

A Bodai Aleurolit Formáció törmelékes kőzettípusainak ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői

Mineralogical, petrological and geochemical characteristics of the siliciclastic rock types of Boda Siltstone Formation

VARGA Andrea¹ – RAUCSIK Béla² – SZAKMÁNY György¹ – MÁTHÉ Zoltán³

(8 ábra, 4 táblázat, 3 tábla)

Tárgyszavak: péllit, homokkő, röntgen-pordiffrakció, teljes kőzet geokémia, késő-perm, Dél-Dunántúl,

Magyarország

Keywords: mudrock, sandstone, X-ray diffraction, whole-rock geochemistry, Late Permian, southern Transdanubia, Hungary

Abstract

In this paper, results of mineralogical, petrological and geochemical studies of siliciclastic sedimentary rock types (claystone, siltstone, sandstone and albitolite) of the Upper Permian Boda Siltstone Formation (BSF) from southern Transdanubia (Mecsek Mountains, SW Hungary) are presented. The claystone samples generally have higher illite±muscovite, haematite and chlorite contents relative to the albitolite, siltstone and sandstone samples. In contrast, the BSF rock types with coarser grain-size have higher albite, quartz and carbonate contents relative to the claystone samples. Degree of the diagenetic albitisation of the detrital feldspars and carbonate cementation rate are higher in the siltstone and sandstone samples, corresponding to their higher primary porosity, than those in the claystone samples. Additionally, geochemistry of the studied BSF lithotypes also reflects the effect of the diagenetic processes during albitisation. The siltstone and sandstone samples have relatively high SiO₂, Na₂O, CaO, MnO, Sr and Ba contents. On the other hand, the claystone samples have high Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O and Rb contents reflecting their higher phyllosilicate and haematite contents.

In the sandstone samples of the BSF the presence of abundant felsic volcanic rock fragments suggests a provenance from the Permian Gyűrűfű Rhyolite Formation. Metamorphic source components might have been derived from the uplifted basement rocks. A relatively felsic provenance area is also supported by the rare earth element (REE) contents of the claystone and sandstone samples showing REE patterns typical of continentally-derived sediments. The presence of intermediate-basic volcanic rock fragments suggests a mafic source component of the provenance area of the BSF in inconsiderable amounts.

Összefoglalás

Munkánkban a felső-permi Bodai Aleurolit Formáció (BAF, Dél-Dunántúl, Mecsek) szilicikus kőzettípusainak (agyagkő, aleurolit, homokkő és albitolit) ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzését végeztük el. Az agyagkövekben az illit±muskovit, a hematit és a klorit mennyisége általában nagyobb, mint az albitolitokban, az aleurolitokban és a homokkövekben. Ezzel ellentétben a BAF durvább szemcseméretű kőzettípusainak albit-, kvarc- és karbonáttartalma jelentősen meghaladja az agyagkövekre jellemző értékeket. A nagyobb elsődleges porozitásnak megfelelően a homokkövekben és az aleurolitokban a törmelékes földpátok diagenetikus albitosodása és a karbonátcementáció mértéke

¹ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C,

e-mail: raucsikvarga@freemail.hu; gyorgy.szakmany@geology.elte.hu

²Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10,

e-mail: raucsik@almos.vein.hu

³Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19. Pf.: 121.

e-mail: mathezoltan@mecsekerc.hu

nagyobb, mint az agyagkövekben. A vizsgált kőzettípusok kémiai összetétele szintén a diagenetikus albitosodáshoz kapcsolódó folyamatok hatását tükrözi. Az aleurolitok és a homokkövek SiO_2 , Na_2O , CaO -, MnO -, Sr - és Ba -tartalma viszonylag nagy. Másrészt az Al_2O_3 , a Fe_2O_3 , a MgO , a K_2O és a Rb mennyisége az agyagkövekben jelentős, amely a rétegszilikátok és a hematit nagyobb arányát tükrözi.

A BAF homokköveinek törmelékanyagában a jelentős mennyiségű savanyú vulkáni kőzetanyag a permi Gyűrűfű Riolit Formáció lepusztulásából származik. A metamorf eredetű törmelékanyagot a kristályos aljzat lepusztulása szolgáltatta. A felzikus átlagos összetételű lehoradási területet erősíti meg az agyag- és homokkövek ritkaföldfém (RFF)-eloszlása is, amely a felső kontinentális kéreg eredetű törmelékes kőzetek RFF-eloszlásának felel meg. A neutrális-bázisos jellegű törmelék szemcsék a BAF lehoradási területén – alárendelt mennyiségben – mafikus összetételű kőzetek jelenlétére utalnak.

Bevezetés

A felső-permi Bodai Aleurolit Formáció (BAF; Dél-Dunántúl, Mecsek) vörösbarna színű, albittartalmú aleurolit és agyagkő váltakozásából álló, kontinentális kifejlődésű, félsivatagi, tavi fáciesű rétegsor. Alsó részén zöldesszürke homokkő, homokos aleurolit és agyagkő betelepüléseket („átmeneti homokkő”, „átmeneti rétegek”) tartalmaz. Maximális vastagsága 1000 m (BARABÁS & BARABÁSNÉ STUHL 1998; MÁTHÉ 1998). Geokémiai jellegzetessége a jelentős Na_2O -tartalom, amely FAZEKAS (1987) szerint 5–6% közötti, MÁTHÉ (1998) és ÁRKAI et al. (2000) alapján azonban a 8%-ot is megközelítheti.

A formáció szedimentológiai, biosztratigráfiai, ásványtani és kőzettani jellegzetességeit számos kéziratban jelentés és szakcikk ismertette (BARABÁS 1955; JÁMBOR 1964; SOMOGYI 1965; BALOGH & BARABÁS 1972; FAZEKAS 1987; BARABÁSNÉ STUHL 1988). Tudománytörténeti összefoglalását, illetve általános jellemzését FÜLÖP (1994) és BARABÁS & BARABÁSNÉ STUHL (1998) mutatta be. A BAF megismerésének – 1993 óta – a paksi atomerőműben keletkezett nagy radioaktivitású hulladékok elhelyezésére irányuló geológiai kutatási program adott új lendületet (KOVÁCS et al. 2000). A már elvégzett kutatások részeredményeit DEMÉNY et al. (1996), HÁMOS et al. (1996), ÁRKAI et al. (2000), KOVÁCS et al. (2000) és SEBESTYÉN (2002) publikálta.

A BAF minősítésének rövidtávú programja során elvégzett részletes ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálatok eredménye MÁTHÉ (1998) kutatási szakaszt lezáró jelentésében található meg. A közölt geokémiai adatbázisra alapozva – az OTKA T 034924 témához kapcsolódva, a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. engedélyével – R. VARGA et al. (2005) 58 albitos és kőzetlisztes agyagkő kémiai összetételét értelmezte, valamint felvázolta a BAF korai diagenetikus albitosodásának lehetséges ásványtani és geokémiai modelljét is. A korábbi publikációk ásványtani eredményeire támaszkodva (MÁTHÉ 1998; ÁRKAI et al. 2000), valamint egy hasonló kifejlődésű rétegsor (VAN DE KAMP & LEAKE 1996) geokémiai jellegzetességeit figyelembe véve feltételezik, hogy a szemi-arid–arid éghajlati viszonyok mellett végbemenő mállás és szállítódás hatására a Bodai Formáció egykori forrásterületén a mafikus ásványok kloritá és agyagásványokká alakultak. A törmelékes plagioklászok részleges vagy teljes albitosodása során felszabaduló Ca^{2+} -ionok a pórusoldat HCO_3^- és Mg^{2+} (+ Fe^{2+}) tartalmával reakcióba lépve karbonátmentet képeztek. A törmelékes kálföldpátok albitosodása K^+ és Rb^+ felszabadulását eredményezte, amelyek a szmektittel és a kaolinnal reakcióba lépve illit képződését okozták. A BAF kőzeteinek jelentős Na_2O -tartalma arra utal, hogy a diagenetikus albitosodáshoz –

az átalakuló törmelékes komponensek Na^+ -tartalmán túl – külső forrásból (pl. alkáli jellegű sós pórúsvíz, illetve evaporitok) többlet Na^+ adódott (R. VARGA et al. 2005).

Ez a fentebb vázolt, előzetes modell kizárólag az agyagkövek vizsgálatára épült. A BAF diagenetikussá albitosodását kísérő medence-leptékű elemátrendeződések összefüggéseinek feltárására azonban a kapcsolódó durvább kőzettípusok tanulmányozása is szükséges. Munkánkban ezért – a teljes kőzetből meghatározott kémiai összetételt felhasználva – az agyagkövek, az aleurolitok és a homokkövek jellemzését és összehasonlítását céloztuk meg. A BAF homokkő betelepüléseinek részletes ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálata ez ideig nem történt meg, ezért az új adatok a BAF lehordási területének pontosításához is értékes információkat szolgáltatnak.

A Bodai Aleurolit Formáció jellegzetes kőzettípusai

A BAF minősítésének rövidtávú programja során elvégzett részletes ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálatok segítségével agyagkő, aleurolit, homokkő, albitolit és dolomit fő kőzettípusokat különítették el, amelyek között számos átmenet alakult ki (BARABÁS & BARABÁSÉ STUHL 1998; MÁTHÉ 1998; ÁRKAI et al. 2000). A formáción belül a kőzettípusok laterálisan és vertikálisan változnak, azonban az agyagkő, albitos agyagkő, kőzetlisztes agyagkő, agyagos albitolit, agyagos aleurolit mennyisége uralkodó jellegű, a dolomit (a BAF felső szakaszán válik gyakorivá), az aleurolit és a homokkő rétegek általában közbetelepülésként jelennek meg (BARABÁS & BARABÁSÉ STUHL 1998; MÁTHÉ 1998). Munkánkban kizárólag a törmelékes kőzetek vizsgálatával foglalkoztunk, ezért – a fenti szerzők alapján – csak ezek rövid jellemzését mutatjuk be.

Az agyagkövek általában vörösbarna színűek, ritkán zöld, illetve sötétszürke és fekete változatok is megjelenhet; többnyire rétegzetlenek. A legszélesebb körben elterjedt agyagkő jellegzetessége a szabálytalan alakú, változó gyakoriságú, fehér, ritkábban halvány rózsaszín, esetenként a rétegzésnek megfelelően orientált elhelyezkedésű, illetve hálózatos megjelenésű póruskító autigén albit („albitfészkek”) előfordulása. A pórusokban („fészkekben”) az albit mellett karbonátásványok mindig jelen vannak, egymáshoz viszonyított arányuk széles határok között változik. A vizsgált minták némelyikében barit, autigén K-földpát és opak szulfidásványok (galenit, szfalerit, kalkopirit) is megjelentek. Ezekben az agyagkövekben az albit mennyisége 20–40%, kvarc- és karbonáttartalmuk (kalcit, dolomit, Mg-, Fe- és Mn-tartalmú kalcit, ritkán sziderit) egyaránt 5–15%, hematit-tartalmuk 7–10%. A rétegszilikátok közül legnagyobb mennyiségben az illit±muszkovit és a klorit jelenik meg, alárendelten azonban smektitet, kaolinitet és vermikulitot is tartalmazhatnak. A rétegszilikátok összmenyisége (40–50%) leggyakrabban meghaladja az albit mennyiségét. A fedő képződmények felé haladva a kisebb albit-tartalmú kőzetlisztes agyagkövek gyakorisága növekszik meg, valamint a legfelső néhány m-es átmeneti zónában az autigén albit eltűnik. Makroszkópos megjelenésük alapján a BAF kőzettípusaival foglalkozó korábbi tanulmányokban az albitfészkes agyagköveket az aleurolitokhoz sorolták, ezért a szakirodalmi adatok összehasonlítása korlátokba ütközik.

A barnásszürke színű, tömör aleurolit rétegek maximális vastagsága 20 cm, belső szerkezetükre a keresztlamináció jellemző; a réteglapokon bizonyos esetekben hullámfodrok figyelhetők meg. Az aleurolitok kvarc- és albittartalma egyaránt nagy (25%, illetve 35% feletti), agyagásványtartalmuk viszonylag kicsi (~10%). A karbonátásványok közül leggyakrabban kalcitot tartalmaznak (~10%), dolomittartalmuk nem jelentős. A hematit mennyisége 5% körüli. Általában kőzetliszt méretű, orientált elhelyezkedésű, törmelékes muszkovitot tartalmaznak. Ebben a kőzettípusban albitfészkek csak alárendelten fordul elő, az autigén albit cementásványként jelenik meg.

A párhuzamosan vagy keresztirétegzett finom–nagy szemcsés homokkő betelepülések jellemzően vörös színűek, barna, szürke és zöld árnyalattal. Ritkán szenesedett növényi maradványokat és szürke aleurolit–agyagkő kavicsokat tartalmaznak. A szemcsék anyaga leggyakrabban kvarc, koptatottságuk közepes. A réteglapokon – olykor kőzetalkotó mennyiségben – orientált elhelyezkedésű törmelékes muszkovit figyelhető meg. A kötőanyag általában dolomit, illetve agyagásvány, a közép szemcsés homokkővekben azonban kovás és albitos cementáció is előfordul.

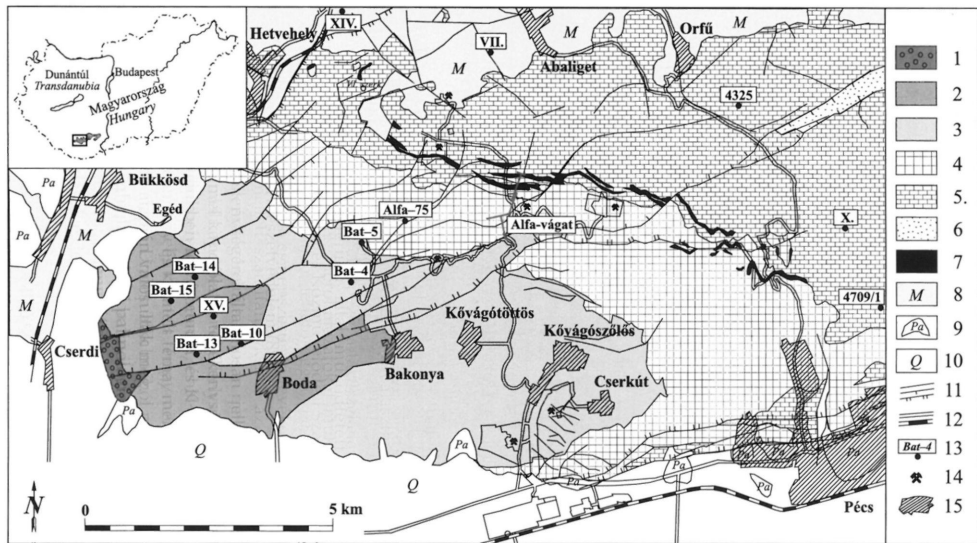
Az albitolit tömeges, kemény, rétegzetlen, szemcsésen szétcsész, albitfészket nem, illetve alárendelten tartalmazó aleurolit-változat, amely makroszkópos megjelenése az agyagkövekéhez hasonló. Albittartalma nagy (meghaladja az 50%-ot), kvarc- és agyagásványtartalma viszonylag kicsi (10% alatti, illetve 25% alatti). Karbonátartalma eléri a 10%-ot, mind kalcitot, mind dolomitot tartalmaz. A hematit mennyisége 5–6% közötti. Az albitolitban az autigén albit kötőanyagként („átitatódasként”) jelenik meg.

Mintagyűjtés, vizsgálati módszerek

A BAF kontinentális kifejlődésű (playa síkság és playa tavi fáciesű) rétegsorát képviselő kőzetek első mintagyűjtése a formáció minősítésének rövidtávú programjához kapcsolódott (Mecsekérc Környezetvédelmi Rt., in MÁTHÉ 1998). A kiválasztott minták egyrészt felszíni feltárásokból (Boda-I, Boda-III, K jelű minták), másrészt a Nyugat-Mecsek területén korábban (VII., X., XIV., XV. szerkezeti fúrások; 4325, 4709/1, Bat-4, Bat-5 jelű fúrások), illetve a kutatási program keretében mélyített fúrásokból (Bat-10, Bat-13, Bat-14, Bat-15) és az Alfa-vágatból indított kutatófúrásokból (Alfa-75, Gamma-4, Delta-3, Delta-4, Delta-10) származtak (1. ábra).

Munkánk során – a BAF minősítésének rövidtávú programjához kapcsolódó kémiai elemzések adatai közül – 8 albitos és kőzetlisztes agyagkő (A1), 13 aleurolit (AL), 1 homokkő (H1) és 6 albitolit (ALB) főelemösszetételét értelmeztük, valamint további 58 agyagkő főelemeloszlását vizsgáltuk (R. VARGA et al. 2005). Valamennyi minta kémiai elemzése röntgenfluoreszcens spektrometriás módszerrel (XRF) a Mecsekurán Kft (Pécs) röntgenanalitikai laboratóriumában készült (ARL-8420 típusú készülék, W anód). A mérések analitikai hibáira R. VARGA et al. (2005) tett utalást.

A Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. kutatási programja nem terjedt ki a BAF kőzeteinek teljes nyomelemvizsgálatára (hiányoznak pl. a ritkaföldfémek),



1. ábra. A Nyugat-Mecsek egyszerűsített földtani térképe a mintagyűjtési helyekkel a BAF telephely jellemzési programja térképeinek felhasználásával (in MÁTHÉ 1998). Jelmagyarázat: 1. Cserdi Konglomerátum Formáció; 2. Bodai Aleurolit Formáció; 3. Kővágószőlősi Homokkő Formáció; 4. alsó-triász törmelékes kőzetek; 5. középső-felső-triász karbonátok és evaporitok; 6. felső-triász homokkő; 7. alsó-kréta magmatit; 8. miocén üledékes képződmények; 9. pannóniai képződmények; 10. negyedidőszaki képződmények; 11. szerkezeti elemek általában, vető, feltolódás; 12. út, vasút; 13. mélyfúrás; 14. felhagyott bánya; 15. település

Fig. 1 Simplified geological map of the Western Mecsek Mountains (SW Hungary) and sample localities using the maps of the site characterization programme of the Boda Formation (in MÁTHÉ 1998). Legend: 1 Cserdi Conglomerate Fm; 2 Boda Siltstone Fm; 3 Kővágószőlősi Sandstone Fm; 4 Lower Triassic clastic sediments; 5 Lower and Middle Triassic carbonates and evaporites; 6 Upper Triassic sandstones; 7 Lower Cretaceous magmatites; 8 Miocene sediments; 9 Pannonian sediments; 10 Quaternary; 11 structural lines in general, normal fault, reverse fault; 12 road and railway; 13 borehole; 14 abandoned mine; 15 settlement

valamint a homokkő közbetelepülések részletes jellemzésére, ezért munkánk során – az OTKA T 034924 téma keretein belül, illetve az ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszékén folyó doktori programhoz kapcsolódva – további 9 agyagkő (A2) és 3 homokkő (H2) komplex ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálatát is elvégeztük. A homokkövek petrográfiai jellemzésére további 6 kőzetminta vékonycsiszolatos leírását is elvégeztük. Az agyagkövek közül 5 agyagkő – ellenőrző mintaként – a korábbi mintagyűjtésből származott (Bat–4, Bat–13 és Bat–15 jelű fúrások). Az új mintázás során az agyagkövek jellemzésére a 4709/1, a Bat–4 és a X. szerkezeti fúrásból, a homokkő betelepülések jellemzésére a 4709/1 fúrásból választottunk ki fúrómagokat.

A röntgen-pordiffrakciós mérések a Pannon Egyetem Föld- és Környezet-tudományi Tanszékén készültek. A felvételeket Philips PW 1710 típusú készülékkel, CuK_α sugárforrással, hajlított grafitgykristály-monokromátor és proporcionális számláló detektor alkalmazásával készítettük. A teljes kőzetminták ásványos és a $<2 \mu\text{m}$ szemcseméretű frakció félmennyiségi összetételének meghatározási lépései azonosak az R. VARGA et al. (2004) által közölttekkel. A teljes kőzetminták félmennyiségi összetételének meghatározásakor PETSCHICK et al. (1996) módszerét alkalmaztuk. Belső standardként 1 ml 0,4 g/g%-os, 0,3–0,6 μm átlagos szemcseméretű molibdenit szuszpenziót használtunk. A földpátok egymáshoz viszonyított arányának becsléséhez a káliföldpát 3,24 Å-nél és az albit 3,19 Å-nél jelentkező 100-as intenzitású 002, illetve 040 csúcsainak, valamint a káliföldpát 4,22 Å-nél, az albit 4,03 Å-nél jelentkező 61-es, illetve 45-ös intenzitású csúcsainak integrált területét vettük figyelembe. A $<2 \mu\text{m}$ szemcseméretű, ülepített, légszáraz mintákon ÁRKAI (1983) alapján az illit kristályosság fokát (IC) szintén meghatároztuk. Az adott paraméterek mellett a félértékszélesség adatok szórása $\text{IC}=0,333 \Delta^2\Theta$ esetén $s=0,025 \Delta^2\Theta$ ($n=10$).

A minták kémiai összetételét a Tübingeni Egyetem Geokémiai Tanszékén XRF módszerrel (főelemek, valamint Rb, Sr, Ba, Pb, Y, V, Ni, Zn és Co) határozták meg. A méréseket Bruker AXS S4 Pioneer típusú készülékkel, Rh anód alkalmazásával végezték. További nyomelemek meghatározását az ACME Analytical Laboratories (Vancouver, Kanada) végezte a következő módszerekkel: a ritkaföldfémek (RFF), a Zr, a Hf, a Nb és a Ta mennyiségét induktív csatolású plazma tömegspektrometriával (ICP-MS); a Sc, a Th, az U és a Cr mennyiségét neutron aktivációs analízissel (NAA) határozták meg.

A röntgen-pordiffrakciós és a petrográfiai vizsgálat eredménye és értelmezése

A részletes geokémiai vizsgálatra kiválasztott minták ásványos és kőzettani összetétele

A vizsgált kőzetanyag litológiailag albitos és kőzetlisztes agyagkővet; keresztlaminált, illetve laminált, jól osztályozott, finom–aprószemcsés homokkővet; valamint közepesen vagy rosszul osztályozott, közép–durvaszemcsés, darakavicsos homokkővet tartalmazott. Valamennyi minta vörös, illetve vörösbarna színű. Az agyagkövek és a homokkövek teljes kőzetmintából meghatározott félmennyiségi ásványos összetételét az I. táblázat tartalmazza. A $<2 \mu\text{m}$ -es frakció félmennyiségi összetételét a II. táblázatban foglaltuk össze.

I. táblázat. A vizsgált teljes kőzetminták félmennyiségi ásványos összetétele (%)
Table I Semiquantitative mineral composition (%) of the studied bulk rock samples

minta - sample	L	q	ab	kfp	ill±mu	cc	do	he	chl	ka	sm	am
4709/1 1997,4 m	A2	10	10–20		30–40	5	5	10 (–20)	ny			5
4709/1 1960,2 m	A2	10	10–20	ny	25–30	5	5	10 (–20)	5		?	5
4709/1 1848,0 m	A2	10–20	5–10	ny	30–40	5	5	10 (–20)	5			5–10
X. 1596,3 m	A2	10	5		30–40	ny	5	5 (–10)	5	ny	?	10
Bat–4 1147,8 m	A2	10	10–20	ny	25–30		10	10 (–20)	5–10	ny	ny	5
Bat–4 947,5 m	A2	5	10–20	ny	25–30	10	ny	10 (–20)	ny	ny	?	5
Bat–4 741,2 m	A2	ny	10–20		35–40	10		10 (–20)	ny	ny	?	5
Bat–4 567,4 m	A2	10	10–20	ny	20–30	10	ny	10	ny	ny	10	5–10
Bat–15 13,3 m	A2	5	20–30	ny	25–30	10–20		10 (–20)	ny		?	ny
Bat–13 29,8 m	A2	ny	10–20		25–30	10–20		10 (–20)		ny	ny	ny
4709/1 1932,4 m	kH2	20–30	20–30	5	10	10–20	ny	ny	ny			5
4709/1 1903,7 m	kH2	20–30	30	ny	ny	5	20	5	ny		?	ny
4709/1 1829,3 m	fH2	30	40	ny	ny		10	ny	ny			ny

Jelmagyarázat: L: kőzettípus; A2: agyagkő; kH2: középszemcsés homokkő; fH2: finomszemcsés homokkő; q: kvarc; ab: albit; kfp: kálföldpát; ill±mu: illit±muskovit; cc: kalcit; do: dolomit; he: hematit; chl: klorit; ka: kaolinit; sm: szmektit; am: amorf anyag; ny: nyomnyi mennyiség; ?: bizonytalan meghatározás

Legend: L lithology; A2 claystone; kH2 medium-grained sandstone; fH2 very fine-grained sandstone; q quartz; ab albite; kfp K-feldspar; ill±mu illite±muscovite; cc calcite; do dolomite; he hematite; chl chlorite; ka kaolinite; sm smectite; am amorphous substance; ny trace amount; ? ambiguous determination

II. táblázat. A <2 µm-es frakció félmennyiségi összetétele (%)
Table II Semiquantitative mineral composition (%) of the <2 µm fraction

minta sample	L	ill±mu	chl	ka	sm	IC
		%				°2θ
4709/1 1997,4 m	A2	80	>6 (6–14)	<14 (6–14)	-	0,34
4709/1 1960,2 m	A2	82	>7 (7–11)	<11 (7–11)	-	0,41
4709/1 1848,0 m	A2	83	>5 (5–12)	<12 (5–12)	-	0,48
X. 1596,3 m	A2	63	>8 (8–30)	<30 (8–30)	-	0,48
Bat–4 1147,8 m	A2	70	>10 (10–20)	<20 (10–20)	-	0,40
Bat–4 947,5 m	A2	75	>10 (10–15)	<15 (10–15)	-	0,39
Bat–4 741,2 m	A2	89	>4 (4–7)	<7 (4–7)	-	0,57
Bat–4 567,4 m	A2	74	>8 (8–18)	<18 (8–18)	5	0,40
Bat–15 13,3 m	A2	72	>11 (11–17)	<17 (11–17)	-	0,44
Bat–13 29,8 m	A2	78	>9 (9–13)	<13 (9–13)	-	0,38
4709/1 1932,4 m	kH2	80	>5 (5–15)	<15 (5–15)	-	0,30
4709/1 1903,7 m	kH2	90	-	5	5	0,29
4709/1 1829,3 m	fH2	60	>10 (10–30)	<30 (10–30)	-	0,30

Jelmagyarázat: L: kőzettípus; A2: agyagkő; kH2: középszemcsés homokkő; fH2: finomszemcsés homokkő; ill±mu: illit±muskovit; chl: klorit; ka: kaolinit; sm: szmektit; IC: illit kristályossági index

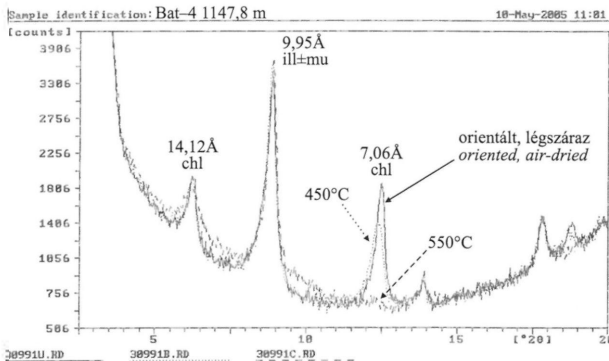
Legend: L lithology; A2 claystone; kH2 medium-grained sandstone; fH2 very fine-grained sandstone; ill±mu illite±muscovite; chl chlorite; ka kaolinite; sm smectite; IC illite crystalline index

Az agyagkövek legnagyobb mennyiségben 10 Å-ös rétegszilikátokat (illit±muskovit) tartalmaznak, ezek aránya 20–40% között változik. Az albit mennyisége 5–30%, a vizsgált agyagkövek többségét azonban 10–20% közötti albittartalom jellemzi. A hematit mennyisége szintén jelentős (5–20%), átlagosan 10–20% közötti. A korábbi ásványtani vizsgálatok eredményeit (MÁTHÉ 1998; ÁRKAI et al. 2000),

valamint a kémiai elemzési adatokat figyelembe véve (l. később *IV. táblázat*) azonban az alkalmazott félmennyiségi módszer (PETSCHICK et al. 1996) – az adott kristályossági fok mellett, ebben a mátrixban – jelentősen túlbecsüli a hematit mennyiségét. Az *I. táblázat* adatai közül ezért nagy valószínűséggel az alsó határ (5–10%) tükrözi a hematitra vonatkozó félmennyiségi ásványos összetételt. Az agyagkövek kvarctartalma általában kicsi (~10%), azonban a kvarc mennyisége – a nyomnyi mennyiségtől a 10–20%-ig – tág határok között változik. Hasonló tartományon belül változik az agyagkövek karbonáttartalma is. A vizsgált mintákban a kalcit és a dolomit többnyire együtt fordul elő, azonban a Bat-4, Bat-13 és Bat-15 jelű fúrásokból származó agyagkövek kalcittartalma kiemelkedő (10–20%). A járulékos elegyrészek közül a klorit és az amorf anyag mennyisége a legnagyobb (átlagosan 5%, maximálisan 10%). Alárendelt mennyiségben több minta tartalmaz kálicföldpátot – amely nagy valószínűséggel mikroklin – és kaolinitet, valamint néhány mintában a szmektit (vagy erősen duzzadóképes illit/szmektit kevert szerkezetű agyagásvány) jelenléte sem zárható ki (*I. táblázat*). Ez az összetétel megfelel a korábbi ásványtani vizsgálatok eredményének (MÁTHÉ 1998; ÁRKAI et al. 2000).

Az agyagkövek <2 μm -es frakciójában – a teljes kőzetminták ásványos összetételéhez hasonlóan – a 10 Å-ös rétegszilikátok (illit±muszkovit) mennyisége a legjelentősebb (63–89%). Az illit kristályossági foka (IC) 0,34–0,57 °2 θ között változik, ami – a korábbi kutatások adataival egyező módon (ÁRKAI et al. 2000) – a diagenetikus–anchizóna határ (0,390–0,435 °2 θ) környezetének és a diagenetikus zónának felel meg (ÁRKAI 1983; FREY & ROBINSON 1999). Alárendelt mennyiségű (5%) szmektit egy mintában (Bat-4 567,4 m), a klorit és a kaolinit minden mintában megtalálható, mennyiségük azonban kicsi (*II. táblázat*). Ez utóbbi két ásvány valamennyi mintában egymás mellett fordul elő, ezért a 7 Å-nél jelentkező csúcs a két fázis eredőjének tekinthető, félmennyiségi összetételi adataik tehát csak tájékoztató jellegűek. Figyelembe véve azonban azt a korábbi következtetést (BARABÁS & BARABÁSNE STUHL 1998; ÁRKAI et al. 2000; R. VARGA et al. 2005), hogy a BAF üledék-képződésekor szemiarid–arid éghajlat uralkodott, a kaolinit mennyisége valószínűleg elhanyagolható. A vizsgált agyagkövekben a klorit nem jól kristályos, hanem kevert rétegszerkezet bélyegeit tükrözi. A légszáraz felvételhez képest az etilén-glikolos kezelés hatására az XRD vizsgálat során – nem figyelhető meg változás. A 450 °C-os hőkezelést követően azonban a 7 Å-ös csúcs intenzitása számottevően, a 14 Å-ös csúcs intenzitása csekély mértékben, illetve egyáltalán nem csökkent. Az 550 °C-os hőkezelés után a két reflexió eltűnt, vagy diffúz jellé alakult, miközben a 6,5–7,5 °2 θ és 9,5–10,0 °2 θ tartományban egy-egy diffúz csúcs jelent meg (*2. ábra*). Ez a viselkedés leginkább a „swelling chlorite” fázisának felel meg (WEAVER 1989), ami valószínűleg szabálytalanul közberétegzett klorit/szmektit kevert szerkezetű rétegszilikát. A 9,5–10,0 °2 θ tartományban jelentkező csúcs – legalább a minták egy részénél – vermikulit komponens jelenlétét is valószínűsíti. Hasonló megfigyelésekről számolt be Németh (szóbeli közlés), aki a BAF rétegsorából származó mintákban klorit/szmektit, illetve klorit/vermikulit kevert szerkezetű rétegszilikátot azonosított.

A homokkövek törmelékszemcséi döntően szögletesek, gyengén koptatottak. Kisebb mennyiségben közepesen vagy jól koptatott szemcséket is tartalmaznak,



2. ábra. A vizsgált minták <2 μm-es frakciójának jellegzetes röntgen-pordiffraktogramja. Jelmagyarázat: ill±mu: illit±muszkovit; chl: klorit; 450 °C: 450 °C-os hevítést követő felvétel; 550 °C: 550 °C-os hevítést követő felvétel

Fig. 2 Typical XRD pattern of the <2 μm fraction of the studied samples. Legend: ill±mu illite±muscovite; chl chlorite; 450 °C: heated at 450 °C; 550 °C: heated at 550 °C

ezek anyaga vulkáni eredetű vagy üledékes (agyagkő, aleurit, tűzkő) közettörmelék, illetve rezerbeált kvarc. A cement mennyisége változó, a közép–durvaszemcsés homokkőekben uralkodó a karbonátásványok szerepe. A szemcsék közötti pórusokat döntően pátos kalcit tölti ki, a mikrites kalcit mennyisége alárendelt. Több mintában sajátalakú, romboéderez megjelenésű, helyenként felhős magvú, zónás dolomitkristályok is megfigyelhetők az alapanyagban. Az XRD vizsgálat eredménye megerősítette a minták dolomittartalmát (1. táblázat). Kisebb mennyiségben hematit, illit/sericit, klorit cementálja a homokkőeket, valamint továbbnövekedési albit- és kovacement is megjelenhet. A szemcseméret csökkenésével a karbonátcement mennyisége csökken. A vizsgált homokkőek gyakran karbonátásványokkal kitöltött ereket, mikroteléreket tartalmaznak.

A homokkőek legnagyobb mennyiségben földpátokat (25–40%) és kvarcot (20–30%) tartalmaznak (1. táblázat). A plagioklász mennyisége minden esetben lényegesen meghaladja a káliciföldpátét, azonban – az átalakulási folyamatok következtében – arányuk pontos meghatározása a vékonycsiszolatok optikai mikroszkópos vizsgálatával nem lehetséges. A törmelékes plagioklász és a káliciföldpát (mikroklín) szemcsék egyaránt lehetnek üdék, vagy – a hasadási nyomvonalaknak, illetve a szemcsehatároknak megfelelően – különböző mértékű szericitesedés és kalcitosodás nyomait mutatják. Nagyon gyakori a törmelékes káliciföldpát szemcsék „foltos” megjelenésű átalakulása (1/1–4. kép). Ezek a szemcsék többnyire parányi barna zárványokat tartalmaznak, valamint kioltásuk blokkos-táblás szektor jellegű. Egyes metszetek teljesen átalakultak, illetve a szemcse belsejében megfigyelhető reliktum mikroklín mag utal az elsődleges ásványra. A felsorolt szöveti bélyegek a törmelékes földpátok kis hőmérsékletű (oldódás–kicsapódás mechanizmusú),

diagenetikus albitosodását jelzik (KASTNER & SIEVER 1979; GOLD 1987; McBRIDE et al. 1987; SAIGAL et al. 1988; MILLIKEN 1989). A részlegesen albitosodott káliföldpátban a barna zárványokat tartalmazó foltok az üregekben gazdag (vakuolás) autigén albitnak felelnek meg (SAIGAL et al. 1988). A jellegzetes kioltást eredményező inhomogén kémiai összetételű zónák részletes jellemzéséhez – a kutatás egy későbbi fázisában – a visszaszórt elektronképre épülő szöveti megfigyelések, továbbá elektronsugaras mikroanalitikai vizsgálatok szükségesek.

A homokkövek kvarcsczemcséi között a monokristályos (Qm) és a polikristályos (Qp) változat egyaránt megfigyelhető. A Qm szemcsék gyakran unduláló kioltásúak, azonban határozott kioltású, félig sajátalakú, illetve rezorbeált, vulkáni eredetű szemcsék szintén megjelennek. A Qp szemcsék kioltása unduláló, leggyakrabban szutúrásan érintkező alkristályokból állnak, azonban közel egyensúlyi kristályosodásra utaló (poligonális) változatok, illetve tűzkő (radiolarit) szemcsék is előfordulnak (I/5. kép). További ásványtörmelékként kevés muszkovitot és kloritosodó biotitot figyelhetünk meg. A közettörmelékek mennyisége jelentős, anyaguk uralkodóan instabilis, vulkáni eredetű (I/6–8. kép és II. tábla). A vulkanit (Lv) törmeléksczemcséket döntően átkristályosodott vulkáni alapanyag, illetve vulkáni üveg alkotja, helyenként felismerhető folyásos vagy szferolitos szövettel. Kisebb mennyiségben rezorbeált, illetve félig sajátalakú, sajátalakú kvarc, bontott földpát és átalakult amfibol(?) mikrofenokristályokat, vagy üvegszilánkokat tartalmazó Lv szemcsék figyelhetők meg (II/1–6. kép). A megfigyelt szöveti bélyegek és a jellegzetes ásványos összetétel arra utal, hogy ezek az Lv szemcsék a Gyűrűfői Riolit Formáció láva és piroklasztit eredetű közeteinek (FÜLÖP 1994; BARABÁS & BARABÁS-NÉ STUHL 1998; JAKAB 2005) lepusztulásából származnak. Alárendelten kis méretű, neutrális (trachitos szövetű), illetve bázisos (bazalt-dolerit?) jellegű, vulkáni, ritkán szubvulkáni eredetű törmeléksczemcsék is megfigyelhetők, amelyek forrásközete jelenleg ismeretlen. Ezek a szemcsék uralkodóan sötét, opak ásványban gazdag alapanyagban plagioklász mikrolitokat tartalmaznak (II/7–8. kép), azonban amfibol(?) utáni, opak ásványokból álló pszeudomorfózák szintén megjelenhetnek. A metamorf eredetű közettörmelékeket (Lm) – amelyek valószínűleg a kristályos aljzat eróziójából származnak – polikristályos kvarcból, változó mértékben átalakult földpátból és muszkovitból álló szemcsék képviselik. Az üledékes közettörmelékek (Ls) között az áthalmazott, sajátanyagú vörös agyagkő és aleurolit szemcsék a leggyakoribbak.

A közép–durvaszemcsés homokkövekben az akcesszóriák mennyisége alárendelt, csiszolatonként néhány szemcse formájában cirkon és opak ásvány fordult elő. A finom–aprószemcsés homokkövekben a törmelékes rétegszilikátok (muszkovit, kloritosodó biotit) és a nehézásványok mennyisége nagyobb; ez utóbbiak esetenként laminák mentén dúsulnak (III. tábla). Ezek a hidrodinamikai osztályozódás hatására kialakult mikrotorlatok legnagyobb mennyiségben opak ásványokat (magnetit, ilmenit) tartalmaznak, amelyekhez cirkon, monacit, rutil, apatit, turmalin, titanit és krómspinell (egy szemcse) társult.

A homokkövek $<2 \mu\text{m}$ -es frakciójában – az agyagkövek ásványos összetételéhez hasonlóan – a 10 \AA -ös fázisok (illit±muszkovit) mennyisége a legjelentősebb (60–90%). Az illit kristályossági foka (IC) azonban 0,29–0,30 $^{\circ}2\theta$ között változik (II. táblázat), amely egyértelműen az anchizónának felel meg (ÁRKAI 1983; FREY &

ROBINSON 1999). Az agyagkövek és a homokkövek IC értékei között megfigyelhető különbség valószínűleg a homokkövek törmelékes muszkovit-tartalmának IC-csökkentő hatására vezethető vissza.

Az albitosodás hatása a Bodai Aleurolit Formáció ásványos összetételére

A törmelékes üledékes kőzetek diagenetikus átalakulási folyamatai közül kiemelkedő jelentőségű az albitosodás, amely közvetlenül a leülepedést követően – a korai diagenézis során – megkezdődhet (VAN DE KAMP & LEAKE 1996), illetve a betemetődési diagenézis jellegzetes bélyege lehet (GOLD 1987; MCBRIDE et al. 1987; SAIGAL et al. 1988; MILLIKEN 1989; LEE & LEE 1998). Kontinentális környezetben (folyóvízi, tavi), arid–szemiarid éghajlati viszonyok mellett gyakori jelenség a vulkáni eredetű törmelékanyagban gazdag sziliciklasztos kőzetek törmelékes földpátjainak diagenetikus albitosodása (MCBRIDE et al. 1987; MILLIKEN 1989; VAN DE KAMP & LEAKE 1996; LEE & LEE 1998). LEE & LEE (1998) megfigyelése szerint a plagioklász albitosodásának mértéke általában nagyobb, mint a káli földpáté; valamint a nagy permeabilitású homokkövekben a plagioklász albitosodása nagyobb mértékű, mint az impermeabilis kőzetekben (pélitok, korai fázisú mikrit-cementált homokkövek).

Az albitosodott törmelékes kőzetek leggyakoribb diagenetikus ásványa az albit és a kalcit (karbonát). A rétegszilikátok közül általában az illit és a klorit mennyisége jelentős, a kaolinit, a szmektit és a klorit/szmektit kevert szerkezetű ásványfázis aránya alárendelt (VAN DE KAMP & LEAKE 1996; LEE & LEE 1998). A vulkáni törmelékanyag mállása során keletkező szmektit a diagenézis során gyakran illitté (Na^+ forrás, K^+ megkötés) vagy klorittá alakulhat, ez utóbbi folyamatra utal a kis mennyiségű szmektit és klorit/szmektit kevert szerkezetű rétegszilikát jelenléte (SAIGAL et al. 1988; VAN DE KAMP & LEAKE 1996; LEE & LEE 1998).

A BAF vizsgált kőzettípusainak ásványos összetételét összehasonlítva megállapítható, hogy az agyagkövekben az illit±muszkovit, a hematit és a klorit mennyisége jelentős, valamint nagyobb, mint a homokkövekben. Ezzel ellentétben a BAF homokköveinek albittartalma, valamint a kvarc és a karbonátásványok mennyisége jelentősen meghaladja az agyagkövekre jellemző értékeket (1. táblázat). Ez az ásványos összetétel arra utal, hogy – a nagyobb elsődleges porozitásnak megfelelően – a BAF homokköveiben a diagenetikus albitosodás és a részben ehhez kapcsolódó karbonátcementáció mértéke nagyobb, mint az agyagkövekben. Kisebb átlagos szemcseméretük következtében a BAF agyagköveiben nagyobb a rétegszilikátok és a Fe-oxidok mennyisége. Ezek a fázisok részben diagenetikus eredetűek; a savanyú vulkáni alapanyag, a mafikus komponensek (amfibol, biotit mikrofenkristályok; bázisos vulkanitok), illetve opak ásványok átalakulási termékeinek tekinthetők. Az alárendelt mennyiségű szmektit és a klorit/szmektit kevert szerkezetű rétegszilikát jelenléte szintén a vulkáni törmelékanyag mállása során keletkező szmektit diagenetikus illitesedésére, illetve kloritosodására utalhat.

Ezek a megfigyelések összhangban vannak a diagenetikus albitosodást kísérő ásványtani átalakulások minőségi és – szemcsemérettől függő – mennyiségi jellegzetességeivel, továbbá megerősítik az agyagkövek geokémiai vizsgálatára alapozott diagenetikus modellt (R. VARGA et al. 2005).

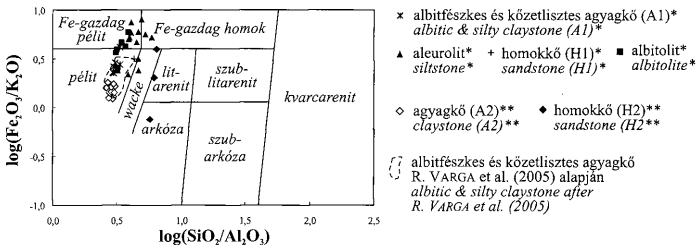
A geokémiai vizsgálat eredménye és értelmezése

A BAF-ból származó agyagkő, aleurolit, homokkő és albitolit kőzetminták főelemösszetételét a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. adatbázisa alapján (in MÁTHÉ 1998) a III. táblázatban foglaltuk össze. A részletes geokémiai vizsgálatra kiválasztott minták kémiai összetételét, valamint a RFF-ek jellemzésére általánosan használt paramétereket a IV. táblázat tartalmazza. A finomszemcsés törmelékes kőzetek átlagos kémiai összetételét jelző referenciaként az archaikum utáni ausztráliai agyagpala (PAAS, „post-Archean Australian average shale”) átlagos összetételét használtuk (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001). A tömegszázalékban megadott teljes kőzetösszetétel véges (zárt) összeg hatása miatt, továbbá az immobilis nyomelemek és az Al_2O_3 koncentrációja közötti lineáris korreláció hatásának kiküszöbölésére a PAAS-hez viszonyított, Al-normált dúsulási tényezőket (Ex^*) határoztuk meg (HASSAN et al. 1999; R. VARGA 2005). Ez valamely X elemre a következő képlet szerint adható meg:

$Ex^* = (C_x \text{ minta} / C_{Al} \text{ minta}) / (C_x \text{ PAAS} / C_{Al} \text{ PAAS})$, ahol C_x az adott elem koncentrációja, C_{Al} az Al koncentrációja. A homokkővek elemeloszlásának értelmezésekor – illómentes összetételi adatokkal – a felső kontinentális kéreg (FKK) átlagos összetételét (MCLENNAN 2001) szintén felhasználtuk. A vizsgált kőzetek RFF-koncentrációit kondritra (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 1989) normált értékek alapján hasonlítottuk össze.

A Bodai Aleurolit Formáció jellegzetes törmelékes kőzettípusainak főelemösszetétele

A teljes kőzetmintából meghatározott főelemösszetétel alapján a különböző szemcseméretű törmelékes kőzetek kémiai osztályozására a $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ – $\log(Fe_2O_3/K_2O)$ diagram (HERRON 1988) használható fel (3. ábra). A vizsgált kőzettípusok közül az agyagkővek – egy Al agyagkő kivételével, amely a Fe-gazdag pélit mező határán található – a pélit kategória mezejében csoportosulnak. Ez az összetétel gyakorlatilag megegyezik R. VARGA et al. (2005) eredményével, ami a bodai



3. ábra. A vizsgált minták kémiai osztályozása HERRON (1988) alapján. Jelmagyarázat: *: XRF analízis, Pécs (in MÁTHÉ 1998); **: XRF analízis, Tübingen

Fig. 3 Chemical classification scheme of the samples studied after HERRON (1988). Legend: * XRF analysis, Pécs (in MÁTHÉ 1998); ** XRF analysis, Tübingen

III. táblázat. A BAF vizsgált kőzettípusainak főelemösszetétele (g/g%) a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. adatbázisa alapján (in MÁTHÉ 1998)
 Table III Major element composition (in wt% oxide) of lithotypes studied from the Boda Siltstone Formation using the database of Mecsek Ore Environment (in MÁTHÉ 1998)

objektum mélység (m)	4325 2080,6	4709/1 1986,2	Alfa-75 189,3	VII. 1971,4	X. 1773,5	XIV. 2025,3	XIV. 2041,3	XV. 105,7	Bat-4 1200,0	Bat-4 881,7	Boda-I	Boda-III	K-120/2	K-130/1
kőzettípus	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	H1	AL	AL	AL	AL	AL
SiO ₂	54,12	54,25	52,10	52,91	54,77	53,47	47,36	53,53	50,58	59,14	55,45	59,86	66,10	56,07
TiO ₂	0,68	0,73	0,66	0,65	0,71	0,69	0,64	0,72	1,08	0,78	0,61	0,50	0,71	0,68
Al ₂ O ₃	16,38	18,31	17,68	17,32	16,57	16,91	17,78	18,01	11,76	11,38	13,62	18,77	14,73	14,20
Fe ₂ O ₃	7,34	8,04	8,01	8,11	7,42	7,51	8,19	8,40	7,18	3,96	5,06	6,12	3,69	5,41
MnO	0,11	0,06	0,10	0,12	0,15	0,17	0,14	0,07	0,34	0,16	0,38	0,46	0,24	0,28
MgO	3,27	3,50	4,08	3,53	3,38	4,45	4,70	3,85	4,70	0,06	1,55	2,13	0,21	0,64
CaO	5,57	2,91	3,81	4,97	4,93	4,84	4,90	3,24	6,72	7,60	7,55	1,14	3,63	6,85
Na ₂ O	2,24	1,71	1,60	2,99	5,45	2,55	1,95	2,48	4,35	7,39	5,69	5,69	5,13	6,12
K ₂ O	2,63	3,58	3,48	2,84	1,77	2,99	4,74	3,19	2,25	0,70	0,87	2,55	0,79	1,04
P ₂ O ₅	0,26	0,22	0,28	0,27	0,20	0,17	0,88	0,22	0,22	0,13	0,21	0,32	0,12	0,21
LOI	8,30	6,30	7,70	7,30	7,00	8,80	9,26	6,40	13,30	6,30	9,20	2,70	3,80	7,30
Total	100,90	99,61	99,50	101,01	102,35	102,55	100,54	100,11	102,48	97,60	100,19	100,24	99,15	98,80
objektum mélység (m)	K-21-2	K-4/2	K-5/1	K-72/2	K-75/2	K-75/3	K-75/3*	Gamma-4	K-25-2	Delta-10	Delta-3	Delta-3	Delta-4	Delta-4
kőzettípus	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	ALB	ALB	ALB	ALB	ALB	ALB
SiO ₂	63,02	57,37	64,12	57,52	59,00	62,30	58,66	57,90	56,18	51,20	53,31	51,07	52,80	52,90
TiO ₂	0,65	0,51	0,60	0,56	0,69	0,75	0,59	0,52	0,72	0,66	0,59	0,71	0,45	0,81
Al ₂ O ₃	13,70	12,39	10,92	15,00	15,16	12,82	12,75	14,24	16,51	13,40	17,00	16,58	14,32	16,60
Fe ₂ O ₃	4,63	4,60	2,86	4,48	5,37	4,05	3,48	6,69	5,48	7,40	7,23	6,97	5,06	7,90
MnO	0,09	0,39	0,20	0,13	0,21	0,29	0,19	0,15	0,14	0,23	0,13	0,15	0,37	0,16
MgO	1,51	0,35	0,00	0,84	0,00	0,00	1,16	2,63	0,57	2,61	2,38	2,95	2,45	2,07
CaO	4,02	8,53	7,21	6,20	6,45	5,95	9,68	6,24	5,03	9,00	3,93	4,86	7,14	4,60
Na ₂ O	4,76	4,79	5,30	5,32	5,39	5,98	4,31	5,62	7,10	6,10	7,17	6,48	6,74	6,20
K ₂ O	1,94	1,45	0,55	2,07	1,07	0,51	0,58	0,90	1,18	1,25	1,82	1,89	1,19	3,06
P ₂ O ₅	0,23	0,17	0,17	0,20	0,28	0,25	0,17	0,23	0,15	0,16	0,19	0,21	0,16	0,24
LOI	4,60	8,50	6,80	6,90	6,70	5,80	9,10	7,00	5,50	7,90	5,70	7,30	9,80	5,40
Total	99,15	99,05	98,73	99,22	100,32	98,70	100,67	102,12	98,56	99,91	99,45	99,17	100,48	99,94

Jelmagyarázat: LOI: izzítási veszteség; A1: agyagkő; H1: homokkő; AL: aleurolit; ALB: albitolit
 Legend: LOI loss on ignition; A1 claystone; H1 sandstone; AL siltstone; ALB albitolite (a sedimentary rock with >50% albite)

IV. táblázat. A BAF-ból újonnan begyűjtött minták kémiai összetétele (főelemek: g/g%, nyomelemek: ppm)
 Table IV Chemical composition of the samples newly collected from the Boda Siltstone Formation (major elements in wt% and trace elements in ppm).

fúrás jele mélység (m) kőzettípus	4709/1 1997,4 A2	4709/1 1960,2 A2	4709/1 1848,0 A2	X. 1596,3 A2	Bat-4 1147,8 A2	Bat-4 947,5 A2	Bat-4 741,2m A2	Bat-4 567,4 A2	Bat-15 13,3 A2	Bat-13 29,8 A2	4709/1 1932,4 H2	4709/1 1903,7 H2	4709/1 1829,3 H2
SiO ₂	51,69	52,98	52,05	50,13	51,32	50,31	48,18	52,05	51,39	48,26	65,98	56,62	69,57
TiO ₂	0,73	0,68	0,65	0,67	0,74	0,67	0,52	0,67	0,72	0,64	0,23	0,30	0,43
Al ₂ O ₃	18,03	17,84	17,80	18,36	17,14	17,77	18,40	17,10	17,41	17,94	11,56	8,93	11,39
Fe ₂ O ₃	7,52	6,89	7,20	7,41	7,18	7,79	8,67	7,17	7,32	8,15	1,88	3,07	2,68
MnO	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,10	0,22	0,12
MgO	3,53	3,27	3,77	4,79	4,85	3,78	4,25	3,92	3,45	3,86	1,55	4,10	2,13
CaO	3,71	3,63	3,67	3,21	2,85	4,26	4,06	4,47	4,60	5,42	6,10	9,40	3,20
Na ₂ O	2,27	2,25	1,10	0,88	2,40	3,06	2,98	2,53	3,24	3,17	3,70	4,16	4,65
K ₂ O	5,23	5,28	5,83	5,96	5,04	4,78	5,49	4,36	4,20	4,48	2,50	0,78	1,32
P ₂ O ₅	0,34	0,45	0,30	0,31	0,28	0,32	0,37	0,32	0,26	0,45	0,15	0,09	0,12
LOI	6,61	6,26	7,54	6,24	6,87	6,48	6,72	6,91	6,62	7,48	6,55	12,62	4,94
Total	99,72	99,59	99,99	98,05	98,76	99,30	99,72	99,59	99,27	99,94	100,31	100,28	100,54
Rb	248	258	342	294	230	245	273	195	204	223	102	33	59
Sr	131	139	113	143	77	158	227	204	120	177	497	421	106
Ba	226	246	259	320	382	348	275	493	384	368	1492	841	170
Pb	40	18	25	23	14	32	29	32	38	29	7	11	8
Th	18	19	18	17	15	17	16	17	17	16	6	7	5
U	3,2	2,9	3,7	2,8	5,4	6,4	4,2	5,1	4,0	5,1	1,7	1,1	3,1
Zr	157	169	139	130	153	132	ND	123	132	ND	75	83	175
Hf	4,6	5,2	3,9	4,4	4,5	4,4	4,0	3,9	4,4	4,0	2,6	2,4	5,2
Nb	17,3	15,3	15,7	13,9	16,5	17,0	15,8	15,0	17,6	17,8	5,5	5,6	9,5
Ta	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,0	1,3	0,9	0,5	0,5	0,6

Jelmagyarázat: LOI: izzítási veszteség; A2: agyagkő; H2: homokkő; ND: nincs adat; Eu/Eu*: Eu-anómia

Legend: LOI loss on ignition; A2 claystone; H2 sandstone; ND no data; Eu/Eu* europium anomaly

IV táblázat (folytatás)
Table IV (cont.)

fúrás jele	4709/1	4709/1	4709/1	X.	Bat-4	Bat-4	Bat-4	Bat-4	Bat-15	Bat-13	4709/1	4709/1	4709/1
mélység (m)	1997,4	1960,2	1848,0	1596,3	1147,8	947,5	741,2m	567,4	13,3	29,8	1932,4	1903,7	1829,3
kőzettípus	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	H2	H2	H2
Y	35	35	33	32	37	32	30	34	31	35	14	19	23
Sc	18,5	19,0	16,7	15,9	18,0	19,3	18,0	18,4	17,4	17,7	6,7	10,3	5,4
V	103	117	99	110	121	122	111	110	123	114	41	46	30
Cr	96	100	94	100	90	100	93	100	110	87	30	34	34
Co	19	21	20	21	22	25	23	23	23	23	7	13	6
Ni	41	39	40	47	42	46	41	46	45	39	4	4	0
Zn	135	92	97	101	92	124	121	124	125	140	37	37	16
La	48	45	45	40	45	45	41	43	47	41	19	20	20
Ce	102	95	98	89	90	88	84	92	91	83	37	39	45
Pr	11,6	10,9	11,3	10,23	10,45	10,02	ND	10,61	10,37	ND	4,1	4,6	5,3
Nd	44	41	41	40	41	40	41	38	40	43	16	17	20
Sm	9,1	8,7	8,2	8,0	8,6	8,2	7,3	7,90	8,7	7,7	3,2	3,5	4,0
Eu	1,52	1,51	1,38	1,31	1,69	1,47	1,20	1,32	1,41	1,30	0,55	0,69	0,83
Gd	7,54	7,11	6,97	6,19	7,66	6,54	ND	6,88	6,72	ND	2,81	3,23	3,71
Tb	1,16	1,20	1,11	1,00	1,20	1,09	1,10	1,11	1,09	1,10	0,49	0,54	0,59
Dy	6,34	6,09	5,97	5,57	7,05	5,95	ND	5,94	6,06	ND	2,44	2,96	3,23
Ho	1,34	1,33	1,20	1,11	1,28	1,20	ND	1,21	1,21	ND	0,54	0,63	0,67
Er	3,62	3,56	3,30	2,79	3,53	3,35	ND	3,34	3,24	ND	1,32	1,66	1,85
Tm	0,53	0,55	0,47	0,40	0,49	0,47	ND	0,49	0,45	ND	0,21	0,26	0,27
Yb	3,41	3,54	3,08	2,79	3,19	2,93	2,60	3,15	3,06	2,70	1,22	1,62	1,84
Lu	0,50	0,50	0,44	0,41	0,50	0,44	0,40	0,46	0,45	0,47	0,18	0,22	0,28
ΣRFF	240,33	225,54	226,87	207,70	222,14	214,06	ND	214,81	220,96	ND	88,95	95,37	106,87
La _N /Yb _N	9,51	8,61	9,76	9,64	9,53	10,26	10,66	9,12	10,45	10,26	10,52	8,18	7,42
La _N /Sm _N	3,32	3,26	3,42	3,13	3,29	3,42	3,54	3,39	3,42	3,35	3,74	3,52	3,18
Gd _N /Yb _N	1,79	1,63	1,83	1,80	1,95	1,81	ND	1,77	1,78	ND	1,87	1,62	1,63
Eu/Eu*	0,56	0,59	0,56	0,57	0,64	0,61	ND	0,55	0,56	ND	0,56	0,63	0,66

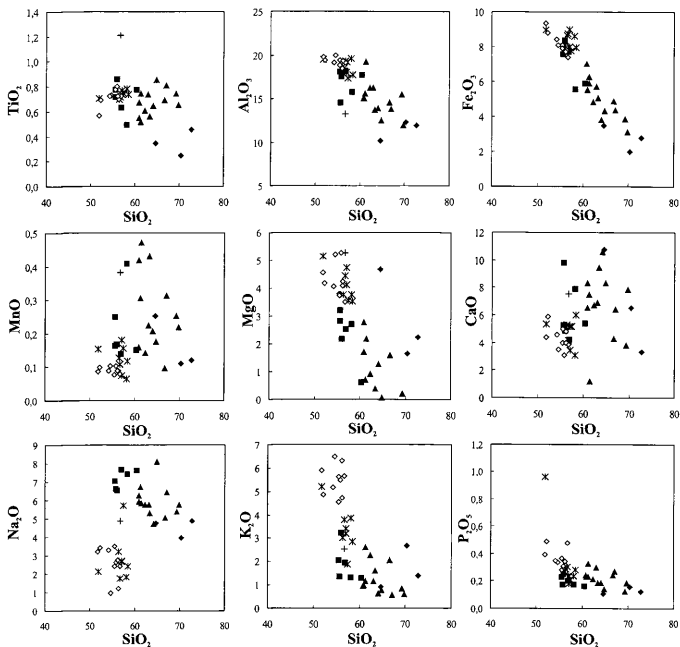
agyagkövek közel azonos $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ és szűk tartományon belül változó $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ arányát tükrözi. A $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ arány alapján az albitolitok összetétele az agyagkövekéhez hasonló, azonban mintapontjaik jelentősen eltolódnak a Fe-gazdag tartomány felé. Az aleurolitokat jelző mintapontok szintén Fe-dúsulást mutatnak, azonban szórásuk jelentős (pélit, Fe-gazdag pélit, wacke, Fe-gazdag homok), ezért kémiai osztályozásuk a $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ diagram alapján nem ad megbízható eredményt. A H1 homokkőmintát a pélit mezőbe esik (pélit-wacke határ), $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aránya alapján – eltérve a H2 homokkővektől – az aleurolitokhoz hasonlít. A H2 homokkővek $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aránya közel azonos, azonban $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ arányuk alapján jelentős mértékű eltolódást mutatnak az arkóza mezőből a wacke-Fe-gazdag homok határ felé (3. ábra).

A Fe-dúsulásra utaló aleurolitokban, albitolitokban és H2 homokkővekben az agyagkövekhez képest jelentős K_2O -szegényedés figyelhető meg (III. és IV. táblázat), ezért a $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ arány növekedését és a látszólagos Fe-dúsulást – a törmelékes kálicsodások albitosodása következtében – a K_2O mobilizációja okozta. Ez a megfigyelés összhangban van WILLAN (2003) eredményével, aki antarktisi triász-kréta homokkővek vizsgálatakor a $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ diagramban az albitosodott homokkővek eltolódását tapasztalta a Fe-gazdag pélit és a Fe-gazdag homok tartomány felé.

Az egyes főelemek mennyiségi változását a SiO_2 -tartalom függvényében az illómentes összetételi adatok alapján szerkesztett Harker-diagramok segítségével követhetjük (4. ábra). A vizsgált minták általános jellemzője, hogy a SiO_2 -tartalom növekedésével – amely gyakorlatilag a szemcseméret durvulásának felel meg – a TiO_2 -tartalom lényegesen nem változik (a H2 homokkővekben a legkisebb), az Al_2O_3 -, a Fe_2O_3 -, a MgO - és a P_2O_5 -tartalom csökken, a Na_2O -tartalom azonban jelentős mértékben megnövekszik. A MnO és a CaO mennyiségének változása független a SiO_2 -tartalomtól, illómentes összetételre számolt koncentrációjuk az agyagkövekben viszonylag szűk tartományon belül marad, a többi mintában azonban jelentős szórást mutat. A Harker-diagramok alapján (a SiO_2 - K_2O kivételével) az A1 és az A2 agyagkövek rendkívül hasonló összetételűek, elkülönülésük az aleurolit, homokkő és albitolit kőzetmintáktól a Na_2O -tartalom alapján a legkifejezettebb. A bemutatott kétváltozós diagramokban az aleurolitok főelemeloszlása (a SiO_2 - TiO_2 kivételével) többnyire a H2 homokkővek koncentrációváltozását követi. A H1 homokkő összetétele általában elkülönül a többi mintától, az albitolitok összetétele (a SiO_2 - Na_2O kivételével) viszont az agyagkövek és az aleurolitok közötti átmenetnek felel meg.

Az Al-normálást követően, a PAAS összetételhez viszonyítva az A1 agyagkövekben a SiO_2 és a TiO_2 kis mértékben szegényedik (5a. ábra). A Fe_2O_3 mennyiségében kisebb mértékű, a MgO , a CaO , a Na_2O és a P_2O_5 mennyiségében jelentős mértékű dúsulás figyelhető meg, azonban az egyes minták dúsulási tényezői között nagy eltérések vannak. A MnO és a K_2O dúsulási tényezője széles tartományon belül változik, azonban a legtöbb mintára a MnO dúsulása, továbbá a K_2O kis mértékű szegényedése jellemző.

Az Al-normált koncentrációk közül az aleurolitokban a SiO_2 és a P_2O_5 mennyisége általában nagyobb, a TiO_2 és a Fe_2O_3 mennyisége közel azonos, a K_2O mennyisége viszont jelentősen kisebb, mint a PAAS összetételét jelző főelem-

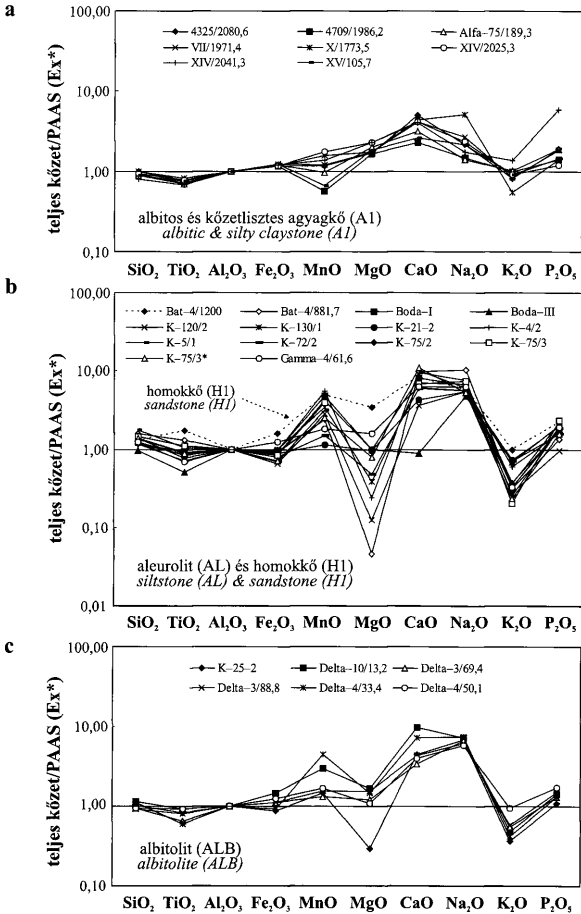


4. ábra. Harker-diagramok a BAF vizsgált mintáinak főelemösszetétele (g/g%; illómentes összetétel) alapján. A jelölések magyarázatát a 3. ábra mutatja

Fig. 4 Harker variation diagram of major elements (in wt%) for the samples studied from the Boda Siltstone Formation. Major element data are recalculated volatile-free. For explanation of symbols see Fig. 3

arányok (5b. ábra). A PAAS-hez viszonyítva a MnO, a CaO és a Na₂O dúsulása általános bélyeg, dúsulásuk mértéke meghaladja az A1 agyagkövekben tapasztaltakat. Az A1 agyagkövektől eltérően, a MgO csak néhány mintában dúsul, mennyiségében legtöbbször jelentős mértékű szegényedés figyelhető meg. A H1 homokkő dúsulási tényezőinek eloszlása az aleurolitok eloszlásához hasonló, azonban a TiO₂, a Fe₂O₃, a MgO és a K₂O dúsulási tényezője ebben a mintában a legnagyobb (5b. ábra). Ez a minta – egyedi, kiugró mintaként – néhány szempont szerint elkülönül, amely valószínűleg jelentős karbonáttartalmára vezethető vissza (4,70% MgO, 6,72% CaO; 13,30% LOI; II. táblázat), ezért a további értelmezésben ettől a mintától eltekintettünk.

A PAAS összetételhez viszonyítva az albitolitokban a SiO₂ nem, illetve csak kis mértékben dúsul; a TiO₂ kisebb, a K₂O nagyobb mértékben szegényedik; a Fe₂O₃, a MgO (a felszíni feltárásból származó K-25-2 minta kivételével) és a P₂O₅ kis

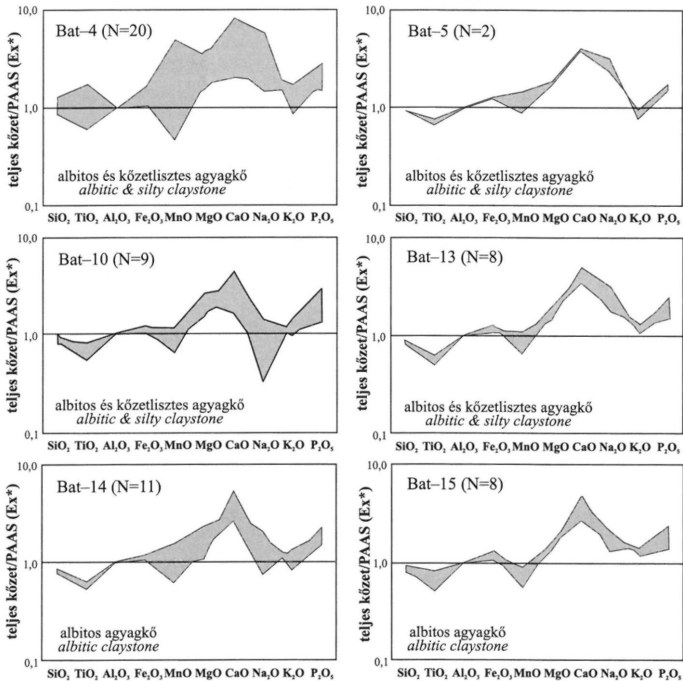


5. ábra. Archaikum utáni ausztráliai agyagkő (PAAS – TAYLOR & McLENNAN 1985; McLENNAN 2001) összetételhez viszonyított főelem dúsulási tényezők (Ex^*) a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. adatbázisa alapján (in MATHÉ 1998). a) albitos és kőzetlisztes agyagkő; b) aleurolit és homokkő; c) albitolit

Fig. 5 Enrichment factors (Ex^*) for major elements relative to the post-Archaean Australian average shale (PAAS – TAYLOR & McLENNAN 1985; McLENNAN 2001) using the database of Mecsek Ore Environment (in MATHÉ 1998). a) albitic & silty claystone; b) siltstone & sandstone; c) albitolite

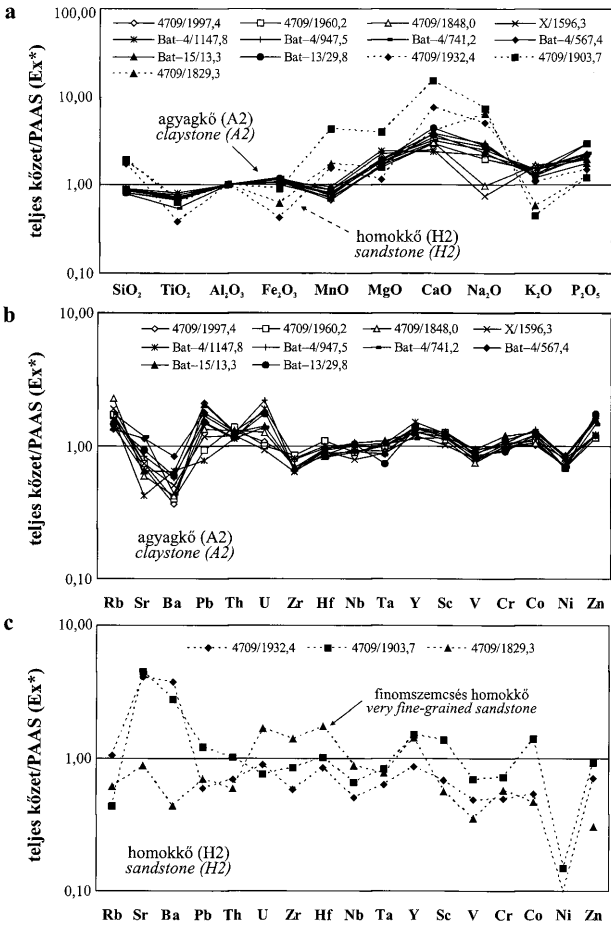
mértékben dúsul (5c. ábra). A MnO, a CaO és a Na₂O mennyiségében – az aleurolitokhoz hasonlóan – jelentős mértékű dúsulás figyelhető meg.

Az A1 agyagkövek dúsulási tényezőit összehasonlítva az R. VARGA et al. (2005) bodai agyagkő adatai alapján szerkesztett diagramokkal (6. ábra), valamint az A2 agyagkövek dúsulási tényezőinek eloszlásával (7a ábra) megállapítható, hogy a különböző mélyfúrásokból származó agyagkövek főelem dúsulási tényezői – a megfigyelhető kisebb különbségektől eltekintve – hasonló általános tendenciát mutatnak. A PAAS-hez viszonyítva a SiO₂ és a TiO₂ szegényednek, a Fe₂O₃ dúsul, a MnO dúsulási tényezője viszonylag tág tartományon belül változik. A MgO, a CaO és a P₂O₅ mennyiségében minden esetben jelentős mértékű dúsulás mutatható ki. A PAAS-hez viszonyítva a Na₂O általában nagyobb, a K₂O kisebb mértékben dúsul,



6. ábra. Az agyagkövek PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) összetételhez viszonyított főelem dúsulási tényezői (Ex*) R. VARGA et al. (2005) alapján

Fig. 6 Major element-enrichment factors (Ex*) for albitic & silty claystone samples relative to the PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) after R. VARGA et al. (2005)



7. ábra. Az A2 agyagkövek és a H2 homokkövek PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) összetételhez viszonyított főelem (a) és nyomelem (b-c) dúsulási tényezői (Ex^*)

Fig. 7 Major (a) and trace-element (b-c) enrichment factors (Ex^*) for A2 claystone and H2 sandstone samples relative to the PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001)

azonban – ettől eltérően – néhány mintában mindkét elemnél kis mértékű szegényedés szintén megfigyelhető. A 5a, a 6. és a 7a ábrák főelemeloszlása alapján a részletes geokémiai vizsgálatra kiválasztott 9 minta összetétele megfelelően tükrözi a bodai agyagkövek kémiai jellegzetességeit. Az A2 agyagkövek nyomelemösszetételének értelmezési eredményei így – minden megszorítás nélkül – felhasználhatók a BAF agyagköveinek általános geokémiai jellemzésére.

A H2 homokkövek – PAAS összetételhez viszonyított – dúsulási tényezői legnagyobb mértékben az aleurolitok dúsulási tényezőinek eloszlásával mutatnak rokonságot (7a ábra). A SiO_2 és a P_2O_5 mennyisége kis mértékben, de határozottan dúsul; a TiO_2 szegényedik, valamint a Fe_2O_3 és a K_2O mennyisége általában szintén szegényedik. A MnO , a CaO és a Na_2O dúsulásának mértéke kiemelkedően nagy, többnyire jelentősen meghaladva az agyagkövekre jellemző dúsulási értékeket. A H2 homokkövekben a MgO szintén dúsul, ami azonban az aleurolitokra nem jellemző bélyeg (5b. ábra). Összehasonlítva a Harker-diagramok és a dúsulási tényezők eloszlásának eredményeit (4–7a ábrák), a H2 homokkövek részletes geokémiai vizsgálata – megfelelő körültekintéssel – felhasználható a BAF kőzetliszt-homok szemcseméretű kőzettípusainak összefoglaló jellemzésére.

A H2 homokkövek illómentes főelemösszetételét a FKK átlagos összetételéhez viszonyítva megállapítható, hogy a vizsgált homokkövek SiO_2 -tartalma a FKK-hez nagyon hasonló érték (8a. ábra). A TiO_2 , az Al_2O_3 , a Fe_2O_3 , a K_2O és a P_2O_5 mennyiségében változó mértékű, de határozott szegényedés mutatható ki. Ezzel ellentétben a MnO , a MgO , a CaO és a Na_2O koncentrációja a legtöbb esetben különböző mértékű dúsulást tükröz.

A Bodai Aleurolit Formáció agyag- és homokköveinek nyomelemösszetétele

Az A2 agyagkövek nyomelemösszetételéből számolt dúsulási tényezők – lelőhelytől függetlenül – nagyon hasonló bélyegekkel jellemezhetők (7b. ábra). A nagy ionrádiuszú, litofil nyomelemek (Rb, Sr, Ba) és a rokon geokémiai viselkedésű Pb dúsulási viszonyaiban jelentős különbségek tapasztalhatók. A Rb minden, az Pb a legtöbb mintában dúsul a PAAS-hez viszonyítva, ezzel ellentétben a Ba valamennyi A2 agyagkőben szegényedik. A Sr mennyiségét általában szintén szegényedés jellemzi. A tág értelemben vett nagy térerejű nyomelemek (Zr, Hf, Nb, Ta, valamint Th és U) dúsulási tényezői – a redox-érzékeny U kivételével – nagyon hasonlóak. A Th minden A2 agyagkőben dúsul, a Zr szegényedik, a Hf, a Nb és a Ta mennyisége a PAAS összetételétől lényegesen nem tér el. Az U a legtöbb mintában dúsul, azonban a dúsulás mértékében – az Pb mennyiségéhez hasonlóan – nagy szórás figyelhető meg. Az Y és az átmenetifémek dúsulási tényezői egységes eloszlást mutatnak. Az Y, a Sc, a Co és a Zn kis mértékben dúsul, a V és a Ni szegényedik. A Cr mennyisége lényegesen nem tér el a PAAS összetételétől.

A H2 homokkövek PAAS összetételhez viszonyított nyomelem dúsulási viszonyai az uralkodó átlagos szemcseméret függvényében változnak, a legnagyobb eltérés az erősen mobilis Rb, Sr és Ba mennyiségében tapasztalható (7c. ábra). A finomszemcsés homokkőben a Sr és a Ba mennyisége szegényedik, a középszemcsés homokkövekben azonban jelentős mértékben dúsul. Valamennyi mintára jellemző a Ni jelentős szegényedése, amelyet leggyakrabban más átmenetifémek és a nagy

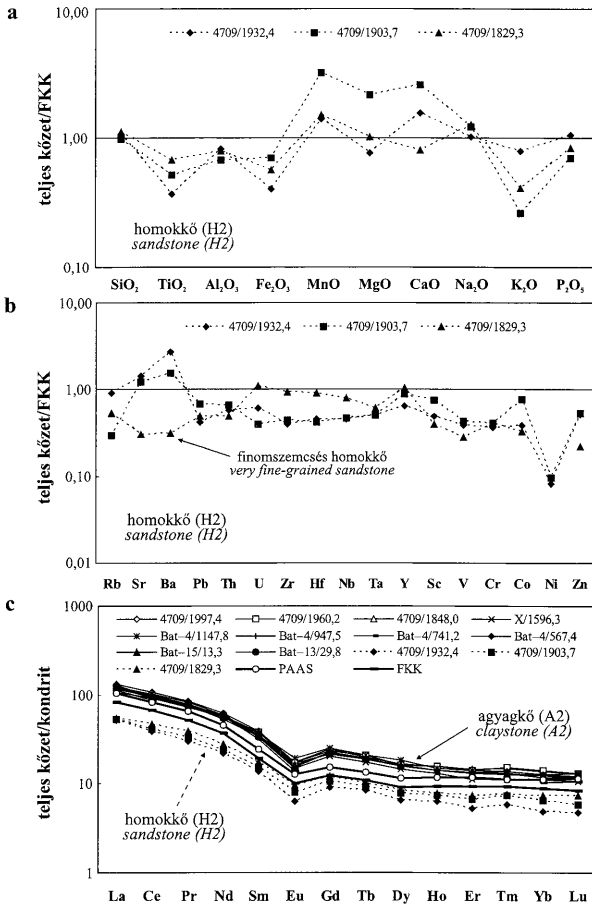
térező nyomelemek szegényedése kíséri. Ez a szegényedés jelentősen meghaladja az A2 agyagkövekben tapasztaltakat (7b. ábra). A középszemcsés homokkövektől és az agyagkövektől eltérően, a finomszemcsés homokkőben jelentős U-, Zr- és Hf-dúsulás figyelhető meg (7c. ábra).

A H2 homokkővek illómentes összetételét a FKK összetételéhez viszonyítva megállapítható, hogy a vizsgált mintákban a legtöbb nyomelem koncentrációja kisebb, mint a homokkővek geokémiai értelmezésében elterjedt referenciaérték, határozott dúsulás csak a középszemcsés homokkővek Sr- és Ba-tartalmában mutatható ki (8b. ábra). A Ni koncentrációjában – PAAS-hez viszonyított dúsulási tényezőkhöz hasonlóan – a FKK összetételéhez képest jelentős negatív anomália figyelhető meg. A finomszemcsés homokkő Sr- és Ba-tartalma kicsi; U-, Zr-, Hf-, Nb-, Ta-, és Y-tartalma azonban – meghaladva a középszemcsés homokkővekre jellemző koncentrációkat – a FKK összetételéhez nagyon hasonló. Az U, a Zr, a Hf és az Y koncentrációját üledékes környezetben döntően a cirkon mennyisége határozza meg; a Nb és a Ta koncentrációja viszont a Ti-tartalmú nehézasványok (rutil, ilmenit) mennyiségétől függ (PRESTON et al. 1998; R. VARGA 2005). A legnagyobb nehézasvány-koncentráció a finom-aprószemcsés homokkővekre jellemző (R. VARGA 2005), amelyet a petrográfiai megfigyeléseink megerősítettek; így a hordalékszállítás és az üledékképződést kísérő hidrodinamikai osztályozódás is felelős a BAF eltérő szemcseméretű homokkőveinek kémiai összetételében megfigyelt különbségek kialakításáért.

Az A2 agyagkövek és a H2 homokkővek kondritra (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 1989) normált RFF-eloszlása egyaránt frakcionált (határozott negatív Eu-anomáliával); egymáshoz, valamint a PAAS és a FKK referenciaértékekhez nagyon hasonló lefutású (8c. ábra). Az agyagkövekben azonban a PAAS-hez képest a RFF-ek dúsulását, a homokkővekben a FKK összetételéhez képest a RFF-ek szegényedését figyelhetjük meg.

Az A2 agyagkövek összes RFF-tartalma (Σ RFF) 207,70–240,33 közötti (IV. táblázat), amely jelentősen meghaladja a PAAS-re jellemző értéket (183,01). A RFF-ek frakcionációját jelző kondritra (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 1989) normált La_N/Yb_N hányados 8,61–10,66 között változik, a frakcionáció mértéke hasonló a PAAS összetételére jellemző értékhez (9,17). A könnyű RFF-ek frakcionációja ($\text{La}_N/\text{Sm}_N=3,13\text{--}3,54$) valamivel kisebb, a nehéz RFF-eké ($\text{Gd}_N/\text{Yb}_N=1,63\text{--}1,95$) nagyobb mértékű, mint a PAAS összetételét jelző hányadosok ($\text{La}_N/\text{Sm}_N=4,27$; $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N=1,36$). Az Eu-anomália mértékét kifejező Eu/Eu^* hányados, amely MCLENNAN (1989) módszere alapján az $\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N/(\text{Sm}_N \cdot \text{Gd}_N)^{1/2}$ képlet alapján határozható meg, valamivel kisebb (0,55–0,64) – azaz a negatív Eu-anomália mértéke nagyobb –, mint a PAAS RFF-eloszlására jellemző érték ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,66$).

A H2 homokkővek RFF-tartalmát 88,95–106,87 közötti Σ RFF jellemzi (IV. táblázat), amely az A2 agyagkövekhez, valamint a PAAS és a FKK (Σ RFF=146,37) referenciaértékekhez képest lényegesen kisebb RFF-koncentrációt tükröz. A finomszemcsés homokkő RFF-tartalma meghaladja a középszemcsés homokkővekben mért koncentrációkat. A RFF-ek eloszlása frakcionált ($\text{La}_N/\text{Yb}_N=7,42\text{--}10,52$). A könnyű RFF-ek és a nehéz RFF-ek frakcionációja ($\text{La}_N/\text{Sm}_N=3,18\text{--}3,74$; $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N=1,62\text{--}1,87$), valamint a negatív Eu-anomália ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,56\text{--}0,66$) hasonló mértékű, mint az A2 agyagkövekben. A H2 homokkővekben a La_N/Sm_N arány kisebb, a



8. ábra. A H2 homokkővek felső kontinentális kéreg (FKK – McLENNAN 2001) átlagos összetételére normált főelem- (a) és nyomelem- (b) eloszlása; c) Az A2 agyagkővek és a H2 homokkővek kondritra (TAYLOR & McLENNAN 1985; McLENNAN 1989) normált RFF-eloszlása

Fig. 8 The upper continental crust-normalised (FKK, Hungarian abbreviation – McLENNAN 2001) major (a) and trace (b) element composition of H2 sandstone samples; c) Chondrite-normalised (TAYLOR & McLENNAN 1985; McLENNAN 1989) REE patterns of A2 claystone and H2 sandstone samples

Gd_N/Yb_N arány nagyobb, az Eu/Eu^* arány általában kisebb, mint a FKK összetételét jelző hányadosok ($La_N/Sm_N=4,20$; $Gd_N/Yb_N=1,40$; $Eu/Eu^*=0,65$).

Általános tapasztalat, hogy a pélitiek teljes ritkaföldfém-tartalma (ΣRFF) meghaladja a homokkövekben mért koncentrációkat, amely arra utal, hogy a ritkaföldfémek uralkodóan a finomszemcsés frakcióban dúsuló ásványokhoz kapcsolódnak (R. VARGA 2005). A BAF agyag- és homokköveinek RFF-eloszlása a kontinentális forrásterületű (felső kontinentális kéreg eredetű) törmelékes kőzetek ritkaföldfém-eloszlásának felel meg, amelyek általános jellemzője a könnyű ritkaföldfémek dúsulása és a negatív Eu-anómália (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 1989; R. VARGA 2005).

Az albitosodás hatása a Bodai Aleurolit Formáció törmelékes kőzeteinek kémiai összetételére

A diagenetikus albitosodást kísérő oldódási és újrakicsapódási reakciók lényegesen megváltoztatják a törmelékes kőzetek kémiai összetételét. Ezek az átalakulások a főelemek közül elsősorban a SiO_2 , az Al_2O_3 , a Na_2O , a CaO és a K_2O mennyiségét befolyásolják, továbbá a nyomelemek közül elsősorban a Ba, a Rb, a Sr, a Zn és az Pb koncentrációjában tükröződhetnek (MILLIKEN 1989; PRESTON et al. 1998).

A BAF vizsgált kőzettípusainak kémiai összetétele – a korábban részletezett ásványos összetételnek megfelelően – a diagenetikus albitosodáshoz kapcsolódó folyamatok módosító hatását tükrözi. Ennek eredményeként – a nagyobb törmelékes kvarc-, illetve diagenetikus albit- és karbonáttartalommal párhuzamosan – a BAF vizsgált kőzettípusai közül az aleurolitok és a homokkövek SiO_2 - és Na_2O -tartalma a legnagyobb, amelyhez általában jelentős CaO -, MnO -, Sr - és Ba -tartalom kapcsolódik (4. ábra). Az agyagkövekben – a kisebb átlagos szemcsemérettel párhuzamosan – a rétegszilikátok (illit±muszkovit, klorit) és a hematit dúsulását a kiugróan nagy Al_2O_3 -, Fe_2O_3 -, MgO -, K_2O - és Rb -tartalom jelzi, amelyhez a Zn és az Pb mennyiségben megfigyelhető kis mértékű dúsulás társul (7. ábra).

Következtetések

Munkánk során a Bodai Aleurolit Formáció rétegsorából a leggyakrabban előforduló törmelékes kőzettípusok – agyagkő, aleurolit, homokkő és albitolit – ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzését és összehasonlítását végeztük el. Következtéseink részben a korábbi megfigyelésekre (BARABÁS & BARABÁS-NÉ STUHL 1998; MÁTHÉ 1998; ÁRKAI et al. 2000; R. VARGA et al. 2005), részben új XRD, petrográfiai és geokémiai adatokra támaszkodnak.

A BAF vizsgált kőzettípusainak ásványos összetételét összehasonlítva megállapítható, hogy az agyagkövekben az illit±muszkovit, a hematit és a klorit mennyisége kiemelkedő, valamint általában nagyobb, mint az albitolitokban, az aleurolitokban és a homokkövekben. Ezzel ellentétben – a nagyobb elsődleges porozitásnak megfelelően – a durvább szemcseméretű kőzettípusok albit-, kvarc- és karbonáttartalma jelentősen meghaladja az agyagkövekre jellemző értékeket. A homokkövekben a törmelékes földpátszemcsék „foltos” megjelenésű átalakulása, valamint jellegzetes kioltása a kis hőmérsékletű (diagenetikus) albitosodás következménye.

A vizsgált kőzettípusok kémiai összetétele – az ásványos összetételnek megfelelően – az albitosodáshoz kapcsolódó folyamatok módosító hatását tükrözi. Ennek eredményeként – a nagyobb törmelékes kvarc-, illetve diagenetikus albit- és kalcit-tartalommal párhuzamosan – az albitolitok, az aleurolitok és a homokkövek SiO_2 - és Na_2O -tartalma a legnagyobb, amelyhez általában jelentős CaO -, MnO -, Sr - és Ba -tartalom társul. Az agyagkövekben a rétegszilikátok és a hematit dúsulását a kiugróan nagy Al_2O_3 -, Fe_2O_3 -, MgO -, K_2O - és Rb -tartalom jelzi.

A homokkövek petrográfiai vizsgálatával, valamint a diagenézis hatására kevésbé érzékeny nyomelemek (RFF) geokémiai értelmezésével a BAF lehordási területe is jellemezhető. A homok (illetve dara, azaz 2–4 mm) szemcseméretű törmelékanyagban kiemelkedő mennyiségűek a savanyú vulkáni kőzetek (láva és piroklasztit) lepusztulási termékei, amelyek a Gyűrűfői Riolit Formáció képződményeinek eróziójából származnak. A metamorf eredetű törmelékanyagot valószínűleg a kristályos aljzat lepusztulása szolgáltatta. A felzikus átlagos összetételű lehordási területet erősíti meg az agyag- és homokkövek RFF-eloszlása, amely a felső kontinentális kéreg eredetű törmelékes kőzetek RFF-eloszlásával párhuzamosítható. Figyelemre méltó azonban az a petrográfiai megfigyelés, amely szerint a BAF homokköveiben neutrális-bázisos jellegű, vulkáni-szubvulkáni eredetű törmelék-szemcsék is megjelennek. Ezek a szemcsék a BAF lehordási területén mafikus összetételű kőzetek jelenlétét feltételezik.

Köszönetnyilvánítás

A BAF kőzeteinek korábbi kémiai elemzési adatait, valamint az OTKA T 034924 téma (témavezető: SZAKMÁNY György) keretein belül részletes vizsgálatra kiválasztott fűrómag-, illetve porított kőzetmintákat a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. biztosította számunkra.

Szeretnénk megköszönni HARANGI Szabolcs, JÓZSA Sándor, MAJOROS György, MERÉNYI László, PINTÉR Farkas és HEINRICH Taubald – a kutatás különböző szakaszai-ban nyújtott – segítségét és hasznos tanácsait. CSÁSZÁR Gézátt és NÉMETH Tibort a kézirat lektorálásáért illeti köszönet. Ez a tanulmány a Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. és a magyarországi radioaktív hulladékok elhelyezéséért felelős RHK Kht. engedélyével és támogatásával (színes fényképtáblák nyomtatási költségeinek fedezése) készült.

Irodalom – References

- ÁRKAI, P. 1983: Very low- and low-grade Alpine regional metamorphism of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, NE-Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 26, 83–101.
- ÁRKAI, P., BALOGH, K., DEMÉNY, A., FÓRIZS, I., NAGY, G. & MÁTHÉ, Z. 2000: Composition, diagenetic and post-diagenetic alterations of a possible radioactive waste repository site: the Boda Albitic Claystone Formation, southern Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 43/4, 351–378.
- BALOGH, K. & BARABÁS, A. 1972: The Carboniferous and Permian of Hungary. – *Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged* 20/2, 191–207.
- BARABÁS A. 1955: A mecseki perm időszi képződmények. – Kandidátusi értekezés, Budapest, 100 p.
- BARABÁS A. & BARABÁS-NÉ STUHL Á. 1998: A Mecsek és környéke perm képződményeinek rétegtana. – In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana, MOL Rt.–MÁFI kiadvány, Budapest, 187–215.

- BARABÁSNÉ STUHL Á. 1988: A Dél-Baranyai dombság és a Villányi-hegység permii képződményeinek kutatásáról készített összefoglaló jelentés IV. fejezete a permii képződményekről. – Kézirat, MÉV Adattár, 301 p.
- DEMÉNY, A., FÖRIZS, I. & MÁTHÉ, Z. 1996: A Preliminary Stable Isotope Study on a Potential Radioactive Waste Repository Site in the Mecsek Mountains, Southern Hungary. – *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 10, 1415–1417.
- FAZEKAS V. 1987: A mecseki perm és alsótriász korú törmelékes formációk ásványos összetétele. – *Földtani Közlöny* 117/1, 11–30.
- FREY, M. & ROBINSON, D. 1999: *Low-Grade Metamorphism*, Blackwell, Oxford, 313 p.
- FÜLÖP J. 1994: Bodai Aleurolit formáció. – In: FÜLÖP J. 1994: Magyarország geológiája. Paleozoikum II, Akadémiai Kiadó, Budapest, 353–359.
- GOLD, P. B. 1987: Textures and geochemistry of authigenic albite from Miocene sandstones, Louisiana Gulf Coast. – *Journal of Sedimentary Petrology* 57/2, 353–362.
- HASSAN, S., ISHIGA, H., ROSER, B. P., DOZEN, K. & NAKA, T. 1999: Geochemistry of Permian–Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana margin. – *Chemical Geology* 158, 293–314.
- HÁMOS, G., MÁTHÉ, Z. & MAJOROS, Gy. 1996: The geology of Boda site Hungary, surface and URL based investigations. – *TOPSEAL '96* 2, 196–199.
- HERRON, M. M. 1988: Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. – *Journal of Sedimentary Petrology* 58/5, 820–829.
- JAKAB A. 2005: A Gyűrűfű Riolit kőzettani és geokémiai leírása. – Diplomamunka, ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Budapest, 79 p.
- JÁMBOR Á. 1964: A Mecsek hegység alsóperm képződményei. – Kézirat, jelentés, MÁFI Adattár, Budapest, 113 p.
- KASTNER, M. & SIEVER, R. 1979: Low temperature feldspars in sedimentary rocks. – *American Journal of Science* 279, 435–479.
- KOVÁCS L., HÁMOS G. & CSICSÁK J. 2000: A Bodai Aleurolit Formáció telephely-jellemzési programjának jelenlegi állapota. – *Földtani Közlöny* 130/2, 197–206.
- LEE, J. I. & LEE, Y. I. 1998: Feldspar albitization in Cretaceous non-marine mudrocks, Gyeongsang Basin, Korea. – *Sedimentology* 45, 745–754.
- MÁTHÉ Z. (szerk.) 1998: A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja, Kutatási zárójelentés 4. kötet, Ásvány-kőzettani, kőzetgeokémiai és izotóptraszport vizsgálatok. – Kutatási jelentés, Mecsekérc Környezetvédelmi Rt, Pécs, 76 p.
- MCBRIDE, E. F., LAND, L. S. & MACK, L. E. 1987: Diagenesis of Eolian and Fluvial Feldspathic Sandstones, Norphlet Formation (Upper Jurassic), Rankin County, Mississippi, and Mobile County, Alabama. – *AAPG Bulletin* 71/9, 1019–1034.
- MCLENNAN, S. M. 1989: Rare Earth Elements in Sedimentary Rocks: Influence of Provenance and Sedimentary Processes. – In: LIPIN, B. R. & MCKAY, G. A. (Eds): *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. – *Reviews in Mineralogy* 21, 169–200.
- MCLENNAN, S. M. 2001: Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2, 2000GC000109, 24 p.
- MILLIKEN, K. L. 1989: Petrography and composition of authigenic feldspars, Oligocene Frio Formation, South Texas. – *Journal of Sedimentary Petrology* 59/3, 361–374.
- PETSCHICK, R., KUHN, G. & GINGELE, F. 1996: Clay mineral distribution in surface sediments of the South Atlantic: sources, transport, and relation to oceanography. – *Marine Geology* 130, 203–229.
- PRESTON, J., HARTLEY, A., HOLE, M., BUCK, S., BOND, J., MANGE, M. & STILL, J. 1998: Integrated whole-rock trace element geochemistry and heavy mineral chemistry studies: aids to the correlation of continental red-bed reservoirs in the Beryl Field, UK North Sea. – *Petroleum Geoscience* 4, 7–16.
- R. VARGA A. 2005: Az öskörnyezeti viszonyok jellemzése a törmelékes üledékes kőzetek kémiai összetétele alapján. – *Földtani Közlöny* 135/3, 433–458.
- R. VARGA A., RAUCSIK B. & SZAKMÁNY Gy. 2004: A Siklósbodony Sb–1 mélyfúrás feltételezett karbon–perm határképződményeinek ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői. – *Földtani Közlöny* 134/3, 321–343.
- R. VARGA, A., SZAKMÁNY, Gy., RAUCSIK, B. & MÁTHÉ, Z. 2005: Chemical composition, provenance and early diagenetic processes of playa lake deposits from the Boda Siltstone Formation (Upper Permian), SW Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 48/1, 49–68.

- SAIGAL, G. C., MORAD, S., BJORLYKKE, K., EGEBERG, P. K. & AAGAARD, P. 1988: Diagenetic albitization of detrital K-feldspar in Jurassic, Lower Cretaceous, and Tertiary clastic reservoir rocks from offshore Norway, I. textures and origin. – *Journal of Sedimentary Petrology* 58/6, 1003–1013.
- SEBESTYÉN, Z. F. 2002: Application of the Bootstrap Method for chemical data from the Boda Claystone Formation. – *Acta Geologica Hungarica* 45/2, 207–217.
- SOMOGYI J. 1965: A mecseki alsópermi összlet felső részének hullámfodrairól. – *Földtani Közlöny* 95/1, 37–39.
- TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M. 1985: *The Continental Crust: its Composition and Evolution.* – Blackwell, Oxford, 312 p.
- VAN DE KAMP, P. C. & LEAKE, B. E. 1996: Petrology, geochemistry, and Na metasomatism of Triassic–Jurassic non-marine clastic sediments in the Newark, Hartford, and Deerfield rift basins, northeastern USA. – *Chemical Geology* 133, 89–124.
- WEAVER, C. E. 1989: *Clays, Muds, and Shales.* – Elsevier, Amsterdam, 819 p.
- WILLAN, R. C. R. 2003: Provenance of Triassic–Cretaceous sandstones in the Antarctic Peninsula: implications for terrane models during Gondwana breakup. – *Journal of Sedimentary Research* 73/6, 1062–1077.

Kézirat beérkezett: 2006. 02. 01.

Táblamagyarázat – Explanation of plates

I. tábla – Plate I

- 1–4. Barna zárványokat (Z) tartalmazó földpát szemcsék (F), amelyek kioltása blokkos–táblás szektor jellegű. A szemcsék pereméhez kapcsolódva pátos kalcit (C) cement, illetve a hasadási síkoknak megfelelően mikritis kalcit-helyettesítés fordul elő (1–2. kép: 4709/1 1932,4 m, 1N és +N; 3–4. kép: 4709/1 1883,8 m, 1N és +N). További rövidítések: Qm: monokristályos kvarc; Qp: polikristályos kvarc; M: mikroklin; Lm: metamorf közettörmelék
- 1–4. *Feldspar grains (F) with brownish inclusions (Z) showing blocky to tabular sector extinction pattern. Sparry calcite (C) cement along grain margins and/or micritic calcite replacement along cleavage planes occur (photos 1 and 2 sample 4709/1 1932.4 m, 1N and +N; photos 3 and 4 sample 4709/1 1883.8 m, 1N and +N). Other abbreviations: Qm monocrystalline quartz; Qp polycrystalline quartz; M microcline; Lm metamorphic rock fragment*
5. Radiolarit eredetű polikristályos kvarc (Qp) és vulkáni közettörmelék (Lv), 4709/1 1866,4 m (1N)
5. *Polycrystalline quartz (Qp) representing radiolarite detritus and volcanic rock fragment (Lv), sample 4709/1 1866.4 m (1N)*
- 6–8. Savanyú vulkanit (Lv) szemcsék, 4709/1 1932,4 m (6. kép, 1N) 4709/1 1866,4 m (7. kép, 1N) és 4709/1 1971,0 m (8. kép, 1N)
- 6–8. *Acidic volcanic rock fragments (Lv), samples 4709/1 1932.4 m (photo 6, 1N), 1866.4 m (photo 7, 1N) and 1971.0 m (photo 8, 1N)*

II. tábla – Plate II

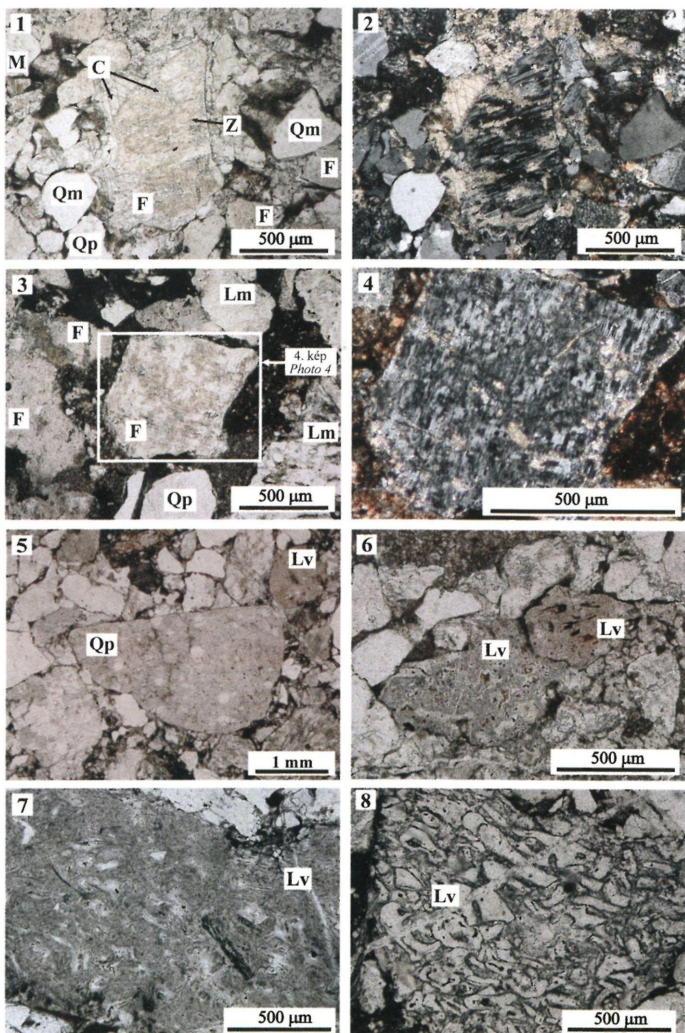
- 1–6. Kvarc (Q), földpát (F) és mafikus fenokristályokat (amfibol utáni kalcit pszeudomorfóza) tartalmazó vulkanit (Lv) szemcsék, 4709/1 1971,0 m (1–2. kép, 1N és +N), 4709/1 1932,4 m (3. kép, 1N; 5–6. kép, 1N és +N) és 4709/1 1883,8 m (4. kép, 1N). További rövidítések: Qp: polikristályos kvarc; C: kalcit
- 1–6. *Volcanic rock fragments (Lv) with quartz (Q), altered feldspar (F) and mafic mineral (calcite pseudomorph after amphibole) phenocrysts, samples 4709/1 1971.0 m (photos 1–2, 1N and +N), 1932.4 m (photo 3, 1N; photos 5–6, 1N and +N) and 1883.8 m (photo 4, 1N). Other abbreviations: Qp polycrystalline quartz; C calcite*

- 7–8. Plagioklász (P) mikrolitokat tartalmazó neutrális–bázisos vulkanit szemcsék (Lv), 4709/1 1932,4 m, 1N (7. kép) és 4709/1 1883.8 m, 1N (8. kép)
- 7–8. *Intermediate–basic volcanic rock fragments (Lv) with plagioclase (P) microlites, samples 4709/1 1932.4 m, 1N (photo 7) and 1883.8 m, 1N (photo 8)*

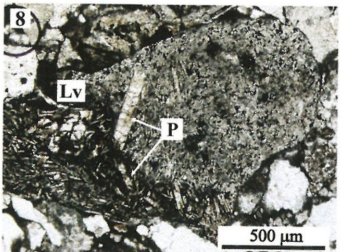
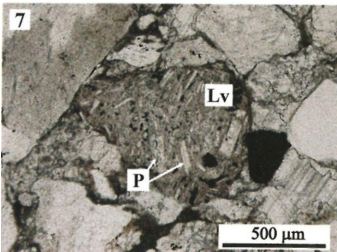
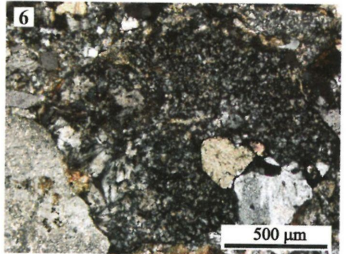
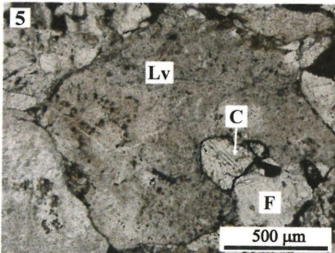
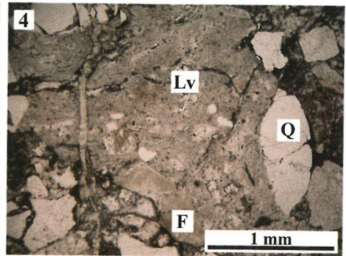
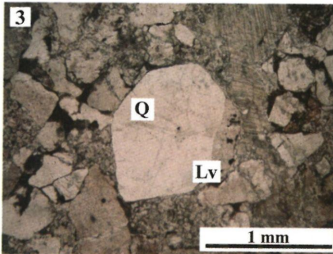
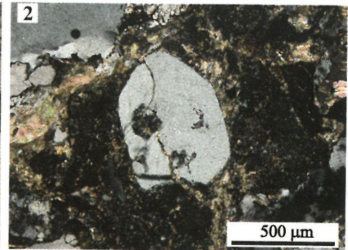
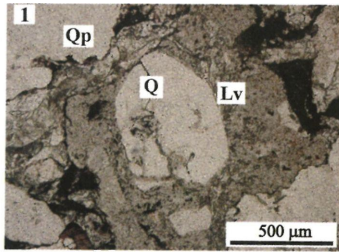
III. tábla – Plate III

- 1–4. Nehézásványok dúsulása (nyilak) aprószemcsés homokkőben, 4709/1 1893,8 m (1N).
Rövidítések: ci: cirkon; ap: apatit; tu: turmalin; ru: rutil; ks: krómspinell
- 1–4. *Concentration of heavy minerals (arrows) in fine-grained sandstone, sample 4709/1 1893.8 m (1N).
Abbreviations: ci: zircon; ap: apatite; tu: tourmaline; ru: rutile; ks: chrome spinel*

I. tábla – Plate I



II. tábla – Plate II



III. tábla – Plate III

