

Ritkaföldfém- és ritkaelem-dúsulás a Bükk hegység délkeleti részének vulkáni eredetű kőzettesteiben

NÉMETH Norbert¹, BARACZA Mátyás Krisztián², KRISTÁLY Ferenc¹, MÓRICZ Ferenc¹, PETHŐ Gábor², ZAJZON Norbert¹

¹Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet

²Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet

Rare earth and rare element mineralization in metavolcanic rock bodies in the SE part of the Bükk Mts

Összefoglalás

A Bükk hegység délkeleti részén egy korábban nem ismert ritkaföldfém-, Y-, Zr-, Nb- és Th-dúsulást tartalmazó ásványtársulást találtunk, melynek fő ásványai monacit-Ce, cirkon- és nióbbium-tartalmú titán-oxidok. Az eddig vizsgált előfordulások anyakőzetei tűzköves mészkőbe közberétegzett metavulkanittek, amelyek egy Ny–K-i irányú, a Hór-völgytől a Felső-Kecske-várig követhető szerkezeti határzónában helyezkednek el. A testeket kálimetaszomatikus hatás érte, amely a zóna további metavulkanitjaira is kiterjed, és a RFF- és ritkaelem-ásványokkal együtt felülbélyegzi a metamorf vagy korábbi kőzetelváltozásokból származó ásványtársulásokat és a képlékeny deformációs szöveti elemeket. A káliumdúsulás, valamint a cirkonba és monacitba épült tórium révén spektrális természetes gamma-mérésekkel térképeztük fel az érintett kőzettestek kibúvásait.

Kulcsszavak: ritkaföldfémek, metasomatózis, radiometrikus térképezés

Abstract

A mineralization with REE, Y, Zr, Nb and Th enrichment was found in the SE part of the Bükk Mts, NE Hungary. The mineralization comprises of monazite-Ce, zircon and Ti-oxides with Nb content. The host rock bodies of the occurrences explored so far are metavolcanics interbedded within cherty limestone, situated in a W–E striking structural boundary zone from the Hór Valley to the Felső-Kecske-vár Hill. The metavolcanics along this zone were affected by potassic metasomatism. This metasomatism along with the REE–Zr–Nb mineralization overprints the metamorphic or previously altered mineral assemblages and ductile deformational fabric of the rocks. Using the K-enrichment and the Th incorporated by zircon and monazite, spectral natural gamma measurement was applied for mapping the outcrops of the affected rock bodies.

Keywords: rare earth elements, metasomatism, radiometric mapping

Bevezetés

2014 folyamán a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani intézete a CriticEl projekt keretében mintavételezést végzett a Bükk keleti részének metavulkanit-kibúvásain. A cél elsősorban a kőzetek ritkaföldfém-tartalmának megismerése volt (ZAJZON et al. 2014), de a mintákról számos más nyomelemre is kiterjedő kémiai és röntgenfluoreszcens (XRF) elemzés készült. A Latorútra lejtő Kőrös-völgy egyik útbévágásából származó minta bükki és magyarországi viszonylatban kiemelkedő, 700 mg/kg-os ritkaföldfém-tartalma mellett ittriumból, nióbbiumból, tantálból, cirkóniumból és tóriumból is jelentős mértékű dúsulást tartalmazott a többi mintára jellemző koncentráció-értékekhez képest. Ezek a sukorói beforsíté-

hoz (SZAKÁLL et al. 2014a) mérhető és a számos ritkaföldfém-ásványt tartalmazó mecseki fonolitét (SZAKÁLL et al. 2014b) meghaladó koncentrációadatok. A felső földkéreg átlagához (RUDNICK & GAO 2003) képest ez összességében a ritkaföldfémek 4,4-szeres dúsulását jelenti, Y és Zr esetén e fölötti (5 és kb. 7-szeres), Nb, Ta és Th esetében pedig a tízszeres is meghaladja. A kémiai eredmények nyomán további vizsgálatokat folytattunk az ásványos összetétel meghatározására, a dúsulást hordozó kőzettest lehatárolására, és további hasonló kőzettesteket is keresni kezdtünk.

Mivel a kőzetanyagon semmilyen szabad szemmel, vagy lupéval megfigyelhető bélyeg nem utal az anomális koncentráció és az azt hordozó ásványok jelenlétére, a kiterjedés tanulmányozására a tóriumdúsulást használtuk fel.

Mivel a tórium teleptani dúsulásai rendszerint ritkaföldfémekkel és cirkóniummal társulnak, és a tórium monacitba és cirkonba épül be (pl. DILL 2010), feltehető volt, hogy az elemcsoport koncentrációi a vizsgált területen is erősen korreláltak. A tórium koncentrációja a bomlási sorában lévő ^{208}Tl β bomlását kísérvő karakterisztikus gammasugárzása folytán spektrális radiometriai úton mérhető, és a dúsulás a kőzet málladékán, illetve kisebb mértékben az azt tartalmazó talajon is kimutatható. Légi spektrális radiometrikus térképezéssel alacsony tóriumtartalmat mértek korábban ezen a területen (WÉBER 1983), ami arra mutatott, hogy a dúsult testek környezete inaktív, és a kontraszt még bolygatatlan talaj fölött mérve is elég jelentős lesz. A Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézetének scintillációs detektorával bejártuk a feltárás környezetének metavulkanit-kibúvásait. Természetes gammasugárzás-mérésekkel támogatott földtani térképezéssel lehatároltuk a dúsulást tartalmazó testek kibúvásait, és ezekből, valamint a nem tóriumdúsnak bizonyult testekből vett mintákon is végeztünk anyagvizsgálatokat. Ezen cikk célja a kimutatott ritkaelem-indikációról és az azt befogadó anyagokról eddig megismert adatok közzététele.

Földtani helyzet

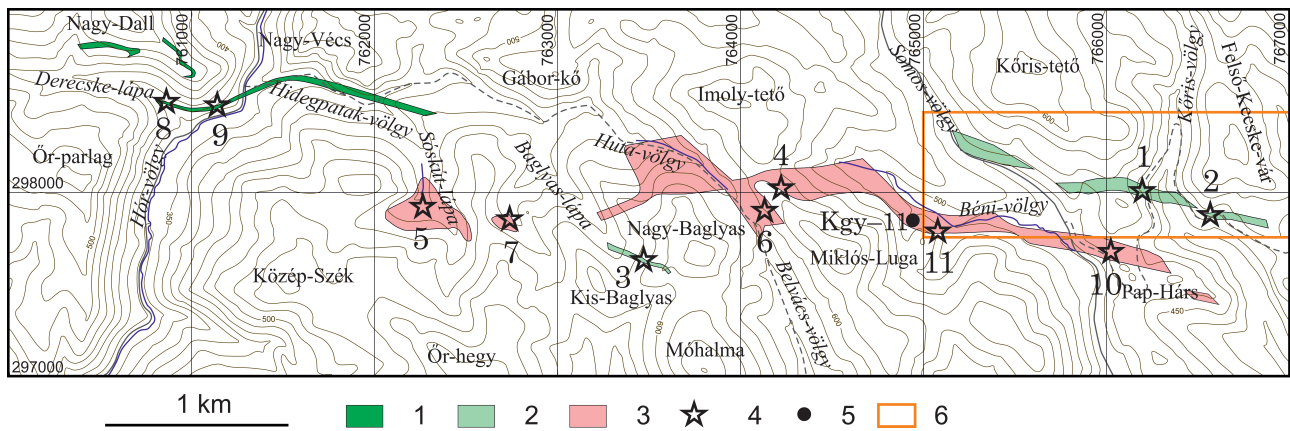
A Bükkben a Magyar Állami Földtani Intézet által végzett legutóbbi térképezési projekt (LESS et al. 2005) során, korábbi hegyszerszerkezeti és rétegtani elképzelések (BALOGH 1964, CSONTOS 1999, 2000, PELIKÁN 2002) nyomán kialakított rétegtani felfogás a triász üledékes kőzetek között megjelenő, különböző mértékben és módon metamorfizált vagy metasomatizált vulkáni, szubvulkanit és áthalmazott vulkáni eredetű anyagokat tartalmazó kőzettesteket négy különböző formációba sorolta. Mivel az ismeretes radiometrikus korok egy kréta korú, anchi–epizonális metamorfózissal összefüggésbe hozott, valamint az utáni hűlési eseményekre vonatkoznak (DUNKL et al. 1994, ÁRKAI et al. 1995), és a vulkáni eredetű kőzettestek szöveti jellegei, ásványos és kémiai összetétele egy kibúvási területen belül is változóak, ráadásul utólagos hatások — köztük regionális metamorfózis — által felülbélyegzettek (ÁRKAI 1973), a különböző szintek azonosítása elsősorban az üledékes keret alapján lehetséges. A későbbiekben leírt saját vizsgálataink is azt mutatják, hogy az ásványos és a kémiai összetétel, beleértve a kőzetben stabil nyomelemként közzetározásra használatos elemeket (pl. Zr, Ti, Y) is, metasomatikus folyamatok eredménye. Vulkanit eredetre utaló szöveti elemek is csupán a nem vagy kevésbé deformált mintákban találhatók. Ennek megfelelően a protolit általában nem határozható meg egyértelműen, ezért a továbbiakban összefoglaló néven metavulkanitoknak nevezzük e kőzettestek anyagát.

A formációk közül kettő, a Szentistvánhegyi Metaandezit és a Bagolyhegyi Metariolit a Nagy-fennsík északi oldalán, illetve attól keletre nagy területen összefüggő, helyenként jól feltárt kibúvásai alapján a felső-aniszi-

alsó-ladin, illetve a felső-ladin–alsó-karni emeletekre tehető, több száz méter vastag, önálló rétegvulkanit szinteket képvisel. Minden valószínűség szerint ezekhez tartoznak a Bánya-Bükk, a Kis-fennsík és környéke pikkelyeinek kisebb-nagyobb kiterjedésű metavulkanit-előfordulásai is. A harmadik formáció, a Szinvai Metabazalt egy az előbbiektől egy regionális vetőzónával elválasztott, eltérő tektonofációs¹ egység (Bükkszentkereszt tektonofációs, NÉMETH 2005) erősen redőzött tűzköves, medence kifejlődésű mészkövébe (Felsőtárkányi Mészkő Formáció) települ. Jellemző a vulkáni eredetű és a karbonátos anyag keveredése és a bázikus összetétel, valamint a legfeljebb néhány száz méteres vastagság. Lehetséges a több szintben való megjelenése is, de a kibúvások sávos ismétlődése sok esetben redőződésnek tulajdonítható. A Conodonta-meghatározással (KOVÁCS in LESS et al. 2005) vizsgált előfordulások késő-karninak adódtak. Végül a negyedik formáció, a Létrási Metabazalt egy kb. 50 000 m² kiterjedésű területen kibúvó, alkáli-dús bázikus kőzettestre alkalmazott név. A test a rétegsorban a Szentistvánhegyi és a Bagolyhegyi Formáció között elhelyezkedő Vesszősi Formáció sziliciklasztos törmelékes üledékes kőzeteibe van beágyazva, azonban határai és közvetlen környezete feltáratlan. A test szövete alapján intruzív, így autochton helyzetű is lehet, de minthogy a tektonofációs-határ erősen elnyírt zónájában helyezkedik el, tektonikusan elszakított pozíciója is elképzelhető egy Szinvai Metabazalthoz tartozó rétegtani szintből. Azon belül nem számíthatna egyedinek; hasonló szövetu és ásványos összetételű mintákat vizsgált például SZOLDÁN (1990) a Lusta-völgyben lévő metabazalt-kibúvásokból.

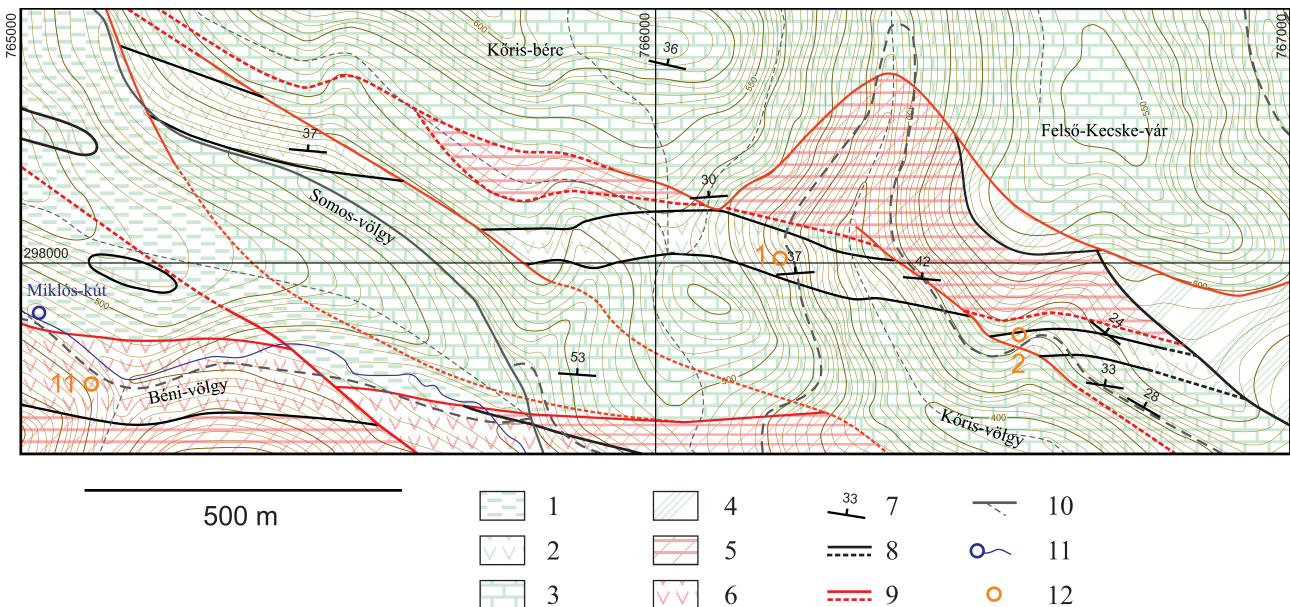
A korábbi, részletes kőzettani leírásokat adó közlemények mind a Lillafüred, Diósgyőr, Bükkszentlászló és Bükkszentkereszt környéki előfordulásokat dolgozták fel (SZENTPÉTERY 1923, 1929a, b, 1931, 1932, 1934a, b, 1935, 1936, 1937, 1950a, b; PANTÓ 1951; ÁRKAI 1973; SZOLDÁN 1990). A Bükkszentkeresztől délre eső hegység rész metavulkanit-kőzettestei e közlemények vizsgálati anyagaiból, sőt részben a földtani térképekről is kimaradtak. Amelyek felső-triász mészkövekhez kapcsolódnak, olykor anyagkeveredéssel átmenetekkel, valószínűleg a Szinvai Metabazalt rétegtani szintjéhez tartoznak; a Kisgyőr–11 fúrásban keresztezett test fekvését azonban a Hámori Dolomittal azonosították (LESS et al. 2005), így az a Szentistvánhegyi Metaandezitnek felelhet meg.

A Kőrös-völgyi előfordulás (1., 2. ábra, 1. pont és környezete) a létrási testhez hasonlóan egy olyan nyírózónában található, amelyet egy kelet–nyugati csapású sávban számos kis kiterjedésű, meredek határu, csapásban csak néhány száz méterig követhető vetősízel² épít fel. Ez is egy tektonofációs-határ, ami leginkább a mindkét oldalon jelenlévő tűzköves mészkő deformációs stílusának különbözőségében érhető tetten. A legszembevetőbb különbségek: az északi oldalon (Bükkszentkereszt tektonofációs) jellemzőek az 1C-2 osztályú redőformák (közel hasonló redők), a redőszárnyakon budinokra szabdalta, a forgókban ptigmatikus redőzött tűzkőrétegek, valamint a palásság menti lemezes hasadozottság, amely 30°–40°-ban északra dől. A



1. ábra. A Hór-völgytől a Felső-Kecske-várig terjedő terület áttekintő térképe a metavulkanit-kibúvásokkal
 1 – tűzköves mészkőbe települt rétegszerű testek (A csoport). 2 – kimutatható Th-dúsulást hordozó testek (B csoport). 3 – tömeges, K-dúsulást hordozó testek (C csoport). 4 – elemzett minták származási helyei; 5 – Kisgyőr-11 kutatófúrás helye; 6 – a 2. ábra térképének szegélye

Figure 1. Sketch map of the metavolcanic outcrops on the area extending from Hór Valley to Felső-Kecske-vár Hill
 1 – Stratiform bodies interbedded in cherty limestone (Group A). 2 – Bodies with measured Th-enrichment (Group B). 3 – Massive bodies with K-enrichment (Group C). 4 – Sites of assayed samples. 5 – Location of the mapping borehole Kisgyőr-11; 6 – Borders of the map on Figure 2



2. ábra. Földtani térkép a Kőrös-völgyi ritkalemeledulást hordozó metavulkanit-kibúvásról
 Zöld sraffozás - Bükk-szentkereszti tektofácieshez tartozó kőzettestek: 1 – aleurolitpala (Lök-völgyi F), 2 – metavulkanit (B csoport) (Szinvai Metabazalt F), 3 – tűzköves mészkő (Felsőtárkányi Mészkő F), 4 – tűzkőtörmelék (málladékkal fedett terület). Rózsaszín sraffozás - Kácsi tektofácieshez tartozó kőzettestek: 5 – cukorszövetű dolomit (Belvácsi Dolomit T), 6 – metavulkanit (C csoport) (Szentistvánhegyi Metaandezit F). Egyéb jelek: 7 – palásság, 8 – rátelepüléssel kontaktus, térképezett és valószínűsített, 9 – tektonikus kontaktus, térképezett és valószínűsített, 10 – utak, 11 – forrás és patak, 12 – elemzett minták származási helyei

Figure 2. Geological map of the outcrop of metavolcanics with rare element mineralization at the Kőrös Valley
 Legends: Green hatch - rock bodies belonging to the Bükk-szentkereszti Tectofacies: 1 – shale (Lök-völgyi F), 2 – metavolcanics (Group B) (Szinva Metabasalt F), 3 – cherty limestone (Felsőtárkányi Limestone F), 4 – chert debris (area covered by weathering products). Pink hatch - rock bodies belonging to the Kácsi Tectofacies: 5 – coarse grained dolomite (Belvácsi Dolomite Mb), 6 – metavolcanics (Group C) (Szentistvánhegyi Metaandesite F). Other symbols: 7 – cleavage, 8 – conform contacts (mapped and inferred), 9 – tectonic contacts (mapped and inferred), 10 – roads, 11 – spring and runoff, 12 – sites of assayed samples

déli oldalon (Kácsi tektofácies) ezzel szemben a párhuzamos redők, a lencsés vagy folytonos rétegszerű tűzkő vagy sziliklasztos közbetelepülések és az elsősorban réteglapok menti, pados elválás a tipikus. A tűzköves mészkövön túl a Bükk-szentkereszti tektofácieshez tartozó aleurolitpala, radiolarit és metavulkanit, valamint a Kácsi tektofácieshez tartozó cukorszövetű dolomit, tömeges mészkő és metavulkanit alkot a határozóna mentén térképezhető méretű, de sokszor szálfeltárás nélküli kőzettesteket.

A dúsulást hordozó kőzettest és környezete

A Kőrös-völgy Ny-i oldalán lévő (EOV x = 297980, y = 766220), középső részén 4–5 m magas, mintegy 20 m hosszú útbevágásban mészkőanyaggal kevert, rétegzett metavulkanit van feltárva (1., 2. ábra, 1. pont); minden réteg tartalmaz kalcitot. Ahol a szilikátos anyag dominál, a kőzet réteglapok mentén válik el padokra, amelyek felületei a palásság kifutása miatt erősen vonalkáztak, illetve szilán-

kosak. Szemcsék nem ismerhetők fel, viszont néhány mm széles és néhány cm hosszú, elnyúlt sötétebb zöldes és világosszürke foltok váltakoznak benne. Gyakoriak a mm-es vastagságú, a palásságot átmetsző fehér kalciterek. A padok dőlése közel függőleges, K–Ny-i csapású. A palásság mért dőléseinek átlaga $003^\circ/42^\circ$. Szcintillációs detektorral a feltáráson végzett mérések alapján a tóriumtartalom rétegről rétegre változó, és a szilikátos anyag mészkőhöz viszonyított arányával korrelált.

Ahol a mészkő az uralkodó anyag, ott a benne lévő cm-es vastagságú metavulkanit- és tűzkőrétegek cm-es hullámhosszal redőztek, illetve helyenként budináltak. A redőződés tengelye közel vízszintes. A palásság dőlése a mészkőben $355^\circ/25^\circ$, de 1–2 dm-enként ismétlődő, 1–2 cm vastag nyírszalagokban $350^\circ/52^\circ$ -ra változik. A deformációs stílus szerint a feltárt kőzettest a Bükkszentkereszti tektofacieshez tartozik.

Az út közel É–D-i irányban, azaz dőlésirány mentén keresztezi a kőzettestet. Bár a szálfeltárás ennél jóval rövidebb, mintegy 70 m-re tehető a metavulkanittal váltakozó tűzköves mészkő vastagsága. Ezen a szakaszon a tóriumdúsulás szcintillációs detektorral a törmeléken talajon, az úton is kimutatható, bár a feltáráshoz képest csökkent mértékben. Észak felé egy kis völgyhajlat után cukorszövetű, fehér dolomit szálfeltárási következik az útbeugrásban, közel 300 m-en keresztül. Ebben rétegzés vagy szöveti irányítottság nem figyelhető meg, és radiometrikusan inaktív. Itt a határ fedett, a Kőrös-völgy túlsó, K-i oldalán lévő útbeugrásban azonban fel van tárva (2. ábra, 2. ponttól ÉNy-ra). Ez egy hullámos, átlagosan $040^\circ/35^\circ$ dőlésű nyírózóna, amely mentén a dolomitban lemezes elválás, a mészkőben pedig egymást kis szögben metsző, cm-es térszerű kőzetrészek figyelhetők meg.

A feltárástól D-re az út mentén kb. 200 m-en keresztül folytatódik a tűzköves mészkő, de metavulkanit nélkül, kisebb szálfeltárással. Ennek és fedő málladékának gamma-aktivitása szintén alacsony. Még tovább dél felé egy kiszélesedő, kevésbé meredek völgyfőben (1. ábra, a 10. ponttól K-re) metavulkanit-törmelék található, de ennek anyagában nincs kalcit, és magasabb gamma-aktivitása alacsony Th- és U-tartalom mellett a kálium feldúsulásának köszönhető.

Spektrális radiometrikus térképezés

A természetes gamma-méréseket egy Gamma Surveyor típusú, 0,35 l térfogatú NaI(Tl) kristállyal ellátott kézi szcintillációs detektorral végeztük el. A műszert lehet egyszerű impulzusszámlálóként (keresési üzemmódban), integrális (az összes gamma-aktivitást differenciálatlanul regisztráló) dózismérőként, valamint spektrális üzemmódban használni. Ez utóbbi esetben a 100 keV-től 3 MeV-ig terjedő energiaszintű elektromágneses sugárzástartományt 512 csatornára (intervallumra) bontva történik az intenzitás regisztrációja. Az így mért értékekből elsősorban a három jellemző természetes gamma-sugárforrás, a ^{40}K , ^{214}Bi és a ^{208}Tl (az utóbbiak a ^{238}U és a ^{232}Th bomlási sorainak rövid felezési idejű elemei) koncentrációját, és abból az összes kálium-

valamint a bomlási egyensúly feltételezésével ekvivalens urán- és tóriumtartalmat (eU és eTh) számítja a műszer, és ezeket az adatokat jelzi ki, illetve tárolja el a felhasználó számára. A spektrum stabilizációjára ^{137}Cs kalibrációs izotóp szolgál. Ez a mérés azonban csak akkor szolgáltat használható eredményeket, ha legalább 2 perces mintavételezést végzünk egy helyen, míg keresési üzemmódban kb. másodpercenként történik új mérés. Még 2 perces mintavételezéssel is elég jelentős az eredmények szórása: egy korábbi, azonos helyen többször ismételt tesztmérésünk alapján 7–8 mg/kg-os tóriumtartalom mellett 1,5 mg/kg körüli volt az értéke (NÉMETH et al. 2015).

A térképezés során bejártuk és megmértük keleten a Felső-Kecskevártól nyugatra a Nagy-Dallig (a Hór-völgy nyugati oldaláig) fellelhető metavulkanit-kibúvásokat (1. ábra). Az anomáliát hordozó feltárástól nyugatra eső, a Somos-völgytől a Hór-völgyig terjedő területen 1971-ben már végeztek radiometrikus térképezést, de csak teljes (az összes radioaktív elemről együttesen származó) intenzitást jegyeztek fel, és a metavulkanitok kibúvásain a környezethez képest magas intenzitást találtak (GERZSON 1972). A bejárás során mozgás közben — nemcsak a metavulkanit-kibúvások fölött, hanem lényegében folytonosan — keresési üzemmódot használtunk, vagyis mi is teljes intenzitást mértünk. Az időigényes spektrális méréseket csak olyan helyen végeztük el, ahol kőzetkibúvások voltak, vagy legalább törmelék és altalaj került a felszínre (pl. kidőlt fák által felszakítva) egyébként feltáratlan területen, és a lokális intenzitásmaximumok kiválasztására törekedtünk. Néhány próbamérést végeztünk egyéb kőzetek kibúvásain is. A regisztrált eU-értékek a kőrös-völgyi feltárással kivételével néhány mg/kg-nyinak adódtak csupán, így azokat a továbbiakban nem használtuk fel.

Gamma-sugárzási tulajdonságaik és megfigyelhető jellemzőik alapján három fő csoportba soroltuk a vizsgált metavulkanittesteket:

A) A Bükkszentkereszti tektofacieshez tartozó redőzött, tűzköves mészkőben rétegszerűen megjelenő, lemezes elválásra hajlamos, legfeljebb néhányszor 10 m vastagságú, a Szinvi Metabazalt Formáció jellemzőit hordozó, mészkőanyaggal kevert metavulkanit. Mérhető K-tartalma 2–4% közötti, eTh-értéke 5 mg/kg alatti. Ilyen kőzettestek nyugaton, a Hór-völgy környékén bújnak a felszínre, meredek hegyoldalokon természetes sziklában feltártak, de legtöbbször csak törmelékben vagy útbeugrásokban találhatóak meg. Kelet felé a Hidegpatak-völgy mentén Sós-kút-lápa aljáig követhetőek ezek a rétegek.

B) Az előzőhöz megjelenésben és befogadó kőzetben hasonló metavulkanit, amely azonban Th-dúsulást tartalmaz. A mérhető eTh-értékek még kedvezőtlen helyzetben (mészkővel kevert anyagú törmeléken) is 10 mg/kg fölöttiek, egyébként 20–30 mg/kg-esek vagy nagyobbak lehetnek. A Kőrös-völgy mindkét oldalán útbeugrásokban feltárt test (2. ábra) egy K–Ny-i csapású sávban K-re a Felső-Kecskevár inaktív málladékkal fedett, ellaposodó gerincéig, Ny-ra pedig a Somos-völgyig volt követhető (két vető menti kielőződésen keresztül). Közel állandó csapása és szélessége azt

jelzi, hogy a határok feltárásban látható meredek állása végig megmarad. Egy másik, kisebb kiterjedésű, szintén sávszerűen kibúvó test a Nagy-Baglyas Ny-i oldalán található. Ez nincs feltárva, de törmelékben jól azonosítható a felső (K-i) végén éles, Ny-on a Baglyas-lápa völgytalpa felé bizonytalanná váló határokkal. Egy kevert anyagú törmelékletén ezen kívül a Miklós-luga É-i oldalán is találtunk magas Th-tartalmú metavulkanit-törmelékletet. A Középszék DNy-i oldalán pedig tűzköves mészkőbe települő törmelékes, finomszemcsés, nem meszes üledékekben mérünk hasonló koncentráció-értékeket.

C) A tektofácies-határon kibúvó, nem meszes metavulkanit. Szöveti képe változó. Finomszemcsés, olykor porfíros darabjai rendszerint palásak, de nincs a paláság mentén lemezhasadozottság, inkább izometrikus (olykor cm-es vagy apróbb) darabokra esik szét. Több helyen finomszemcsés mátrixban kerekded körvonalú, néhány cm átmérőjű, durvaszemcsés-porfíros szövetű foltok láthatóak. Vannak több mm-es kristályokból álló, irányítatlan szövetű, tömbös elválású részei is. A mátrix zöld, lilás vagy barnás színét a klorit- és a hematit-tartalom, illetve azok bontódása határozza meg. Folytonos átmenete valamely üledékes kőzettesthez sehol sincs feltárva, de kevésbé deformált jellege alapján a Kácsai tektofácieshez sorolható. Mérhető eTh-értékei 5–15 mg/kg közöttiek,

K-tartalma pedig az előzőekben leírt anyaghoz hasonlítól akár 6–9%-ig változhat. Kibúvásai Ny-on a Sós-kút-lápától K-en a Pap-Hársig követhetőek, gyakrabban feltárás nélküli törmelékfoltokban, de a Huta-völgyben természetes sziklákban is.

Anyagvizsgálati eredmények

Kémiai összetétel

A kémiai összetételt röntgenfluoreszcens spektrometriával volt módunk vizsgálni egy Rigaku Supermini 200 készülékkel (200W-os Pd röntgencső, 50 kV gyorsító feszültség, 4 mA áramerősség, LiF200 / PET / XR25 kristályok, 5 g préselt porminta, ZSX vezérlő és kiértékelő software). A kőris-völgyi feltáráson kívül (1. ábra, 1. pont) három további tóriumban dúsnak talált kibúvásról vett minta mérési eredményeit tartalmazza az 1. táblázat, valamint összehasonlítást két, illetve három további mintáét az A és a C csoportokból. Sajnos a ritkaföldfémek és a tórium mennyiségi elemzésére nem volt lehetőség ezzel az eljárással. Egy kőris-völgyi mintából, valamint összehasonlítást két közeli, a C csoportba sorolható mintából az MFGI laboratóriuma által végzett Li-metaborátos feltárás utáni ICP-MS (Elan DRC II. Perkin

I. táblázat. Röntgenfluoreszcens méréssel kapott vegyelemzési eredmények

Table I. Chemical composition measured by XRF

Minta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃ *	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Izz.v.
1a	57,1	12,6	2,47	10,6	0,65	4,62	3,83	0,037	0,261	0,044	7,5
1b	54,4	12,9	2,64	9,17	0,42	4,89	4,15	0,032	0,265	0,037	10,9
1c	55,2	11,5	2,33	10,6	0,49	4,61	3,36	0,038	0,230	0,037	11,4
1cs	58,3	12,6	2,41	0,22	0,66	4,91	4,57	<0,02	0,301	0,033	15,8
2	55,8	17,6	3,66	0,42	1,64	5,98	5,15	0,024	0,490	0,080	9,0
3	59,8	17,0	1,88	0,28	0,87	7,56	3,17	<0,02	0,268	0,059	8,9
4	53,2	17,6	3,25	0,48	3,52	2,28	5,72	0,031	1,34	0,215	12,2
5	64,1	16,8	2,57	0,17	0,04	5,14	2,94	0,014	0,288	0,071	7,8
6	56,7	13,2	2,18	0,37	0,43	6,32	4,61	0,047	0,583	0,121	15,4
7	55,0	17,5	2,92	0,13	0,17	8,50	5,36	0,010	1,040	0,049	9,3
8	37,9	12,9	8,78	2,70	1,71	3,63	9,38	0,120	1,79	0,205	20,8
9	37,2	12,7	8,17	4,51	1,77	2,90	10,7	0,120	1,69	0,170	20,0

Minta	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba	As	Cr	Co	Ni	Zr
1a	<10	126	31	189	73	77	n.a.	39	<10	16	1326
1b	<10	158	33	216	68	56	n.a.	30	<10	17	1389
1c	<10	123	40	203	84	66	<10	28	<10	14	1278
1cs	<10	165	47	285	10	86	11	33	<10	18	1752
2	<10	126	21	214	25	175	<10	29	<10	14	608
3	<10	134	44	161	73	151	19	21	<10	12	1235
4	10	316	22	40	110	68	<10	32	<10	35	490
5	<10	210	23	81	<10	419	<10	27	<10	<10	268
6	20	70	15	76	51	220	<10	45	<10	18	105
7	<10	68	<10	102	21	<10	<10	62	<10	20	144
8	66	139	<10	42	95	169	<10	124	34	50	111
9	32	97	<10	30	140	123	<10	122	31	46	101

A mintaszámok az 1. ábra mintavételi pontjait jelölik, a betűk az azonos helyről vett különböző mintákat. A cs jel a c jelű porminta ecetsavas kezelése utáni oldási maradékát jelöli. Az oxidos főelem-összetétel tömegszázalékban, a nyomelem-tartalom mg/kg-ban van megadva. n.a.: nem elemzett.

Numbers indicate sampling sites of Figure 1, letters different samples taken from the same sites. Sample 'cs' is the residuum of sample 'c' after acetous acid treatment. Major element oxide composition given in %, trace element concentration given in mg/kg. n.a.: not analysed.

II. táblázat. Li-metaborátos feltárás utáni ICP-MS és ICP-OES vegyelemzési eredmények**Table II.** ICP-MS and ICP-OES assays after Li-metaborate digestion

Minta	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃ *	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	SrO	TiO ₂	H ₂ O	Izz. v.
1	11,4	0,011	9,94	3,89	4,57	2,16	0,040	0,849	<0,15	55,7	0,009	0,26	0,49	10,6
10	14,9	0,026	5,78	5,84	6,79	2,85	0,054	1,15	0,156	51,6	0,006	1,02	1,19	7,97
11	17,5	0,017	0,25	6,20	8,65	3,93	0,037	0,856	<0,15	56,4	0,002	0,884	0,61	4,31

Minta	Ag	As	Be	Ce	Cd	Co	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Ge	Gd	Ho	La	Lu
1	0,32	15,5	8,96	313	<0,10	3,97	13,1	16,8	12,2	0,35	26,5	1,22	15,7	3,91	175,7	2,24
10	<0,10	7,79	0,994	30,0	<0,10	15,6	4,25	2,96	1,85	0,90	27,3	0,64	2,90	0,63	15,1	0,29
11	<0,10	4,69	0,997	27,8	<0,10	15,6	6,56	2,63	1,96	0,59	25,3	0,70	1,89	0,63	11,5	0,36

Minta	Nb	Nd	Pr	Rb	Sc	Sm	Sn	Ta	Tb	Th	Tm	U	Tl	W	Y	Yb
1	164	98,4	32,0	218	1,69	17,0	20,4	10,3	2,69	107	2,17	21,0	1,69	2,97	106	14,4
10	8,56	15,2	3,87	113	17,7	3,34	2,50	0,81	0,52	5,31	0,29	0,91	0,24	1,01	15,7	1,84
11	6,95	9,92	2,58	140	13,0	2,11	2,20	0,65	0,38	5,82	0,33	0,86	0,26	0,70	14,6	2,19

A mintaszámok az 1. ábra mintavételi pontjait jelölik. Az oxidos főelem-összetétel tömegszázalékban, a nyom-elemtartalom mg/kg-ban van megadva.

Numbers indicate sampling sites of figure 1. Major element oxide composition given in w%, trace element concentration given in mg/kg.

Elmer berendezéssel), illetve ICP-OES (Ultima-2C Jobin Yvon berendezéssel) elemzés egészíti ki ezeket az adatokat (II. táblázat). A kőzetalkotó elemeken túl 32 nyomelemről készült elemzés, ebben a teljes ritkaföldfém-csoport, valamint a radioaktív U és Th is benne foglaltatik. A kálium, illetve a három mintában az urán és a tórium elemzési eredményei általában megerősítik a radiometriai méréseket és az ezek alapján kialakított csoportosítás helytállóságát.

A B csoportbeli 1. és 3. pontokból vett minták közös jellemzője a magas kálium- és alacsony nátriumtartalom (1% alatti Na₂O), valamint az 1000 mg/kg fölötti cirkóniumtartalom. Az 1. pontbeli 10% körüli CaO-tartalom ecetsavas kezeléssel eltávolíthatóknak bizonyult (1cs minta), vagyis döntően kalcit hordozhatja; a kezelés után a stroncium, a mangán és a foszfor kivételével valamennyi mért összetevőben nagyobb koncentrációt lehetett megállapítani. A 2. pont mintája is ezekhez hasonló, de valamivel magasabb nátrium- és jóval alacsonyabb cirkóniumtartalommal. A 4. pont mintája viszont különbözik ezektől a káliumot meghaladó nátriumtartalommal és a cirkóniumdúsulás szerényebb mértékében, valamint az 1% fölötti TiO₂-tartalommal.

Az A csoportot képviselő 8–9. minták jellemzője az alacsony SiO₂- és alkálifém-tartalom, viszont magas vas- és titántartalom. A C csoportból vett 5–6–7. minták magas kálium-, valamint alacsony kalcium- és nátriumtartalommal jellemezhetők (1% alatti Na₂O és CaO), és a cirkóniumon kívül az egyéb röntgenfluoreszcenciával mért nyomelemekben nem térnek el jelentősen a B csoporttól. Annál jelentősebb a különbség a kémiai úton meghatározott nyomelemekben: 5–10-szeresek a Be, Sn, Y és a legtöbb ritkaföldfém, és több, mint 10-szeresek a La, Nb, Ta, Th és U koncentrációi az 1. mintában a C csoporthoz tartozó 9–10. mintákhoz képest. Kivételt képez azonban a ritkaföldfémek közül az Eu, amelynek koncentrációja alacsonyabb, csakúgy, mint a Sc és a Co koncentrációi.

Ásványos összetétel

Az ásványos összetételt vékonycsiszolatokon optikai mikroszkóppal (Zeiss Axio Imager A2m mikroszkóp, AxioCam MRc 5 kamera), pormintákon röntgendiffrakcióval (XRD — Bruker D8 Advance készülék, Cu-K α sugárforrás, Göbel-tükör, 40 kV, 40 mA áram, Vántec-1 detektor), felületi csiszolatokon pedig elektron-mikroszondával (JEOL JXA-8600 Superprobe, 15–20 kV, 20 nA áram), visszaszórt elektronképen (BSE) és energiadiszipatív röntgen-spektrometriával (EDX) tanulmányoztuk. Az elemterképeket EDX-szel, 1 μ m-es nyalábátmérővel és a fenti beállításokkal készítettük.

A Kőrös-völgyi feltárásokból vett mintákban (1. ábra, 1–2. pontok) XRD méréssel kimutatható, kőzetalkotó mennyiségben kvarc, alacsony hőmérsékletű albit, mikroklin, muszkovit és kalcit található (III. táblázat). A szövet irányított: térközös, fonatos mintázatú palásság járja át. A palássági domének elsősorban csillámokból és jellemzően né-

III. táblázat. A vizsgált minták XRD méréssel kimutatott ásványai a mintaszámok az 1. ábra mintavételi pontjait jelölik**Table III.** Mineralogical composition of the studied samples detected by XRD, Numbers indicate sampling sites of figure 1

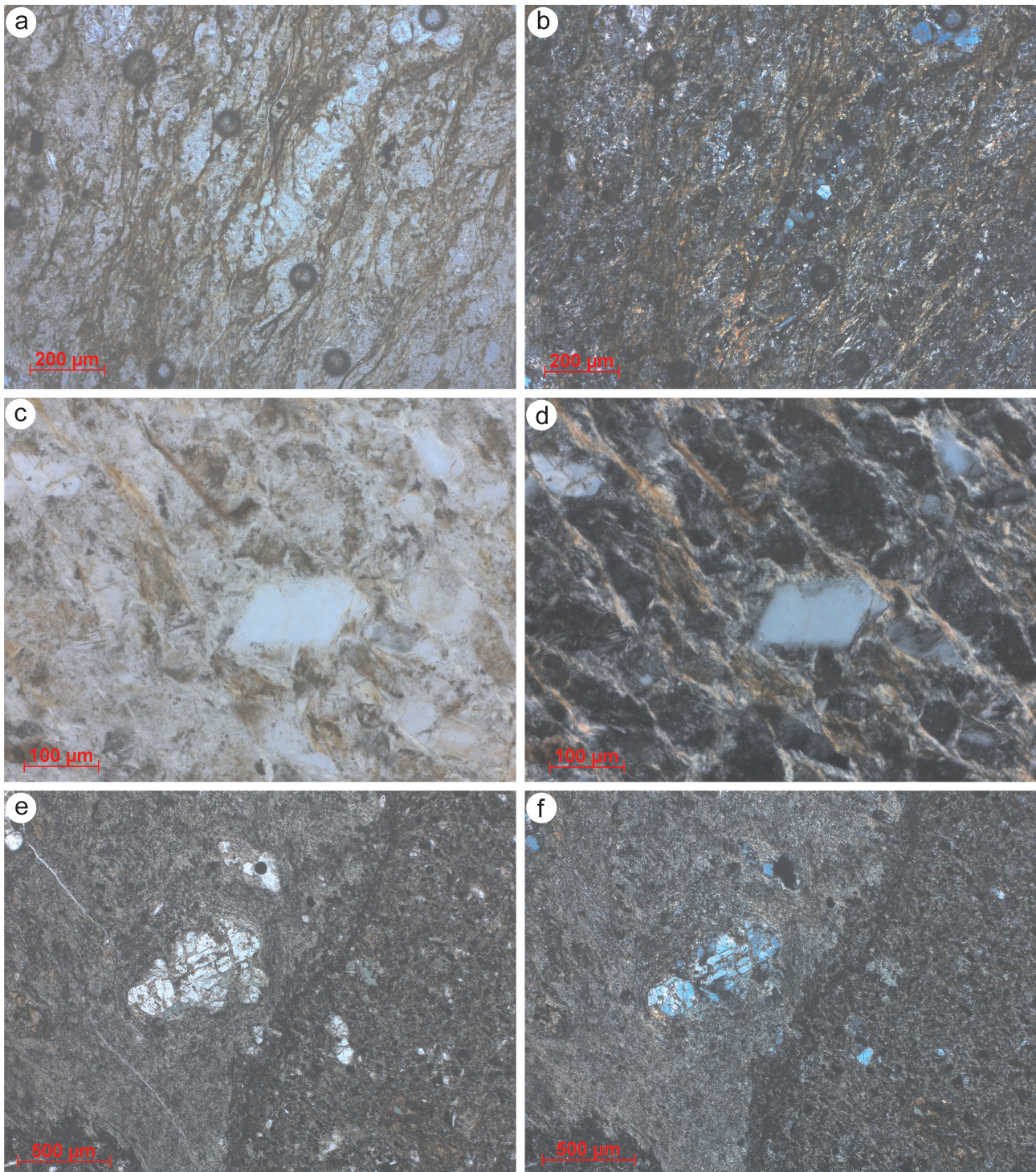
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kvarc	xxx	xx	x	xxx	xxx	xxx	xx		x
Káliföldpárok	Mikroklin	x	xx	xx				xxx	xx
	Ortoklász			xxx	x	xxx	xx		
	Szanidín					xx	x		xx
Plagioklászok	Albit	x	xxx		xxx	x		xxx	xxx
	Oligoklász			<x					
Karbonátok	Kalcit	xx						x	x
Csillámok	Muszkovit \pm biotit	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx		
Agyagásványok	Szmektit 14A	x	x		x	<x			x
	Illit							xx	
Kloritok	Klinoklór		x		xx	x		x	xxx
Oxidok	Anatáz	<x	x	<x	x	<x	<x		
	Hematit			x			x	<x	

xxx - nagy mennyiségben kimutatható; xx - kis, de kőzetalkotó mennyiségben kimutatható; x - kis mennyiségben kimutatható; <x - járulékos mennyiségben kimutatható.

xxx - detected in large quantity; xx - detected in smaller quantity but as rock forming mineral; x - detected in minor quantity; <x - detected as accessory mineral.

hány μm -es vasásványokból (feltehetően oxi-hidroxidokból) állnak, olykor kloritot is tartalmaznak, míg a mikrolitonok hasonló méretű kvarc-, mikroklin- és kalcitkristályok elegyei. A palássággal közel párhuzamos lencseként vagy érként előfordul néhány 10 μm -es, egyenes

szemcsehatárokkal érintkező földpátok halmaza is (3. ábra, a, b). Gyakoriak a palásságot kis szögben metsző nyírósza-
lagok, valamint a mikrolitonok szigmoidális átmetszetei, olykor szigma-klasztként felismerhető szemcsehalmazokkal (4. ábra a, 5. ábra). Mikrolitonok vagy erek határain,



3. ábra. Vékonycsiszolatok mikroszkópi felvételei a mintákról

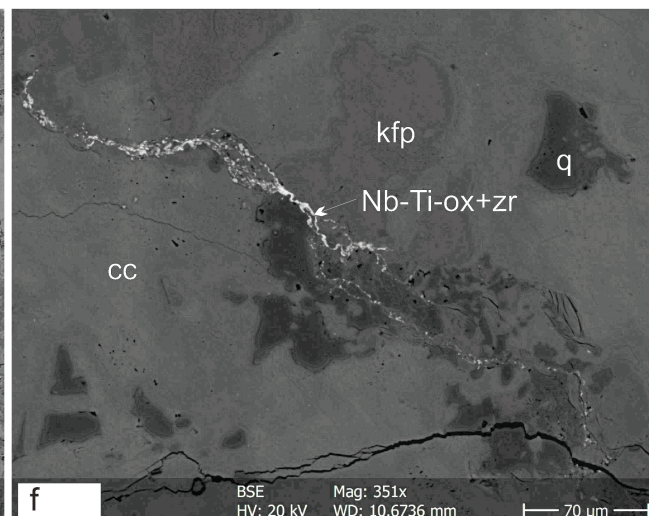
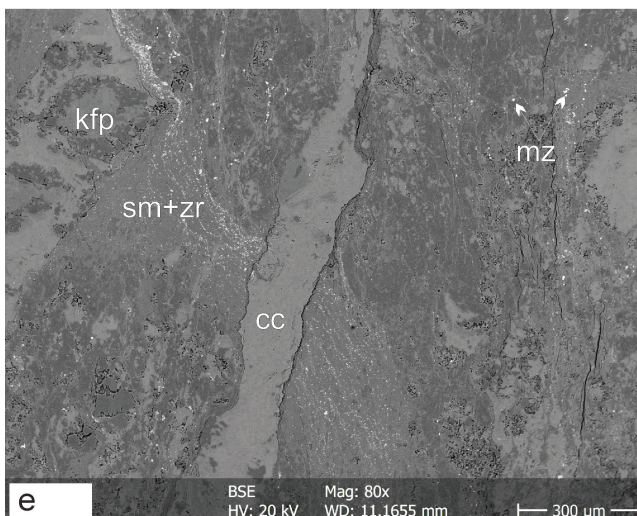
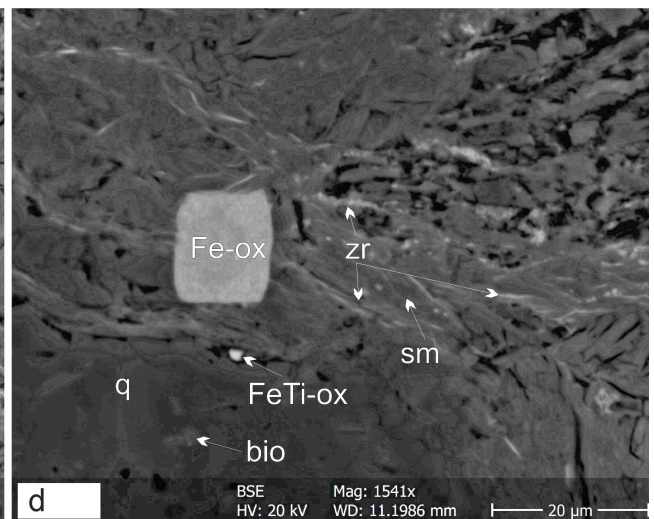
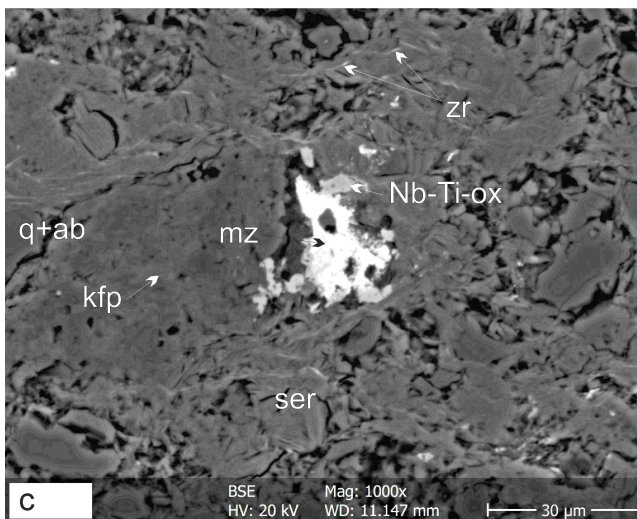
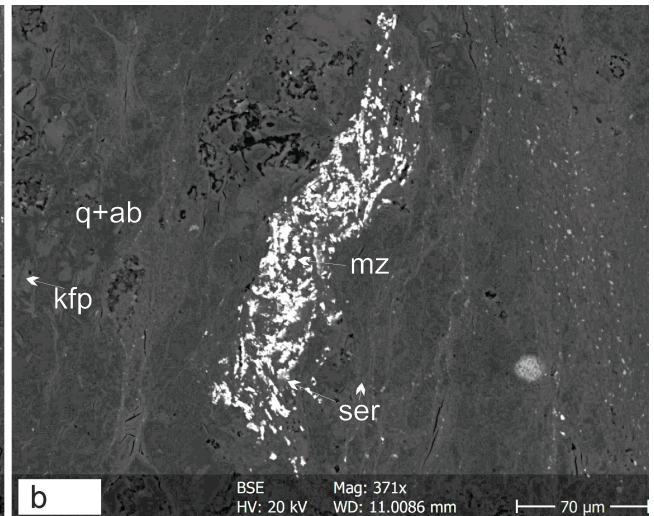
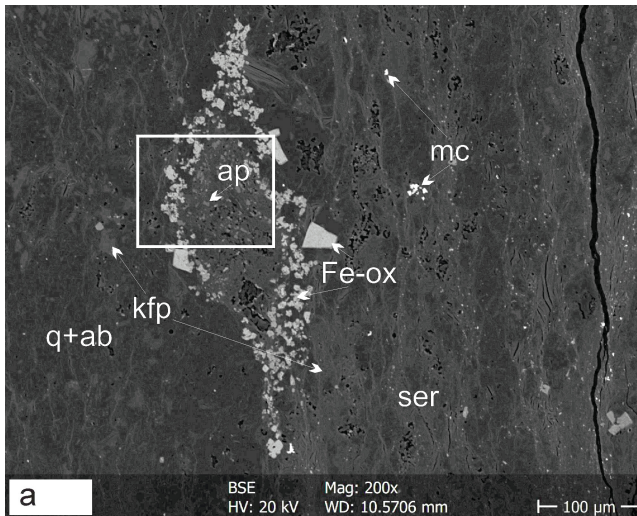
a, b: csillámos palássági domének és káliföldpátos mikrolitonok az 1. mintában. 1N és xN; c, d: sajátalakú ortoklász a 3. minta irányított szövetében. 1N és xN; e, f: közettöredék (bal oldal) és mátrixa (jobb oldal) határa a 7. mintában. A közettöredék fluidális szövetű, relikv plagioklász fenokristállyal. Mindkét oldalon szemcsékhez kötődő klorit. 1N és xN

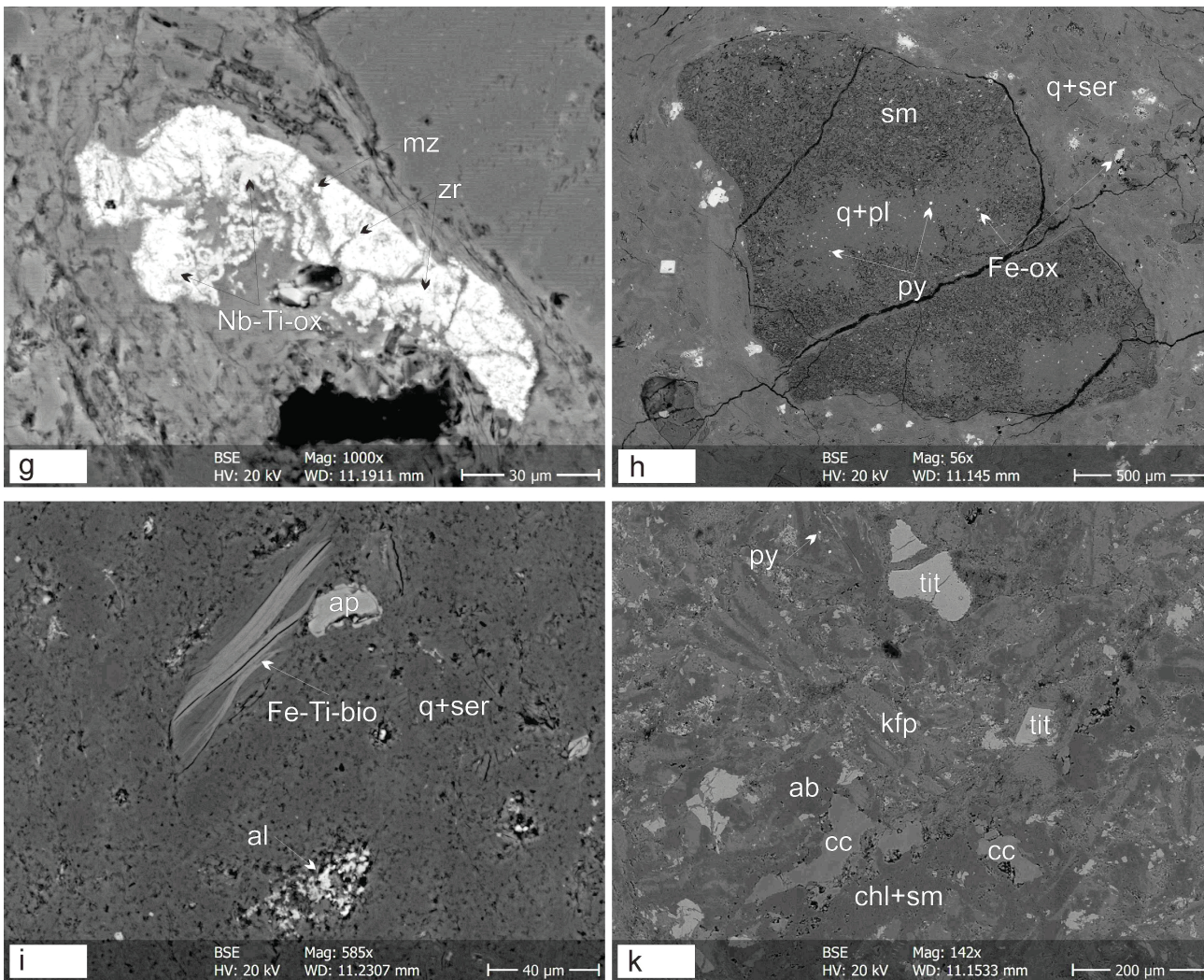
Figure 3. Microscopic images of thin sections from the samples

a, b: micaceous cleavage domains and microlithons comprising K-feldspar grains in sample 1. 1N and xN; c, d: idiomorphic orthoclase in the fabric of sample 3. 1N and xN; e, f: border of a lithoclast (left) and its matrix (right) in sample 7. The lithoclast has a fluidal texture with a relict plagioclase phenocryst. Chlorite is bound to grains on both side. 1N and xN

vagy egyes mikrolitonokban a vasásványok többször 10 µm-es átmérőjű pirít vagy markazit utáni átalakokban is koncentrálódhatnak. Jellemző szövetalkotók még a több 100 µm átmérőjű, szögletes körvonalú, albittörredékekből álló halmazok, amelyek repedéseit finomszemcsés kvarc, kálföldpát és kalcit tölti ki. Az albit kioltása unduláló, de egy-egy

csoporton belül folytonos, ami eredetileg egységes kristályok széttörésére utal. A halmazok határa mentén a palásság körülfolyló mintázatú. A legjellemzőbb ritkaföldfém-hordozó ásvány általánosan megfigyelhető járulékos elegyrészként a monacit-Ce. Ennek kristályai hintve fordulnak elő, olykor 10–20 µm-es, de jellemzően apróbb szem-





4. ábra. BSE-felvételek a mintákról. a: apatitos, pirit átalakokkal szegélyezett, szigmoidális klaszt (1. minta; a bekeretezett rész az 5. ábra helye); b: monacitdús fészkek (mikroliton) szericités mátrixban (1. minta); c: Nb-tartalmú titán-oxiddal szegélyezett monacitfészkek kvarcos-szericités mátrixban (2. minta); d: lemezes megjelenésű cirkon agyagos (szmektités) mátrixban (2. minta); e: a palásságot (a képen függőleges) felülíró szmektités ér cirkonhíntéssel, valamint ezt átmetsző kalcitér (1. minta); f: kanyargó, Nb-tartalmú titán-oxid és cirkon kitöltésű hajszálér egy kalcitérben belül (1. minta); g: átalakult szemcsé helyét kitöltő, összeszött Nb-tartalmú titán-oxid, cirkon és monacit (3. minta); h: szmektitésedett szemcsé részben megtartott plagioklással és pirittel kvarcos-szericités mátrixban (4. minta); i: felül lemezesen változó összetételű csillám (a világos sávok Fe-Ti-dúsak), mellette apatit; alul allanithalmaz (5. minta); k: megtartott albit- és táblás káliföldpát-szemcsék kloritos mátrixban, részben sajátalakú titanittal (8. minta)

Rövidítések: ab - albit, al - allanit, ap - apatit, bio - biotit, cc - kalcit, chl - klorit, kfp - káliföldpát, mz - monacit, ox - oxidok-hidroxiidok, pl - plagioklász, py - pirit, q - kvarc, ser - szericit, sm - szmektit, tit - titanit, zr - cirkon

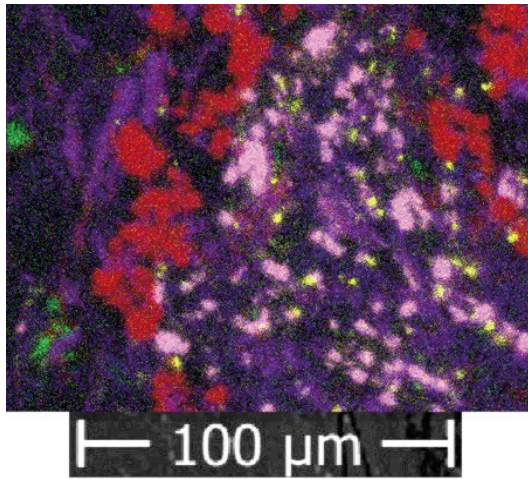
Figure 4. BSE images of the studied samples. a: sigmoidal clast with apatite, bordered by pseudomorphs after pyrite (sample 1; box indicates the position of figure 5); b: monazite node (microlithon) in sericitic matrix (sample 1); c: monazite node bordered by Nb-containing Ti-oxide in quartz-sericite matrix (sample 2); d: lamellar zircon in smectite matrix (sample 2); e: smectite vein with disseminated zircon overprinting the cleavage (vertical on the image) and crosscutting calcite vein (sample 1); f: undulating, thin veinlet of Nb-containing Ti-oxide and zircon within a calcite vein (sample 1); g: intergrowth of Nb-containing Ti-oxide, zircon and monazite replacing an altered grain (sample 3); h: smectitized grain with partly retained plagioclase and with pyrite in quartz-sericite matrix (sample 4); i: upper part: mica with laminar compositional alternation (light bands are Fe-Ti-enriched), next to it apatite; lower part: allanite node (sample 5); k: relict albite and tabular K-feldspar grains in chlorite matrix, with hypidiomorphic titanite (sample 8)

Abbreviations: ab - albite, al - allanite, ap - apatite, bio - biotite, cc - calcite, chl - chlorite, kfp - K-feldspar, mz - monazite, ox - oxide-hydroxide minerals, pl - plagioclase, py - pyrite, q - quartz, ser - sericite, sm - smectite, tit - titanite, zr - zircon

csékben. A monacithintés egyenletlen: elsősorban egyes káliföldpátos mikrolitonokhoz kapcsolódik (4. ábra, b), de a palássági doméneknél is megtalálható lehet. Hiányzik viszont az albit-halmazokból és a kalciterekből, és nem együtt dúsul a vas-oxi-hidroxiidokkal. Néhány μm-es szemcsehalmazokban, ritkán 10 μm-t meghaladó szemcsékben gyakori járulékos ásványok még a fluorapatit, a cirkon és a nióbiiumtartalmú titán-oxidok (4. ábra, c). Cirkont a palás-

sági doméneknél, a csillámok között szubmikronos vastagságú lemezekben is sikerült észlelni (4. ábra, d). Legjellemzőbb dúsulási formája azonban kanyargó, a palásságot részben követő, néhány tízed mm-es érkitöltés, ahol a cirkon csillámos-agyagásványos mátrixban hintve fordul elő (4. ábra, e).

A kalciterek között vannak olyanok, amelyekbe csillámos-vas-oxidos palássági domének is behatolnak, illetve



5. ábra. Elektron-mikroszkopos elem térkép a 4. ábra a) bekeretezett részletéről

Színek: piros - Fe (K), sárga - Ti (K), rózsaszín - P (K), zöld - Na (K), kék - Mg (K). A lila foltok klorit, a zöldék albit, a rózsaszínűek apatit, a feketék kvarc, kálföldpátok és csillámok helyét jelzik

Figure 5. Element map of the boxed part of Figure 4, a

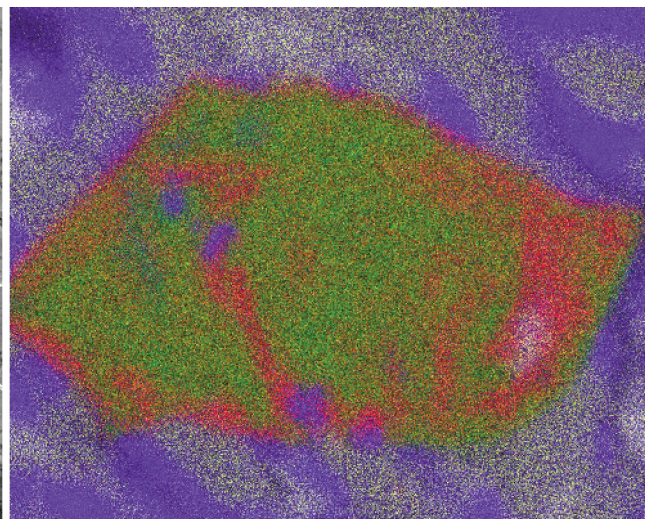
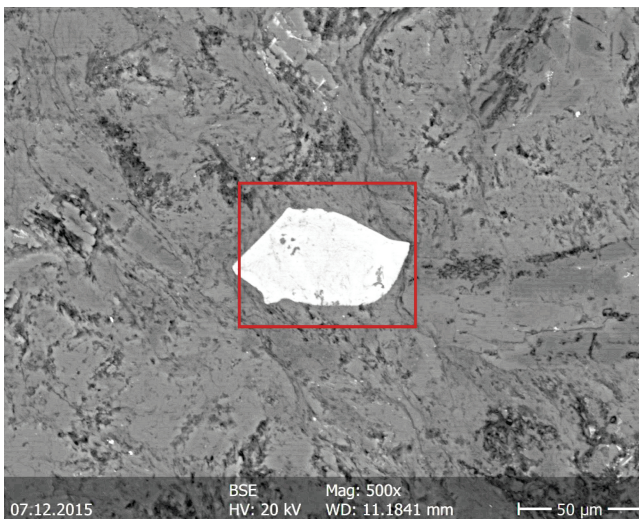
Colours: red - Fe (K), yellow - Ti (K), pink - P (K), green - Na (K), blue - Mg (K). Purple spots indicate chlorite, green spots albite, pink spots apatite, black areas quartz, K-feldspar and mica

amelyek a palásságot követik. Kvarc- és földpátkristályokat is tartalmaznak. Ilyen jellegű erek anyagában figyeltünk meg visszazórt elektronképen baritot, ritkaföldfém-karbonátszemcsét és μm -es, sztilolitszerű érkitöltésként cirkont és Nb-tartalmú titán-oxidot (4. ábra, f). Barit és szfalerit egyébként a kálföldpátos mátrixban is előfordul.

A Nagy-Baglyasról származó 3. minta XRD méréssel kimutatott kőzetalkotó ásványai a kvarc, ortoklász, mikroklin, albit-domináns plagioklász, valamint nanométeres csillámok. A kálföldpátok mellett alacsony Na-tartalmú

szanidin jelenléte is valószínű, amit az elektron-mikroszkopos eredmények is alátámasztanak. Kimutatható járulékos elegyrész a hematit, karbonátásványokat nem találtunk (III. táblázat). A szövetben egyenletesen eloszló, 50–100 μm -es szemcseméretű, több földpátkristályból álló töredékeket vesz körül egy szericites-agyagásványos mátrix kettős, S-C jellegű irányítottsággal. Az albitok töredezték, az EDX mérések szerint részben szanidinné és kálföldpátokká alakultak át, illetve agyagásványosodtak. Egyes halmazokban meghajlott, redőzött biotitlemezek is előfordulnak, melyek titántartalma több százaléknyi. A kálföldpátos szemcsék szegélye a mikroszkópi képen fogazott, a szericit velük együttes növekedését mutatva. Olykor romboéderez átmetsetű, tized mm-es ortoklász-kristály is megfigyelhető, amely alakjával nem illeszkedik a szöveti irányítottsághoz (3. ábra, c, d). A monacit-Ce és a cirkon ebben a mintában is gyakori, általában μm -es vagy az alatti méretű szemcsékben fordul elő. A dúsulások az 1–2. mintákhoz hasonlóan mikrolitonokban, azokon belüli szemcse-szegélyeken koncentrálnak, de a mátrixban is előfordulhatnak. A szintén jellemző titán-oxidok általában egy nagyságrenddel nagyobb szemcséket, illetve cirkonnal és monacittal összenőtt szemcsehalmazokat alkotnak (6. ábra), amelyek olykor korábbi, bontott, néhány 10–100 μm -es kristályszemcséket töltenek ki (4. ábra, g). Eddigi megfigyeléseink alapján a cirkónium beépülhet a titán-oxidokba is, ennek lehetőségét szakirodalmi adatok is alátámasztják (BANFIELD et al. 1993). Nióbium-tartalmuk több százaléknyi; a kristályokon belül egyes pontokban 10%-nál is magasabb Nb_2O_5 -tartalom volt mérhető, ilyen helyeken valószínűleg mikrométer alatti kolumbit-zárványok lehetnek.

Az előbbieknél kevésbé cirkónium- (XRF) és tórium-gazdagnak (természetes gamma) mért 4. minta XRD mérés szerinti fő alkotói az albit (alacsony Ca-tartalommal), kvarc



6. ábra. Elektron-mikroszkopos elem térkép egy cirkonnal összenőtt, nióbiumos titán-oxid-szemcséről (3. minta), a bal oldali BSE felvétel bekeretezett részlete. A Nb eloszlása egyenletes, a cirkonban is észlelhető, és a titán-oxid is tartalmaz cirkóniumot. A szemcse körül kvarc és kálföldpátok

Színek: kék - Si (K), sárga - K (K), zöld - Ti (K), piros - Zr (L)

Figure 6. Element map of a grain, intergrowth of Nb-containing Ti-oxide and zircon (sample 3), boxed detail of the BSE image on the left. The niobium is evenly dispersed, also detectable in zircon, and Ti-oxide also contains zirconium. Quartz and K-feldspar around the grain

Colours: blue - Si (K), yellow - K (K), green - Ti (K), red - Zr (L)

és muszkovit, kloritja a klinoklór. Észlelhető még az anatóz és szemektitek jelenléte is (III. táblázat). A minta szövete irányítatlan; jellemzője a finomszemcsés kvarc–szericit mátrixban a szemektitesedett, általában 1 mm-nél kisebb átmérőjű porfirós elegyrészek, színesásványok (biotit, amfibol) és földpátok átalakulásainak a jelenléte. Az elektron-mikroszkop mérés alapján egyes szemektites szemcsékben vasoxidok mellett mikrométeres pirit is található (4. ábra, h). Felfedezhető — bár az 1–3. mintáknál kisebb mennyiségben — a cirkon- és monacithintés, leggyakrabban egyes átalakult összetételű szemcsékhez kötődve (belsejükben vagy szegélyükön), olykor vas-oxidokkal együtt.

A C csoportbeli minták közül az 5. mintában az XRD méréssel kimutatott fő alkotók a kvarc és muszkovit (feltételezett Fe és Mg helyettesítéssel), kis mennyiségben észlelhető a klinoklór és anatóz (III. táblázat). Földpátok jelenléte nem jellemző. Elektron-mikroszkop megfigyelések alapján a néhány μm -es kvarcsemmek, továbbá a 3. mintához hasonló, de nem deformált, magas titántartalmú biotitlemezek is gyakoriak (4. ábra, i) az irányítatlan, szericitesszerű mátrixban. Ezekhez, valamint egyes agyagásványosodott szemcsékhez több esetben allanitdúsulás tartozik mikrométeres vagy az alatti szemcsemérettel. A Ti-oxidok jellemzően szintén mikrométeres kristályokból álló, átalakult szemcsék helyét kitöltő halmazok. Felismerhetőek továbbá a B csoportra jellemző méreteket olykor egy nagyságrenddel meghaladó cirkonsemmek, esetenként részlegesen sajátalakú kristályok. A vas-oxidok 10–100 μm -es nagyságrendű, pirit utáni átalakok.

A 6. minta XRD méréssel kimutatható fő kőzetalkotói a kvarc, ortoklász és muszkovit, valamint kis mennyiségben albit és alacsony Na-tartalmú szanidin, illetve járulékos alkotókként anatóz és hematit (III. táblázat). A szövetben jellemzőek a relik, akár tized mm-es albitszemcsék és a kisebb méretű káliföldpátok, valamint a szericitesszerű mátrix. A néhányszor 10 μm -es káliföldpátok adják az anyag zömét, anatóz- és hematithintéssel. Az ortoklász olykor saját alakú, néhány tized mm-es, esetenként ikres kristályokat, illetve kvarccal együtt érköltéseket alkot. Elektron-mikroszkopdalal fluorapatit, mikrométeres cirkon, és egy káliföldpátos ér környezetében monacitsemmek is észlelhetőek.

A 7. minta összetételében XRD vizsgálattal csillámok, ortoklász és kvarc a fő kőzetalkotók, kisebb, de jelentős arányú klinoklórral és alacsony Na-tartalmú szanidinnel. Járulékos alkotókként az anatóz és hematit volt azonosítható (III. táblázat). Az ortoklászok itt is lehetnek ikres és saját alakúak. A makroszkópos foltosságot okozó, cm-es léptékű szöveti elemek olyan kőzettöredékek, amelyek megőrizték porfirós, folyásos vulkáni szövetüket (3. ábra, e, f). Bennük táblás, relik plagioklászok és olykor bontott, gyengén pleokroos biotitok láthatóak. A klorittartalom jól láthatóan egyes átalakult szemcsékben koncentráldódik mind a klaszokban, mind pedig a mátrixukban.

A vizsgált terület nyugati részéről származó, A csoportbeli minták XRD méréssel kimutatható fő kőzetalkotó ásványai a földpátok közül az alacsony hőmérsékletű albit és a mikroklin (és egyes esetekben a szanidin), a kloritok közül a

klinoklór. Kisebb mennyiségben a kalcit, valamint a 8. mintában az illit, a 9. mintában pedig az anatóz és a kvarc is megtalálható (III. táblázat). A mintákban jelentős, elektron-mikroszkopdalal azonosítható járulékos elegyrész a pirit és a titanit, de emellett ilmenit, hematit, szfalerit, barit és apatit is előfordul (mind az XRD kimutatási határa közelében vagy alatta). A szövet jellemzően irányított, de nyírási bélyegek nélkül. A 8. mintában a tized mm-es léptékű izometrikus albit- és a hosszúkás káliföldpátsemmeket veszi körül a klorit–szericitesszerű mátrix (4. ábra, k). A titanit is tized mm-es, saját alakú, töredezett, repedéseiben káliföldpáttal és kvarccal; a kalcit többnyire nem saját alakú, hézagkitöltő.

Az anyagvizsgálati eredmények értékelése

Mintázásunkat a radiometrikus térképezés alapján végeztük, elsősorban a tórium- és a káliumdúsulást létrehozó hatás bélyegeinek vizsgálatára törekedve. Valamennyi megvizsgált minta szövetét úgy értékeltük, hogy kőzetelváltozási folyamatok eredményeként jött létre, és a protolitot nem tudtuk azonosítani, ezért arra utaló kőzetneveket nem alkalmaztunk. Relikt elemek alapján valószínű a vulkáni eredet, valamint azon belül heterogén kőzettípusok jelenléte. A jellemző ásványos összetevők képződésére és átalakulására vonatkozó, az alábbiakban leírt elképzeléseinket a 7. ábrán szemléltetjük, ahol összevontuk az egymástól el nem különíthető folyamatok által létrehozott ásványtársulásokat.

A vizsgált mintaanyagban területileg és összetétel szerint is jól elkülönülnek az A és a C csoport kőzetei. Közös jellemzőik az inekvigranuláris szövet, átalakult kristály- vagy kőzettöredékeket tartalmazó szericitesszerű mátrixszal, Ca-tartalmú plagioklászok teljes hiánya az albit és káliföldpátok mellett, valamint a titán-oxidok jelenléte. A jellemző kristályméret az átalakulás során csökkent, eredetileg egységes szemcsék polikristályos keverékhalmazokká alakultak.

Az A csoportra jellemző a kalcit és a klorit kőzetalkotó, valamint a kvarc alárendelt szerepe és a muszkovit hiánya. A C csoport jellemzője, hogy a káliföldpátokat a mikroklin és szanidin mellett az ortoklász képviselheti, és a kvarc és a muszkovit mennyisége is jelentős a mátrixban; ezen kívül a káliumtartalom általában magas. A szövet olykor a jelenlegi ásványsemmeknél nagyobb léptékű, vulkáni és piroklastikus protolitra utaló nyomokat tartalmaz. A B csoport kőzetalkotói a C csoportéhoz hasonlóak, e csoport egyedi sajátossága cirkónium- és ritkaföldfém-dúsulás kialakulása, valamint a titán-oxidok magas nióbiumentartalma. A titán-oxidok között vannak többször tíz μm -es (6. ábra) és kisebb, esetenként mikrométer alatti, repedéskitöltő (4. ábra c, f) szemcsék is. A monacit és a cirkon szemcsemérete jellemzően szubmikronos, optikai mikroszkóppal nem látható. Járulékos elegyrészként a C csoportban is felfedezhető a cirkon, de ott 10 μm -es léptékű kristálytöredékek fordulnak elő.

Számos megfigyelés — köztük a csoportosítás alapjául szolgáló tulajdonságok is — különféle kőzetelváltozások jeleként értelmezhető. Az általánosan elterjedt, az A cso-

	szpilitésedés / vulkanizmus		dynamotermális metamorfózis	kálimetaszomatózis / fenitésedés (B+C csoport)
kvarc	?			◀ +Si?
plagioklászok	◀			
albit				-Na ▶
szanidin				-Na ▶
mikroklin				▶ +K
ortoklász				▶ +K
biotit	◀			
muszkovit				
amfibolok	◀			
kőzetüveg	◀			
szmektit				
illit	?			
klinoklór				
pirit				
hematit, vas-oxidok				
kalcit				
titanit	◀			
anatáz, titán-oxidok				
cirkon	◀			
monacit				

7. ábra. A jellemző ásványok, szövetalkotók képződésének és átalakulásának genetikai összefüggései. ◀ – ásványképződés, ▶ – átalakulás és helyettesítés a nyílal összekötött képződő fázisokkal, ? – bizonytalan, de a kőzetek egy részében feltehető képződés, ±M – fém hozzáadódása külső forrásból, vagy fém távozása

Figure 7. Genetic relations of the formation and alterations of the characteristic minerals, rock constituents

◀ – mineral formation, ▶ – alteration and replacement by the forming phases connected with arrows, ? – uncertain formation, but probable in some rocks, ±M – addition of metal from outer source, or depletion

portban felül nem írt, ezért leginkább ott megfigyelhető belyegek:

- az albit és a szanidin a megtartott, míg a mikroklin leg-
alább részben a kálimetaszomatózis előtti földpátok,
- a klinoklór, a kalcit és a szericites-agyagásványos mátrix,
- a titanit és a hematit járulékos jelenléte.

A fenti ásványos összetétel megfelel az ÁRKAI (1973) által más bükki metavulkanittestekből leírt, sok esetben képlékeny deformációval kísért dynamotermális metamorfózis ásványtársulásának. Ugyanakkor ez a társulás legalább részben propilitésedés vagy szpilitésedés eredménye is lehet; a bükki kőzetanyag mezozoos geotektonikai környezetének tartott Dinaridákban található rétegtani megfelelőit szpiliteknek írták le (PAMIC 1984). Mivel a kloritfészkeket a 7. mintában a kőzettöredékekben és az azokat befoglaló, nem irányított szövetű alapanyagban is megtaláljuk, így egy kőzetté válás utáni, de nem dynamotermális folyamat eredményének tekinthetjük. A szmektitésedett, deformálatlan szemcsék jelenléte a C csoport további mintáiban (5–6. minták) és a B csoport 3–4. mintáiban, ahol az ásványtársulás szintén megvan, ugyancsak inkább a metasomatikus, nem metamorf eredetet teszi valószínűbbé. A szmektitésedés azonban metamorfózist felülbélyegző kőzetelváltozás is lehet.

A C és B csoportban a káliföldpátok uralkodó szerepe a plagioklászokkal szemben, finomszemcsés mátrix- és durvabb érkítöltésbeli megjelenése a teljes kőzetben alacsony

Ca- és Na-koncentrációkkal párosulva egyértelműen kálimetaszomatózis eredményének tulajdonítható. Minthogy az átöröklött szemcsékkel szemben a nagyobb, olykor saját alakú, adulárszerű káliföldpát-kristályok az irányított szövetű mintákban (1–3. minták) a palásságtól függetlenül helyzetűek, a kálimetaszomatózis a képlékeny deformációt felülbélyegző hatás lehet. Ezt igazolja a megfigyelés is, mely szerint a káliföldpát-kvarc halmozatokban sem szemcsealaki, sem kristályszerkezeti irányítottság nem alakult ki. A szericites mátrix ugyanakkor megőrizte az irányítottságát. A monacithintés is főként a káliföldpát-halmazokhoz kapcsolódik, a cirkon viszont szemcsehatárokon vagy érkítöltések részeként fordul elő, szintén a palásságot felülbélyegve. Így mindkét dúsulás létrejöttét a kálimetaszomatózis folyamatához kötjük. Mivel egyébként rendre ugyanazon mintákban jelennek meg, valószínűleg ugyanazon metasomatikus folyamat különböző fázisait jelzi ez az elkülönülés a szövetben. A titan-oxidok egy része, amely magas nióbium-tartalmú és hasonló szemcseméretű, szintén ehhez a paragenézishez tartozik, a nagyobb (többször tíz μm -es szemcseméretű és kis vagy járulékos mennyiségben XRD méréssel kimutatható anatáz (III.

táblázat) viszont relikta elem lehet. A Nb és a Zr ilyen relikta szemcsékbe is beépülhet (6. ábra). A kémiai összetételben az Eu, Sc és Co negatív anomáliái hasonlítanak a bükk-szentkereszti Felső-Bagoly-hegy kálimetaszomatizált kőzeteiben tapasztalt helyzetre, ahol viszont a ritkaföldfémek, az Y és a Th is negatív anomáliát mutattak (ZAJZON et al 2014).

A 4. (B csoport) és 5. (C csoport) minták, illetve a középszekei radiometrikus anomália fontos szerepet játszanak a cirkónium- és ritkaföldfém-ásványosodás értékelése szempontjából. A 4. minta szövetét tekintve és lelőhelye szerint a C csoportba illik, megkülönbözteti viszont attól a káliföldpátok hiánya, a nagyobb nátriumtartalom, továbbá a cirkóniumdúsulás és a monacit jelenléte. Az 5. minta radiometrikus paraméterei alapján a C csoportba került, de összetétele nagyon eltér a csoportra jellemzőtől: földpátokat nem, ellenben allanit formájában ritkaföldfém-ásványokat tartalmaz. A Középszekeken viszont üledékes, de a két fő anomáliát hordozó testhez hasonlóan (B csoport, 1. ábra) tűzköves mészköbe települt kőzetanyaghoz kapcsolódik radiometrikusan mért magas K- és Th-tartalom. Mindez arra enged következtetni, hogy a ritkaelem-dúsulás, a kálimetaszomatózis és a hordozó kőzettestek kapcsolata még nincs teljesen felderítve, és korai lenne egyértelmű összefüggéseket feltételezni ezek között.

Az itt dúsuló elemtársulás általában immobilisnak tekinthető a legtöbb földtani környezetben; metasomatikus

dúsulásai (a berilliummal kiegészülve) alkáli és fluorban gazdag gránitos-pegmatitos rendszerekben (pl. PIRAJNO 2009, YANG et al. 2014) és karbonatitok, alkáli magmás kőzetek fenitizált környezetében (pl. LE BAS 1981, BOWDEN 1985) figyelhetők meg, erezett kifejlődésben intrúziók fölötti zónában. A mi esetünkben is elképzelhető, hogy az oldatok forrása egy hipotetikus, képlékeny deformáció utáni alkáli intrúzió, amely azonban a felszínre sehol sem bújik ki, és a tektonikát figyelembe véve nem is feltétlenül a vizsgált kőzettestek alatt keresendő jelenleg. Az elváltozott kőzettesteket tartalmazó, tektofáciéseket határoló vetőzónának szerepe lehetett az oldatvezetésben, és lehetséges e mentén, vagy más hasonló zónában további nyomok felbukkanása. Vetőzónabeli helyzetben ismert intruzív hatótest nélküli alkáli metasomatizációhoz kapcsolódó Nb–Zr-ritkaföldfém-ásványosodásra több példát is leírtak (SZAVELJEVA & KARMANOV 2010), amelyeknél az oldatok köpenyből való származtatása is felmerült lehetőségként.

A magas káliumtartalmú hidrotermális oldatok származhattak abból a miocén magmatizusból is, amelynek magas SiO₂-tartalmú piroklasztikumai a Bükkaljáról nagy vastagságban ismertek, sőt korábban a jelenlegi Bükk hegység jelentős területeit boríthatták (DUNKL et al. 1994), e borítás maradványai pedig a kutatási terület közelében is megtalálhatóak (SERESNÉ HARTAI 1983). Torlatbeli allanit-felhalmozódás ismert egyébként a Bükkaljáról, Cserépváralja környékéről (VINCZE 1973), de nem tudjuk, hogy ez a közvetlen környezet piroklasztikum-testeiből, vagy a bükki forráskőzetek lepusztulásából származik-e.

Nem szükségszerű, hogy a káliumdús oldatoknak kellett volna a ritkaföldfém- és ritkalelem-dúsulás elemeit magukkal hozniuk. A kálimeszomatizált C csoportból származó 10. és 11. mintákban a felső földkéreg átlagához (RUDNICK & GAO 2003) képest is alacsonyabb (kb. annak felét kitevő) koncentráció észlelhető azokból az elemekből, amelyek az 1. mintában (B csoport) dúsulnak. Ez esetben a C csoport testeiből, azok mélybeli folytatásából mobilizált elemek dúsulhatnak egyes zónákban, ahol a kőzettesteket szegélyező mészkő geokémiai gátként játszott szerepet az oldatösszetétel megváltozásában.

Következtetések

A kémiai elemzéssel megtalált ritkaföldfém- és ritkalelem-dúsulást rétegtani egységhez kötődő (stratabound) ásványkiválás tartalmazza, melyet tűzköves mészkőbe települő, vulkáni eredetű anyagból álló, rétegszerűen követhető kőzettestek hordoznak két szerkezeti egység K–Ny-i csapásirányú határzónájában. Az általunk megvizsgált kőzetminták szövete és összetétele többfázisú metasomatikus (illetve részben dinamotermális metamorf) átalakulás eredményeként jött létre. Az

átalakulás miatt — különösen, ahol képlékeny deformációval párosult — a kiinduló kőzetek nem határozhatóak meg.

A dúsulás jellemző paragenetikus ásványai a monacit-Ce, a cirkon és a magas nióbbium-tartalmú titán-oxidok. A szövetségi megjelenésük egyértelműen metasomatikus kiválási eredetüket mutatja. A szemcseméret jellemzően néhány mikrométeres vagy kisebb, ezért a dúsulást hordozó kőzetek szabad szemmel, sőt optikai mikroszkópiával sem különböztethetők meg a dúsulás nélküli anyagoktól. A monacitba és a cirkonba épülő tórium révén azonban a természetes gamma-sugárzás intenzitásának mérése alkalmas volt a hordozó kőzettestek gamma-inaktív környezetüktől, spektrális összetételének mérése pedig a káliumban dús és azért magas gamma-aktivitású testektől való elkülönítésére, továbbá kibúvásuk lehatárolására.

Számottevő dúsulás kálimeszomatizált kőzettestekben alakult ki. A monacit inkább káliföldpátos szemcsehalmozatokhoz, a cirkon pedig inkább szericités mátrixukhoz kapcsolódik. Ez a kőzetelváltozás azonban sokkal elterjedtebb a RFF-ritkalelem-dúsulásnál, és jellemző a vizsgált terület két tektofáciest határoló, számos vetőszeletből felépülő vetőzónája mindkét oldalának metavulkanitjaira. Csekélyebb mértékű monacit- és cirkonkiválást viszont nem kálimeszomatizált mintában is észleltünk, egy kálimeszomatizált mintában pedig allanitot találtunk.

A megtalált testek indikációi lehetnek egy olyan metamorfózis utáni (azaz késő-kréta vagy fiatalabb), alkáli oldatokat szolgáltató magmatizmusnak, amelynek termékei a Bükkből ezidáig nem ismeretesek, de további nyomainak felbukkanására is lehet számítani.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a kollégák, lektorok (DOBOSI G. és TÖRÖK K.) és szerkesztők (FODOR L., SZAKMÁNY Gy. és SZTANÓ O.) észrevételeit cikkünk javításához. A jelen dolgozatban leírt munka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0005 jelű projekt részeként, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ tevékenységének részeként az Új Széchenyi Terv keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Végjegyzet:

¹A tektofációs deformációs bélyegek alapján megkülönböztetett litofációs, azaz közös szingenetikus ásvány- és kőzettani jellemzők mellett eltérő alakváltozási stílus megjelenése egy kőzetegyüttes különböző helyeken feltárt kőzettesteiben. Egy rétegtani egység azonos rétegtani szintbe tartozó, eltérő módon deformálódott kőzettesteit, azaz térbeli egységeket is értenek rajta (BATES & JACKSON 1995).

²A vetőszelet minden oldalról vetők által határolt, olykor rétegtanilag idegen környezetbe került kőzettest (TWISS & MOORES 1992).

Irodalom — References

- ÁRKAI, P. 1973: Pumpellyite-prehnite-quartz facies Alpine metamorphism in the Middle Triassic volcanogenic-sedimentary sequences of the Bükk Mountains, NE Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **17/1–3**, 67–83.
- ÁRKAI P., BALOGH K. & DUNKL I. 1995: Timing of low temperature metamorphism and cooling of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, innermost Western Carpathians, Hungary. — *Geologische Rundschau* **84/2**, 334–344.
- BALOGH K. 1964: A Bükkhegység földtani képződményei. — *MÁFI évkönyv* **48/2**, 245–553.
- BANFIELD, J. F., BISCHOFF, B. L. & ANDERSON, M. A. 1993: TiO₂ accessory minerals: coarsening, and transformation kinetics in pure and doped synthetic nanocrystalline materials. — *Chemical Geology* **110**, 211–231.
- BATES, R. L. & JACKSON, J. A. (eds) 1995: Glossary of Geology, 3rd edition. — *American Geological Institute, Alexandria, Virginia*, elektronikus adatbázis.
- BOWDEN, P. 1985: The geochemistry and mineralization of alkaline ring complexes in Africa (a review). — *Journal of African Earth Sciences* **3/1–2**, 17–39.
- CSONTOS L. 1999: A Bükk hegység szerkezetének főbb vonásai. — *Földtani Közlöny* **129/4**, 611–651.
- CSONTOS L. 2000: A Bükk hegység mezozoos rétegtani újraértékelése. — *Földtani Közlöny* **130/1**, 95–131.
- DILL, H. 2010: The „chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminium to zirconium. — *Earth-Science Reviews* **100**, 1–420.
- DUNKL I., ÁRKAI P., BALOGH K., CSONTOS L. & NAGY G. 1994: A hőtörténet modellezése fission track adatok felhasználásával — a Bükk hegység kiemelkedéstörténete. — *Földtani Közlöny* **124/1**, 1–24.
- GERZSON I. 1972: Előzetes jelentés a Sály-Bükk-szentkereszt közötti lugai munkásház területen 1971-ben végzett terepi gamma mérésekről. — *Kézirat, MÉV Adattár J-0728*, 3 p.
- LE BAS, M. J. 1981: Carbonatite magmas. — *Mineralogical Magazine* **44**, 133–140.
- LESS GY., KOVÁCS S., PELIKÁN P., PENTELENYI L. & SÁSDI L. 2005: A Bükk hegység földtana. Magyarózó a Bükk hegység földtani térképéhez (1:50 000). — *Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest*, 284 p.
- NÉMETH N. 2005: A Délkeleti-Bükk keleti részének szerkezetföldtani viszonyai. — *PhD értekezés. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Földtan-Teleptani Tanszék*, 115 p.
- NÉMETH N., PETHŐ G. & ZAJZON N. 2015: In situ gamma ray survey for geological mapping of K-metasomatized metavolcanics at Bükk-szentkereszt, Bükk Mts, Hungary. — *Open Geosciences* **7**, 318–331.
- PAMIĆ, J. J. 1984: Triassic magmatism of the Dinarides in Yugoslavia. — *Tectonophysics* **109/3–4**, 273–307.
- PANTÓ G. 1951: Az eruptívumok földtani helyzete Diósgyőr és Bükk-szentkereszt között. — *Földtani Közlöny* **81**, 137–143.
- PELIKÁN P. 2002: Földtani felépítés, rétegtani áttekintés. Fejlődéstörténet I: szerkezetfejlődés. — In: BARÁZ Cs. (szerk.): *A Bükki Nemzeti Park*. BNP Igazgatóság, 51–70.
- PIRAJNO, F. 2009: *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. — Springer & Geological Survey of Western Australia, Perth, 1241 p.
- RUDNICK, R. L. & GAO, S. 2003: Composition of the Continental Crust. — In: RUDNICK, R. L. (ed.): *Treatise on Geochemistry, Volume 3: The Crust*. — Elsevier, 683 p.
- SERESNÉ HARTAI É. 1983: Néhány újabb savanyú piroklasztikum előfordulása a Bükk-hegységben. — *Földtani Közlöny* **113/4**, 303–312.
- SZAKÁLL S., GYALOG L., KRISTÁLY F., FEHÉR B. & ZAJZON N. 2014a: Ritkaföldfémek a velencei-hegységi granitoidokban és alkáli magmás kőzetekben. — In: SZAKÁLL S. (szerk.): *Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben*. — *CriticEl Monográfia sorozat* **5**, Milagrossa Kft, Miskolc, 67–90.
- SZAKÁLL S., JÁGER V., FEHÉR B. & ZAJZON N. 2014b: A mecseki fonolit ritkaföldfém-tartalma és ásványi hordozói. — In: SZAKÁLL S. (szerk.): *Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben*. — *CriticEl Monográfia sorozat* **5**, Milagrossa Kft, Miskolc, 47–66.
- SZAVELJEVA, V. B. & KARMANOV, N. S. 2010: Quartz–Albite–Microcline Metasomatic Rocks in the Main Sayan Fault Zone: Evolution of Metasomatism and Composition of Accessory Minerals. — *Geology of Ore Deposits* **52/4**, 302–321.
- SZENTPÉTERY Zs. 1923: Diósgyőr és Szarvaskő vidéke paleo- és mezo-eruptívumainak földtani viszonyai. — *MÁFI Évi Jelentése 1917–19-ről*, 75–88.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1929a: Gesteinstypen aus der Umgebung von Lillafüred. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **1**, 10–43.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1929b: Eruptivserie im Savóstale bei Lillafüred. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **1**, 72–128.
- SZENTPÉTERY Zs. 1931: A Bagolyhegy quarzporphyryja Lillafüred mellett. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **2/2**, 81–108.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1932: Neuere Beiträge zur Petrologie des Lillafüreder Savóstales. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **2**, 24–46.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1934a: Porphyritserie ober Hámor im Bükkgebirge. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **3**, 149–181.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1934b: Petrologische Verhältnisse des Fehérköberges und die detaillierte Physiographie seiner Eruptivgesteine. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **4**, 18–123.
- SZENTPÉTERY Zs. 1935: A Fehérkő aljának eruptív része Lillafürednél. — *Matematikai és Természettudományi Értesítő* **52**, 253–286.
- SZENTPÉTERY Zs. 1936: A Lillafüredi Szentistván-hegy eruptívumainak általános közettani viszonyai. — *Matematikai és Természettudományi Értesítő* **54**, 279–308.
- SZENTPÉTERY, Zs. 1937: Stratovulkanischer Teil des Szentistvánberges im Bükkgebirge. — *Acta Chemica, Mineralogica et Physica* **5**, 26–134.
- SZENTPÉTERY Zs. 1950a: Adatok a bükkhegységi diabáz ismertetéséhez. — *Földtani Közlöny* **80**, 168–183.
- SZENTPÉTERY Zs. 1950b: Az újhuta Lőrinc-hegy diabázfajtái a Bükkhegységben. — *Földtani Közlöny* **80**, 316–323.
- SZOLDÁN, Zs. 1990: Middle Triassic magmatic sequences from different tectonic settings in the Bükk Mts. NE Hungary. — *Acta Mineralogica-Petrographica* **31**, 25–42.

- TWISS, R. J. & MOORES, E. M. 1992: *Structural Geology*. — Freeman & Co., New York, 532 p.
- VINCZE J. 1973: A „Dóczy-anomália” és a Cserépvárnya környéki ritkaföldfém-tórium anomália mintáinak anyagvizsgálati összefoglalása. — *Kézirat, MÉV*, 25 p.
- WÉBER B. 1983: A thórium területi eloszlása az Északi-középhegységben (légi gamma-spektroszkópiai mérések alapján). — *Földtani Közlemény* **113/3**, 197–206.
- YANG, W-B., NIU, H-C., SHAN, Q., SUN, W-D., ZHANG, H., LI, N-B., JIANG, Y-H. & YU, X-Y. 2014: Geochemistry of magmatic and hydrothermal zircon from the highly evolved Baerzhe alkaline granite: implications for Zr–REE–Nb mineralization. — *Mineralium Deposita* **49**, 451–470.
- ZAJZON N., NÉMETH N., SZAKÁLL S., GÁL P., KRISTÁLY F. & MÓRICZ F. 2014: Ritkaföldfémek a bükkszentkereszti Mn-U-Be geokémiai anomáliában. — In: SZAKÁLL S. ed.: Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben. — *CriticEl Monográfia sorozat* **5**, Milagrossa Kft, Miskolc, 91–108.
- Kézirat beérkezett: 2016. 02. 04.

