikor is a kőzeten és az oldási maradékon mért korokból kiszámítható a feloldott ásványok kora.

A szakirodalom szerint a leucit és nefelin jól megőrzik az argont, tehát K/Ar kormeghatározásra alkalmas ásványok. A Hegyestűn észlelt jelenség tehát rendellenes, valószínűsíthetően az ásványok szubmikroszkópikus szerkezetével van kapcsolatban. Az ennek felderítésére tervezett TEM vizsgálatokat eddig még nem sikerült megszerveznünk.



1. Ábra. A Hegyestű 6539 sz. HCl-lel kezelt frakcióira meghatározott izokron kor

#### *A szlovákiai bazaltokon végzett vizsgálatok összefoglaló értékelése*

Ezt a témát sajnálatos módon nem sikerült befejezmem, bár a rám eső résszel évek óta készen vagyok. A téma fő szlovákiai koordinátora, V. Konečný, nyugdíj mellett dolgozik, rengeteg munkát bíztak rá (a selmecebányai terület összefoglaló feldolgozása), eddig legjobb szándéka mellett sem tudta elvégezni a rá váró munkát. Januári tájékoztatása szerint idén tavasszal már lesz ideje. A közlemény továbbra is a végső formába hozásra vár. (V. Konecny, K. Balogh, D. Vass, J. Lexa: Time evolution of Neogene – Quaternary alkali basalt volcanism in the Western Carpathians (Slovakia) on the basis of K/Ar dating.)

#### Közlemények

- Balogh, K., Németh, K. (2005): Evidence for the Neogene small-volume intracontinental volcanism in Western Hungary: K/Ar geochronology of the Tihany Maar Volcanic Complex. *Geol. Carp.*, 56/1, pp. 91-99.
- Balogh, K., Itaya, T., Németh, K., Martin, U., Wijbrans, J., Thanh, X. (2005): Study of controversial K/Ar and  $^{40}Ar/^{39}Ar$  ages of the Pliocene alkali basalt of Hegyestű, Balaton Highland, Hungary: A progress report. *Mineralia Slovaca*, 37, pp. 298 – 300.

#### Irodalom

- Balogh, K., Árva-Sós, E., Pécskay, Z., Ravasz-Baranyai, L. (1986): K/Ar dating of Post-Sarmatian alkali basaltic rocks in Hungary. *Acta Miner. Petrogr.*, Szeged 28 p. 75-93.
- Balogh, K., Vass, D., Ravasz-Baranyai, L. (1994): K/Ar ages in the case of correlated K and excess Ar concentrations: A case study for the alkaline olivine basalt of Somoska, Slovak-Hungarian frontier. *Geol. Carp.* 45/2 p. 97-102.

- Thanh, N. X., Itaya, T., Balogh, K. (2004): Electron microprobe analyses of minerals in alkaline basalts from the Bakony-Balaton Highland volcanic field, western Hungary. Bull. Res. Inst. Nat. Sci., Okayama Univ. Of Sci., No. 30., pp. 61 – 67.
- Balogh, K. (1995): K/Ar study of the Tihany volcano, Balaton Highland, Hungary. Report on the work supported by the European Community in the frame of program 'Integrated Basin Studies' . Institute of Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, Debrecen, pp. 1-12.
- Balogh K., Árváné Sós E., Pécskay Z. (1985): K/Ar dating of magmatic rocks. Report on contract No. 4212/85 to the Hungarian Geological Institute by the Institute of Nuclear Research of HAS. MS. Archives of the Hung. Geol. Inst., Budapest and the Ins. Nucl. Res. of HAS, Debrecen, pp. 1-21.
- Jámbor Á. (1980): Pannonian in the Transdanubian Central Mountains. Ann. Geol. Inst. Hung. 65, 1-259.
- Müller, P., Magyar, I. (1992): Stratigraphical importance of Prosodacnomya bearing Pannonian S. l. sediments from Kötöcs. Földt. Közl., 122, 1-38.

### **Kronológiai kutatások a Cseh Masszívum környezetében**

A Cseh Középhegység közelében, az Eger rift peremén a Lučná-Oberwiesenthal Vulkáni Központ kőzeteit vizsgáltuk. Ezt a vulkáni hegységet a Cseh Masszívumhoz tartozó fonolitok és nefelinitek építik fel. Elsősorban a nefelinitekben alkáli piroxenit és ijolit xenolitok találhatóak. Más szerzők a vulkáni működés korát az 52 – 31 millió év kortartományban rögzítették. Ezzel szemben – támaszkodva Fuerteventura alaphegységének kutatása során szerzett tapasztalatainkra – kimutattuk, hogy az idősebb korok a többlet argon-tartalom miatt jelentkeznek, a vulkáni működés kb. 30 millió évvel ezelőtt, viszonylag rövid idő alatt zajlott le. Az idősebb xenolitok korát a vulkáni működés részben vagy teljesen megfiatalította.

A Roztoky Intrúzió Központ (RIC) komplex vizsgálata keretében a tingvait szövetű fonolit telérek (továbbiakban tingvaitok) korát vizsgáltuk részletesen. E munka a következő kronológiai eredményekkel járt:

1. Meghatároztuk a tingvaitok benyomulásának idejét. A  $29,3 \pm 0,8$  M év átlagos kor mutatja, hogy a tingvaitok benyomulása rövid idő alatt történt meg. Ez az intervallum átfedi a RIC kialakulására javasolt intervallumot (Ulrych, Balogh, 2000), de összeegyeztethető azzal a modellel, ami szerint a tingvaitok a RIC legfiatalabb magmás képződményei.

2. A Hegyestű bazaltján észlelt effektus, a nefelin Ar vesztese az előmelegítés során, a RIC egyik mintáján is kimutatható volt, csak sokkal kisebb mértékben. A szokásos módon mért  $27,6 \pm 1,1$  M év kor a berendezés mérsékelt,  $150\text{ °C}$  -os előmelegítése után  $28,5 \pm 1,3$  M év, ill.  $28,8 \pm 1,3$  M évre emelkedett. Ezzel olyan effektusra találtunk további példát, ami a földpátpótlók K/Ar korát meghamisíthatja, és amit eddig a szakirodalom még nem írt le.

3. Az analcim kora hibahatáron belül egyezett a szanidinéval (analcim:  $28,8 \pm 1,1$  M év, szanidin  $29,5 \pm 1,1$  M év). Eszerint az analcim K/Ar kormeghatározásra alkalmas ásvány lehet.

4. Egy kiugróan fiatal kort is mértünk ( $25,6 \pm 1,0$  M év), ehhez hasonló korokat ( $28,0 - 23,6$  M év) más szerzők is közöltek, s a vulkáni működés elhúzódásával magyarázták. Mi ebben nem vagyunk biztosak, szerintünk a fiatal korok vulkáni utóműködés eredményei is lehetnek, biztosat állítani azonban csak további vizsgálatok után lehetne.

Az Ohre/Eger rift ÉK-i szárnyának harmadidőszaki vulkánossága két lemezen belüli pre-rift vulkáni sorozat jellemző tulajdonságait mutatja: (i) az Osečná Összlet késő kréta - korai paleocén melilitos kőzetei, és (ii) a paleocén - korai eocén, ÉÉK - DDNy csapásirányú, melilitos olivin nefelinitek telér-rendszere. Kormeghatározásaink ( $56 - 68$  M év) valamivel fiatalabbak az Osečná Összletre eddig közölt adatoknál ( $79 - 65$  M év), ennek oka azonban a

hidrotermális tevékenység fiatalító hatása is lehetett. Ennek kiderítésére még néhány további vizsgálatot tervezünk.

Közlemény:

Ulrych, J., Lloyd, F. E., Balogh, K., Hegner, E., Langrová, A., Lang, M., Novák, J. K., Řanda, Z. (2005): Petrogenesis of alkali pyroxenite and ijolite xenoliths from the tertiary Loučná-Oberwiesenthal Volcanic Centre, Bohemian Massif in the light of new mineralogical, geochemical and isotopic data. N. Jb. Miner. Abh., (2005) 182/1, pp. 57-79.

Ulrych, J., Novák, J. K., Balogh, K., Hegner, E., Řanda, Z., Lang, M.: Petrological and geochemical characteristics and K-Ar ages for Cenozoic tinguaitic dykes of the Roztoky Intrusive Centre, České středohoří Mountains, NW Bohemia. N. Jb. Miner. Abh., beküldve.

Összeállítás alatt

Ulrych, J., Dostal, J., Hegner, E., Balogh, K., Ackerman, Lukáš: Melilite and melilite-bearing volcanic rocks of the Ohře/Eger Rift in Northern Bohemia, Czech Republic.

Irodalom

Ulrych, J., Balogh, K. (2000): Roztoky Intrusive Centre in the České Středohoří Mts.: Differentiation, Enplacement, Distribution, Orientation and age of Dyke Series Geologica Carpathica, 51/6, 383-397

### Alacsony fokú metamorfitek vizsgálata

Az alacsony fokú metamorfitek a Bükkium és a horvátországi Medvednica-hg területén vizsgáltuk, együttműködésben elsősorban a GKKI-tel, továbbá a Magyar Állami Földtan Intézettel és a Zágrábi Egyetemmel

A Bükkium területén két kutatási témában vettünk részt. (i) A K/Ar korok szemcseméret függését vizsgáltuk a szendrői fillitből, a lökvölgyi palából és a Szarvaskő - mónosbéli takaróból vett mintákon, továbbá Lillafüreden a bázisos teléreket és környezetüket ért alacsony fokú metamorfózis korát kívántuk meghatározni.

Az (i) kutatási területen a < 0,6  $\mu$ m-tól > 32  $\mu$ m-ig terjedő tartományból 7 különböző méretű közetfrakciót vizsgáltunk, a kisebb szemcseméretű frakciók agyagásványok voltak. Mindhárom lelőhelyen megfigyelhettük, hogy a korok erősen szórnak, de minden esetben azt a tendenciát mutatják, hogy a < 0,6  $\mu$ m-es frakció a legfiatalabb, a > 32  $\mu$ m-es ásványok a legidősebbek, a < 2,0  $\mu$ m-es agyagásványok pedig közbelső értéket mutatnak. Részletesebben:

#### 3. Táblázat. Különböző szemcseméretű ásványok K/Ar kora a Bükkium területén M év

Lelőhely	< 0,6 $\mu$ m	< 2,0 $\mu$ m	4,0 - >32 $\mu$ m
Szendrő	57,5	99,6	101,1-117,3
Lökvölgy	97,8	112,3	129,5-139,6
Szarvaskő-Mónosbél	114,4	140,5	172,9-184,1

Látható, hogy a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es frakció kora minden esetben  $>10 \text{ M}$  évvel fiatalabb a  $< 2,0 \mu\text{m}$ -es frakció koránál. Az ismert, hogy a kisebb szemcseméretű ásványok záródási hőmérséklete alacsonyabb, kérdés viszont, hogy a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es és  $< 2,0 \mu\text{m}$ -es frakciók záródási hőmérséklete között lehet-e olyan jelentős különbség, ami az észlelt korkülönbséget magyarázza, és milyen gyors kiemelkedési sebesség következne ebből?

A Dodson (1973) által levezetett egyenlet alapján, ami termikus diffúzió útján távozó Ar esetén adja meg az összefüggést az ásvány paraméterei és a záródási hőmérséklet között, megbecsültem, hogy milyen különbség lehet a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es és  $< 2,0 \mu\text{m}$ -es frakciók záródási hőmérséklete között.

$$T_c = \frac{E/R}{\ln \left[ \frac{A * R * T_c^2 * D_o}{a^2 * E * dT/dt} \right]}$$

Feltételezve, hogy  $T_c$  értéke a  $200 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $473 - 773 \text{ }^\circ\text{K}$ ) tartományban van, aktivációs energiájuk pedig a  $40 - 70 \text{ kcal/mol}\cdot\text{K}$  értékhatarok közé esik, kiszámoltam a két szemcseméret záródási hőmérséklete közötti különbséget. Azt az eredményt kaptam, hogy a különbség minden esetben  $\leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál, ami hozzávetőlegesen  $1 \text{ km}$  mélységbeli különbségnek felel meg. Márpedig az alpi orogén területeket ennél lényegesen gyorsabb vertikális mozgások jellemzik, ahol tehát a finomabb szemcseméretű ásvány lényegesen fiatalabb, akkor a fiatalabb kor valószínűleg egy fiatalabb ásványképződési folyamatot jelez, amelynek intenzitása nem volt elegendő a durvább szemcseméretű agyagásványok korának megfiatalítására.

Sajnos, ezzel a kérdés még nem zárható le. Elképzelhető az is, hogy a vizsgált minták felszíni bomlás során keletkezett, tehát nagyon fiatal ásványokat is tartalmaznak, amelyek a legfinomabb szemcseméretű frakcióban dúsulnak. Ebben az esetben a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es szemcseméretű ásványon mért korok földtani jelentés nélküli keverék értékek. E kérdés tisztázása elég bonyolultnak látszik, minthogy a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es ásványok szeparálása túl nehéz feladat. Lehetséges lenne a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es frakciót több, azonos intenzitású alacsony fokú metamorfózisnak kitett, egy helyről származó, de különböző kőzetekből elválasztani: ha a korok hasonlóak, akkor az erős érv lenne a korok földtani jelentése mellett. Valószínűtlen ugyanis, hogy a különböző típusú kőzetek a felszíni hatások következtében hasonló mértékben változzanak el. E kérdést még nem sikerült tisztáznunk.

Megvizsgálendő továbbá az is, hogy a Hegyestű leucitjára és nefelinjére kimutatott effektus, a radiogén Ar eltávozása már a kimelegítés hőmérsékletén, nem jelentkezik-e a legfinomabb szemcseméretű agyagásványon? Ezt ellenőriztük, s az előmelegítés hőmérsékletének függvényében korkülönbséget nem kaptunk.

A nagyobb szemcseméretű ásványokon mért idősebb korok azt mutatják, hogy az agyagásványok keletkezése az üledékes ásványok záródási hőmérsékleténél alacsonyabb hőmérsékleten történt. Ez a lillafüredi területre is igaz.

A szendrői fillit durvább szemcsés ásványainak kora az alsó kréta második felére esik. Ez abból a szempontból érdekes, hogy a közeli bódva-völgyi nátrongabbrók földpátja lényegesen idősebb,  $200 \text{ M}$  év korú is lehet. Ez azt jelenti, hogy a Szendrői-hg lényegesen később emelkedett ki, mint a Bódva-völgy.

A lillafüredi metaandezit tufán  $10 \text{ db}$   $< 2,0 \mu\text{m}$ -es agyagásvány frakciót mértünk, a korok a jól definiált  $73,0 - 79,2 \text{ M}$  év kortartományban szórnak. Az átlagosan kb  $3.0 \text{ M}$  év



hibahatárokat figyelembe véve ezt a szórást a mérések pontatlansága is előidézheti. 3 mintán a teljes közet kort is mértük, amelyek a 85,6 - 92,0 M év intervallumba estek. Itt is látható, hogy az agyagásványok képződésekor a közet kora nem nullázódik teljesen.

A Bükk-hg esetén az agyagásványokon végzett kronológiai vizsgálatok teljesen összhangban vannak a magmás kőzeteken kapott eredményeinkkel, miszerint a a Bükk keleti része a nyugati részénél később emelkedett ki.

A Medvednica-hg területén főleg  $< 2,0 \mu\text{m}$ -es agyagásvány frakciókat vizsgáltunk, de néhány minta esetében a  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es frakciót is mértük, és 3 mintán meghatároztuk a kor szemcseméret függését is. A következők figyelhetők meg.

1. A  $< 2,0 \mu\text{m}$ -es agyagásvány frakciók átlagos kora a metapelitokra kb 110 M év, míg szignifikánsan fiatalabb a metavulkáni - vulkáni üledékekre, az utóbbiakból nyilvánvalóan a törmelékes szennyezők hiányoztak. Ismét azzal az esettel állunk tehát szemben, hogy az alacsony/nagyon alacsony fokú metamorfózis nem nullázza teljesen a törmelékes ásványok korát.

2. A  $< 0,6 \mu\text{m}$ -es frakciók kora jórészt a kréta/harmadidőszak határára esik, néhány mintán még fiatalabb is. Az előzőekben kifejtett gondolatmenet alapján ez egy fiatal ásványképződési fázist jelöl, amelynek intenzitása csak kisméretű agyagásványok képződését tette lehetővé.

3. Ahol meghatároztuk a szemcseméret korfüggését, a 4-8  $\mu\text{m}$ -es ásvány kormaximumot adott. Ezt első közelítésben úgy látom értelmezhetőnek, hogy ebben a szemcseméretben koncentráltak azok a törmelékes ásványok, amelyek az alsó kréta második felében lejátszódó alacsony fokú metamorfózis idején leginkább megőrizték eredeti korukat. A kréta/harmadidőszak határon pedig egy újabb, nagyon alacsony fokú metamorf fázis következett, amelynek során csak nagyon finom- szemcsés agyagásványok keletkeztek.

### *Módszertani kísérletek a mikron-méretű ásványok kormeghatározásával kapcsolatban*

Az Ar/Ar módszernek több előnye van a hagyományos K/Ar módszerrel szemben. Pl. kor helyett egy egész korszpektrumot kapunk, lehetővé teszi a kormeghatározás mikroszondás eljárássá fejlesztését, pontosabb korokat mérhetünk, kevesebb anyagra van szükség egy vizsgálathoz, stb. Van azonban néhány hátránya is, ezek közül azt emeljük most ki, hogy mikron méretű ásványokra helytelen korokat ad, tehát csak bonyolult módon alkalmazható. Ennek az az oka, hogy a  $^{39}\text{Ar}$  atomreaktorban való előállításakor a  $^{39}\text{Ar}$ -t a magreakció energiája meglöki, s a  $^{39}\text{Ar}$  kirepülhet a kisméretű ásványból. Ezt a hibalehetőséget úgy szokás kivédeni, hogy az agyagásványt kvarc csőbe forrasztják, ami igen bonyolult eljárás: nagyon magas hőmérsékletet kell alkalmazni az agyagásvány közelében, s a kvarc ampullából az Ar nehezen szabadítható fel hevítéssel, biztonságosabb az ampulla vákuumban való feltörését megoldani. Emiatt egy egyszerűbb módszer kidolgozását kíséreltük meg. Az első elgondolás szerint az agyagásványt alacsony hőmérsékleten olvadó sóba olvasztottuk volna be, ami a kirepülő  $^{39}\text{Ar}$  atomokat magában tartja. Ez az elgondolás nem jött be, legsikeresebbnek még az agyagásvány vízüvegbe zárása látszott, azonban ez is bonyolult volt.

Végül az alumínium kémcső használata bizonyult sikeresnek, ami nagyon hasonlít a kvarccső használatához, de a cső lezárása egyszerű lecsípéssel megoldható, s az alumínium cső az ásvánnyal együtt megolvasztható. Ezen a téren az Al cső vákuumbiztos lezárásának megoldásáig jutottunk el. E munka első részéből egy diplomamunka készült még 2003-ban, megvédésére azonban csak 2005-ben került sor (Balogh István: Módszertani fejlesztések a  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  földtani kormeghatározás területén: egyszerű módszer mikronméretű ásványok  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  kormeghatározására, diplomamunka, 2003).

## Közlemény

Judik, K., Balogh, K., Tibljaš, D., Balen, D., Tomljenović, B., Pamić, J.†., Árkai, P. (2005): New K-Ar Age Data on the Alpine, Low-temperature Regional Metamorphism of Mt. Medvednica (Croatia). In: Tomljenović, B. Balen, D. and Vlahović, I. (eds), Abstracts Book of the 7<sup>th</sup> Workshop on Alpine Geological Studies, Opatija, 29.09. - 01.10.2005, pp. 47-48, Croatian Geological Society, Zagreb.

## Összeállítás alatt lévő publikációk:

- K. Judik, K. Balogh, P. Árkai: K-Ar age data versus grain-size, phyllosilicate crystallinity indices, crystallite size size and lattice strain: a case study of fine-grained siliciclastites of different metamorphic grade.
- K. Judik, P. Árkai, K. Balogh, J. Pamić†: Alpine, low-temperature regional metamorphism of Mt. Medvednica (Croatia).
- Koroknai, B., Árkai, P., Horváth, P., Balogh, K.: „Cold mylonitisation”: petrological and microstructural anatomy of a natural shear zone developed in a low-T metamorphic Triassic meta-andesite tuff (Bükk Mountains, NE Hungary).

## Irodalom

Dodson, M. H. (1973): Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 40, pp.259-274.

## Metamorfitok vizsgálata

Metamorfitokat, és néhány alacsony fokú metamorfitot Szlovéniában a Pohorje és Kozjak hegységek területén vizsgáltunk. A terület legerősebben a kréta közepén metamorfizálódott; ezt több, különböző módszerrel végzett kormeghatározással állapították meg, s K/Ar vizsgálataink is több esetben megerősítették. A csillámokon mért K/Ar korok azonban sok esetben miocén kort mutattak, s a Kárpát-medence területén eddig ezek a legfiatalabb, metamorf kőzeteken mért korok. Értelmezésünk szerint ezek a korok a terület felemelkedését jelzik ami az ásványok záródási hőmérséklet alá hűlésével járt együtt. Emellett több, a kréta és miocén közé eső koradatot is mértünk, ezek közül egy 42,0-43,7 M éves, és egy 28-30 M éves korról mutattuk ki, hogy tényleges földtani jelentése van. Ez azt jelenti, hogy a terület egyes blokkjai nagy időkülönbséggel emelkedtek a felszín közelébe. Emellett amfibolitokból elválasztott 2 amfibol ásványon júra kort mértünk, ami a terület rendkívül bonyolult tektonikai fejlődését mutatja: voltak blokkok, ahol a kréta metamorfózis sem nullázta a korokat.

Két alacsony fokú metamorfitot vizsgáltunk, mérve a <2 µm-es és a 6-10 µm-es szemcseméretű frakciókat. A két minta eltérően viselkedett. A Kozjak ÉNy-i részén 77,8 ill. 90,6 M évet mértünk a két frakción, ami lényegében egyszeri eseményt jelez a felső-kréta elején, a Pohorje D-i részén viszont a durvább szemcseméret kora triász (216,1 M év), a finomabb szemcseméretűé viszont paleogén (56,3 M év). Ez utóbbi harmadidőszaki, igen gyenge metamorfózist jelez, ami alig érintette a nagyobb szemcseméretű ásványokat.

A rendkívül komplikált tektonikai történet kiderítését tovább nehezítette, hogy a várakozásokkal ellentétben néhány esetben a hasadvány nyom kor idősebb volt a K/Ar kornál. Tekintettel a radioaktív bomláson alapuló korok kialakulását szabályozó geokémiai folyamatok hiányos ismeretére, ez tk nem meglepő, de ráirányítja a figyelmet az utóbbi évtizedekben elhanyagolt kutatási területre: nem tudjuk pontosan, mit jelentenek a radiometrikus korok. A Pohorje és Kozjak esetén nem lenne nehéz e "rendellenes" jelenség

okát kideríteni. Megérzésem szerint a környezet víztartalmának van nagy jelentősége, mivel a muszkovit záródási hőmérséklete az argonkivonó berendezésben következetesen igen alacsonynak adódik. Véleményem szerint a víz eltávozása könnyíti meg az Ar kiszabadulását. Ezen az alapon várható, hogy száraz környezetben a muszkovit könnyen leadja az argont is, míg a cirkonban a rácshibák nehezen regenerálódnak. Ezzel szemben nedves környezetben a víz egyirányú mozgása nem tud kialakulni, az Ar kötve marad, a nedves környezet viszont elősegíti a nyomok regenerálódását. Ez természetesen csak teória, de kísérletileg igen könnyen ellenőrizhető lenne. A K/Ar laborban sajnos csak a kísérlet száraz részének elvégzésére van lehetőség.

Mindezen, jórészt előre nem látott nehézségek miatt, bár a szlovéniai vizsgálatainkról 27 K/Ar és 3 Ar/Ar kormeghatározás készült, az eredményeket eddig csak konferenciákon mutattuk be.

Nem sikerült a terveknek megfelelően előrehaladnunk a Soproni- és Kőszegi hg-ek vizsgálata során. Előbbi esetben a japán partnernek nem sikerült megfelelően jó eredményeket produkálnia a lézeres kigázósító technika alkalmazásával, a Kőszegi-hg esetén pedig a begyűjtött minták között alig volt mérésre alkalmas, a régi fúrások magjai pedig megsemmisültek. Ezen a területen újra át kellene gondolni a problémákat és lehetőségeket.

#### Közlemény

Fodor, L., Balogh, K., Dunkl, I., Horváth, P., Koroknai, B., Márton, E., Pécskay, Z., Trajanova, M., Vrabec, M., Vrabec, Mirijam, Zupančič, Nina (2004): Deformation and exhumation of Magmatic and Metamorphic Rocks of the Pohorje-Kozjak Mts. (Slovenia): Constraints from Structural Geology, Geochronology. *Geolines* 17, pp. 31-32. Konferencia cikk.

#### Összeállítás alatt lévő közlemény

Fodor, L., Dunkl, I., Balogh, K., Koroknai, B., Vrabec, M., Márton, E., Horváth, P., Vrabec, Mirijam, Trajanova, Mirka, Pécskay, Z., Zupančič, Nina, Jelen, B., Rifelj, Helena: Exhumation history and related deformation at the boundary of the Eastern Alps and Pannonian basin (Pohorje-Kozjak Mts., Slovenia): an integrated structural, geochronological, and paleomagnetic study.

### A záródási hőmérséklet meghatározásával kapcsolatos vizsgálatok

Az Ar/Ar korszpektrumok felvételekor rögzíték adatokból megszerkeszthető az Arrhenius diagram. A muszkovit pontjai legtöbbször egészen jól illeszkednek egyenesre, de irreálisan alacsony záródási hőmérsékletet határoznak meg. A biotit pontjai alacsonyabb hőmérsékleteken rendszertelenül helyezkednek el, magasabb hőmérsékleteken viszont reálisnak látszó záródási hőmérsékletekre vezetnek. Ezt a jelenséget a vákuumban, rövid ideig, de magas hőmérsékleten végzett kigázósításnak tulajdonítottam. Villa, (1998, *Terra Nova*, 10/1, 42-47) elemezve a záródási hőmérsékleteket, az elfogadott értékeknél magasabbakat javasolt (biotit: 450 °C, muszkovit: 500 °C), de megjegyezte, "... most minerals can exchange isotopes even at the Earth's surface if provided sufficient fluids." Vizsgálataink indítéka Villa megállapításának egy kifogásolható vonása volt: Alapvetően helyes okfejtésében az kifogásolható, hogy fluidumok és nyomás hiányában a záródási hőmérséklet laboratóriumi kísérlettel pontosan meghatározható, s erre a lehetőségre nem mutatott rá. Ebbe az irányba tettük meg az első lépéseket. Atmoszféra nyomáson, a 390 - 740 °C hőmérséklettartományban 8 különböző hőmérsékleten, két hónapig melegítettünk biotitot és muszkovitot, s az argonvesztésből meghatároztuk a záródási hőmérsékletet. Az Arrhenius diagramban a biotit pontjai egészen jól illeszkednek egyenesre, s reálisnak tűnő (331 °C) záródási hőmérsékletet határoznak meg. Ezzel szemben a muszkovit pontjai erősen

szórnak, s a pontatlanul meghatározható záródási hőmérséklet (221 °C) irreálisan alacsony. E jelenség magyarázata nem ismert, mindenesre a muszkovit sajátos viselkedését nem lehet ezután a vákuumban végzett kigázosításnak tulajdonítani. Feltevésem szerint a víz távozása befolyásolja az Ar eltávozását. Biotit esetén a  $\text{Fe}^{2+}$  ionok oxidálódása miatt a víz nagy része hidrogénként igen gyorsan távozik, s a vízmentessé vált "biotit" már vákuumban végzett kigázosításkor is elég jó záródási hőmérsékletet ad. E probléma vizsgálatáról egy diploma dolgozat készült (Huszty Árpád: Argon diffúziójának vizsgálata ásványokban, a "záródási hőmérséklet" meghatározása, 2005).

Ennek kivizsgálásához nagyobb mennyiségű csillámon kellene kigázosítási kísérletet végeznünk, a rozsdamentes edények megfigyelt korróziója miatt aranyozott tartóedényekben. Ezt még nem sikerül megvalósítanunk.

További probléma a folyadékok hatásának vizsgálata az ásványokra. Erre elsősorban a nagyon finom szemcseméretű agyagásványok korának értelmezéséhez lenne szükség. A hidrotermális kísérleteket sztatikus viszonyok között végzik, ahol a fluidum és az ásvány között egyensúlyi állapot alakul ki. Olyan kísérleti berendezést terveztem és készített el az ATOMKI műhelye, ami lehetővé teszi a fluidum lassú, de folyamatos áramoltatását maximum 20 g ásványon, maximum 200 atmoszféra nyomáson és 250 °C hőmérsékleten. A berendezés 2 fontos tulajdonsága, hogy az áramoltatás motor használata nélkül történik, a folyadékot egy 10 l-es palackból nitrogén nyomása préseli ki, és a lefolytást vastag falú, kis átmérőjű (0,125 mm) kapilláris alkalmazásával sikerült végül megoldanunk.

#### *Néhány megjegyzés*

Sajnálatos módon néhány tervezett kutatás a terveknek megfelelően alakult. Nem lehet alapvetően a finanszírozási gondokat okolni, inkább két másik problémát látok meghatározónak.

1. A tervezett vizsgálatoknak sok elvi, módszertani vonatkozása volt. Menetközben merültek fel olyan problémák (pl. a leucit és nefelin argonmegtartó képessége, a záródási hőmérséklet értelmezése, agyagásványoknál a kor függése a szemcsmérettől), amelyek mellett egyszerűen nem lehetett elmenni. Szakmailag indokolt, de nem tervezett kitérők vonták el az energiát.

2. Sok a külföldi együttműködés, ilyenkor a munka összehangolása a szokásosnál is nehezebb.

Az Ar/Ar módszerrel tervezett mérések anyagiak miatt, az ATOMKI lehetőségei miatt maradtak el. A radioaktív anyag kezelésére vonatkozó megszigorodott szabályok miatt a labor műanyag padlózatát cserélnünk kellett volna, ami miatt akár félévig is állt volna a labor. Emellett, célszerűen előbb a berendezések számítógépes vezérlését kellett volna megoldanunk, amire szintén nem jutott pénz. Végül, sok olyan fontos téma akadt, amit az előbbiekből elvégzése nélkül is meg tudunk oldani.

Mindazonáltal módszertani vonalon és a kronológiai vizsgálatok területén, ha lassabban is, de sikerült előre haladnunk.