

Debreceni Egyetem
Természettudományi és Technológiai Kar
Földtudományi Intézet
Ásvány és Földtani Tanszék

Kora-miocén andezitek K-Ar kormeghatározása a Mecsek-hegységben

OTDK dolgozat

Készítette: Somogyi Dániel

Témavezetők: Benkó Zsolt^{1,2}, Sebe Krisztina³

¹K/Ar laboratórium, Atommagkutató Intézet, Debrecen

²Ásvány és Földtani Tanszék, Földtudományi Intézet, Debreceni Egyetem, Debrecen

³Földrajzi és Földtudományi Intézet, Földtani és Meteorológiai Tanszék, Pécsi Tudományegyetem,
Pécs



**DEBRECENI
EGYETEM**

Debrecen, 2022

Tartalom

1. Bevezetés	3
2. A K/Ar kormeghatározás módszertana	4
2.1. Bevezetés a kormeghatározásba	4
2.2. A K/Ar kormeghatározás elméleti alapja	5
2.3. A “homokóra elmélet”	7
3. Vizsgálati módszerek	8
3.1. Mintaelőkészítés	8
3.2. Optikai mikroszkóp vizsgálatok	10
3.3. Röntgen pordiffrakciós vizsgálatok	10
3.4. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok	10
3.5. A K és az Ar mérésének módszertana	10
4. Földtani háttér	12
5. Minták	15
6. Eredmények	17
6.1 Makroszkópos megfigyelések	17
6.2 Optikai mikroszkópos vizsgálat	18
6.3 Röntgenpordiffrakció	20
6.4 Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat	22
6.5 K/Ar radiometrikus kormeghatározás	25
7. Diskusszió	26
8. Összefoglalás	28
9. Köszönetnyilvánítás	28
10. Felhasznált irodalom	29

1. Bevezetés

A miocén során a Mecsek-hegységben andezites és riolitos vulkáni tevékenység a kora és középső miocén során történt (Hámor, 1970; Chikán, 1991). A magmás tevékenység a Pannon-medence riftesedéséhez kapcsolódik (Sebe és tsai. 2022), így a magmás kőzetek ásvány, kőzettani és geokronológiai vizsgálata maga a Pannon-medence kialakulásának megértésében, valamint a szűk terület szerkezetfejlődésének megértésében játszhatnak alapvető szerepet. A magmás kőzetek kormeghatározásának emellett fontos szerepe van a biosztratigráfiai alapon nem vagy nehezen korolható terasztrikus (folyóvízi és tavi) üledéksor korának behatárolásában. A főleg a hegység peremén feltárt riolit- és dácittufaszintek mellett két andezites összetételű magmás test ismert, Komlón felszínen (Macskalik-bánya), valamint a Mecsek ÉK-i részén, Váralja környékén felszín alatt (pl. Váralja-11 fúrás), eltemetett helyzetben (Balogh és tsai., 1956; Pordán, 1983).

A komlói andezittest korát korábban teljes kőzeten végzett K/Ar kormeghatározás segítségével átlagosan $20,5 \pm 0,8$ millió évnél határozta Árváné Sós és Ravasz (1976) (1. táblázat). Ez a kor idősebb, mint a rétegtani helyzet alapján várt kor ($\sim 17\text{--}18$ Ma, Sebe és tsai. 2019; Harangi & Sebe in press).

Mintaszám	Minta helye	K-tart%	$^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$	$^{40}\text{Ar}^*$ normál cm^3/g	K-Ar kor (millió év)	Átlagos K-Ar kor (millió év)
9.	Andezitbánya, alsó bányaudvar, DK-i fal, I. szint	2,39	0,48	$1,97 \times 10^{-6}$	$20,7 \pm 1,6$	$20,7 \pm 1,6$
128.	Andezitbánya, alsó bányaudvar, D-i fal	2,28 2,28	0,64 0,70	$2,14 \times 10^{-6}$ $1,74 \times 10^{-6}$	$23,5 \pm 2,7$ $19,1 \pm 1,2$	$20,1 \pm 1,1$
180.	Komló-170. sz. fúrás 63,5- 63,8 m	2,14 2,10	0,48 0,21	$1,84 \times 10^{-6}$ $1,63 \times 10^{-6}$	$21,6 \pm 1,7$ $19,5 \pm 3,5$	$21,3 \pm 1,6$
						$20,5 \pm 0,8$

1. táblázat: Árváné Sós és Ravasz (1976) mérési eredményei

A táblázatból jól látható, hogy a $20,5 \pm 0,8$ millió év 3 mérés átlaga. A legmagasabb értéket a 128. minta adta ($23,5 \pm 2,7$ millió év). Átfedések ugyan vannak a mért korok között, azonban jelentős a mért korok analitikai hibája is.

Az 1976-ban mért eredményeket a szerzők teljes kőzetben és feltehetően más sztenderdászványok segítségével mérték. Az ásvány szeparálás hiánya miatt a kőzetben mind a korábban, mind a későbbben kristályosodó ásványfázisok is jelen voltak. Mivel a megszilárdulás ideje különböző a frakciók között különböző, ezért a bennük lévő Ar – tartalom is más lesz.

Váralja mellett, a Váralja-11 fúrással feltárt andeziten ugyanakkor eddig Pordán (1983) munkája óta nem történt sem modern ásványtani, kőzettani, geokémiai vizsgálat, sem pedig radiometrikus kormeghatározás.

Kutatásom célja a komlói andezit korának pontosítása új K/Ar mérések segítségével, valamint az eddig nem tanulmányozott Váralja-11 fúrásból származó andezit fúrómagok ásvány-, kőzettani és korviszonyainak megismerése. Célom annak megállapítása, hogy fúrómagokban található magmás kőzetek milyen átalakulást szenvedtek, és mennyiben hasonlítanak a komlói andezitre. Vizsgálataink újszerűsége abban rejlik, hogy előzetes ásványtani vizsgálatok alapján (optikai mikroszkópos, pásztázó elektronmikroszkópos és röntgendiffrakciós vizsgálatok segítségével) előzetesen értékeljük az egyes kormeghatározásra alkalmas fázisokat és ezek alapján végezzük el a radiometrikus kormeghatározást. A radiometrikus kormeghatározás eredményeit az ásványtani vizsgálatok tükrében értelmezzük és összevetjük a korábbi mérések eredményeivel (a komlói andezit esetében), a két magmás testet egymással, valamint regionálisan a tágabb területről ismert magmás testek korával (paksi fúrások).

2. A K/Ar kormeghatározás módszertana

2.1. Bevezetés a kormeghatározásba

A földtudomány egyik legfontosabb célja, hogy a földtörténet során lezajlott eseményeket időrendbe állítsa és a földtani képződményeknek megpróbálja egy “abszolút” kort adni, mellyel jobb rálátást tudunk kapni a geológia által vizsgált Föld fejlődéstörténetére, akár lokális szinten is.

A XX. század elején, Ernest Rutherford hívta fel arra a figyelmet, hogy a kőzetekben lévő természetes radioaktív elemek vizsgálatával megállapítható a kőzetek keletkezése óta eltelt idő, így meghatározható a kőzetek abszolút kora. Az elképzelés lényege, hogy a nem stabilis, azaz radioaktív izotópok (izotóp: azonos rendszámú, de különböző tömegszámú elemek), jól meghatározható idő alatt elbomlanak már stabilis izotópokká. Ha ismerjük a

bomlás sebességét és meg tudjuk mérni a bomló (szülő-) és a képződött (leányizotópok) mennyiségét, akkor a módszer bizonyos feltételek teljesülése esetén a kőzet vagy ásvány kristályosodásának korát adja meg. Ilyen bomlás a kálium 40-es (radiogén) izotópjának bomlása 40-es tömegszámú argonra és a belőle kifejlesztett módszer, a K/Ar kormeghatározás is.

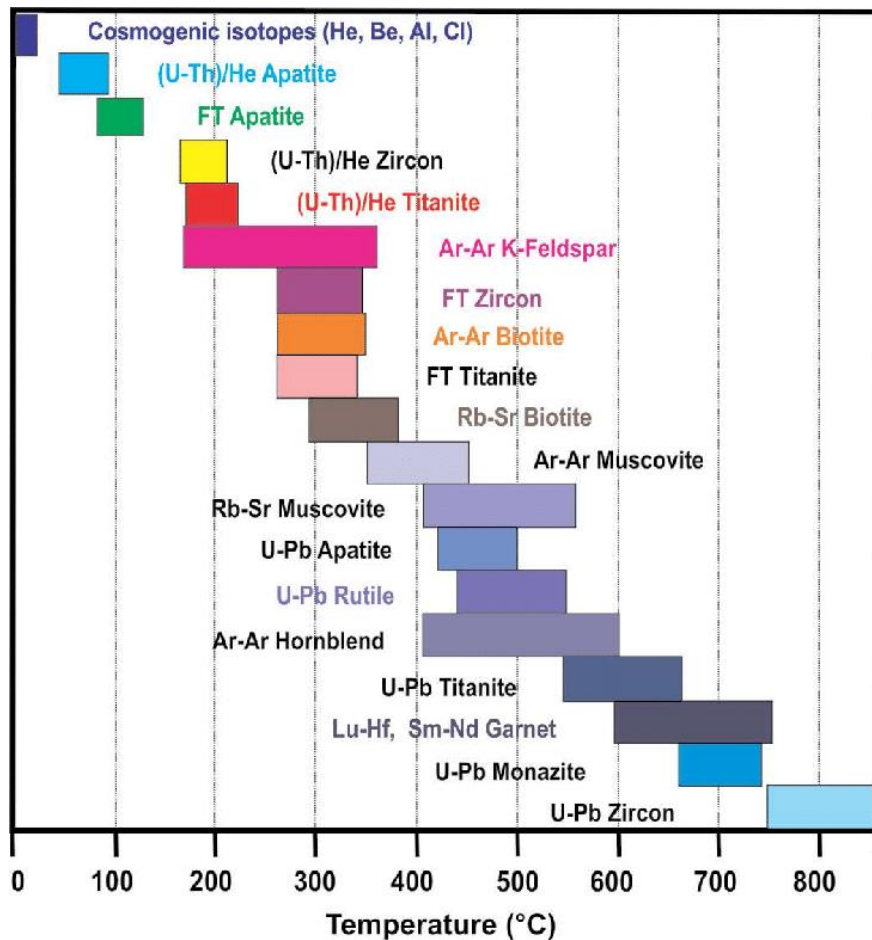
2.2. A K/Ar kormeghatározás elméleti alapja

A kálium-argon kormeghatározás a geokronológiában és korlátozottan a régészetben használt radiometrikus kormeghatározási módszer. A módszer a tíz-, százezer évesnél idősebb kőzeteknek korának meghatározására alkalmas. A kormeghatározás azon alapszik, hogy a kálium 40-es tömegszámú (^{40}K) radioaktív izotópja elektronbefogással és β^+ bomlással több lépcsőben az argon 40-es tömegszámú izotópjává alakul. Ez utóbbit radiogén argonnak nevezzük, jele: $^{40}\text{Ar}^*$. Az atmoszférában, a 78% nitrogén és a 21% oxigén mellett található 1% gáznak kb. 99,5%-a azonban szintén 40-es tömegszámú argon alkotja, amit atmoszférikus argonnak (jele: $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$) nevezünk.

Ha egy tetszőleges anyagban ismert a K és az Ar mennyisége, akkor az alábbi képlet segítségével a K/Ar radiometrikus kor a bomlási állandók ($\lambda_e=5,81\times 10^{-11}$; $\lambda_\beta= 4,96\times 10^{-10}$; $\lambda=\lambda_\beta+\lambda_e$ ismeretében kiszámítható:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\lambda_e + \lambda_\beta}{\lambda_e} \frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{40}\text{K}} + 1 \right]$$

A magas hőmérsékletű magmában az argon, lévén nemesgáz nem tud megkötődni, kigázosodik. Az argon, nem létesít kötést a kristályosodó kőzet ásványainak rácsában található más elemekkel, így a hűlés során egy viszonylag alacsony hőmérsékletet kell elérni ahhoz, hogy a kristályrács elég zárt legyen az argon megkötésére. Ez a hőmérséklet ásványonként (és izotóprendszerenként) más és más (1. ábra). A kőzet megszilárdulását és az ásványok záródási hőmérséklet alá hűlését követően már kötve marad a radiogén argon a kőzetben. A K/Ar kormeghatározásnál a kőzetben lévő radiogén argontartalom a bezáródás utáni eltelt idővel már arányos és mennyiségének meghatározása segítségével a záródási hőmérséklet elérése utáni idő megállapítható.



1. ábra. Az egyes izotóprendszerekhez tartozó záródási hőmérsékletek (Singh és tsai. 2022)

A kristályosodó magma hűlési sebessége a viszonylag alacsony záródási hőmérsékletek miatt fontos:

a, Lassú hűlés folyamán (mélységi kőzetekben, pl. gránitban vagy dioritban) az ásványok ugyan már kikristályosodtak (minimum kb. 600°C-on), de záródási hőmérsékletüket még nem érték el. A kristályosodási idő záródási hőmérséklet elérése közti időben a kőzet veszíthet, vagy vehet fel radiogén argont a kristályszerkezetébe. Ilyenkor nem a kőzetnek a keletkezési idejéről kapunk információt, hanem a kristályszerkezet bezáródásáról, ami egy lassú kihűlés folyamán távolabbra tehető a keletkezési időtől.

b, Egy gyors benyomulás vagy a magma felszínre való kitörése során a magma hőmérséklete gyorsan csökken, így a kristályszerkezet gyorsan megszilárdul. Ilyenkor a keletkezési idő és a bezáródási idő között földtani értelemben véve elhanyagolható idő telik el,

a mért kor az ásvány valós korát fogja megadni. Ez a forgatókönyv valószínűsíthető a mecseki andezitek esetében is.

2.3. A “homokóra elmélet”

A kristályok képződése után bekövetkező folyamatokat legkönnyebben egy homokórával tudjuk szemléltetni (2. ábra). A homokóra felső felében találhatóak a szülőelemek, alul pedig a leányelemek. A homokóra nyakának szélessége arányos a bomlási állandóval, azaz a felezési idővel.



2. ábra. A radiometrikus kormeghatározás elmélete homokórán szemléltetve

Ahhoz, hogy a homokóra, így az ásványokban működő radiometrikus óra tökéletesen működhessen és a kőzetek korát a K/Ar módszer segítségével meghatározhassuk különböző feltételeknek kell teljesülniük:

1. A homokóra fala ne legyen áteresztő, azaz az ásványba vagy ásványból sem leány, sem szülőelemek ne tudjanak annak képződése után bejutni vagy kiszökni. Az a maximális hőmérséklet, ahonnan ez megvalósul a záródási hőmérséklet.
2. Ismernünk kell a homokóra nyakának méretét, azaz a K bomlási állandóját. A K/Ar módszer esetében ez jól ismert ($5,543 \times 10^{10}$; Steiger és Jäger, 1977).
3. A szülő és leányelemeknek jól mérhetőnek kell lenni (erről később).

4. A homokóra alsó része az óra indításának időpontjában legyen üres, azaz ne legyenek a kikristályosodás idején leányelemek (^{40}Ar) a kristályrácsban. Ez nem mindig valósul meg, de izochron módszerrel kiszűrhető.

A mért adatok értelmezését nagy mértékben befolyásolják ezen folyamatok, de különösen az 1. pont, azaz az ásvány legyen zárt rendszer. A kőzetek és ásványok ugyanis képződésük után csak ritkán maradnak üdék. Igen gyakran hideg vagy melegvizes oldatokkal lépnek kapcsolatba metamorf, üledékes vagy hidrotermás rendszerekben, azaz a kristályrács részben vagy egészében felnyílik vagy felnyílhat, a leány és szülőelemek tetszőleges mennyiségben épülhetnek be vagy távozhatnak az ásványból. A mért K/Ar-kor magasabb a valós kornál, ha K távozik a rendszerből vagy ^{40}Ar épül be a kristályrácsba. Ez utóbbit excess (extra) argonnak nevezzük. Gyakoribb azonban, hogy Ar távozik a rendszerből (Ar vesztes) vagy K adódik hozzá például hidrotermális rendszerekben.

Mindezek kiszűrésére érdemes előzetes ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálatokkal a legmegfelelőbb, üde ásványokat kiválasztani, egy kőzetben több ásványon is kormeghatározást végezni, valamint az ásványok kristályosodási sorrendjének figyelembevételével értelmezni a mérési eredményeket. Az előzetes vizsgálatok segítenek a megfelelően üde minta kiválasztásában, illetve a mért adatok kritikus értelmezésében.

3. Vizsgálati módszerek

3.1. Mintaelőkészítés

A mintaelőkészítést az Atommagkutató Intézet K/Ar laboratóriumában és a Debreceni Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékének laboratóriumában végeztem. A munkám során nem használtam fel a teljes kőzetmintákat porításra vagy vágásra, hanem hagytam az eredeti mintából kisebb darabokat.

A begyűjtött és a kapott andezitmintákat pofástörő segítségével először daráltam és porítottam. Ebben a munkafolyamatban nem használtam fel a teljes kőzetet. A pormintákat sztenderd lyukátmérőjű (63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm , 1000 μm) szitasoron szárazon majd nedvesen szitáltam. Azt a legnagyobb szemcsefrakciót kerestem, amelyekben binokuláris mikroszkóp alatt az egyes ásványszemcsék már nincsenek összetapadva. Végül a 63–125 μm szemcseméretű minták bizonyultak legalkalmasabbnak a vizsgálatokra. Ezeket üvegekbe tettük és több napig szárítottuk.

A porminták mellett a komlói andezitmintákból kisebb darabokat vágtam gyémánt vágótárcsa segítségével. A váraljai andezitek nehezen vághatósága és tömörsége miatt tapasztaltabb szakemberre, a DE Ásvány és Földtani Tanszék technikusára, Simon Istvánra bízam a vágási munkafolyamatot. A vékonycsiszolatok elkészítése előtt először üveglapokat tejfehérítettem 1000 mesh-es csiszolóporon. A felvágott mintákat iszapos-, majd vizes csiszolókorongon csiszoltam. Ezután 200-as, 500-as és 1000-es csiszolóporokon tovább csiszoltam a kőzetek ragasztandó felületét. A kész üveglapokat és mintákat ezután az Atommagkutató Intézetben ragasztottam üveglapokra. A ragasztáshoz kétkomponensű epoxy gyantát használtam. A 9177-es váraljai fűrómagmintából szövete és átalakultsága miatt nem lehetett vékony lapot vágni csiszolatkészítés céljából, ezért ezt a mintát egy 1 cm³ korongba öntöttem ki. A ragasztás után a mintákat 1 napig hagytam száradni, majd precíziós vágó (Buehler Petro Thin) segítségével még kisebbre vágtam. A mintákat a megfelelő vastagság érdekében 100; 500 és 700 mesh-es csiszolópapírokon vékonyítottam.

A K/Ar kormeghatározáshoz az osztályozott frakciók közül a 63 µm-es szemcseméretet választottuk, mert ennél a szemcseméretnél teljesült az a cél, hogy a különböző ásványszemcsék nem tűntek összetapadtnak. Először a mintákból permanens mágnes segítségével elválasztottuk a mágneses ásványokat. A 9168-as komlói andezitmintán mágneses szeparálást végeztünk, de ez nem volt sikeres. A mintának az alapanyagában sok a magnetitzárvány így nem sikerült különböző mágneses tulajdonságú ásványok szétválasztása. Ezért a nehézfolyadékos ásványszeparálást végeztük el a komlói andezitmintákon. Mindhárom mintát 2,7; 2,66 és 2,6 g/cm³ sűrűségű nátrium-poliwolframát nehézfolyadékban több lépcsőben ülepítettük, majd ioncserélt vízben ultrahangos rázóval tisztítottuk. Mérésre a 2,6 g/cm³-nél kisebb és a 2,66 g/cm³-nél nagyobb sűrűségű frakciókat válogattuk ki.

Nhézfolyadékos leválasztás a fűrómag mintáknál nem jöhetett szóba, azok intenzív átalakultsága és karbonáttartalma miatt. A fűrómag minták 63-125 µm-es teljes kőzet frakcióját választottuk ki további mérések céljából.

3.2. Optikai mikroszkóp vizsgálatok

Az optikai mikroszkópos vizsgálatok az Atommagkutató Intézet K/Ar laboratóriumában Olympus BX53 berendezést használtam, amelyik egy Olympus DP23 kamerával volt felszerelve. Képeket mind áteső, mind ráeső fényű módban készítettem.

3.3. Röntgen pordiffrakciós vizsgálatok

A röntgen pordiffrakciós vizsgálatok az Atommagkutató Intézetben Rigaku SmatLab Bragg-Brentano geometriájú, másodlagos pirolitikus grafitkristály monokromátorral felszerelt pordiffraktométerrel, Cu-K α sugár alkalmazásával történtek. Az elsődleges cél az ásványfázisok azonosítása volt. A rutin vizsgálatok esetében 3°–70° értékek között készültek a felvételek, 0,02° lépésközzel és 5 s számlálási idővel.

3.4. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok

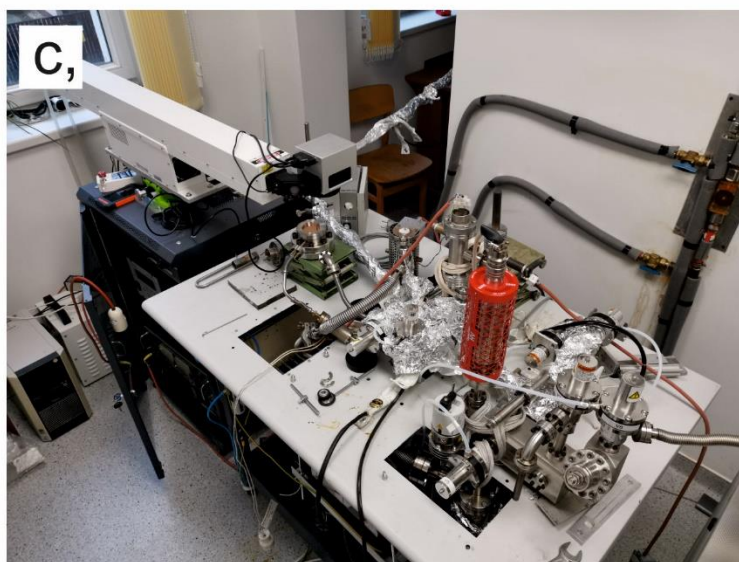
A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok polírozott, de nem futtatott vékonycsiszolatokon készültek az Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratóriumában egy JEOL JSM-IT500HR típusú pásztázó elektronmikroszkópon, amely egy JEOL EX-74232U1L4Q EDS detektorral van felszerelve. A mérések ásványszttenderdek nélkül készültek és az egyes mérések 100%-ra vannak normálva. A mérések alacsony vákuum módban (30 Pa) készültek 15 kV-os gyorsítófeszültség és 3 nA-es nyalábáram mellett. A munkatávolság 10 mm volt, a mérési idő 15-55 s. Az eredményeket JEOL SEM saját szoftvere végezte el. Tapasztalatok alapján (Molnár Kata és Benkó Zsolt szóbeli közlése) vízmentes ásványok esetén a mérések közel azonos eredményeket adnak a sztenderdizált mérésekkel.

3.5. A K és az Ar mérésének módszertana

A K és az Ar mérése az Atommagkutató Intézet K/Ar laboratóriumában, Debrecenben történt. Kálium mennyiségének meghatározása céljából a porított mintát fluorsav + perklórsav keverékében tárjuk fel. Feltárás után a mintát 0,25 n sósavban oldjuk fel, majd ezt a várható káliumtartalomtól függően tovább hígítjuk. A kálium mennyiségének meghatározása Sharewood 420 típusú lángfotométerrel történik. A lángfotométeres méréshez belső standardként 100 ppm-es lítiumot, pufferként 100 ppm-es nátriumot használunk. A

káliummeghatározás analitikai hibája, Heidelbergi (HD-B1) rendszeres mérése alapján kisebb, mint 1%. A K mérést Mizsák Anna végezte.

Az argon mérése Argus VI multikollektoros nemesgáz tömegspektrométerrel és a hozzá csatlakoztatott kigázosító és gázkezelő rendszer segítségével történt. A mérés céljából kb. 5-15 mg mintát Ni fóliába csomagoltunk és azt a gázkezelő rendszer elé csatlakoztatott mintatartóban egy éjszakán át kb. 100 °C-on vákuumban tartottuk, az ásványok felületén kitapadt atmoszférikus eredetű Ar ($^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$) eltávolítása céljából.



3. ábra. Az Atommagkutató Intézetében működő K/Ar radiometrikus tömegspektrométer részei: a, nagyfrekvenciás kigázosítás, b, nemesgáz tömegspektrométer; c, gázkezelő rendszer

A minták kigázosítása nagyfrekvenciás izzítóval Mo mintatartóban történt (3. a ábra). A 15 perces izzítás ideje alatt elért maximális hőmérséklet 1200-1300 °C volt. A felszabaduló aktív és nemesgázok ezek után egy getterekkel (Ti-Al-V ötvözetek) felszerelt gázkezelő rendszerbe kerülnek (3. c ábra). Amíg az aktív gázok (H₂O, CO₂, CH₄, N₂, HCl, O₂, szerves gázok) a gettereken kémiai úton megkötődnek, a nemesgázok intaktak maradnak. A gáztisztítás két lépcsőben különböző hőmérsékletre felmelegített getterek segítségével történt. A megtisztult nemesgázok fél óra tisztítás után kerülnek a nemesgáz tömegspektrométerbe (3. b ábra).

Mindhárom mért izotóp (³⁶Ar, ³⁸Ar és ⁴⁰Ar) mérése külön 10¹¹ és 10¹² Ω ellenállású Faraday detektoron szimultán történt. Az egyes detektorokon, több héten át rendszeresen, kalibrációs levegővel mért, egyes izotópokra vonatkozó szórás kisebb volt, mint 0,37%. A berendezésben előforduló esetleges izotópfractionáció korrekciója érdekében naponta határozzuk meg a légköri izotóparányokat. A több héten át mért ⁴⁰Ar/³⁶Ar érték 304,6±0,33 a 36/38 arány 0,196±0,002 volt. A kor kiszámításához Steiger és Jäger (1978) bomlási állandóit használtuk fel.

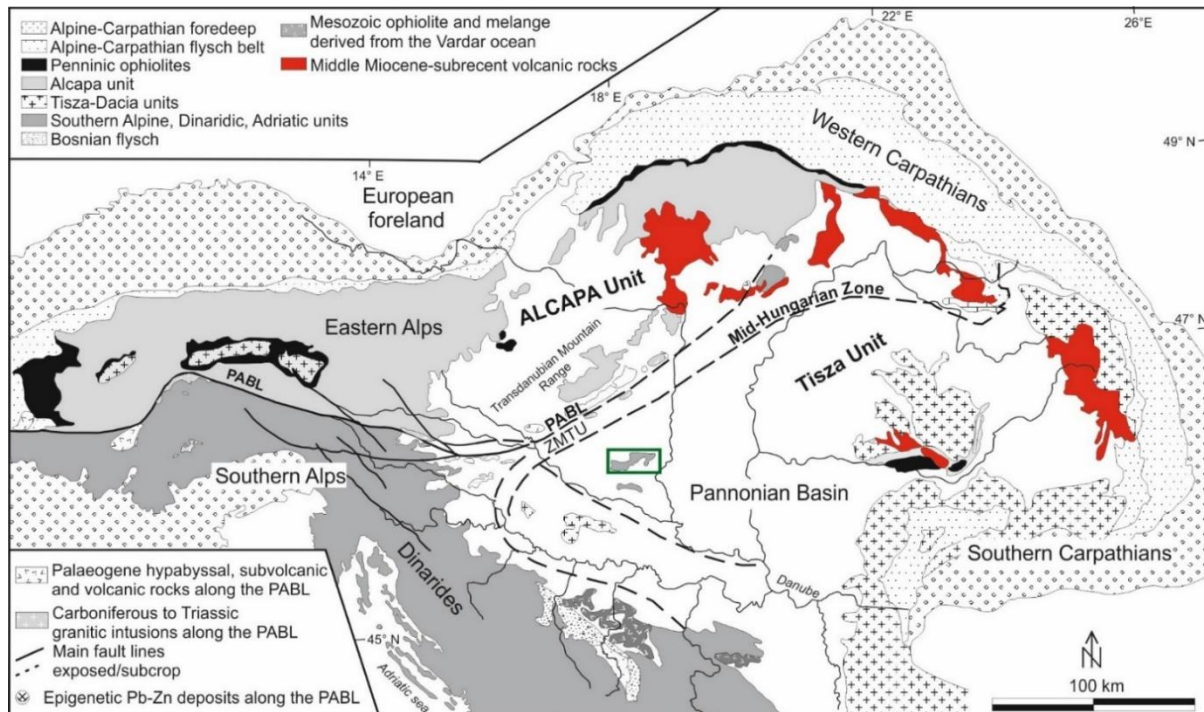
A rendszer stabilitása lehetővé tette, hogy a korábbi izotóphígításos technológiával szemben a spike használatát nem igénylő Cassagnol-Gillot módszer (Gillot és Cornette, 1986) segítségével határozzuk meg a ⁴⁰Ar* mennyiségét.

Kalibrációt a HD-B1 biotittal (Hess és Lippolt, 1994), GL-O glaukonittal (Odin, 1982) és az MDO-G alapanyag (Gillot, 2007) sztenderddel végeztünk. Méréseink eredményei minden sztenderd esetében a hivatalosan megadott 1 σ tartományon belül estek. A bemért mintamennyiségek minden esetben 10-15 mg között voltak, amiből ca. 1×10⁻⁶ ccSTP/g ⁴⁰Ar* szabadult fel.

4. Földtani háttér

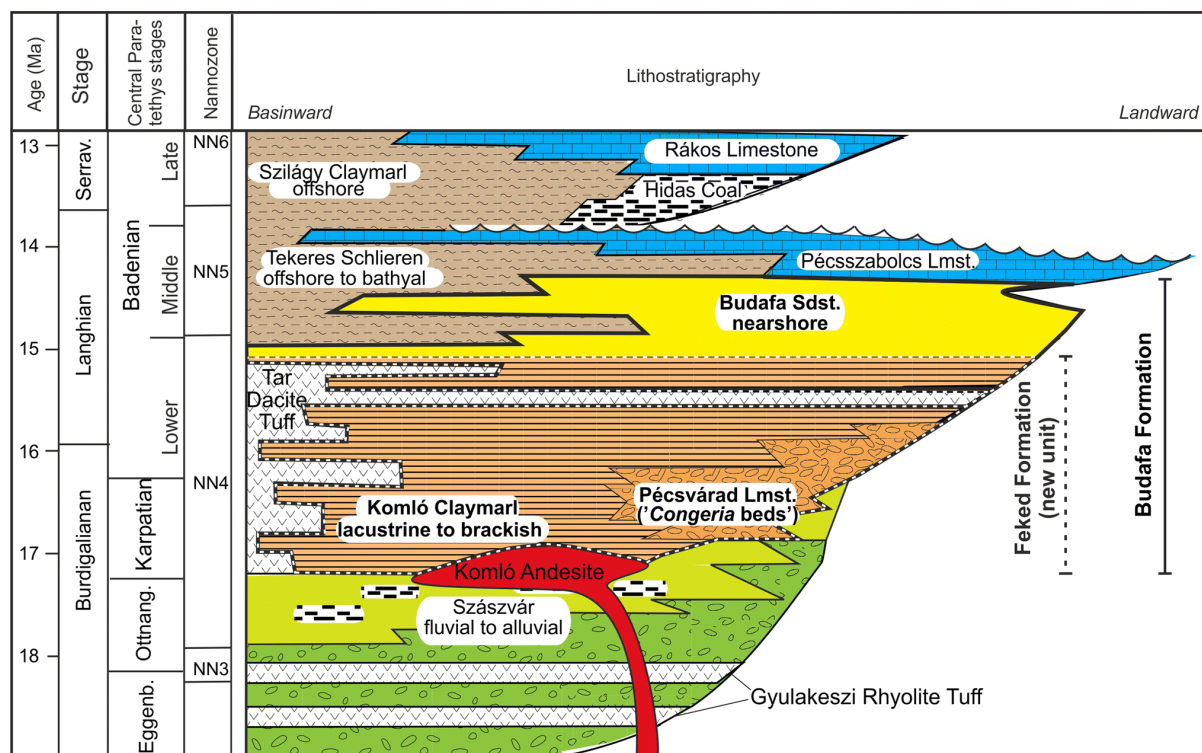
A Mecsek-hegység a Pannon-medence déli részén a Tiszai Nagyszerkezeti Egység Mecseki Alegységén helyezkedik el (4. ábra). A Mecsek-hegység harmadidőszak előtti földtani fejlődéstörténetét és földtani felépítését itt nem részletezem. A miocén fejlődéstörténetét Hámor (1970) és Chikán (1991) alapján mutatom be.

A Tiszai Egység a krétától a kora miocénig többnyire kiemelt terület volt, fejlődéstörténetét döntően a lepusztulás jellemezte. A kora-miocént megelőzően csak a késő-eocén során alakultak ki, a Mecsek-hegység térségében – Szigetvárhoz közel – kisebb szárazföldi üledékgyűjtők (Szentlőrinci Formáció).



4. ábra. A Kárpát-medence földtani térképe, ahol pirossal a középső-miocén vulkáni kőzetekből álló területek vannak jelölve (Kovács és tsai 2007 után módosítva). A zöld keret a Mecsek-hegység területét mutatja.

A terület általános süllyedését és az üledékképződés kezdetét a Pannon medence színrift süllyedéshez kapcsolódóan az alsó-miocén Szászvári Formáció néhol több mint 700 méteres durvatörmelékes üledékének lerakódása bizonyítja (5. ábra). A formáció döntően folyóvízi kavics, konglomerátum és homok, valamint ártéri-állóvízi jellegű tarkaagyag, kavics és márga, néhol szenes rétegek –váltakozásából épül fel. A rétegsorban gyakran megfigyelhető riolittufa betelepülés is, amiknek többségét a Gyulakeszi Riolittufa Formációhoz soroljuk (5. ábra).



5. Ábra. A Mecsek-hegység miocén rétegsora (Sebe és tsai, 2019) alapján

A Komlói Andezit Formáció andezitje Komló mellett részben az ismert Szászvári Formációra települ. Legfontosabb feltárása Komlótól DK-re (Hoffmann, 1876) a Macskalik-bányában található, ahol kis területen bányásszák. Megjelenik számos fúrásban is Komló környékén. Teljes megfűrt vastagsága 310 m, becsült térfogata 0,45 km³. Feküjében mezozoos egységek, az alsó miocén Szászvári Formáció és a Tihaméri Riolittufa Formációk találhatóak. Fedője az alsó – középső miocén Kiskunhalasi Formáció Pécsvárad Mészke és Komló Agyagmárga Tagozata, amely congeriás mészkőből, konglomerátumból és halpikkelyes agyagmárgából áll.

A komló környéki magmás tevékenység jellemzően effúzív volt és nem járt törmelékanyag-szórással (Hámar, 1970; Sebe és tsai. 2022).

Az andezit porfíros szövetű, a porfirokat döntően plagioklász, alárendelten ortopiroxén és amfibol alkotja, amelyek egy mikrokristályos alapanyagban úsznak (Árváné Sós és Ravasz 1976). Geokémiáját tekintve eltér a klasszikus mészkáli andezitektől magas Na₂O tartalma miatt. K/Ar radiometrikus kora, amelyet teljes kőzetben mértek 20,5 millió évnél adódott Árváné Sós és Ravasz (1976). Sebe és tsai. (2019, 2022) rétegtani megfigyelései alapján azonban a fedő kárpáti-bádeni tavi üledékek alatti elhelyezkedése miatt képződése

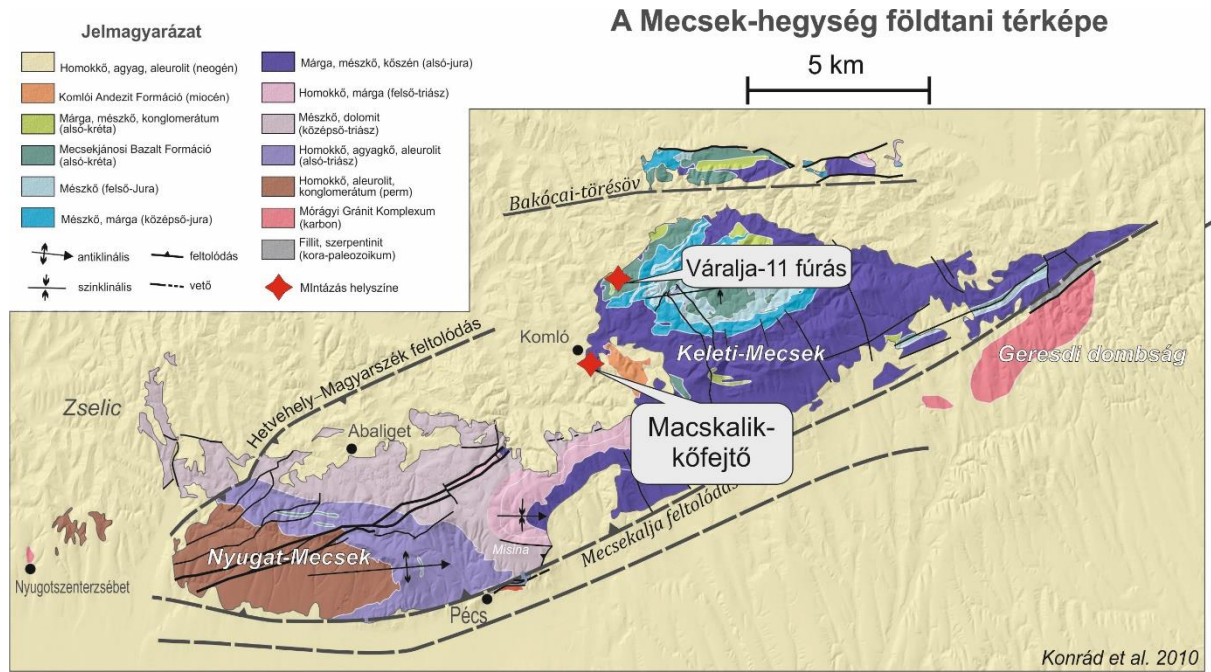
valószínűsíthetően inkább a kárpáti korra esik. További érv a ~20 millió éves korral szemben a közeli (Paks-2 fúrás) fiatalabb korú (18-19 millió év) intruzív testekhez hasonló közettani kifejlődése is.

5. Minták

2022. szeptember végén a terepi munkánk során lehetőségünk volt a Komlói Andezit - KŐKA Kő - és Kavicsbányászati Kft. és a STRABAG által felügyelt - jelenlegi legnagyobb kőfejtőjébe, a Macskalik-bányába (7. Ábra) bejutni (koordináták: É.sz. 46.177521, K.h. 18.291422). Innen friss és üdének látszó andezit kőzeteket sikerült gyűjteni (6. ábra a-c), amelyeken nagyobb mállási vagy átalakulási jelenségek nem voltak megfigyelhetők. A kőfejtőben gyűjtött mintákon (8. a-c ábra) felül 8 darab andezit fúrómagmintát kaptam Sebe Krisztinától, amelyek a Váralja-11. számú fúrásból, különböző mélységekből (156,0 – 229,4 méter mélységközből, 8. d-i ábra) származtak. A teljes mintalistát a 2. táblázat, a mintázási helyeket a Mecsek-hegység földtani térképén a 6. ábra mutatja. A mintázás helyszínén készült képeket a 7. ábra tartalmazza.

Labor mintaszám	Származási hely	Mélységköz (m)
9167	Komló, Macskalik-kőfejtő	felszíni feltárás
9168	Komló, Macskalik-kőfejtő	felszíni feltárás
9169	Komló, Macskalik-kőfejtő	felszíni feltárás
9170	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	203,90-204,10
9171	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	190,90-191,10
9172	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	229,20-229,40
9173	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	157,00-157,20
9174	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	156,00-156,20
9175	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	157,60-157,80
9176	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	213,80-214,00
9177	Váralja, Váralja-11. sz. fúrás	193,20-193,40

2. Táblázat. A begyűjtött minták származási helye



6. ábra. A Mecsek-hegység vázlatos földtani térképe (Konrád és tsai. 2010) külön feltüntetve vizsgált minták származási helyei

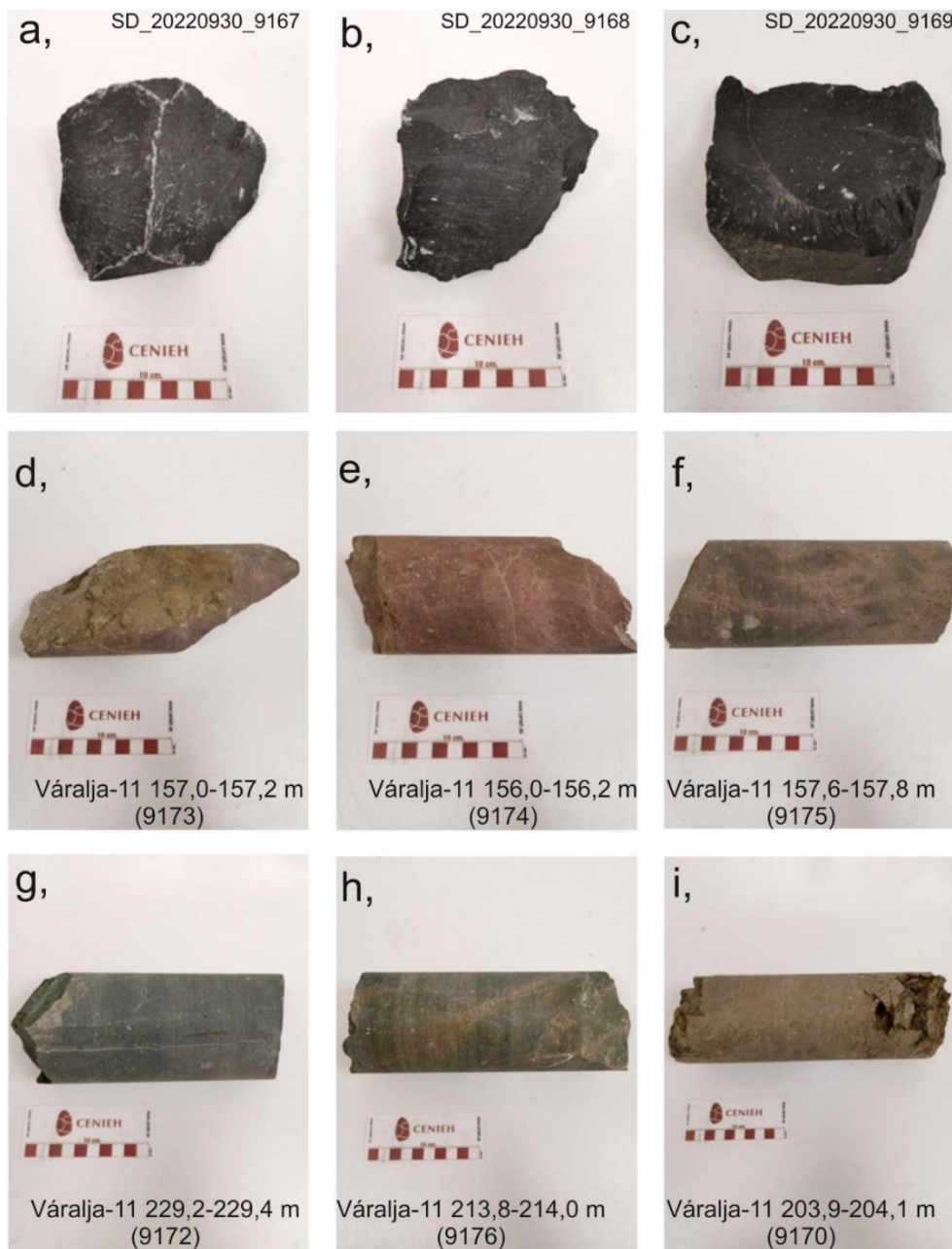


7. ábra. A Macskalik-kőfejtő Komlón

6. Eredmények

6.1 Makroszkópos megfigyelések

A bányából származó andezit sötét színű, mikrokristályos, afanitos szövetű (8. a-c ábra). Átalakulás csak kalciterek formájában jelent meg. Mintáinkat kalcitér mentes tömbökből gyűjtöttem.

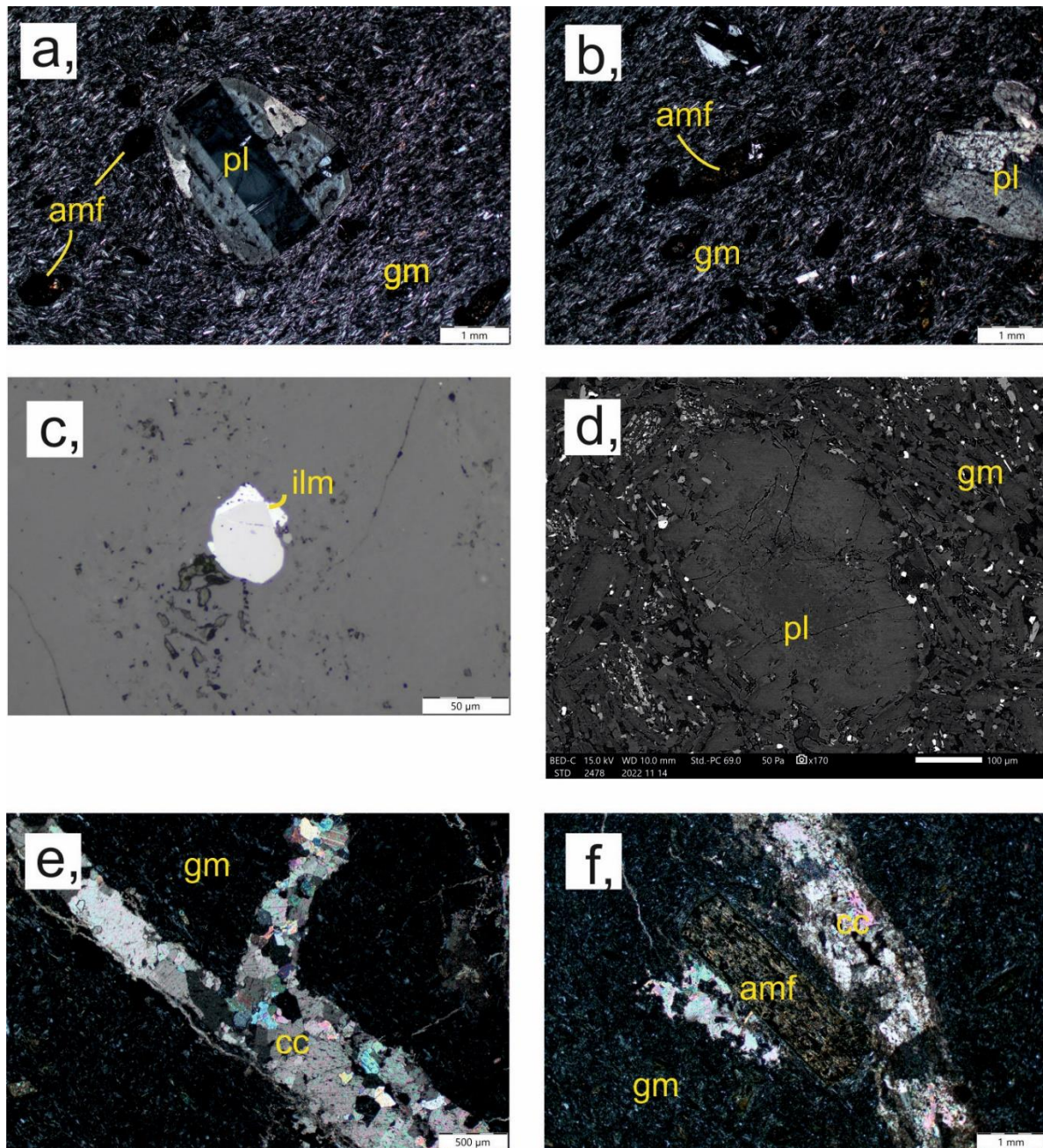


8. ábra. A terepen és a fúrómagból gyűjtött minták makroszkópos képe. a-c, a komlói Macskalik-kőfejtőben gyűjtött felszíni minták. d-i, a Váralja-11 fúrómagból gyűjtött minták. A képen a mélységköz és a K/Ar laborszám lett feltüntetve.

A fűrómagok intenzív átalakulást szenvedtek. Egyes szakaszokon (156,0-157,8 m; 8. e-f ábra) vöröses-barnás színű, míg máshol (203,9-214,0 m; 6. g-i ábra) zöldes színű átalakulást figyeltem meg. Az eredeti magmás szövet csak nehezen volt felismerhető. Egyes fűrómagminták kisebb tevékenység hatására is gyorsan porladozni kezdtek, így azokból nem lehetett vékonycsiszolatot készíteni (9177 minta).

6.2 Optikai mikroszkópos vizsgálat

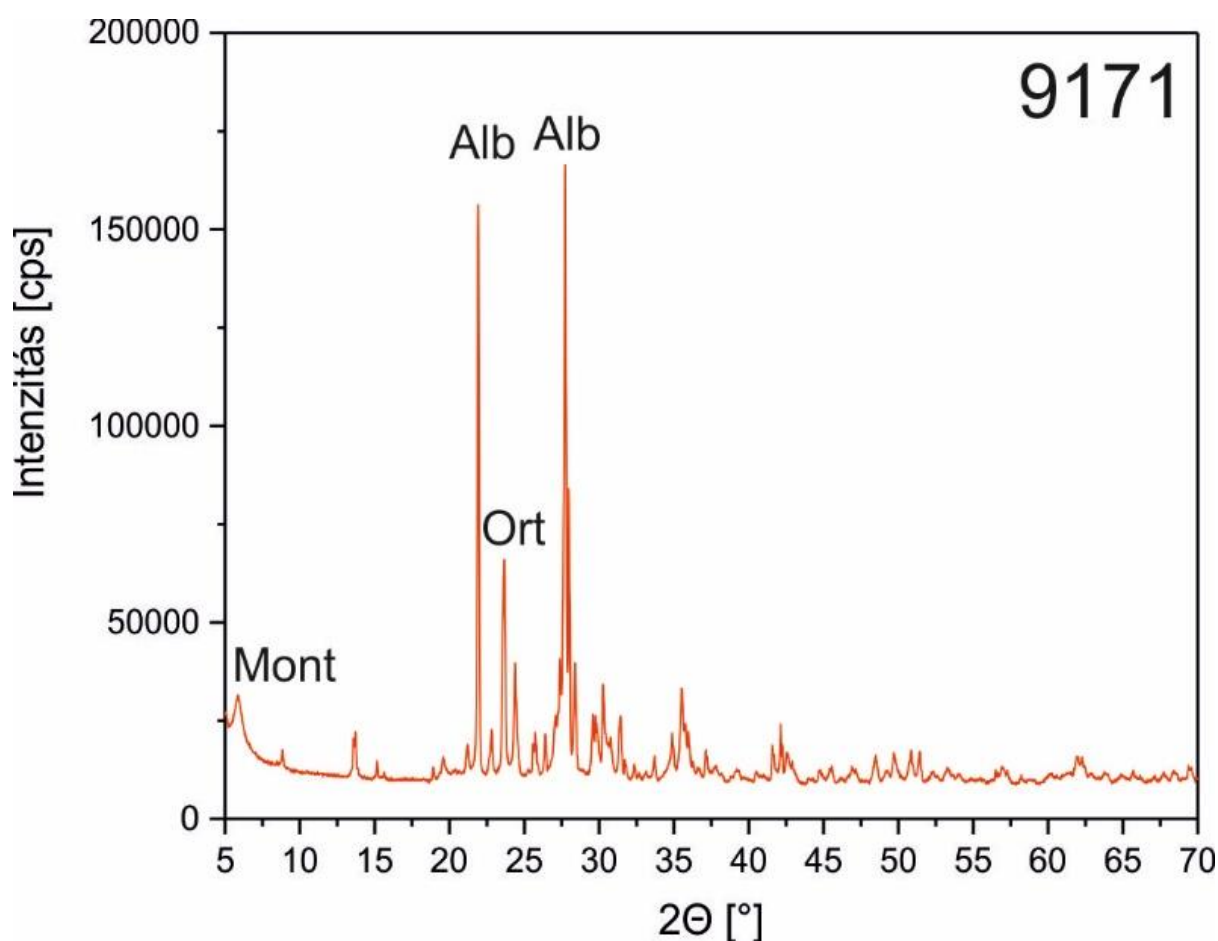
A komlói andezitbányából származó andezit porfíros-trachitos (folyásos) szövetű. A plagioklász porfirok ($d=2-3$ mm) finomszemcsés ($d=0,1-0,3$ mm), tús plagioklászlécekkel jellemezhető alapanyagban úsznak (9. a-b ábra). Az alapanyag plagioklászlécei ($80-300$ μm) gyakran „körbefolyják” a porfíros plagioklászokat ezáltal jellegzetes trachitos szövetet kölcsönözve a kőzetnek. Porfíros elegyrészként ($d=180-200$ μm) még színes elegyrészek, azonosíthatóan amfibol utáni átalakok ($d=500-1,2$ mm) jelennek meg (9. b ábra). Híntve az alapanyagban magnetit ($d\sim 50$ μm) és ilmenit ($d\sim 20$ μm) jelenik meg (9. c ábra). A Váralja-11 fűrómagból származó minták szövete hasonló a komlói andezitéhez, a porfíros plagioklászokat ($d=2-3$ mm) finomszemcsés plagioklász alapanyag ($d=180-200$ μm) fonja körbe. A minták azonban részben átalakultak másodlagos, optikai mikroszkópban nem azonosítható ásványokká. A makroszkóposan pirosas és zöldes színű mintákban vékony kalciterek megjelenése, valamint a plagioklász átalakulása volt azonosítható. Néhány további mintában kalciterek azonosítottunk (9. e-f ábra).



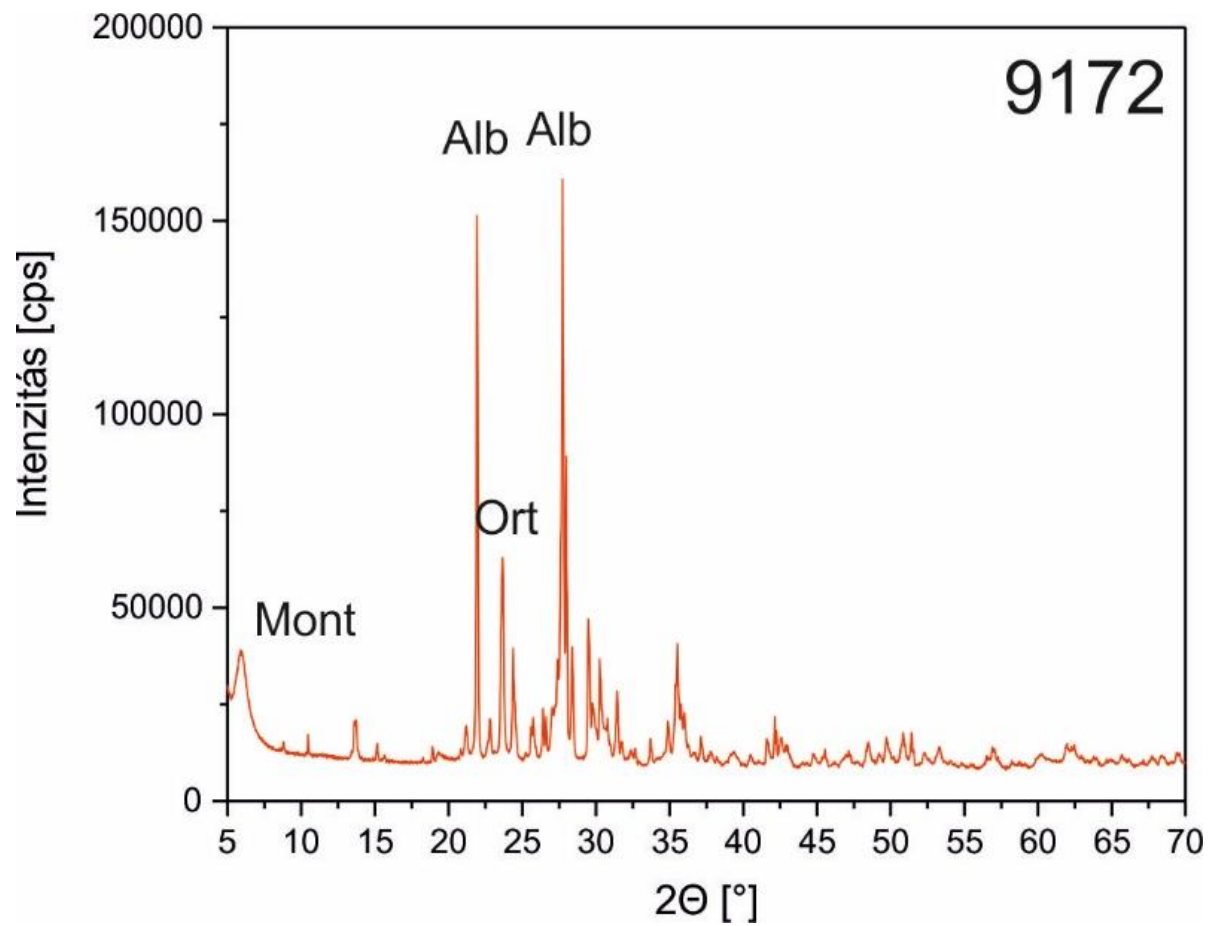
9. ábra. A Komlói Andezit jellemző közetszövevei/ásványtani összetétel a, Plagioklász porfír finomszemcsés alapanyagban a komlói andezitben keresztezett nikolok között (+N). b, Porfíros amfibol átalakok keresztezett nikolok között (+N). c, Összetett magnetit-ilmenit szemcse. d, Zónás plagioklász porfír andezines maggal és labradoritos szegéllyel (páztázó elektronmikroszkóp felvétele). e, Kalcit ér a váraljai andezitben keresztezett nikolok között (+N) f, Átalakult amfibol és kalcitér a váraljai andezitben keresztezett nikolok között (+N).

6.3 Röntgenpordiffrakció

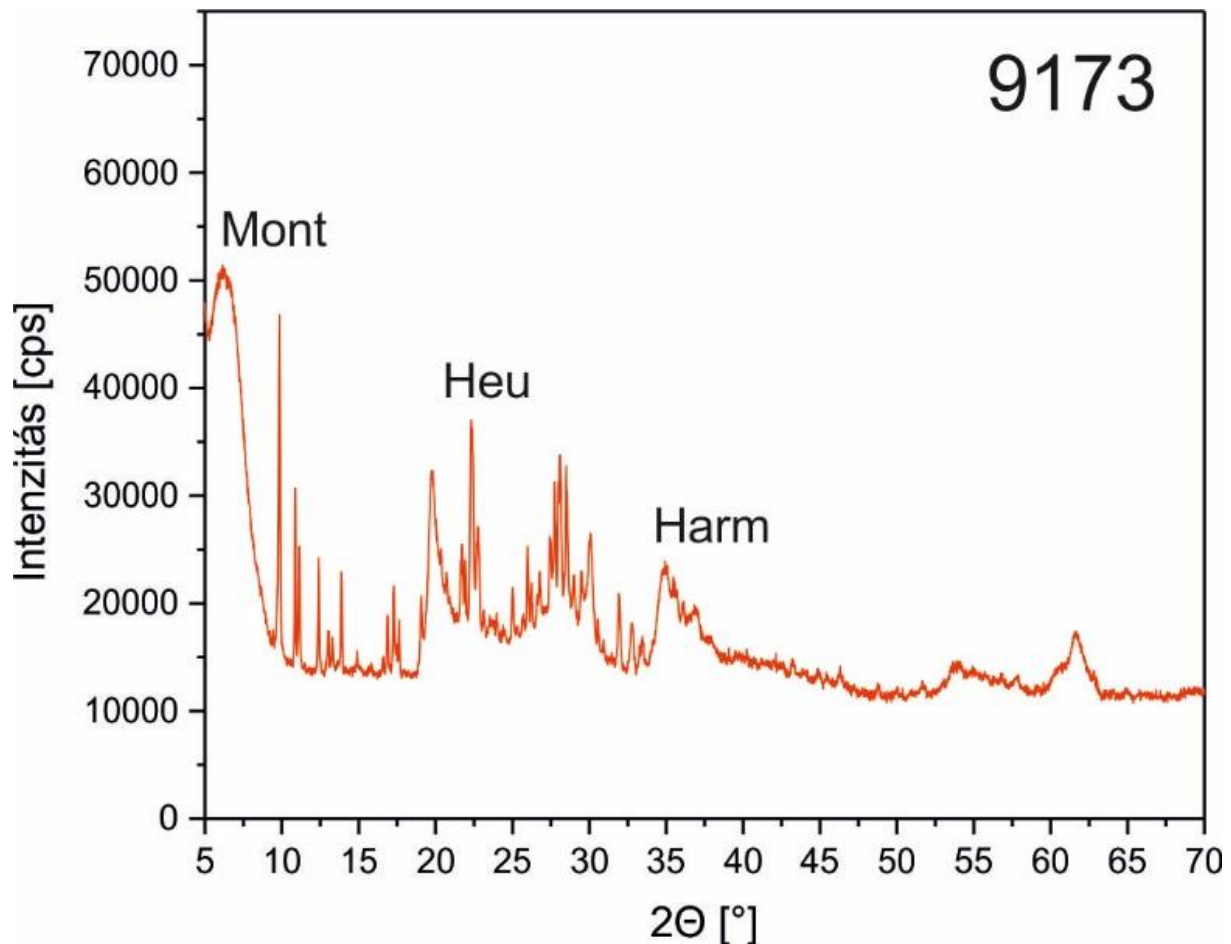
Röntgenpordiffrakcióval hét fűrőmag mintát vizsgáltam, illetve egy teljesen átalakult mintából vettem mérésre a $<63\ \mu\text{m}$ mérettartományú frakcióból mintát. A fűrőmagok makroszkópos megjelenése és az átalakulás jellege között összefüggés van: a piros szövetű fűrőmagokban heulandit $((\text{Ca},\text{Na})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al},\text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot 12\text{H}_2\text{O})$ és harmatom $(\text{Ba}_2(\text{Si}_{12}\text{Al}_4)\text{O}_{32}\cdot 12\text{H}_2\text{O})$ (mindkettő zeolit) jelenik meg. A a szürkés-zöldes fűrőmagokban montmorillonit $((\text{Na},\text{Ca})_{0.33}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2\cdot n\text{H}_2\text{O})$ agyagásvány van jelen a plagioklász mellett.



10. ábra. A 9171 minta röntgenpordiffrakciós felvétele



11. ábra. A 9172 minta röntgenpordiffrakciós felvétele



12. ábra. A 9173 minta röntgenpordiffrakciós felvétele

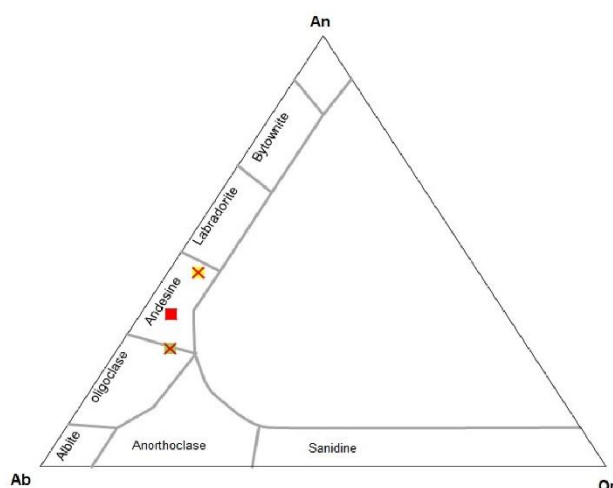
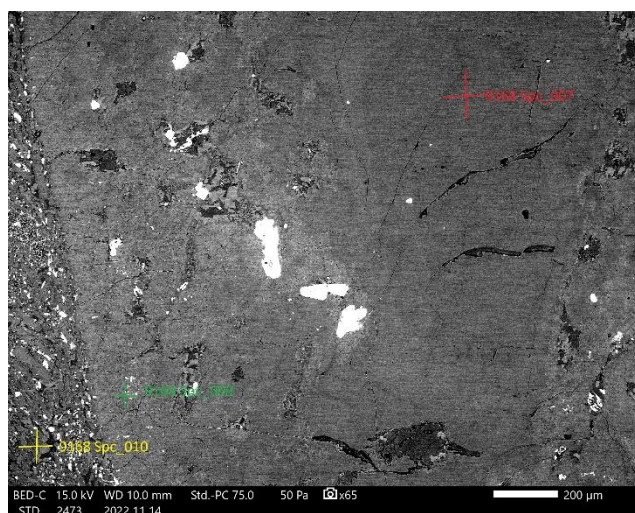
6.4 Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat

Egy darab komlói andezit (9168) és egy darab váraljai fűrőmag mintát (9175) vizsgáltunk.

- Komlói andezit (9168 minta, 13-14. ábra): A mikroszkóppal is azonosítható zónásság a visszaszórt elektronmikroszkópos képen is jól látható volt: az ásványszemcsék belső zónáiban arányaiban kicsit több albitos komponens, míg a külső zónában arányaiban kicsit több anortitos komponens volt jelen. Ilmenit és magnetit szemcsék voltak még a mintában.
- Váraljai andezit (9175 minta, 15. ábra): A plagioklász mellett ebben a mintában kvarcot, illetve szmektitet azonosítottunk. A plagioklász hasonlóan a komlói feltárás andezitjéhez koncentrikus zónásságot mutat, Na dúsabb maggal és Ca dúsulással a peremek felé.

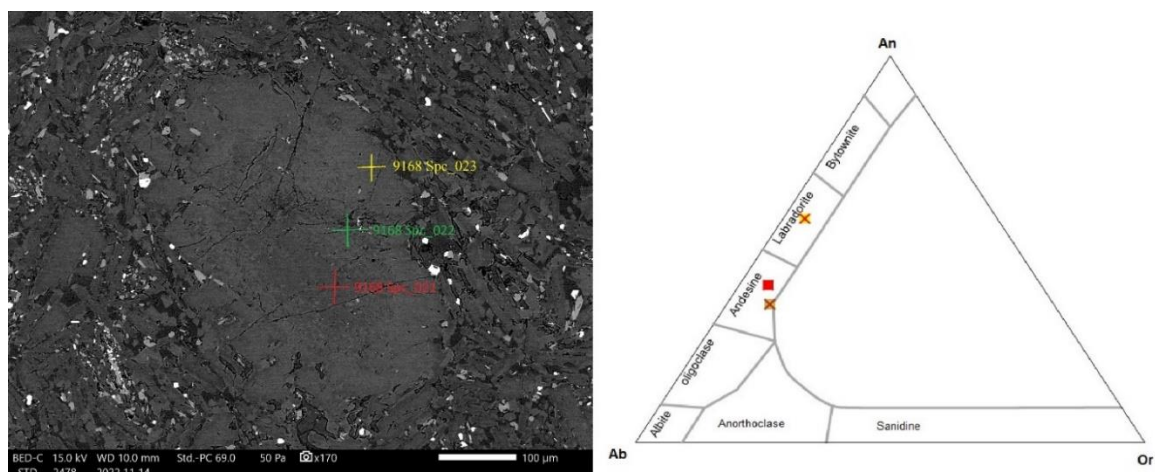
Az eredmények jól mutatják azt, hogy a komlói andezit porfíros plagioklászainak belső, sötétebb zónája Na-ban dúsabb, ami a földpátok diszkriminációs diagramján oligoklászos, andezines összetevőt mutat, míg a külső zónái Ca dúsabbak. A diszkriminációs diagramon ez az andezines összetevőnek a felső határa (13. ábra), vagy már labradoritot is mutat (12. ábra).

A Váraljai andezit világos tartománya is Ca dúsabb, a háromszögben szinte ugyanazt az andezines összetételt mutatja a két vizsgált területen (15. ábra – 9175 Spc_004 és 9175 Spc_005). A belső, sötét zóna értéke magas albit és arányaihoz képest magas ortoklász összetevőt mutat – ennek értéke már az anortoklász zónájába tartozik. (15. ábra)



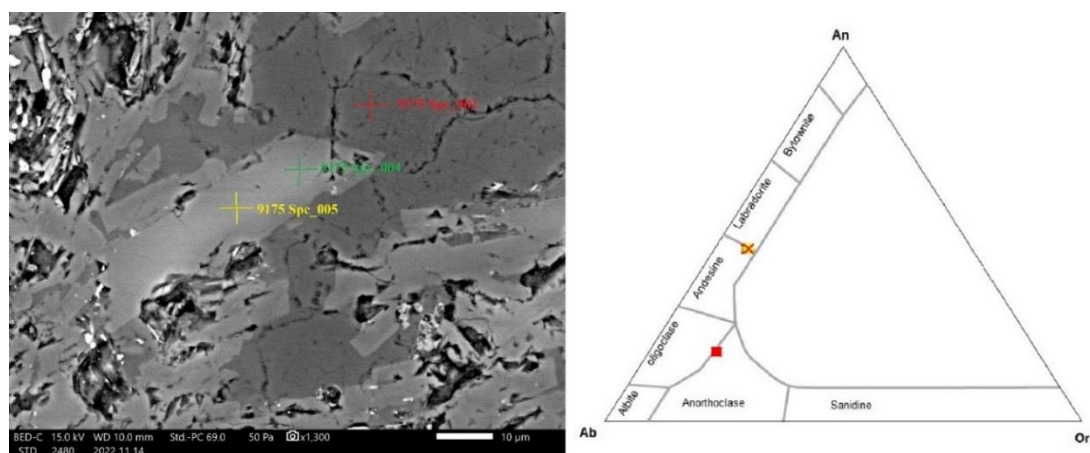
Minta	An	Ab	Or
9168 Spc_007	35,31	59,11	5,58
9168 Spc_009	27,43	63,26	9,31
9168 Spc_010	44,92	49,46	5,62

13. ábra. A 9168 minta BSE képe és az ásványtani összetétel



Minta	An	Ab	Or
9168 Spc_021	40,59	53,54	5,87
9168 Spc_022	35,82	55,54	8,64
9168 Spc_023	57,91	37,72	4,37

14. ábra. A 9168 minta és a labradoritos összetétellel rendelkező plagioklász külső magja



Minta	An	Ab	Or
9175 Spc_002	18,49	67,18	14,33
9175 Spc_004	46,08	47,22	6,70
9175 Spc_005	46,05	46,63	7,32

15. ábra. A Váralja-11. fűrásból származó mintának az elektronmikroszkópos képe és a mért pontok és ásványtani összetételük

6.5 K/Ar radiometrikus kormeghatározás

A mérés során a komlói andezitmintákat (9167-9169 mintaszám) 3 módon is mértünk: teljes kőzetet, valamint nehézfolyadékos szeparálás után könnyű – és nehézfrakciót. Az eredményeket a 3. táblázat mutatja. Az előzetes ásványtani vizsgálatok alapján a könnyű „plagioklász” frakcióban a porfíros plagioklász, az alapanyag plagioklásza és K-földpátja dúsul. A „nehéz” frakcióban az ilmenit-magnetit zárványos plagioklász valamint az átalakult amfibolok dúsulnak.

Labor minatszám	Lelőhely	Minta jellege	$^{40}\text{Ar}^*/\text{m} \times 10^{-6}$ [ccSTP/g]	$^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$	K [%]	Kor [millió év]
9167	Komló, Macskalik kőfejtő	teljes kőzet	1.55	0.60	2.183	18,15±0,26
		plagioklász	1.90	0.65	2.632	18,44±0,26
		nehéz, 2.66 g/cm ³	1.33	0.42	1.727	19,63±0,28
teljes kőzet		1.54	0.56	2.213	17,79±0,25	
teljes kőzet		1.55	0.62	2.213	17,96±0,25	
plagioklász		1.86	0.56	2.602	18,26±0,26	
nehéz, 2.60 g/cm ³		1.62	0.45	2.256	18,43±0,26	
teljes kőzet		1.62	0.33	2.194	18,93±0,27	
plagioklasz		1.86	0.59	2.582	18,46±0,26	
nehéz, 2.65 g/cm ³		1.34	0.52	1.755	19,50±0,28	
9171	Váralja-11 fúrás	teljes kőzet	1.65	0.59	2.552	16,54±0,24
9172		teljes kőzet	1.46	0.47	2.05	18,21±0,26
9173		teljes kőzet	1.08	0.18	1.499	18,51±0,28
9174		teljes kőzet	0.72	0.42	1.134	16,30±0,23
9174		telies kőzet	0.74	0.42	1.134	16,66±0,24

3. Táblázat. A kőzetek K/Ar korának mérési eredményei táblázatba összefoglalva

A K/Ar mérések eredményeiből analitikai szempontból a következő következtetéseket lehet levonni. A minták bedúsulása azaz a $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$ viszonylag magas (0,33-0,62) leszámítva egy teljes kőzet mintát (9173) ami azt jelenti, hogy a minták atmoszférikus Ar kontaminációja alacsony volt. Ennek köszönhetően a mérések hibája is alacsonynak mondható

(ca. 1,5%). A minták K tartalma (K%) a „plagioklászok” esetében 2,6%, ami meghaladja a plagioklászokra jellemző 1% körüli értéket. Ez összhangban van a röntgendiffrakciós megfigyelések eredményeivel, amelyek a mintákban ortoklász (diffrakció alapján, ásványtani genetikai szempontból valójában inkább szanidin) jelenlétét mutatták. A felszínről vett minták teljes közet K tartalma (~2,2%) közel kétszerese a fúrásból származó átalakult minták K tartalmának, kivéve a 9171 számú mintát (K=2,552%).

A radiometrikus korok tekintetben a felszíni minták esetében legidősebb korokat minden esetben a nehéz frakciók adták (18,43; 19,50; 19,63 millió év), míg a legfiatalabb korokat a „plagioklász” és a teljes közet frakciók. A „plagioklász” frakciók korai egymással hibahatáron belül átfednek és egy átlag 18,3 millió éves kort adnak. Afürőmagok esetében a megfigyelt átalakulás ellenére a 9172 és a 9173 minták korai ($18,21 \pm 0,26$ millió év, valamint $18,51 \pm 0,28$ millió év) hibahatáron belül átfednek a felszíni minták teljes közet és „plagioklász” koraival. Két minta (9171, 9174) ezeknél jelentősen fiatalabb, de átfedő korokat adott ($16,54 \pm 0,24$ és $16,66 \pm 0,24$ millió év) ami a vizsgált minták Ar vesztes miatti fiatalodását sejteti.

7. Diszkusszió

A felszíni minták a mintaválogatás ellenére az elvégzett optikai mikroszkópos, pásztázó elektronmikroszkópos és röntgenpordiffrakciós vizsgálatok alapján csak részben tekinthetők üdének. Amíg a porfíros plagioklászok és az alapanyag földpátjai üdék, a porfíros amfibol és piroxén szinte teljesen átalakultak finom szemcsés oxidokká és agyagásványokká. A kristályosodás sorrendje szerint legelőször a porfíros, saját alakú amfibol és a porfíros plagioklász kristályosodhattak alacsonyabb hűlési sebesség mellett a magmakamrában. A magma sekély mélységű intrúziója során az alapanyag földpátjai (plagioklász és káliföldpát) kristályosodtak ki utoljára, így ennek a frakciónak a kora képviselheti a magma felszínre benyomulásának korát. Tiszta alapanyag frakciót szeparálni ugyanakkor nem volt lehetséges, mert a porfíros plagioklászt az alapanyag plagioklászától elkülöníteni nem volt lehetséges. Bár létezik erre példa (Lahitte és tsai 2019), az alapanyagban található apró hintés ezt mégsem teszi lehetővé nehézfolyadék segítségével. A nagyon finom magnetit-ilmenit hintés miatt szintén nem volt lehetséges teljesen tiszta nehéz és könnyű frakciók előállítás sem. Mindezek ellenére

az egymással hibahatáron belül átfedő „plagioklász” minták átlagos 18,3 millió éves analitikai kora jó eséllyel megfelelően közelíti a magma feláramlásának valós földtani korát.

Az alapanyag földpátjának (18,3 millió év) és a porfíros színes elegyrészek (>19 millió év) korának különbségére a viszonylag közeli Paks-2 fűrés biotitos andezitjének vizsgálata is szolgáltat példát (Balogh 1985), ahol a biotit korok 18,5-19,5 millió év között szóródtak. Ugyanezen fűrómag mintáin Benkó Zsolt által mért, de nem publikált biotit K/Ar korok megerősítik a Balogh (1985) által mért korokat, a plagioklászokon mért korok viszont hasonlóan a komlói andezitéhez 18,4 millió év körüli K/Ar kort adnak. A különböző ásványokon mért korok közti különbség oka lehet az ásványok különböző záródási hőmérséklete (biotit~450°C; plagioklász~250 °C), de csak lassú hűlés esetén. Mivel a magmafeláramlás gyors volt, a porfíros amfibol és biotit kora egy mélyebb magmakamrában történő kristályosodás korát őrizhette meg, míg a plagioklászok kora a kiömlés idejét. A két kor közötti különbség ugyanakkor jelentős, több mint 1 millió év. Ilyen hosszán fennálló magmakamrát nem feltételezünk. Az esetleges extra ^{40}Ar beépülésének kérdését csak ^{39}Ar – ^{40}Ar kormeghatározással lehetne megoldani.

A Váraljai-11 számú fűrásban harántolt andezit ásványtani és kőzettani szempontból igen hasonló a Macsaklik kőfejtő (Komló) andezitjéhez. Legjelentősebb különbség, a két kőzettípus átalakultsági fokában található. A kőfejtő gyenge átalakulásával szemben a fűrás intenzív montmorillonitos-zeolitos-kalcitos átalakulása alacsony hőmérsékletű (<200°C) fluidumok hatását valószínűsíti. Ezek a fluidumok már alkalmasak az amfibolon kívül a plagioklász átalakítására is és az Ar valamint a K mobilizációjára is. Ennek ellenére két minta, a 9172 és a 9173 is megtartotta látszólag mind a szülő mind a leányizotópokat, vagy hasonló arányban vesztett belőlük, így koruk megegyezik a Macskalik-kőfejtőjének andezitjével (átlag: 18,3 millió év). Két minta esetén (9171 és 9174) (bár közel esnek egymáshoz) egymással átfedő, de fiatalabb korokat kaptunk (átlag: 16,6 millió év), amely felfrissítést a fluidumok hatására bekövetkezett preferenciális Ar veszteséssel magyarázunk. A hasonló ásvány-kőzettani jelleg és a hasonló kor alapján a váraljai és a komlói andezittest hasonló genetikájú lehet.

A mért korokat összehasonlítva a korábban Árváné Sós és Ravasz (1976) által mért korokkal (20-21 millió év) jóval fiatalabb korokat kaptam. Az eltérést magyarázhatja az eltérő mintavétel, a korábban használt, de Árváné Sós és Ravasz (1976) által nem publikált, a számításhoz szükséges bomlási állandók, a különböző korsztenderdek használata és a

berendezések korszerűsége közti különbségek is (az Árváné Sós és Ravasz (1976) által végzett mérések a K/Ar labor legkezdetlegesebb berendezésén, a labor indulásakor készültek.)

Regionális földtani szempontból a benyomulás becsült kora (18,3 millió év) megegyezik a Sebe és tsai (2022) által valószínűsített rétegtani korrall. Ugyan a Paks-2 fúrás által harántolt andezit intrúzió porfirjai biotitosak, a két viszonylag közeli magmás test plagioklászainak K/Ar radiometrikus kora (Benkó Zs, nem publikált adatok; Balogh 1985) szintén átfedést mutat.

8. Összefoglalás

- A komlói – és a váraljai andezit ásvány és közettani szempontból nagyon hasonló, porfíros andezit trachitos (folyásos) szövettel. Porfirjait amfibol utáni átalakok és zónás, saját alakú plagioklász porfírok, alapanyagát plagioklász és szanidin alkotja.
- A K/Ar radiometrikus mérések analitikai szempontból megbízhatóak a mért magas K tartalom, a jelentős bedúsulás és a megismételt mérések reprodukálhatósága alapján.
- A komlói andezit átlagos, plagioklászra mért kora $18,38 \pm 0,26$ millió év, ami tekinthető a közet földtani (megszilárdulási) korának.
- A komlói és a váraljai andezit kora is egymással azonosak és ~18,3 millió évesnek. A nagymértékű zeolitos-agyagásványos-kalcitos átalakulás a Váralja 11. számú fúrásban fiatalította a többi fúrómagminta korát (16,6 millió év) – argonvesztés következhetett be.
- A komlói andezit kora egybevág a Paks-2 fúrás andezittest korával.

9. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönöm témavezetőimnek, Benkó Zsoltnak és Sebe Krisztinának a sok segítséget, a biztatást és támogatást, az elméleti alapoknak a megteremtését, illetve szakmai szempontból tekintve a hasznos tanácsokat.

Köszönöm Molnár Kata segítségét a munkám során, a hasznos tanácsokat és az ATOMKI intézetében való eligazodásban való segítséget.

Továbbá köszönöm mindazoknak az embereknek a munkáját, akik szintén elősegítették ennek a dolgozatnak a megszületését, akik odaszánták mind az idejüket, mind a tudásukat a mérésekhez és akik támogattak engem. A mintázási lehetőségért Sütő Róbertet és Kablár Jolánt (Strabag Zrt.), a röntgendiffrakciós vizsgálatok elvégzéséért Csík Attilát, a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok elvégzéséért pedig Döncző Boglárkát (mindketten Atommagkutató Intézet) illeti köszönet. A minták kálium mérését Mizsák Anna végezte el. A vékonycsiszolatok elkészítésében Simon István volt segítségemre. A munka a 138638 sz. OTKA/NKFIH projekt keretében készült.

10. Felhasznált irodalom

- ÁRVÁNÉ SÓS E. & RAVASZ CS. (1976): A komlói andezit K-Ar kora. – Földtani intézet Évi jelentése 1976-ról, pp. 201-208.
- BALOGH K., IMREH L., KILÉNYI T. (1956): A Pécs-Komlói fekete kőszénvonulat (Mecsekhegység) szerkezeti vázlata. – Földtani Közlöny 87. 3.
- CHIKÁN G. (1991): A Nyugati-Mecsek kainozóos képződményei. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve LXXII, Budapest, 281 p.
- GILLOT, P-Y. CORNETTE, Y., MAX N. FLORIS B. (2007): Two reference materials, trachytes MDO-G and ISH-G, for argon dating (K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) of Pleistocene and Holocene rocks. – Geostandards Newsletter. DOI: 10.1111/j.1751-08X.1992.tb00487.x
- GYALOG L. (2005): Magyarázó - Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása) 1:100 000. Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet, pp. 68-69., 74. 79-81., 110-111., 114.
- HARANGI SZ., SEBE K. (in press): Komlói Andezit Formáció. In: BABINSZKI E., PIROS O., CSILLAG G., FODOR L., GYALOG L., LUKÁCS R., KERCSMÁR ZS., LESS GY., SELMECZI I., SEBE K., SZEPESI J., SZTANÓ O. szerk. (eds.): Magyarország kainozóos litosztratigráfiai egységei. Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest.
- HÁMOR G. (1970): A Kelet-Mecseki miocén. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, pp. 68-71.

- Hess J.C., Lippolt H.J. (1994): Compilation of K-Ar measurements on HDB-1 standard biotite 1994 status report. in: Odin G.S. (ed): Phanerozoic Time Scale. Bull. Liais . Inform. IUGS Subcom Geochronol. 12 Offset Paris, 1994.
- KOVÁCS I., SZABÓ CS., BALI E., FALUS GY., BENEDEK K. & ZAJACZ Z. (2007): Palaeogene—Early Miocene igneous rocks and geodynamics of the Alpine—Carpathian Dinaric region: An integrated approach. Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. 418, 93—112.
- LAISZ L. (2018): A mecseki miocén andezitvulkán térinformatikai modellje. TDK dolgozat, Pécsi Tudományegyetem
- NÉMEDI-VARGA Z. (1967): A Mecsek hegységi andezit vulkánosság – Földtani Közlöny 97. pp. 396-413.
- NÉMEDI-VARGA Z. (1967): A Mecsek hegységi andezit vulkánosság. – Földtani Közlöny 97. pp. 396-413
- NÉMEDI-VARGA Z. – SZILÁGYI T. (1974): Jelentés a Komló-170. sz. kőszénkutató fúrás anyagvizsgálatáról. I.-II. – Földtani Intézet Adattár
- ODIN G. S. (1982): Numerical dating in stratigraphy. – John Wiley and Sons. Chicester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore
- 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 are. – Geologica Carpathica 57/6, pp. 511-530.
- PORDÁN S. (1983): Az andezit fekvésében lévő tufás képződmények közettani és földtani vizsgálata az Északkeleti-Mecsekben. Földtani Kutatás XXVI. évfolyam (1983. év) /2-3, 95–98.
- SINGH P., PATEL R., CHAUDHARY S.K. (2022): Apatite Fission Track Thermochronology: fundamentals, technique and review study from the Garhwal-Kumaun region, NW-Himalaya. – Himalayan Geology 43(1A) : 96-110.
- SEBE K., SELMECZI I., SZUROMI-KORECZ A., HABLY L., KOVÁCS Á., BENKÓ ZS. (2019): Miocene syn-rift lacustrine sediments in the Mecsek Mts. (SW Hungary). – Swiss Journal of Geosciences 112, pages 83–100.
- SEBE K., LAISZ L., HARANGI SZ. (2022): Miocene andesite volcanism in the Mecsek Mts, SW Hungary. in: Šujan, M. (ed.): ESSEWECA: Environmental, sedimentary,

stratigraphic and structural evolution of the Western Carpathians. Abstract book. Bratislava, 2022.12.08-09.

STEIGER, R. H. AND JÄGER E. J. (1977): Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. Earth and Planetary Science Letters 36/3. 359-362.

SZÉKY-FUX V., RAVASZ CS. & PÉCSKAY Z. (1991): Tertiary volcanism in the Pannonian Basin. In: KARAMAT, S. (ed): Geodynamic Evolution of the Pannonian Basin. – Academic Conference of the Serbian Academy of Science and Arts 62, Dept. at. Math. Sci. 4, pp. 289-305.