

A SÁROSPATAKI ÁGYÚÖNTŐ MŰHELYBEN FELTÁRT 17. SZÁZADI HABÁN KERÁMIALELETEK MÁZÁNAK MIKROSZERKEZETE ÉS ÖSSZETÉTELE

MICROSTRUCTURE AND COMPOSITION OF GLAZE OF 17TH CENTURY HABAN CERAMICS EXCAVATED AT A GUN-FOUNDRY IN SÁROSPATAK (NE-HUNGARY)

BAJNÓCZI BERNADETT¹, NAGY GÉZA¹, TÓTH MÁRIA¹, RINGER ISTVÁN²,
RIDOVICS ANNA³

¹MTA Geokémiai Kutatóintézet / Institute for Geochemical Research of the Hungarian Academy of Sciences, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

²Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma / Rákóczi Múzeum of the Hungarian National Museum, 3950 Sárospatak, Szent Erzsébet út 19.

³Magyar Nemzeti Múzeum / Hungarian National Museum, 1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16.

E-mail: bajnoczi@geochem.hu

Abstract

The Rákóczi Museum of the Hungarian National Museum started an excavation in 2006 to uncover the remnants of a gun-foundry operated between 1631 and 1648 and located in the southwestern corner of the outer castle in Sárospatak. Fragments of white and blue tin-glazed Haban faience objects were found in the late 17th century filling of the workshop remnants. No contemporary written sources exist about the technology of East-Central European tin-glazed earthenware produced by the Habans (Hutterite Anabaptists). Archaeometric research on Haban faience using modern analytical techniques has not been performed in Hungary as yet. In this paper we present the results of the analyses carried out on the opaque glaze and coloured decorations of white-glazed ceramic fragments found at the gun-foundry, which give data about the raw materials used and the production technology. Microstructure and chemical composition of glazes were analysed by using an electron microprobe coupled with energy dispersive X-ray spectrometer and crystalline inclusions were identified by X-ray diffraction analysis.

The white glaze, which covers the buff coloured ceramic body, is tin-opacified lead-alkali glaze containing relatively high amount of tin-oxide (16 to 20 wt% SnO₂). Presence of relict sand grains and heterogeneous distribution (grouped in clusters) of cassiterite (tin-oxide) particles in the opaque glaze indicates that the glazing mixture was not fritted before preparing the slurry. Cassiterite is present as angular relicts of the glaze raw material and as up to 2 µm sized needles-like particles recrystallized during firing and cooling of the glaze.

Decorations were prepared from coloured lead-alkali glazes. Lead antimonate yellow (Pb₃Sb₂O₇) was used for the yellow glaze, cobalt-, nickel- and arsenic-bearing zaffre for the blue glaze, copper-bearing pigment for the green glaze and manganese-bearing pigment for the black glaze. The opaque glaze and the decorations were fired in one step; therefore glazes were more or less mixed with each other.

Kivonat

A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma 2006-ban kezdett tervátást a sárospataki külső vár délnyugati sarkában található, 1631 és 1648 között működött ágyúöntő műhely maradványainak feltárására. A műhely 17. század végi feltöltéséből fehér és kék ónmáz habán fajanszedények töredékei kerültek elő. A habánok (hutterita anabaptisták) által Kelet-Közép-Európában magas szinten művelt ónmáz kerámiakészítés technikájáról korabeli írott források nem állnak rendelkezésünkre. Modern műszeres analitikát felhasználó archeometriai kutatás habán kerámiákon nem történt korábban Magyarországon. Tanulmányunkban az ágyúöntő műhelyben feltárt fehérmáz as edénytöredékek ónmázának és különböző színű díszítéseinek anyagvizsgálati eredményeit mutatjuk be, amelyek a felhasznált nyersanyagokról és a készítési technikáról szolgáltatnak adatokat. A mázak mikroszerkezetét (szövetét) és kémiai összetételét energiadiszipatív röntgenspektrométerrel felszerelt elektronmikroszkópoddal vizsgáltuk, a kristályos zárványokat röntgen-pordiffrakciós vizsgálattal azonosítottuk.

A világos kerámia-alaptestet borító fehér máz ón-oxidval homályosított ólom-alkáli máz, amely viszonylag nagy mennyiségű ón-oxidot tartalmaz (16-20 tömeg% SnO₂). Az ónmázban a homokszemcsék maradványai (kvarc, földpát), valamint az egyenetlen eloszlású, halmazokba tömörülő kassziterit (ón-oxid) zárványok arra utalnak, hogy a mázkeveréket a vizes szuszpenzió készítése előtt nem frittelték. A kassziterit egyrészt a máz

nyersanyagának maradékeként, másrészt a máz kiégetése és hűlése során kikristályosodott, 2 µm-es méretet elérő tűk formájában jelenik meg.

A díszítések színes ólom-alkáli mázából készültek. Színezőanyagként a sárga mázhoz az ólom-antimonát sárgát (Pb₂Sb₂O₇), a kék mázhoz kobalt-, nikkel- és arzéntartalmú zaffre-t, a zöld mázhoz rezet tartalmazó pigmentet, a fekete mázhoz mangántartalmú pigmentet használtak. Az ónmázát és a díszítéseket egy fázisban égették ki, emiatt a mázak kisebb-nagyobb mértékben keveredtek egymással.

KEYWORDS: ANABAPTIST, HABAN, TIN-GLAZED EARTHENWARE, FAIENCE, MAIOLICA, GLAZE

KULCSSZAVAK: ANABAPTISTA, HABÁN, ÓNMÁZAS KERÁMIA, FAJANSZ, MAJOLIKA, MÁZ

Bevezetés

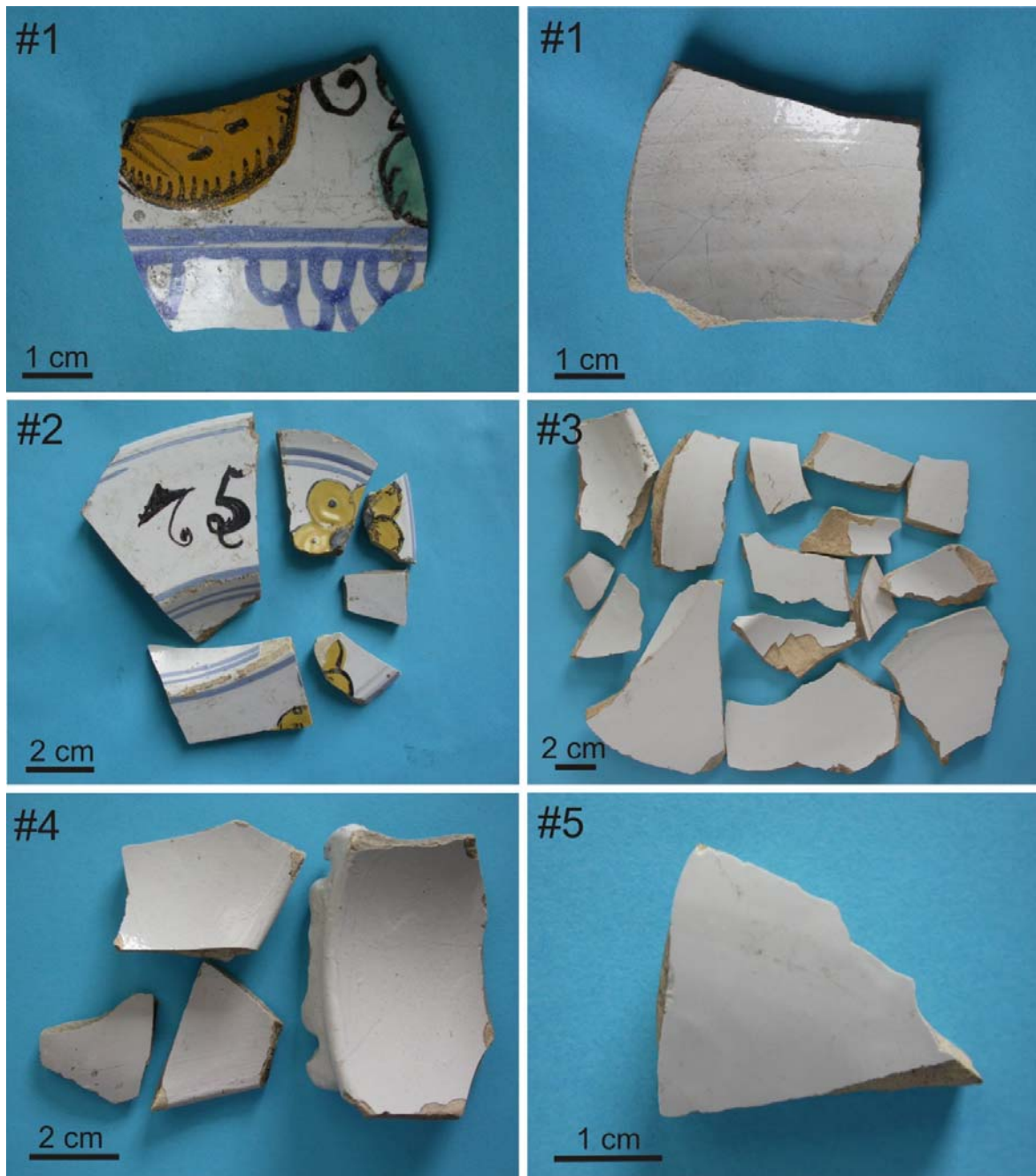
Az ónmázás kerámia (fajansz) készítésének művészetét Kelet-Közép-Európában, így a történelmi Magyarország területén is, az újkeresztények (habánok) terjesztették el széles körben. A zárt közösségben élő, anabaptista vallású mesterek a 16. század vége óta kezdték el nagyobb arányban készíteni a mázatlan és ólomházas fazekasáruk mellett a minőségileg magasabb színvonalat jelentő, nagyobb technikai tudást igénylő fajanszokat. Az ónmázás technika közel-keleti eredetű: a 8-9. század során a mai Irak területén kezdtek el ónnal (ón-oxid) homályosított, fehér színű kerámiamázát alkalmazni (Mason & Tite 1997). Az ónmáz készítésének technikája a 10-11. században Egyiptomon, majd Észak-Afrikán keresztül átkerült Spanyolországba, majd a 13. században Itáliába, ahol a technikát a majolikakészítés során fejlesztették magas fokra a következő évszázadokban. A 15. században már Magyarországon, Mátyás király budai udvarában is alkalmazták az ónmázát az itáliai mesterek vezette műhelyben (Balla 2008). A 16. században az észak-itáliai majolikakészítés eredményeit vették át Európa-szerte, Svájc, Dél-Németország és Észak-Olaszország területéről vallásuk miatt emigrálásra kényszerült anabaptisták is innen meríthettek.

A radikális reformáció népi ágát képviselő anabaptisták első közösségei a svájci kantonok területén 1524 körül jöttek létre. A münsteri ún. anabaptista királyság (1535) bukása után üldözöttségük egyre kegyetlenebb lett Svájcban, Németország és Tirol vidékén. Képviselőik Észak-Itália, Ausztria, Hollandia irányába menekültek. Morvaországban nagy tömegek kaptak menedéket Nikolsburg (Mikulov) és Austerlitz (Slavkov u Brna) területén, ahol a tiroli Jakob Hutter elképzelései nyomán 1529 táján jöttek létre az első ház- és vagyonközösségben élő telepek. Vezetőjük után hutterita testvéreknek nevezték őket. A hutteriták hazánkba több hullámban, Dél-Tirol, Ausztria és Morvaország felől érkeztek. A 16. század derekától telepedtek le első csoportjaik Nyugat- és Észak-Magyarország területén különböző főúri családok birtokain. Tömeges magyarországi letelepedésükre a fehérhegyi csatát (1620. november 8.) követően került sor, amikor Morvaországból kiutasították őket. Bethlen Gábor,

Erdély fejedelme 1621-22-ben hívta a morva testvéreket Alvincre (Vințu de Jos). Egy csoportjukat I. Rákóczi György 1645-ben már a Nyitra megyei Csejtéről (Čachtice) telepítette Sárospatakra, a Héce nevű városrészbe (Román 1955), ahol kb. 1680-ig éltek. A letelepültek között öt fő fazekas volt, egy mester négy legénnyel (Román 1955).

Az itáliai majolikák készítéséhez felhasznált anyagok és technikák Cipriano Piccolpasso 1557 körül írt, 'I tre libri dell'arte del vasaio' című kézikönyve (Lightbown & Caiger-Smith 2007) és az archeometriai kutatások (újabbán Tite 2009) nyomán viszonylag jól - de nem minden részletre kiterjedően - ismertek. A habán ónmázás kerámiákról hasonló korabeli (16-17. századi) írott forrás nem áll rendelkezésünkre. A hazai kutatók közül korábban Katona Imre foglalkozott a készítéstechnikával (Katona 1976), azonban szisztematikus, a modern műszeres analitikát felhasználó és részletesen dokumentált archeometriai kutatás nem történt Magyarországon. A magyarországi köz- és magángyűjtemények adatbázisát összeállító, 2010-ben indult OTKA pályázat keretében az ásványtani-geokémiai szempontú archeometriai kutatás célul tűzte ki a kerámiák egykori receptúrájának és készítési technikájának rekonstrukcióját, pl. az alaptesthez, az ónmázhoz és a díszítésekhez felhasznált nyersanyagok azonosítását, kiégetési fázisok számának és hőfokának meghatározását, valamint a technológia térbeli és időbeli alakulásának nyomon követését. A kutatás a múzeumi és magángyűjteményi darabok mellett a hazai szakirodalomban eddig kevésbé figyelembevett régészeti leletanyag feldolgozására is kiterjed.

2006-ban a Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma a sárospataki külső vár délnyugati sarkában tervátást kezdett, melynek célkitűzése volt, hogy feltárja az itt lévő ágyú- és harangöntő műhely maradványait. A műhely I. Rákóczi György időszakában, 1631 és 1648 között működött (Détshy 1970). Szórvány leletként, valamint a műhely déli falának 17. sz. végi feltöltéséből fehér és kék színű ónmázás edénytöredékek, valamint színes mázas kályhacsempék töredékei kerültek elő. Az egyes darabokon megjelenő készítéstechnikai jellemzők, díszítések és motívumok alapján a kerámiák habán munkának tekinthetők.



1. ábra: A sárospataki ágyúöntő műhely feltárása során előkerült habán kerámialeletek
Fig. 1.: Haban ceramic artefacts from the excavation of the gun-foundry in Sárospatak

Pontos készítési helyük nem ismert, elképzelhető, hogy a helyi habán műhelyben készültek.

Jelen tanulmányban az ágyúöntő műhelyben feltárt fehérmázos edénytöredékek önmázának és különböző színű díszítéseinek anyagvizsgálati eredményét mutatjuk be.

Minták és vizsgálati módszerek

A vizsgált habán leletek (**1. ábra, 1. táblázat**) világos (sárgás) kerámia-alaptestét fehér önmáz

borítja. Egy korsó oldaltöredékének (1. minta) külső oldalán sárga és zöld motívum fekete kontúrvonalakkal és kék csipkémotívum jelenik meg, belső oldala nem díszített. Egy tál peremtöredékein (2. minta) sárga-kék virágmotívum fekete kontúrvonalakkal, kék csíkok, és két fekete évszám (75) látható. Három leleten (3., 4. és 5. minta) nincs díszítés. Vizsgálatra a több töredékből álló csoportokból egy-egy darabot választottunk ki.

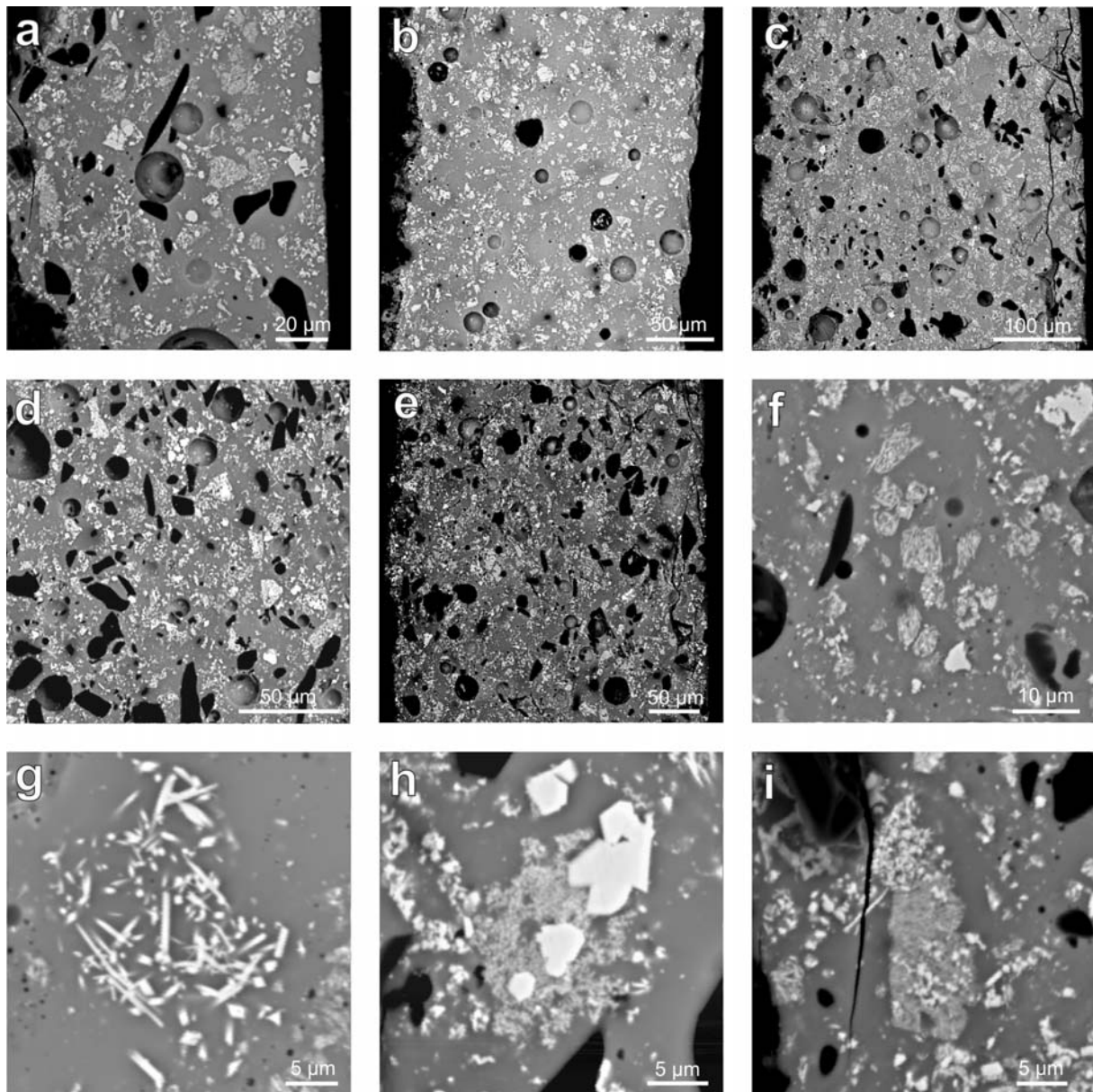
1. táblázat: A vizsgált minták jegyzéke**Table 1.: List of analysed samples**

Sorszám	Mintaszám	Lelőhely	Tárgy	Felépítés
# 1	2010.07.15.1	szórvány lelet	korsó töredéke	világos alaptest, mindkét oldalán fehér máz, külső oldalon sárga, kék, zöld és fekete díszítés
# 2	2010.07.15.2	„H” szelvény, déli műhelyfal külső síkja	tál töredékei	világos alaptest, három oldalán fehér máz, egyik oldalon sárga, kék és fekete díszítés, 75-ös évszám
# 3	2010.06.25.1	"J" szelvény, déli műhelyfal külső síkja, köves térség mellett, 4. réteg	tál töredékei	világos alaptest, mindkét oldalán fehér máz
# 4	2010.06.22.1	"H" szelvény, déli műhelyfal külső síkja, köves felszín (járda) mellől, déli rész, tömött réteg	tál? töredéke	világos alaptest, mindkét oldalán fehér máz
# 5	2010.06.24.2	"J" szelvény, délkeleti sarok, külső járósínt felület	tál? töredéke	világos alaptest, mindkét oldalán fehér máz

A kerámiamázak mikroszerkezetét (szövetét), zárványait és kémiai összetételét a máz-kerámia határfelületre merőleges, polírozott csiszolatokon (vékonycsiszolatokon és vastag, ún. felületi csiszolaton) elektron-mikroszondás analízissel vizsgáltuk. A vizsgálat Oxford Instruments INCA Energy 200 típusú energiadiszperzív röntgenspektrométerrel (EDS) felszerelt, JEOL Superprobe-733 típusú elektron-mikroszondával történt 20 kV gyorsító feszültség és 6 nA mintaáram mellett. A máz mikroszerkezetét és zárványait visszaszórt elektronképeken mutatjuk be, amelyeken a különböző fázisok jól megkülönböztethetők egymástól az átlagrendszámától függő, eltérő kontrasztjuk alapján (pl. a kvarc- és földpátszemcsék sötétnek látszanak a nagyobb átlagrendszámú ólomházhoz és ón-oxid zárványokhoz viszonyítva).

A mázak átlagos, azaz a jellemző zárványokat (pl. kvarc, földpát, ón-oxid és pigmentszemcsék) is tartalmazó kémiai összetételét területi pásztázással elemeztük (területi elemzések). Az elemzések során kerültük a máz-kerámia határfelületet, a nagyobb inhomogenitásokat és lehetőség szerint a buborékok utáni pórusokat. Az elemzett területek nagysága a mázvastagság függvényében $60 \times 60 \mu\text{m}$ -tól (1600-szoros nagyítás) $250 \times 250 \mu\text{m}$ -ig (400-szoros

nagyítás), színes mázagnál $30 \times 20 \mu\text{m}$ -tól (4800-szoros nagyítás) $165 \times 165 \mu\text{m}$ -ig (600-szoros nagyítás) terjedt. A fehér mázat a minták külső és belső oldalán is megmértük, oldalanként legalább három mérést végeztünk, az eredményeket átlagoltuk. A színes mázakon szintén több területi mérést végeztünk. A pórusokat és repedéseket – amelyek a gerjesztő elektronokat hasznos sugárzás nélkül elnyelik – általában nem lehetett teljesen kihagyni, ezért az oxidösszegek 90 és 97 tömeg% között szórnak. 100%-tól való eltérést a pórusok hatásán kívül egyrészt a nem mért összetevők (pl. víz), másrészt a mérési bizonytalanságok okozzák. 90 tömeg% alatti oxidösszegeket csak a 3. minta ónmázában mértünk, valószínűleg a nagyon töredezett állapot miatt, ennél a mintánál a 80 tömeg% alatti méréseket nem vettük figyelembe. A mázak üveges mátrixának kémiai összetételét a zárványok és pórusok kikerülésével, $\sim 5\text{-}10 \mu\text{m}$ átmérőjű elektronsugárral, több ponton mértük meg (pontelemzések), a mérési eredmények átlagát közöljük (az óntartalmú szemcsék nm- μm -es méretük miatt belekerülhetnek az elemzett térfogatba). A mennyiségi elemzések az elektronok által a mintából gerjesztett röntgensugárzás egyes vonalainak intenzitása alapján, sztenderdekkel összehasonlítva készültek.



2. ábra: A fehér ónmázak mikroszerkezete (visszaszórt elektronképek). (a) 1. minta, (b) 2. minta, (c) 3. minta, (d) 4. minta, (e) 5. minta, (f) kassziteritszemcsék és szemcsehalmazok a 1. mintában, (g) kassziteritűk a 2. mintában, (h) kassziterit szemcsehalmaz a 4. mintában, (i) kassziterit szemcsehalmazok az 1. mintában.

Fig. 2.: Microstructure of white tin-opacified glazes (backscattered electron images). (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3, (d) sample 4, (e) sample 5, (f) cassiterite particles and aggregates in sample 1, (g) cassiterite needles in sample 2, (h) cassiterite aggregate in sample 4, (i) cassiterite aggregates in sample 1.

Sztenderdként természetes és mesterséges fázisokat használtunk [Si: kvarc (SiO_2), Al: korund (Al_2O_3), Ca: wollastonit (CaSiO_3), Mg: magnézium-oxid (MgO), Na: albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), K: ortoklász (KAlSi_3O_8), Fe: hematit (Fe_2O_3), Pb: ólom-szelenid (PbSe), Sn: ón-oxid (SnO_2), Mn: spessartin ($\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), Co: tiszta fém, As: gallium-arsenát (GaAs), Ni: tiszta fém, Cu: kalkopirit (CuFeS_2), Sb: antimon-tellurid (Sb_2Te_3)]. A területi elemzések 100 másodperc mérési idővel készültek, a pontelemzéseknél 40 másodperc számlálási időt alkalmaztunk. Az Oxford Instruments elemző

programja a PAP korrekciót automatikusan elvégezte.

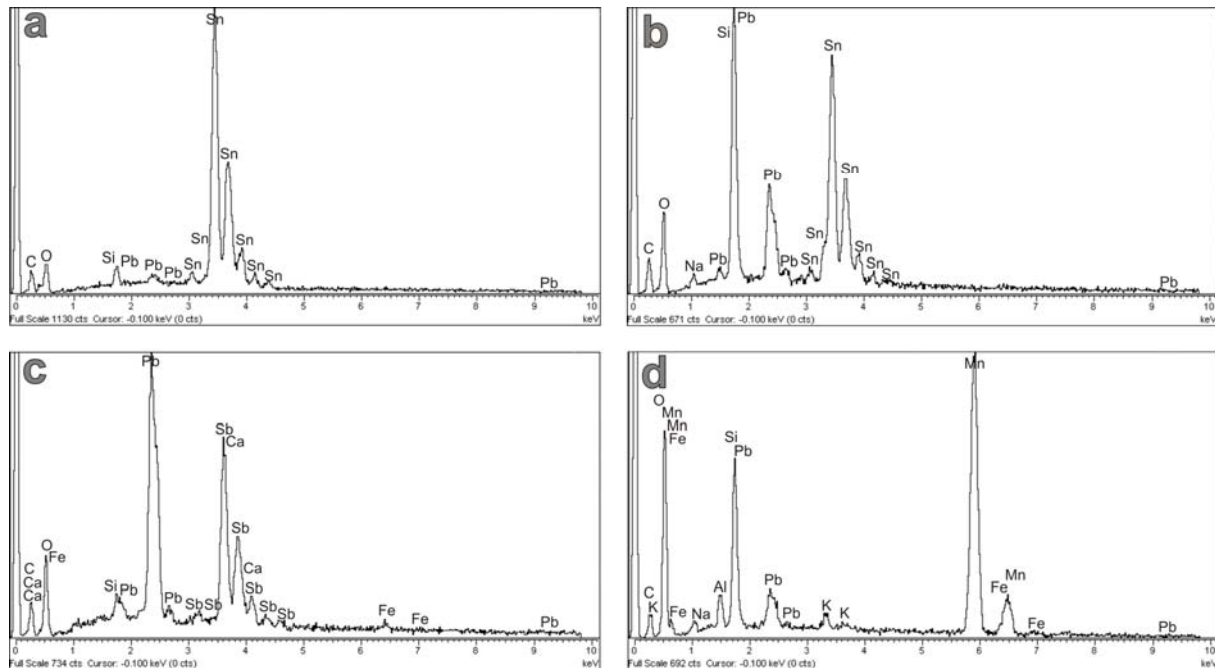
A különböző színű mázakban jelenlévő kristályos fázisok kimutatása röntgen-pordiffrakciós fázisanalízissel történt, amelyet PHILIPS PW 1730 típusú, Bragg-Brentano elrendezésű diffraktométerrel végeztünk (műszerparaméterek: Cu $K\alpha$ sugárzás, 45 kV feszültség, 35 mA áramerősség, 0.05° - 0.01° 2θ léptetés, 1 sec időállandó, 1 - 1° detektor- ill. divergenciarés, PW-1050/25 típusú goniométer, grafit monokromátor, proporciónális számláló detektor).

2. táblázat: A fehér ónmázak kémiai összetétele (energiadisziperzív röntgenspektrométerrel végzett területi és pontelemzések, átlag \pm szórás, n: mérések száma, vastagság: a mérési területeken a fehér máz maximális vastagsága). Az 1. minta elemzése olyan metszetrészen készült, ahol az ónmáz díszítésekkel nem fedett.

Table 2.: Chemical composition of white tin-opacified glazes (areal and point analyses measured by using energy dispersive X-ray spectrometer, average \pm standard deviation, n: number of measurements, thickness: maximal thickness of the white glaze in the measured parts of the sections). Analyses of sample 1 were performed on parts of the section, where tin glaze is not covered with decorations.

Oxid (tömeg%)	1. minta (2010.07.15.1)			2. minta (2010.07.15.2)			3. minta (2010.06.25.1)			
	belső máz		külső máz	terület		pont	belső máz		külső máz	
	terület	pont	terület	pont	terület	pont	terület	pont	pont	
SiO ₂	45,19 \pm 2,27	49,59 \pm 1,49	43,44 \pm 2,86	52,48 \pm 2,21	39,78 \pm 0,55	48,58 \pm 2,36	38,94 \pm 1,29	46,12 \pm 0,82	41,47 \pm 1,02	49,24 \pm 1,33
PbO	23,26 \pm 0,63	31,01 \pm 3,15	22,22 \pm 0,61	28,40 \pm 3,62	25,89 \pm 0,73	31,90 \pm 3,14	26,96 \pm 2,46	35,79 \pm 1,46	21,82 \pm 1,16	29,61 \pm 2,14
SnO ₂	19,67 \pm 1,10	3,92 \pm 0,84	19,83 \pm 0,62	5,69 \pm 2,09	16,00 \pm 0,73	4,06 \pm 0,81	18,20 \pm 1,40	2,65 \pm 0,78	17,29 \pm 0,50	4,60 \pm 2,29
Na ₂ O	2,33 \pm 0,36	2,02 \pm 0,38	4,54 \pm 0,14	3,13 \pm 0,80	3,51 \pm 0,45	2,46 \pm 0,49	3,57 \pm 0,25	2,08 \pm 0,31	3,11 \pm 0,01	2,57 \pm 0,47
K ₂ O	2,91 \pm 0,09	3,85 \pm 0,33	2,85 \pm 0,19	3,25 \pm 0,41	3,56 \pm 0,28	3,74 \pm 0,46	1,95 \pm 0,24	2,35 \pm 0,36	2,46 \pm 0,23	3,07 \pm 0,42
CaO	0,97 \pm 0,32	1,45 \pm 1,02	1,16 \pm 0,12	1,68 \pm 0,98	1,27 \pm 0,41	1,59 \pm 0,95	0,54 \pm 0,14	0,71 \pm 0,08	0,95 \pm 0,04	1,52 \pm 0,68
MgO	0,08 \pm 0,19	0,12 \pm 0,21	0,09 \pm 0,16	0,15 \pm 0,23	0,12 \pm 0,11	0,16 \pm 0,27	0,03 \pm 0,12	0,07 \pm 0,15	0,04 \pm 0,12	0,17 \pm 0,21
Al ₂ O ₃	1,25 \pm 0,40	1,18 \pm 0,48	1,20 \pm 0,17	1,10 \pm 0,61	2,13 \pm 0,19	1,78 \pm 0,49	1,80 \pm 0,14	2,05 \pm 0,30	1,92 \pm 0,29	1,87 \pm 0,29
FeO	0,28 \pm 0,05	0,35 \pm 0,19	0,35 \pm 0,12	0,45 \pm 0,70	0,17 \pm 0,18	0,16 \pm 0,23	0,19 \pm 0,17	0,17 \pm 0,25	0,12 \pm 0,04	0,29 \pm 0,44
Cl	0,61 \pm 0,05	0,81 \pm 0,37	0,65 \pm 0,18	0,88 \pm 0,30	1,00 \pm 0,18	1,06 \pm 0,25	0,82 \pm 0,05	1,12 \pm 0,18	0,83 \pm 0,05	1,13 \pm 0,56
Össz.	96,55 \pm 0,75	94,30 \pm 2,13	96,33 \pm 3,69	97,21 \pm 2,49	93,43 \pm 1,12	95,47 \pm 2,67	93,01 \pm 4,43	93,09 \pm 2,36	90,01 \pm 2,54	94,08 \pm 2,21
n	3	22	3	22	8	28	5	7	3	15
vastagság (μ m)	140		170		240		430		230	

Oxid (tömeg%)	4. minta (2010.06.22.1)			5. minta (2010.06.24.2)				
	belső máz		külső máz	belső máz		külső máz		
	terület	pont	terület	pont	terület	pont		
SiO ₂	44,80 \pm 1,13	51,50 \pm 1,85	45,98 \pm 0,70	50,31 \pm 1,58	40,06 \pm 0,27	49,81 \pm 2,33	43,96 \pm 1,87	49,65 \pm 1,73
PbO	17,52 \pm 1,54	27,14 \pm 2,73	19,99 \pm 0,65	27,77 \pm 1,23	25,49 \pm 1,10	32,77 \pm 2,71	23,33 \pm 0,41	30,35 \pm 2,66
SnO ₂	19,24 \pm 2,13	6,40 \pm 2,43	19,01 \pm 0,63	5,01 \pm 0,88	18,17 \pm 1,22	3,64 \pm 0,47	16,38 \pm 0,32	3,68 \pm 1,18
Na ₂ O	2,74 \pm 0,13	2,97 \pm 0,54	2,67 \pm 0,35	2,09 \pm 0,28	3,08 \pm 0,25	2,54 \pm 0,42	2,98 \pm 0,13	2,35 \pm 0,36
K ₂ O	2,85 \pm 0,22	3,93 \pm 0,53	3,08 \pm 0,10	3,66 \pm 0,26	2,41 \pm 0,36	3,37 \pm 0,31	2,90 \pm 0,23	3,46 \pm 0,40
CaO	2,27 \pm 1,03	2,18 \pm 0,60	1,45 \pm 0,13	1,70 \pm 0,73	0,80 \pm 0,16	1,19 \pm 0,76	1,17 \pm 0,23	1,36 \pm 0,67
MgO	0,25 \pm 0,10	0,18 \pm 0,18	0,15 \pm 0,07	0,21 \pm 0,21	0,07 \pm 0,07	0,10 \pm 0,19	0,18 \pm 0,17	0,23 \pm 0,27
Al ₂ O ₃	2,65 \pm 0,31	2,25 \pm 0,90	1,97 \pm 0,22	1,86 \pm 0,33	1,85 \pm 0,31	1,97 \pm 0,29	2,15 \pm 0,15	2,20 \pm 0,68
FeO	0,36 \pm 0,16	0,32 \pm 0,19	0,32 \pm 0,06	0,37 \pm 0,21	0,11 \pm 0,15	0,29 \pm 0,18	0,07 \pm 0,06	0,30 \pm 0,43
Cl	0,37 \pm 0,08	0,67 \pm 0,15	0,42 \pm 0,08	0,63 \pm 0,24	0,83 \pm 0,10	1,02 \pm 0,15	0,86 \pm 0,15	0,91 \pm 0,30
Össz.	93,06 \pm 3,19	97,55 \pm 2,75	95,04 \pm 0,46	93,62 \pm 2,40	92,88 \pm 1,44	96,68 \pm 2,74	93,97 \pm 2,74	94,79 \pm 2,36
n	3	23	3	17	3	12	3	21
vastagság (μ m)	330		250		310		180	



3. ábra: A mázakban előforduló zárványok EDS spektruma. (a) fehér, szögletes kassziteritzárvány a fehér mázban, 1. minta, (b) szürke, kassziteritűkből álló halmaz a fehér mázban, 1. minta, (c) ólom-antimonát szemcse sárga mázban, 1. minta, (d) sötét, mangándús folt fekete mázban, 2. minta.

Fig. 3.: EDS spectra of the inclusions present in the glazes. (a) white, angular cassiterite particle in the white glaze of sample 1, (b) grey aggregate made of cassiterite needles in the white glaze of sample 1, (c) lead antimonate particle in the yellow glaze of sample 1, (d) dark patch rich in manganese in the black glaze of sample 2.

Eredmények

Fehér máz

A kerámiákat borító ónmáz vastagsága ~0,15 és ~0,4 mm között változik (**2. ábra, 2. táblázat**). A táltörredékek belső, homorú oldalán jellemzően nagyobb a máz vastagsága, mint a külső, domború oldalon. A korsőtörredék (1. minta) ónmáza a legvékonyabb. A minták fehér máza változó mértékben repedezett-kitörredezett, legrosszabb állapotú a 3. és 5. minta külső oldali, vékonyabb máza.

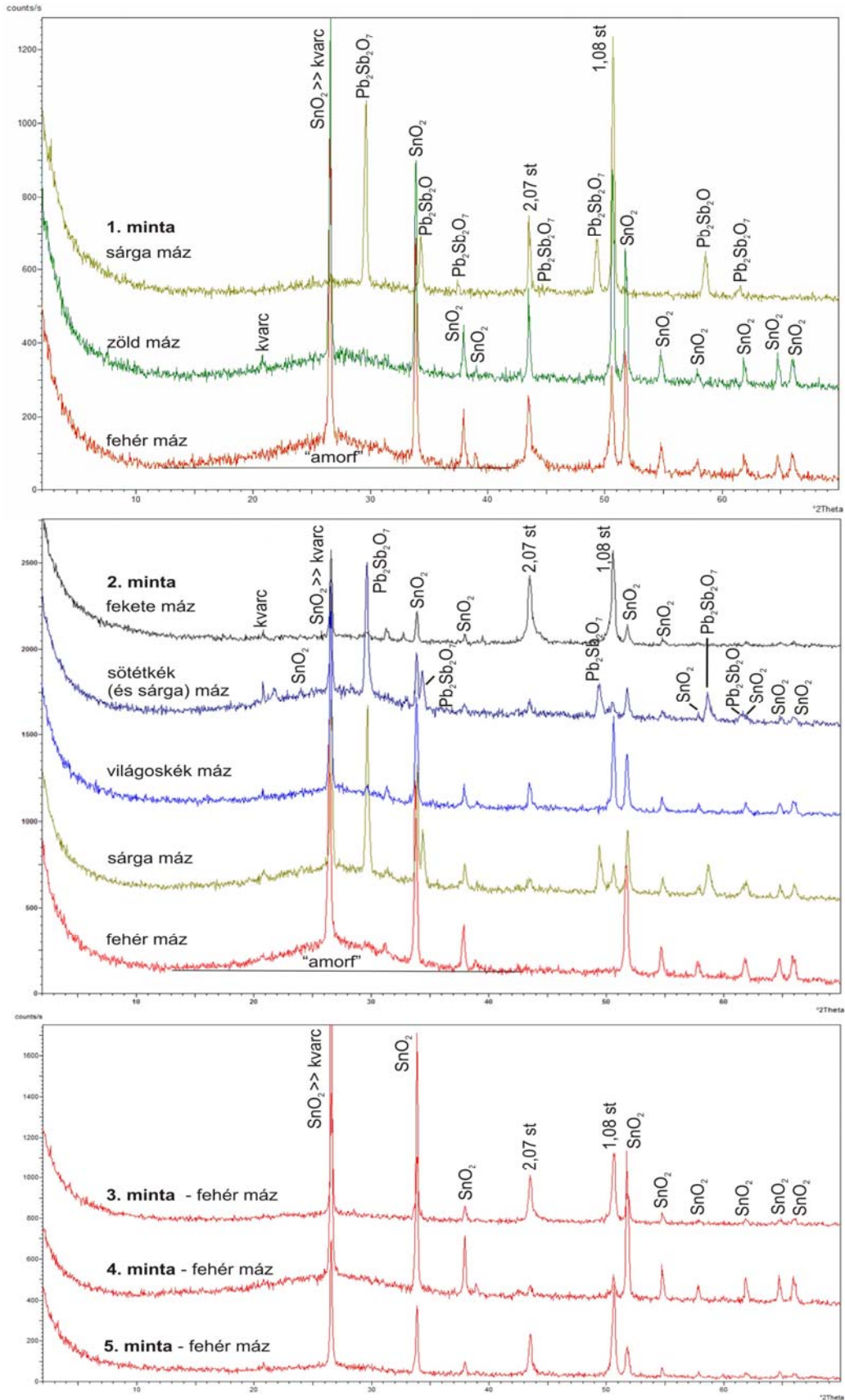
A fehér mázat üveges mátrix, zárványok és buborékok utáni kerekded pórusok alkotják. Mind az öt minta ónmáza sok zárványt és pórust tartalmaz egyenetlen eloszlásban (**2. ábra**). A kerekded pórusok mérete pár μm -tól ~60 μm -ig terjed, a 2. mintában a 120 μm -t is eléri.

A mázak egyik zárványtípusa a visszazórt elektronképen sötét színű, 5-60 μm méretű, nagyrészt kvarc-, alárendelten földpátszemcsék. A kvarc szögletes-enyhén lekerekített, éles határvonalú. A földpát lekerekített, elmosódott határvonalú; összetétele alapján (al)káliföldpát, plagioklászttal nem találtunk. A sötét zárványok mennyisége nem azonos az öt mintában: viszonylag

kevés szemcse van a 2. minta ónmázában, míg a többi minta fehér máza nagyobb mennyiségben tartalmaz kvarcot (és földpátot), legtöbb sötét zárvány a 4. mintában jelenik meg (**2a-e. ábra**). Visszaoldott (rezorbeált) megjelenésük alapján a kvarc és a földpát maradványfázisok. Előfordulnak 10 μm alatti, táblás, sötét színű SiO_2 zárványok is, amelyek lehetnek relikttumok (kvarc) és/vagy a máz kiégetése, majd lehülése során kikristályosodó fázisok (krisztobalit).

Az ónmázak zárványainak többsége a visszazórt elektronképen világos, fehér-szürke szemcse és szemcsehalmaz, amelynek két típusa figyelhető meg (**2. ábra**). A világos zárványok kisebb része szögletes-enyhén lekerekített, <1-10 μm méretű, fehér homogén szemcse vagy ezek csoportja, míg többségük szürke szemcsehalmaz, amelyek mérete eléri a 30 μm -t. A szemcsehalmazokat vékony tüklécek alkotják, amelyek a mátrixban elszórtan is megjelennek (**2f-g. ábra**). A tük a halmazban belül párhuzamosan, csillagszerűen vagy véletlenszerűen helyezkednek el, méretük változatos, <1 μm -tól ~2 μm -ig terjed. A kétféle világos zárványtípus gyakran együtt, szorosan összenöve fordul elő: a finomabb tükből-szálakból álló csoportokban nagyobb, szögletes, fehér szemcsék jelennek meg

(2h-i. ábra). Mindkét világos zárványtípus óntartalmú (3a-b. ábra).



4. ábra: A fehér és színes mázak röntgen-diffraktogramja (st: sztenderd).

Fig. 4.: X-ray diffraction profiles of white and coloured glazes (st: standard).

Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat alapján a mázakban kassziterit (ón-oxid, SnO_2) az óntartalmú fázis (**4. ábra**). Az EDS spektrumokban az ón mellett rendre megjelenő több-kevesebb szilícium és ólom (**3a-b. ábra**) a környezetből (üveges mátrixból) származik.

Az ónmázak átlagos ólomtartalma 17,5 és 27,0 tömeg% PbO között változik (**2. táblázat**, területi elemzések). SiO_2 tartalmuk 38,9-46,0 tömeg%, öszszalkália-tartalmuk 5,2 és 7,4 tömeg% ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) között szór. Kémiai összetétel alapján az ónmázak ólom-alkáli típusúak (Tite et al. 1998). Óntartalmuk 16,0-19,8 tömeg% SnO_2 . Az ón jellemzően a világos zárványokban dúsul, az üveges mátrixban csak néhány százalékban fordul elő (**2. táblázat**, pontelemzések), a mátrix a teljes mázhoz viszonyítva nagyobb SiO_2 és PbO tartalmú.

Nem mutatható ki szisztematikus eltérés a minták külső és belső mázának kémiai összetétele között, nagyságrendileg hasonló koncentrációk jellemzők. A 3. és 5. minta belső mázában 2-5 tömeg%-kal több a PbO és 1,0-1,8 tömeg%-kal több az SnO_2 tartalom, mint a külső mázban, míg a 4. minta belső mázában 2,5 tömeg%-kal kisebb PbO tartalmat mértünk, mint a külsőben, de SnO_2 tartalmuk azonos (**2. táblázat**).

Színes mázak és színeképző anyagok

A vizsgált minták közül kettőn látható sárga, kék és fekete, valamint egy mintán zöld díszítés (**1. ábra**). A díszítések külön rétegek formájában kerültek a fehér mázra, az 1. mintánál sárga – zöld, kék – fekete, a 2. mintánál sárga – kék – fekete sorrendben.

A díszítések színes ólom-mázak, vastagságuk összemérhető a fehér mázak vastagságával, meghaladhatja a 0,3 mm-t (**5. ábra, 3. táblázat**). Kémiai összetétel alapján ólom-alkáli típusú mázak (Tite et al. 1998). Területi elemzések alapján 20,3-36,8 tömeg% a PbO tartalmuk, öszszalkália-tartalmuk 6,4-8,9 tömeg% ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (**3. táblázat**).

A sárga mázban megjelenő szögletes, néhány μm méretű világos zárványok a felhasznált pigment maradványai (**5a-c, i. ábra**). EDS spektrum alapján a zárványok ólom- és antimon-tartalmúak (**3c. ábra**), azonosíthatók a röntgen-pordiffrakciós vizsgálattal kimutatott $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ólom-antimonát fázissal (**4. ábra**). Az 1. minta pigment szemcséiben vas és kalcium is kimutatható (<4 % FeO , 2-3 % CaO , **3c. ábra**), és mindkét minta sárga máza a fehér mázhoz viszonyítva vasban gazdagabb (~2 tömeg% FeO , **3. táblázat**). A két minta sárga mázának mikroszerkezete eltérő. Míg a 2. mintában a pigment szemcsék többé-kevésbé homogéne oszlanak el, az 1. mintában csomók formájában is megjelennek (**5b. ábra**), ami kevésbé gondos előkészítést jelez. A 2. mintában viszonylag sok

sötét szilikátzárvány (kvarc, földpát) kíséri a pigmentet, ezek mennyisége az 1. mintában jóval kevesebb, viszont az utóbbi több nagyméretű (0,2 mm-t elérő) kerekded porust tartalmaz.

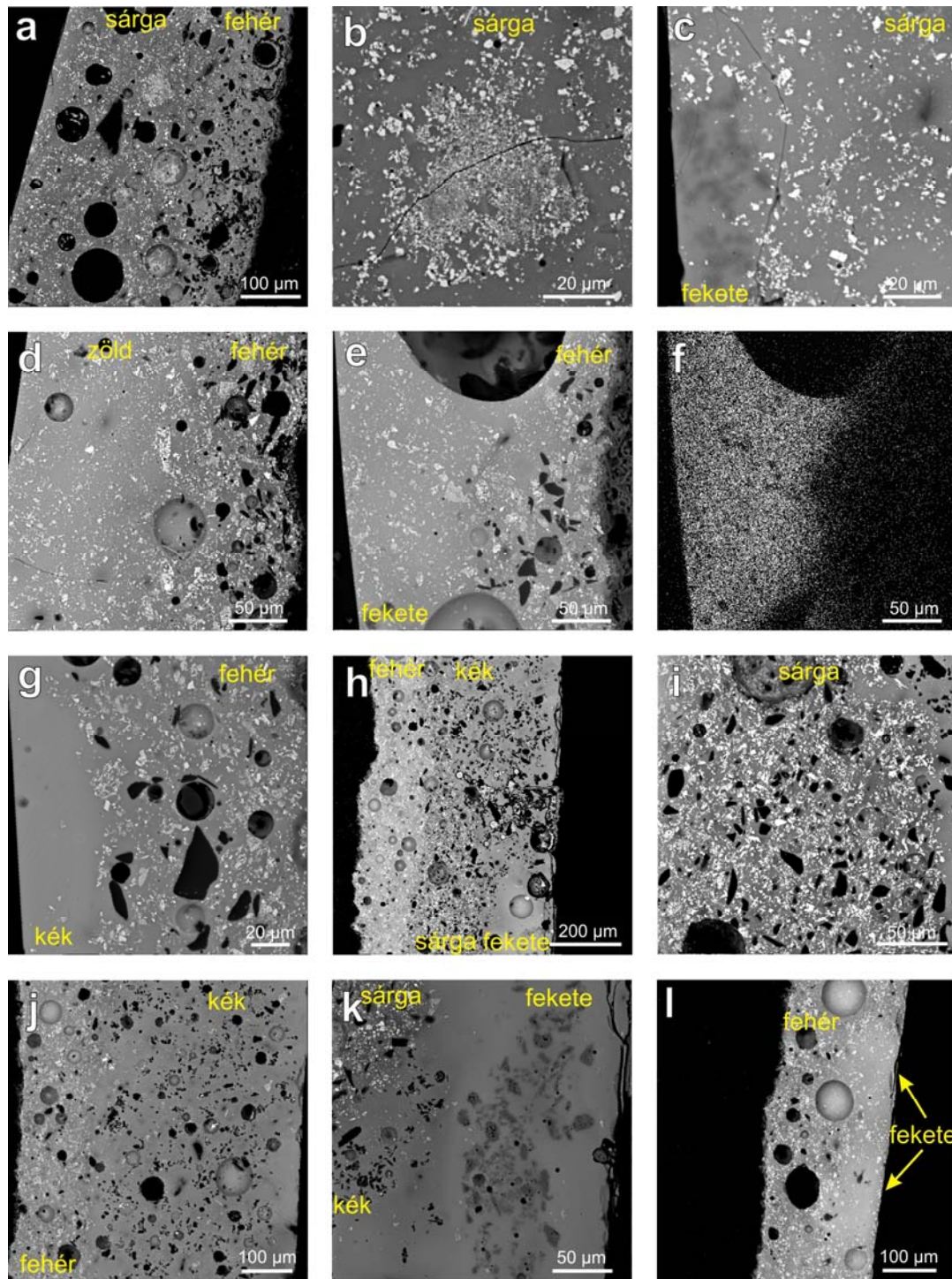
A kék, zöld és fekete mázakban színeképző kristályos anyagok röntgen-pordiffrakciós vizsgálattal kimutatási határ felett nem azonosíthatók (**4. ábra**), azonban mikroszondás mikroszerkezeti és kémiai vizsgálattal a kis mennyiségben megjelenő és kisméretű zárványok és az üveges mátrixban ionos formában lévő színezőanyagok is kimutathatók.

A kék máz mátrixában a szokásos kémiai komponenseken kívül kobalt, nikkal és arzén jelenik meg, koncentrációjuk eléri a 1-1,5 tömeg% (**3. táblázat**). A fehér mázhoz viszonyítva a kék máz több vasat tartalmaz (1-1,5 tömeg% FeO). A 2. mintában előfordulnak kisméretű (1-20 μm), léces vagy lekerekített, sötét SiO_2 szemcsék (**5j. ábra**), amelyek az eredeti nyersanyag maradványai (kvarc) és/vagy a kiégetés során keletkező fázisok (krisztobalit) lehetnek. Emellett megfigyelhetők hasonlóan kisméretű, de világos szemcsék, amelyek buborékok oldalán is megjelennek. A kis méret miatt a kémiai összetétel nehezen határozható meg, azonban a mátrixhoz viszonyított nagyobb arzén- és ólomtartalom (> 10 tömeg% As_2O_3 , ≥ 50 tömeg% PbO) alapján feltehetően ólom-arzenát.

A fekete mázban mangán jelenléte mutatható ki (**3. táblázat**). Az 1. mintában a sárga máz feletti fekete mázban a mangán sajátalakú, 1-2 μm -es méretű kristályokban dúsul (**5c. ábra**), amelyek aggregátumokat alkotnak. A kristályok a máz kiégetése során kristályosodtak ki. A 2. mintában a mangán sötét, szabálytalan alakú, lyukacsos, 20 μm -t elérő foltokban koncentrációdik (**5k, l. ábra**), amelyekben a mangán koncentrációja eléri a 70 tömeg% MnO -t (**3d. ábra**), a mangánt valószínűleg vas is kíséri (<5 tömeg% FeO). A mangándús foltok a felhasznált pigment maradványai lehetnek.

A zöld máz mátrixában a réz dúsul (2,0 tömeg% CuO , 1. minta, **3. táblázat**). Réztartalmú zárványok nem, azonban néhány antimon-tartalmú szemcse azonosítható volt a zöld mázban.

Az 1. minta fehér ónmázát fedő fekete és zöld mázban sok óntartalmú zárvány van, a kassziterit mindkét típusa megjelenik (**5d, e. ábra**). A zöld és fekete mázban az ónos szemcsehalmazok általában kisebb méretűek és egyenletesebben oszlanak el, mint az alattuk lévő fehér mázban. A zöld és fekete máz SnO_2 tartalma 13, ill. 22 tömeg%, a mázak mátrixában szintén van kis mennyiségű ón (**3. táblázat**). A díszítések alatti ónmáz viszont színezőanyagot is tartalmaz, így a zöld alatti fehér mázban kimutatható a réz (0,6-1,5 tömeg% CuO) és a fekete alatti fehér mázban a mangán (0,3-0,7 tömeg% MnO).



5. ábra: A színes mázak (díszítések) mikroszerkezete (visszaszórt elektronképek). 1. minta: (a) sárga máz fehér mázon, (b) ólom-antimonát szemcsecsoport a sárga mázban, (c) fekete máz sárga mázon, (d) zöld máz fehér mázon, (e) fekete máz fehér mázon, (f) ugyanazon terület mangán eloszlási képe, (g) kék máz fehér mázon. 2. minta: (h) sárga, kék és fekete mázrétegek a fehér mázon, (i) sárga máz, (j) kék máz fehér mázon, (k) fekete máz kék és sárga mázon (a fekete máz egy sötét foltjának EDS spektrumát ld. a 3d. ábrán), (l) fekete máz fehér mázon.

Fig. 5.: Microstructure of coloured glazes (decorations) (backscattered electron images). Sample 1: (a) yellow glaze on white glaze, (b) cluster of lead antimonate particles in yellow glaze, (c) black glaze on yellow glaze, (d) green glaze on white glaze, (e) black glaze on white glaze, (f) manganese distribution map of the same area, (g) blue glaze on white glaze. Sample 2: (h) yellow, blue and black glazes on white glaze, (i) yellow glaze, (j) blue glaze on white glaze, (k) black glaze on blue and yellow glazes (Fig. 3d shows the EDS spectrum of a dark patch in black glaze), (l) black glaze on white glaze.

3. táblázat: A színes ólomházak kémiai összetétele (energiadisziperzív röntgenspektrométerrel végzett területi és pontelemzések, átlag ± szórás, n: mérések száma; vastagság: a mérési területeken a színes házak maximális vastagsága). n. e.: nincs elemelve

Table 3.: Chemical composition of coloured lead glazes (areal and point analyses measured by using energy dispersive X-ray spectrometer, average ± standard deviation, n: number of measurements; thickness: maximal thickness of coloured glazes in the measured parts of the sections). n. e.: not analysed

Oxid (tömeg%)	sárga ház (fehér ház felett, 5a. ábra)		sárga ház (fehér ház felett és fekete ház alatt, 5c. ábra)		kék ház (fehér ház felett, 5g. ábra)		zöld ház (fehér ház felett, 5d. ábra)		fekete ház (sárga ház felett, 5c. ábra)		fekete ház (fehér ház felett, 5e. ábra)	
	terület	pont	terület	pont	terület	pont	terület	pont	terület	pont	terület	pont
SiO ₂	40,15 ± 2,24	47,35 ± 1,65	35,72	42,64 ± 4,05	45,41 ± 2,76	37,24 ± 0,91	41,17 ± 1,66	33,23	42,10	36,75	43,56 ± 3,08	
PbO	36,81 ± 0,84	34,88 ± 1,40	32,21	33,72 ± 5,67	30,52 ± 0,93	30,68 ± 0,53	33,73 ± 0,81	20,31	29,90	20,70	26,65 ± 1,06	
SnO ₂	0,33 ± 0,33	0,36 ± 0,51	0,29	0,08 ± 0,29	1,86 ± 0,19	13,31 ± 0,54	2,76 ± 0,37	0,62	0,46	22,79	4,97 ± 3,61	
Na ₂ O	3,87 ± 0,58	2,15 ± 0,33	5,50	2,56 ± 0,57	5,03 ± 1,06	5,26 ± 0,10	2,79 ± 1,04	4,45	3,15	4,48	2,33 ± 0,55	
K ₂ O	2,50 ± 0,27	2,69 ± 0,31	2,77	2,64 ± 0,66	3,37 ± 0,04	2,52 ± 0,04	2,39 ± 0,21	1,99	2,97	2,61	2,82 ± 0,18	
CaO	0,68 ± 0,02	0,34 ± 0,12	1,58	0,82 ± 0,40	0,90 ± 0,13	0,83 ± 0,10	0,77 ± 0,21	1,17	1,36	0,97	1,70 ± 0,16	
MgO	0,19 ± 0,01	0,18 ± 0,13	0,23	0,23 ± 0,24	0,05 ± 0,02	0,25 ± 0,10	0,25 ± 0,12	0,54	0,26	0,04	0,19 ± 0,16	
Al ₂ O ₃	2,57 ± 0,44	2,92 ± 0,74	2,34	2,86 ± 0,91	1,00 ± 0,10	2,08 ± 0,24	2,16 ± 0,45	2,05	3,00	0,83	0,88 ± 0,19	
FeO	2,01 ± 0,11	2,01 ± 0,32	2,28	2,21 ± 0,53	1,04 ± 0,13	0,59 ± 0,17	0,54 ± 0,20	2,92	2,36	0,36	0,80 ± 0,52	
CoO	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	0,72 ± 0,24	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	
NiO	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	0,45 ± 0,04	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	
As ₂ O ₃	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	0,67 ± 0,34	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	
Sb ₂ O ₃	5,88 ± 0,87	1,12 ± 0,65	3,26	1,54 ± 1,54	n. e.	0,19 ± 0,42	2,05 ± 0,36	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	
CuO	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	1,97 ± 0,31	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	
MnO	n. e.	n. e.	6,62	3,42 ± 2,13	n. e.	n. e.	n. e.	22,43	4,94	3,28	5,70 ± 1,88	
Cl	0,39 ± 0,13	0,48 ± 0,24	0,31	0,36 ± 0,16	0,36 ± 0,11	0,79 ± 0,06	0,82 ± 0,25	0,18	0,16	0,52	0,56 ± 0,10	
Összesen	95,39 ± 2,89	94,51 ± 1,83	92,82	93,09 ± 3,70	91,37 ± 5,43	95,65 ± 0,82	89,43 ± 1,52	89,89	90,64	93,33	90,16 ± 1,31	
n	3	9	1	5	3	4	8	1	2	1	3	
vastagság (µm)	350	220	40-100	120	30	140						

3. táblázat, folyt.

Table 3.: Cont.

Oxid (tömeg%)	2. minta (2010. 07.15.2)							
	sárga máz (fehér máz felett, 5i. ábra)		kék máz (fehér máz felett, 5j. ábra)		fekete máz (kék máz felett, 5k. ábra)		fekete máz (fehér máz felett, 5l. ábra)	
	terület	pont	terület	pont	terület	pont	terület	pont
SiO ₂	45,35 ± 2,69	53,46 ± 1,98	49,24	50,50 ± 0,62	38,52 ± 2,23	42,92 ± 1,07	39,46	42,78 ± 1,53
PbO	24,95 ± 0,75	24,93 ± 2,45	24,43	36,06 ± 2,28	25,18 ± 0,23	28,87 ± 2,03	35,00	34,45 ± 2,63
SnO ₂	0,81 ± 0,60	0,33 ± 0,42	1,10	1,30 ± 0,62	1,55 ± 0,18	0,27 ± 0,85	6,76	2,68 ± 1,08
Na ₂ O	3,41 ± 0,25	1,84 ± 0,42	4,43	1,91 ± 0,49	5,33 ± 0,20	2,14 ± 0,31	5,07	2,89 ± 0,49
K ₂ O	3,33 ± 0,40	3,33 ± 0,42	3,40	2,88 ± 0,29	3,06 ± 0,31	2,74 ± 0,14	3,82	3,78 ± 0,32
CaO	0,71 ± 0,08	0,34 ± 0,10	0,75	0,70 ± 0,24	0,67 ± 0,11	0,74 ± 0,13	0,73	0,57 ± 0,01
MgO	0,22 ± 0,13	0,28 ± 0,17	0,11	0,26 ± 0,14	0,04 ± 0,13	0,23 ± 0,11	0,19	0,39 ± 0,16
Al ₂ O ₃	2,92 ± 0,25	2,59 ± 0,66	1,31	1,49 ± 0,22	2,41 ± 0,24	3,22 ± 0,78	2,37	2,01 ± 0,28
FeO	2,67 ± 0,41	3,72 ± 1,12	1,30	1,53 ± 0,18	1,38 ± 0,17	1,40 ± 0,08	0,71	0,75 ± 0,17
CoO	n. e.	n. e.	1,02	1,01 ± 0,24	0,85 ± 0,07	0,65 ± 0,38	n. e.	n. e.
NiO	n. e.	n. e.	0,87	0,86 ± 0,33	0,68 ± 0,15	0,46 ± 0,33	n. e.	n. e.
As ₂ O ₃	n. e.	n. e.	1,50	1,30 ± 0,52	1,45 ± 0,29	1,23 ± 0,28	n. e.	n. e.
Sb ₂ O ₃	8,43 ± 0,52	2,81 ± 1,44	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
CuO	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
MnO	n. e.	n. e.	n. e.	0,16 ± 0,14	11,92 ± 4,38	5,22 ± 0,45	4,06	4,06 ± 0,21
Cl	0,45 ± 0,15	0,46 ± 0,23	1,00	0,84 ± 0,31	0,74 ± 0,09	0,70 ± 0,22	1,05	0,82 ± 0,14
Összesen	93,24 ± 1,79	94,08 ± 2,03	90,44	100,76 ± 1,65	93,78 ± 1,43	90,78 ± 1,41	99,23	95,17 ± 0,87
n	4	10	2	6	3	4	1	3
vastagság (µm)	200		350		170-250		120	

A fehér és a zöld, ill. a fehér és a fekete máz határa a sötét zárványok és a kassziterithalmazok eloszlása, valamint a színezőanyag eloszlási térképe (pl. mangán, **5f. ábra**) alapján azonosítható. A fehér és a kék máz határa határozottan kirajzolódik (**5g. ábra**), mivel a kék mázban jóval kevesebb, elszórt kassziteritzárvány fordul elő (2 tömeg% alatti SnO₂ tartalom, **3. táblázat**), a fehér máz nem tartalmaz kobaltot, nikkelt és arzént kimutatási határ feletti koncentrációban.

Kassziteritzárványok megjelennek a 2. minta fekete mázában is, amennyiben közvetlenül a fehér mázra vitték fel (> 6 tömeg% SnO₂, **3. táblázat**, **5l. ábra**), és a fehér máz is tartalmaz kevés mangánt (0,3-0,5 tömeg% MnO a mátrixban). A fehér mázra felvitt kék máz szintén tartalmaz kassziteritzemcséket (~1 tömeg% SnO₂ tartalom, **5j. ábra**), a kék mázban megjelenő fekete mázban pedig kobalt, nikkelt, arzén és ón egyaránt kimutatható (**3. táblázat**, **5k. ábra**).

Óntartalmú szemcsét egyik minta sárga mázában sem találtunk, a kémiai összetételükben nyomnyi mennyiségű ón jelenik meg (**3. táblázat**). A sárga mázban mangán mutatható ki, amennyiben fekete díszítés fedti (1. minta, **3. táblázat**, **5c. ábra**), és ilyen esetben a fekete máz is tartalmaz néhány ólom-antimonát szemcsét, de kassziteritzárványokat nem.

Diszkusszió

A vizsgált habán kerámiákat borító fehér ónmáz ólom-alkáli típusú máz. Óntartalmú ólom-alkáli mázhoz hálózatképző szilícium-dioxid, folyósító alkália és ólomvegyület, valamint ón-oxid összetevőkből álló mázkeverék szükséges (Tite et

al. 1998). A technológiai folyamat első lépése az ólom-ón hamu előállítás, ami ólom-oxid és ón-oxid keveréke, fémólm és fémón megolvastásával és oxidációjával nyerik (Tite et al. 1998, 2008). Az ón önmagában is oxidálható, de ólom hozzáadásával az oxidációs folyamat könnyebben végbemegy. Az ón-ólomhamut (a) homokkal (vagy más kvarcdús anyaggal) keverik, amelyhez adhatnak még egyéb adalékokat (pl. só, szóda) vagy (b) szintelen és porított frittel (részlegesen megolvastott, üveges anyaggal) keverik. Mindkét esetben a mázkeveréket a vizes szuszpenzió készítése előtt frittelhetik, azaz összeolvaszthatják. Piccolpasso leírása alapján a majolikák ónmázához a második változatot, azaz ólom-ónhamu és porított fritt (homokból, borseprőből vagy borkőből (égetett formában, nagyrészt kálium-karbonátként) és esetenként kősóból álló *marzacotto*) keverékét alkalmazták, amelyhez időnként homokot is keverték (Lightbown & Caiger-Smith 2007). Ezt a keveréket közvetlenül, előzetes frittelés nélkül vitték fel a majolikák alaptestére (Tite 2009).

A habán töredékek ónmázában a kvarc és a földpát visszaoldott, de nem teljesen feloldódott szemcséi a felhasznált homok maradványai, és egyben jelzik, hogy a fazekasok nem fritteltek a mázkeveréket a szuszpenzió készítése előtt. Mason & Tite (1997) és Molera et al. (2001) feltételezték, hogy a mázkeverékhez adagolt homokszemcsék (és a buborékok) hozzájárulnak a máz homályosításához, emiatt kevesebb ón felhasználása szükséges. Tite (2009) véleménye szerint, mivel a kvarcsemcséknek a mázhoz hasonló törésmutatójuk van, így csak minimális mértékben

járulnak hozzá az opak jelleghez, e célnak jobban megfelelnek a nagyobb törésmutatójú ón-oxidzárványok. A homok hozzákeverésének oka valószínűleg az lehet, hogy szilárdabbá és kevésbé porszerűvé teszi a nem kiégetett ónmáz, ami így alkalmasabbá válik a díszítések felvitelére (Tite 2009). A vizsgált habán minták, amelyek jelentős óntartalom mellett több-kevesebb homokadalekót is tartalmaznak, az utóbbi feltételezést támasztják alá. Az ónmázak 1 tömeg%-ot elérő klórtartalma és viszonylag alacsony K_2O/Na_2O aránya (0,55-1,25 területi mérések alapján) kősó felhasználását is jelzik.

Az előzetes összeolvasztás (frittelés) hiányát megerősíti az ónmáz kassziteritzárványainak egyenetlen eloszlása (halmazokba tömörülése) (Molera et al. 2001; Vendrell-Saz et al. 2006). A nyersanyagként adagolt ón-oxid a kiégetés, azaz a hőmérséklet emelkedése során reagál az ólom-oxiddal, ólom-sztannáttá alakul, majd a mázkeverék megolvadásakor újrakristályosodik (Molera et al. 1999; Tite et al. 2008). A töredékek mázában lévő óntartalmú zárványok eredetét a morfológiájuk jelzi: szögletes kassziteritszemcsék a nyersanyag (az ónhamu) eredeti alkotói, míg a vékony kassziterittük a máz kiégetése és lehülése során kikristályosodott fázisok. A kassziterit feloldódásának és újrakristályosodásának folyamatát támasztja alá a reliktumok és az újonnan keletkezett zárványok szoros egymás melletti megjelenése. Az el nem reagált kassziteritszemcsék a szükségesnél több ónnyersanyag felhasználását jelzik, míg a kassziterittük határozott körvonalú csoportokba-halmazokba tömörülése arra utal, hogy kikristályosodásuk során megőrizték az eredeti nyersanyag szemcsék alakját.

Középkori spanyol ónmáz kerámiák és itáliai majolikák elemzése alapján a megfelelően opak, azaz az alaptestet kellően eltakaró, fehér ónmáz előállításához tipikusan 4-5 és 9-10 tömeg% közötti SnO_2 szükséges (Molera et al. 2001; Tite 2009). A vizsgált habán töredékek opak mázában ugyanakkor sok kassziteritzárvány van, és a mikroszondás területi elemzések is alátámasztják a nagyobb óntartalmat (16-20 tömeg% SnO_2 ; amennyiben az oxidösszegeket Tite (2009) és Molera et al. (2001) által közölt kémiai összetételekhez hasonlóan 100%-ra normalizáljuk, ~17-21 tömeg% SnO_2 -t kapunk). Az SnO_2/PbO arány 0,6-1,1, míg a majolikák többségénél ugyanez az arány kisebb, 0,2-0,5.

Az ónmáz fehérségének mértéke fokozható az ón-oxidtartalom és a máz vastagságának növelésével, valamint az alaptestet vöröses árnyalatának csökkentésével (Vendrell-Saz et al. 2006). A habán töredékek kerámia-alapteste (előzetes kémiai adatok szerint) meszes, a kiégetés utáni színük – az ónmáz kerámiák többségére jellemzően – világos. A világos színű alaptest a mázon keresztül

gyakorlatilag nem látható, azaz csak minimális hatást gyakorol a máz fehér színére, ezért az alaptest elfedése nem igényelte volna ilyen nagy mennyiségű ón-oxid használatát. Mind az öt fehérmáz habán töredék mázvastagságtól függetlenül nagy óntartalma szándékos adagolásra utal.

A korai (ún. archaikus, 13-14. századi) majolikák között ismertek hasonlóan nagy óntartalmú (13-28 tömeg% SnO_2), és részben nagyobb ólomtartalmú (21-48 tömeg% PbO), 30-550 μm vastag mázas darabok (Tite 2009). Ezek feltehetően véletlenszerű adagolás eredményei, a korai majolikák előállításakor (a technológia korai szakaszában) Tite (2009) szerint valószínűleg még nem ismerték a megfelelően opak és fehér máz előállításához szükséges ónmennyiséget. Az 1500-as években és az 1600-as évek elején a firenzei della Robbia műhelyben készült művészi igényű terrakottaszobrokat és domborműveket szintén nagy ón- és ólomtartalmú máz borítja (az SnO_2 tartalom eléri 20 tömeg%-ot, a PbO tartalom a 40 tömeg%-ot). A della Robbia szobrok mázában nagy óntartalma tudatos adagolás eredménye, a technológia magas szintű ismeretét jelzi. Az óntartalom az erősen opak, intenzív fehér máz előállítása mellett a viszkozitás növelését is szolgálta, ezzel ellensúlyozták a kiégetési hőmérséklet csökkentése céljából adagolt nagy mennyiségű ólom-oxid okozta viszkozitás-csökkenést (Tite 2009).

A majolikák ónmázát *coperta*, átlátszó, nem színezett ólomház, azaz fedőház boríthatja, amelynek használata a 15. századtól terjedt el (Lightbown & Caiger-Smith 2007; Tite 2009). A majolikák keresztmetszetein a díszítés a *coperta* nélküli ónmáz tetején vékony (max. 50 μm -es) rétegben vagy a fedő- és az alapház határán található (pl. jól azonosítható pigment szemcsék formájában, Tite 2009; Bajnóczi et al. 2009). A habán töredékeken nincs fedőház, és a díszítések egyedi, színes mázrétegek formájában kerültek az opak házra. A színes mázak ólom-alkáli típusúak, pontelemzések alapján az ólom és az ósszalkália koncentráció-tartománya hasonló az ónmázban mérthez.

A sárga házban megjelenő ólom-antimonát ($Pb_2Sb_2O_7$) szemcsék *ólom-antimonát sárga* mesterséges pigment felhasználására utalnak. Ismertek még ólom-ón sárga (ólom-sztannát) és ólom-ón-antimonát sárga pigmentek is (Dik et al. 2005; Maggetti et al. 2009), ezeket azonban a sárga ház csak nyomokban jelenlévő óntartalma miatt kizárhatjuk. Az ólom-antimonát nemcsak színez, hanem homályosít is, mivel a kiégetés után nagyrészt beoldatlan szemcsék formájában marad meg a házban. A mátrix kis mennyiségben tartalmaz antimont, ami az ólom-antimonát szemcsék és az üveges mátrix kismértékű

kölcsönhatására utal. Ólom-antimonátot használtak a majolikák sárga díszítéseihez is (Bultrini et al. 2006; Tite 2009). Előállítására ólom-oxid és antimon-oxid keverékének hevítésével történhetett, ugyanis szulfidok vagy tiszta fémek helyett fém-oxidok szükségesek a $Pb_2Sb_2O_7$ nagy koncentrációban és minél tisztább formában történő előállításához (Dik et al. 2005). Vas megjelenése a pigment szemcsékben és a máz mátrixában tudatos hozzáadást jelez, ezt a módszert Piccolpasso is említi kézikönyvében a sárga pigment készítésénél (vas-oxid adagolása vasrozsa formájában, Bultrini et al. 2006; Lightbown & Caiger-Smith 2007).

Színezett opak mázat kétféleképpen lehet előállítani (Maggetti et al. 2009): a pigmentet (a) a máz nyersanyagaival keverik, majd magas hőmérsékleten összeolvasztják, és a kész opak mázat hűlés után porítják, vagy (b) a már kész, porított, színtelen vagy színes üveges mázhoz keverik. Az utóbbi módszer alkalmazását jelzi az ólom-antimonát pigment szemcsék szögletes alakja, csomókba tömörülésük, valamint a 2. minta sárga mázában a homokadalékanyag maradék szemcséinek megjelenése.

A kék szín előállítására kobaltot használtak, amelyet nikkel, arzén és kevés vas kísér. Az arzén (0,7-1,5 % As_2O_3) jelenléte alapján a kobalttartalmú pigment *zaffre* (zaffera) lehetett, amely kobaltércet pörkölésével előállított, szennyezett kobalt-oxid. Majolikák és della Robbia szobrok kék mázaiban az arzén kb. 1520 után jelenik meg, az 1520 előtti tárgyak mázaiban csak nyomnyi mennyiségben (<0,1 tömeg% As_2O_3) mutatható ki (Zucchiatti et al. 2006; Tite 2009). A *zaffre* előállítását 1520 körül, a Cseh-Szász-Érchegységben találták fel. Korábban a kobalttartalmú ásványokat ezüsttartalmú ércekkel együtt pörkölték, amely során a kobalttartalmú pigment melléktermékként keletkezett és nem tartalmazott arzént. Zucchiatti et al. (2006) véleménye szerint az arzén megjelenése az 1520 körüli technológia- és valószínűleg nyersanyagváltás eredménye. A kobalt-dús ércet nem az ezüsttel együtt, hanem önállóan bányászták, válogatták és új típusú kemencében pörkölték, a pörkölés követő hűlés során az illékony arzén képes volt részlegesen visszaépülni a kobalttartalmú anyagba. A *zaffre* pigment arzéntartalma a kék színű mázakban ólom-arzenát zárványok formájában dúsul (Viti et al. 2003; Tite 2009), hasonló zárványok az 1. minta kék mázában is megjelennek.

Réz tartalmú színezőanyaggal állították elő a zöld színű mázat. Piccolpasso kétféle pigmentet említ kézikönyvében: „égetett rezet” (*ramina*), amely fémréz égetésével keletkező réz-oxid (valószínűleg Cu_2O) és „kevert rezet”, amely réz-oxid, ólom-oxid és antimon-oxid égetett keveréke (Lightbown & Caiger-Smith 2007). Az előbbi ólom-alkáli mázakban zöld színt eredményez enyhe kékes

árnyalattal, az utóbbi tiszta zöld színt ad (Tite 2009). Archaikus és késő középkori majolikák zöld mázában csak réz mutatható ki (pl. Ricci et al. 2005), ami az „égetett réz” használatát mutatja, míg ólom-antimonát pigment szemcsék és réz megjelenése della Robbia zöld mázban „kevert rézre” utal (Tite 2009). Az 1. minta zöld mázában találtunk néhány antimon-tartalmú szemcsét, előfordulásuk azonban véletlenszerű lehet, mivel a zöld máz Sb_2O_3 tartalma jellemzően csekély (0,19 tömeg% Sb_2O_3).

A fekete mázhoz mangántartalmú színezőanyagot használtak, amelyet a 2. mintában feltehetően vas is kísér. A majolikák - elsősorban az archaikus darabok - lila és barna színéhez használtak mangánt (Alaimo et al. 2004; Ricci et al. 2005), amely természetes pigmentként megtalálható piroluzit (MnO_2), valamint vas-mangángumók és -konkréciók formájában (Alaimo et al. 2004), az utóbbiak jellemzően többféle mangán- és vas-oxidot is tartalmazhatnak. Piccolpasso kézikönyve szerint a fekete pigment természetes és mesterséges pigmentek keveréke, mangán(-oxid) mellett „égetett rezet” és fekete *zaffre*-t is tartalmaz (Lightbown & Caiger-Smith 2007), a habán leletek fekete mázában az utóbbiak (pl. réz) jelenlétét a kémiai elemzés nem támasztja alá. A 2. minta mangántartalmú pigment maradványai - a sárga mázhoz hasonlóan - azt jelzik, hogy a pigmentet színtelen, porított ólom mázhoz keverték hozzá és nem történt előzetes összeolvasztás.

A mikroszerkezeti és kémiai vizsgálatok kimutatták a fehér máz és különféle színű díszítések, valamint a színes mázrétegek egymás közötti keveredését (pl. sárga-fekete, kék-fekete). Különösen jól megfigyelhető a jelenség az 1. minta fehér-zöld és fehér-fekete mázáinál, a keveredés hatására megjelenő kassziteritzárványok a zöld és a fekete mázat homályosítják (nagy biztonsággal kizárható, hogy a fekete és a zöld mázat tudatosan óntartalmú mázból készítették volna, mivel ugyanazon mintában a sárga máz feletti fekete máz nem tartalmaz kassziteritzemcséket). Kisebb mértékű a keveredés a fehér és a kék máz között, míg a fehér és a sárga máz gyakorlatilag nem keveredik. Mindezek arra utalnak, hogy a fehér mázat nem égették ki a díszítések felvitele előtt. A mázrétegek keveredhettek egymással egyrészt a színes mázak felrakása során, másrészt a kiégetés során, amikor egymásba olvadás és diffúzió is történhetett.

A hasonló készítési technika ellenére a habán töredékek között különbség is megfigyelhető, pl. a fehér és a sárga mázak eltérő mennyiségben tartalmaznak homokmaradékot, a fekete mázak mangántartalmú zárványai eltérőek. Ismert készítési helyű és statisztikailag értékelhető mennyiségű habán régészeti lelet vizsgálata – mind máz, mind alaptest szempontjából – a jövőben remélhetőleg lehetővé teszi a különböző műhelyek termékeinek

elkülönítését. A jelen dolgozatban vizsgált kerámiák nem feltétlenül egy műhely termékei; készülhettek esetleg ugyanazon műhelyben, de eltérő időben.

Összefoglalás

A sárospataki ágyúöntő műhelyben feltárt fehérmázhas habán kerámiatöredékek archeometriai vizsgálata a máz és a díszítések készítéséhez felhasznált nyersanyagokról és a technológiáról szolgáltatott adatokat. A kerámiák alaptestét borító fehér máz ón-oxiddal homályosított ólom-alkáli máz, amely viszonylag nagy mennyiségű ón-oxidot (16-20 tömeg% SnO₂) tartalmaz. Maradék homokszemcsék és az ón-oxid zárványok egyenetlen eloszlása alapján a mázkeveréket a vizes

szuszpenzió készítése előtt nem frittelték. A díszítések színes ólomházak, amelyek szintén ólom-alkáli típusúak. Színezőanyagként a sárga házhoz az ólom-antimonát sárgát, a kék házhoz kobaltanyagú *zaffre*-t, zöld házhoz rezet tartalmazó pigmentet, a fekete házhoz mangántartalmú pigmentet használtak. A házrétegek kisebb-nagyobb mértékű keveredése azt jelzi, hogy a díszítéseket a nem kiégetett ónmázra vitték fel, majd a házakat együtt égették ki.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA (K 81201 és K 81133 pályázat) és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatja.

Irodalomjegyzék

ALAIMO, R., BULTRINI, G., FRAGALÀ, I., GIARRUSSO, R. & MONTANA, G. (2004): Microchemical and microstructural characterisation of medieval and post-medieval ceramic glaze coatings. *Applied Physics* **A79**:263-272.

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., DOBOSI, G., BALLA, G. & CSONTOS, K. (2009): Ónmázhas kerámiák technológiai jellegzetességeinek kimutatása Giovanni di Nicola Manzoni majolika tintartójának példáján. *Archeometriai Műhely* **VI**(1):81-93.

BALLA, G. (2008): Beatrix hozománya. Az itáliai majolikaművészet és Mátyás király udvara. In: BALLA, G. (Szerk.): Beatrix hozománya. Az itáliai majolikaművészet és Mátyás király udvara. Kiállítási katalógus. Iparművészeti Múzeum, Budapest, 11-30.

BULTRINI, G., FRAGALÀ, I., INGO, G. M. & LANZA, G. (2006): Characterisation and reproduction of yellow pigments used in central Italy for decorating ceramics during Renaissance. *Applied Physics* **A83**:557-565.

DÉTSHY, M. (1970): A sárospataki ágyúöntőház története. *Technikatörténeti Szemle* **V**: 69-116.

DIK, J., HERMENS, E., PESCHAR, R. & SCHENK, H. (2005): Early production recipes for lead antimonate yellow in Italian art. *Archaeometry* **47**(3): 593-607.

KATONA, I. (1976): *A habán kerámia Magyarországon*. II. javított, bővített kiadás, Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, Budapest.

LIGHTBOWN, R. & CAIGER-SMITH, A. (2007): Cipriano Piccolpasso's The Three Books of the Potter's Art (I tre libri dell'arte del vasaio): A facsimile of the manuscript in the Victoria and Albert Museum, London. 2nd edition, Editions La Revue de la céramique et du verre, Vendil-le-Viel, France.

MAGGETTI, M., NEURURER, CH. & ROSEN, J. (2009): Antimonate opaque glaze colours from the faïence factory of Le Bois d'Épense (19th century, Northeastern France). *Archaeometry* **51**(5):791-805.

MASON, R. B. & TITE, M. S. (1997): The beginnings of tin-opacification of pottery glazes. *Archaeometry* **39**(1):41-58.

MOLERA, J., PRADELL, T., SALVADÓ, N. & VENDRELL-SAZ, M. (1999): Evidence of tin oxide recrystallization in opacified lead glazes. *Journal of the American Ceramic Society* **82**:2871-2875.

MOLERA, J., VENDRELL-SAZ, M. & PÉREZ-ARANTEGUI, J. (2001): Chemical and textural characterization of tin glazes in Islamic ceramics from Eastern Spain. *Journal of Archaeological Science* **28**:331-340.

RICCI, C., BORGIA, I., BRUNETTI, B. G., SGAMELLOTTI, A., FABBRI, B., BURLA, M. C. & POLIDORI, G. (2005): A study of Late Medieval transparent-glazed pottery and Archaic majolica from Orvieto (Central Italy). *Archaeometry* **47**(3): 557-570.

ROMÁN, J. (1955): *Sárospataki kerámia*. Magyar Népművészet. A Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, Budapest.

TITE, M. S., FREESTONE, I., MASON, R., MOLERA, J., VENDRELL-SAZ, M. & WOOD, N. (1998): Lead glazes in antiquity – methods of production and reason for use. *Archaeometry* **40**:241-260.

TITE, M., PRADELL, T. & SHORTLAND, A. (2008): Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the Late Iron age onwards: a reassessment. *Archaeometry* **50**(1):67-84.

TITE, M. S. (2009): The production technology of Italian maiolica: a reassessment. *Journal of Archaeological Science* **36**:2065-2080.

VENDRELL-SAZ, M., MOLERA, J., ROQUÉ, J. & PÉREZ-ARANTEQUI, J. (2006): Islamic and Hispano-Moresque (múdejar) lead glazes in Spain: a technical approach. In: MAGGETTI, M. & MESSIGA, B. (Eds.): *Geomaterials in Cultural Heritage*. Geological Society, London, *Special Publication* **257**:163-173.

VITI, C., BORGIA, I., BRUNETTI, B., SGAMELLOTTI, A. & MELLINI, M. (2003): Microtexture and microchemistry of glaze and pigments in Italian Renaissance pottery from Gubbio and Deruta. *Journal of Cultural Heritage* **4**:199-210.

ZUCCHIATTI, A., BOUQUILLON, A., KATONA, I. & D'ALESSANDRO, A. (2006): The 'Della Robbia blue': a case study for the use of cobalt pigments in ceramics during the Italian Renaissance. *Archaeometry* **48**(1):131-152.

PROVENANCE STUDY ON A COLLECTION OF LOOSE GARNETS FROM A GEPIDIC PERIOD GRAVE IN NORTHEAST HUNGARY*

EGY GEPIDA KORI SÍRBÓL SZÁRMAZÓ GRÁNÁTLELET PROVENIENCIA VIZSGÁLATA

ESZTER HORVÁTH¹ – ZSOLT BENDŐ²

¹ Inst. of Archaeological Sciences, Dept. of Archaeometry and Archaeological Methodology, Eötvös Loránd University, H-1088 Budapest, Múzeum krt. 4/b – e-horvath@caesar.elte.hu

² Inst. of Geography and Earth Sciences, Dept. of Petrology and Geochemistry, Eötvös Loránd University H-1117 Budapest, Pázmány Péter s. 1/c – zsolt.bendo@gmail.com

Abstract

Red gemstones identified mostly as garnets generally occurred in the 5th-6th-century Europe as inlay decoration of fine metalwork. Their majority are known in cut and mounted form – loose, unmounted pieces are very rarely found. For that reason, it is of great importance that a few years ago seventeen such loose red gemstones were unearthed at a rescue excavation at Hajdúnánás-Fürj-Halom-dűlő (Hajdú-Bihar County). These gemstones are considered as remains in a robbed grave of a late 5th-century cemetery, i.e. dated to the Gepidic period. The lack of any related goldsmith artefact and the visible different phases of the gem-cutting process allow us to interpret them as independent pieces in a collection. While mounts and cell walls usually make the accurate observation difficult, the loose character of these pieces permitted to perform an extensive investigation in order to identify the mineral species and to determine their possible geological-geographical origin. The results of the gemmological-mineralogical and geochemical analyses revealed that the red gemstones are Fe-rich as well as Fe-Mg-rich garnets, i.e. almandine and intermediate varieties between pyrope and almandine. Concerning the garnet paragenesis, the raw material has experienced medium- to high-grade metamorphism, for the most part at medium pressure and has formed in metapelite source rocks. The comparative analysis of the mineral inclusions and the concentration of the major constituents pointed out that they may have been exploited from alluvial deposits most likely in South India and Sri Lanka.

An increasing number of archaeometrical investigations are being worldwide performed in order to deepen our knowledge about the used raw material sources and trade links in the Early Middle Ages, when garnet inlaid jewellery had an unprecedented spread. Nevertheless, interpretation of the results presented in this paper can be considered as the first provenance study related to early medieval garnets found in the present Hungary.

Kivonat

Európa 5-6. századi leletanyagában a vörös színű berakások az ötvösmunkák egyik legáltalánosabb díszítőelemei. A többségében gránátként meghatározott ékkövek elsősorban csiszolt, befoglalt állapotban fordulnak elő, a különálló, foglalatlan darabok kivételes leletek. Ennek ismeretében különös jelentősége van annak a tizenhét darab foglalatlan vörös ékkőnek, amely néhány évvel ezelőtt került elő Hajdúnánás-Fürj-Halom-dűlőről (Hajdú-Bihar megye), az M3-as autópálya építéséhez kapcsolódó megelőző feltárások alkalmával. Az elemzés tárgyául szolgáló lelet egy 5. század végére keltezett, gepida kori temető rabolt sírjának egyetlen megmaradt melléklete. Hozzá tartozó tárgy hiányában, valamint a megmunkáltság mértékében megmutatózó különbségek alapján a változatos megjelenésű köveket egy kollekció önálló darabjainak lehet tekinteni. Míg a foglalatok és rekeszfalak sok tekintetben megnehezítik a berakások alapos megfigyelését, a tárgyalt kövek foglalatlan jellege lehetővé tette az átfogó archeometriai vizsgálat elvégzését. Az ásványfaj azonosítása mellett a nyersanyag lehetséges geológiai-geográfiai lelőhelyének meghatározását tűztük ki célul. A gemmológiai-ásványtani és geokémiai elemzések eredményeként a vörös ékköveket Fe-ban, illetve Fe-Mg-ban gazdag gránátként, vagyis almandinként, illetve pirop-almandin elegykristályként lehetett meghatározni. Az ásványi nyersanyag képződése közepes, illetve nagyfokú metamorfózis során, többségében közepes nyomáson ment végbe, metapélit forrásközetben. A zárványkép és az összetétel szakirodalmi adatokkal való összehasonlítása alapján kitermelésükre alluviális lelőhelyeken került sor legvalószínűbben Dél-Indiában és Sri Lankán.

A gránátdíszes ékszerek virágkorának tekinthető 5-6. század nyersanyagforrásairól és kereskedelmi kapcsolatairól alkotott tudásunk elmélyítésére az egész világon folynak archeometriai vizsgálatok. Ezek közül a jelen tanulmány elsőként foglalkozik a mai Magyarország területéről származó kora középkori gránátok provenienciájával.



Fig. 1.: Collection of the garnets from Hajdúnánás-Fürj-Halom-dűlő (flat cabochons: upper row, No.1-6; flat plates: lower row, No.7-17). Photo: Eszter Horváth

1. ábra: A Hajdúnánás-Fürj-Halom-dűlőről származó gránátegyüttes (lapos kabosonok: felső sor, No.1-6; sík lapok: alsó sor, No.7-17). Fotó: Horváth Eszter

KEYWORDS: LOOSE GARNETS, GEPIDIC PERIOD GRAVE, MINERAL INCLUSIONS, CHEMICAL COMPOSITION, PROVENANCE STUDY

KULCSSZAVAK: FOGLALATLAN GRÁNÁTOK, GEPIDA KORI SÍR, ZÁRVÁNYKÉP, KÉMIAI ÖSSZETÉTEL, PROVENIENCIA VIZSGÁLAT

Introduction

The seventeen loose, i.e. unmounted pieces of red gemstone discussed in this paper were unearthed at a rescue excavation at Hajdúnánás-Fürj-Halom-dűlő (Hajdú-Bihar County) in a late 5th-century cemetery (Márkus 2005) (**Fig. 1; 2/a; 4/b**). As the previous archaeological research has shown it, in this period the region and primarily the eastern bank of the Tisza River were settled by an East Germanic tribe, the Gepids (Bóna & Nagy 2002). In fact, the ethnical interpretation is beyond the scope of this paper and intended to be discussed in the monograph of the cemetery. The gemstones are considered as the only remains in a robbed grave, they were found around the disturbed part of the pelvic and femurs (**Fig. 2/b-c**).

Similar red gemstones identified predominantly as garnets are known as primary inlay decoration of the fine metalwork in the early medieval Europe, thus among others in the 5th-6th-century Carpathian Basin. They occur mainly in cut and mounted form, set in either single- or multi-cellwork; prevalent type of this latter is called cloisonné (**Fig. 3**). In contrast, the loose form appears much rarely, hence the assemblage discussed in this paper adds to unique materials (**Fig. 4**), especially considering some further features being also of great importance. Namely, it contains both flat cabochons and flat plates representing different phases of the gem-cutting process (**Fig. 5; Table 1**).



Fig. 2.: The German type cemetery with graves laid out in rows at Hajdúnánás and the robbed grave with the collection of garnets. Photo: Márton Makó

2. ábra: Germán típusú soros temető Hajdúnánáson és a gránátegyüttest tartalmazó rabolt sír. Fotó: Makó Márton

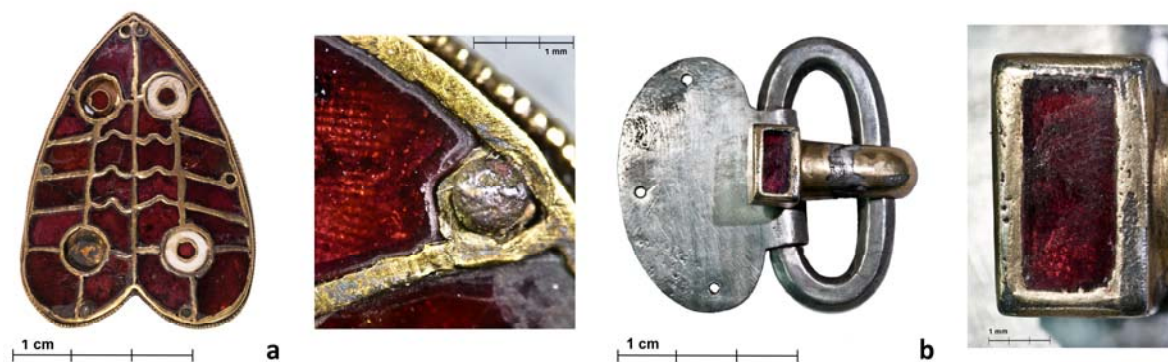


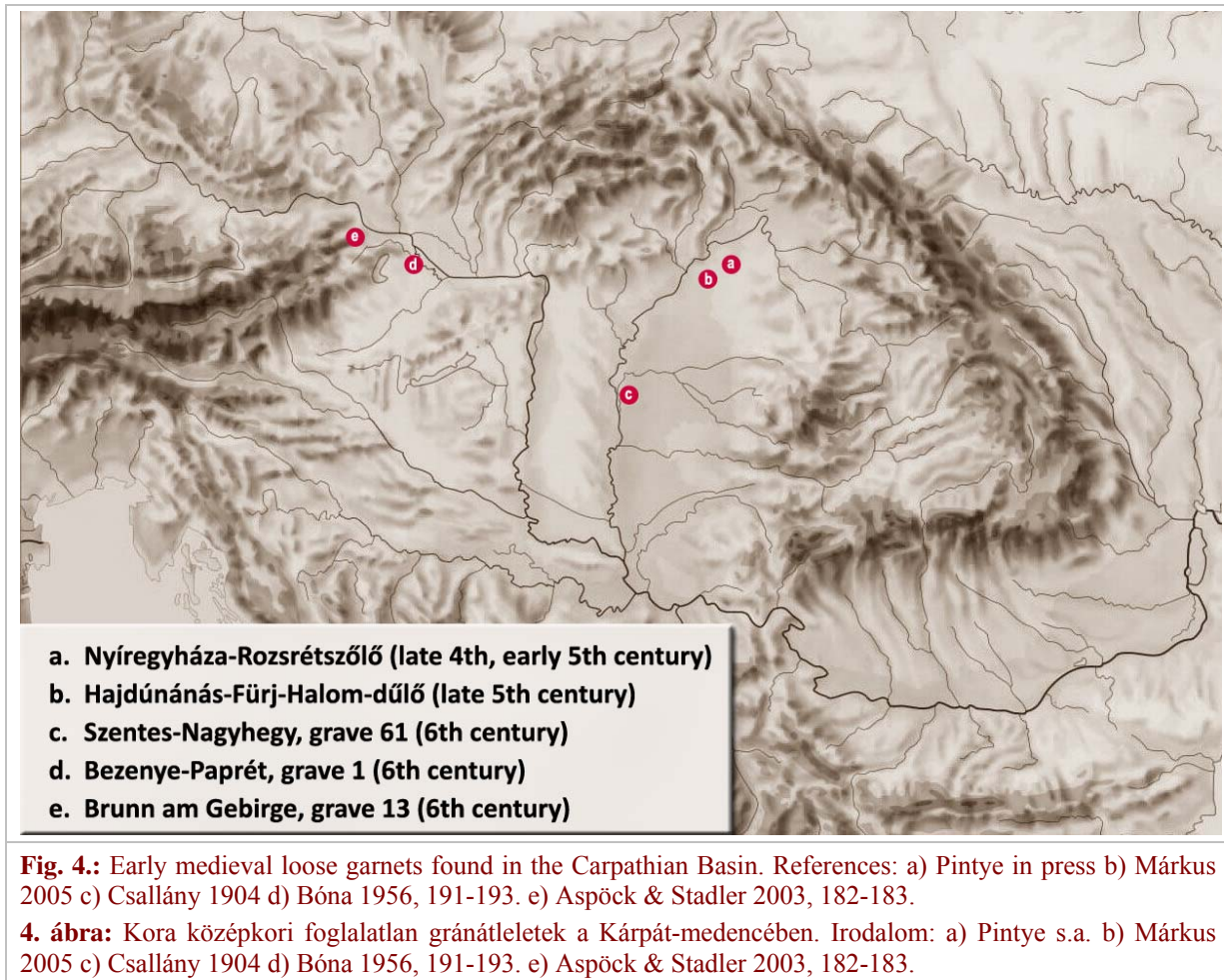
Fig. 3.: Garnet jewellery from Oros (Szabolcs-Szatmár-Bereg County) dated to the end of the 5th century. Examples for multi- and single-cellworks : a) cloisonné b) champlevé. Photo: Eszter Horváth

3. ábra: 5. század végére keltezett gránátékszerek Orosról (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye). Példák a többrekeszes és egyrekeszes elrendezésre: a) cloisonné b) champlevé. Fotó: Horváth Eszter

Table 1.: Optical and physical properties of the gemstones from Hajdúnánás

1. táblázat: A hajdúnánási ékkövek optikai és fizikai tulajdonságai

Sample No.	weight in carat / gram	maximum thickness	maximum length	maximum width	colour tone	reflective index	cutting form	phase of the cutting process
1	2,08 / 0,41	2,7 mm	8,3 mm	7,6 mm	orange-brown	> 1,790	flat cabochon	semi-finished
2	4,08 / 0,81	2,5 mm	14,4 mm	9,3 mm	purple-red	> 1,790	flat cabochon	semi-finished
3	3,76 / 0,75	2 mm	13,5 mm	12,7 mm	purple-red	> 1,790	flat cabochon	semi-finished
4	1,87 / 0,37	2,1 mm	9 mm	9 mm	purple-red	> 1,790	flat cabochon	semi-finished
5	1,93 / 0,38	2,5 mm	10,1 mm	7,4 mm	purple-red	1,763	flat cabochon	semi-finished
6	0,99 / 0,19	1,7 mm	9,3 mm	6 mm	purple-red	1,782	flat cabochon	semi-finished
7	0,46 / 0,09	1,3 mm	5,1 mm	4,4 mm	orange-brown	1,759	flat plate	finished
8	1,60 / 0,32	2,3 mm	6,1 mm	6 mm	purple-red	1,781	flat plate	semi-finished
9	1,16 / 0,22	1,6 mm	9,4 mm	7 mm	purple-red	1,780	flat plate	semi-finished
10	1,29 / 0,25	1,7 mm	9,2 mm	5,1 mm	purple-red	1,786	flat plate	finished
11	0,91 / 0,18	1,7 mm	6,6 mm	6 mm	purple-red	1,782	flat plate	semi-finished
12	3,93 / 0,78	2,3 mm	15 mm	9,5 mm	purple-red	1,782	flat plate	semi-finished
13	0,39 / 0,07	1,5 mm	4,5 mm	4,3 mm	purple-red	1,781	flat plate	semi-finished
14	0,80 / 0,15	1,2 mm	7,7 mm	6 mm	purple-red	1,783	flat plate	finished
15	0,54 / 0,11	1,1 mm	9,9 mm	7 mm	purple-red	> 1,790	flat plate	finished
16	0,36 / 0,06	1 mm	5,8 mm	3,8 mm	purple-red	1,781	flat plate	semi-finished
17	0,51 / 0,10	1 mm	7,1 mm	4,7 mm	purple-red	1,780	flat plate	semi-finished



All of the six flat cabochons and seven of the flat plates look like semi-finished products where final steps of shaping were not carried out. Besides, the other four plates can be regarded as finished products with regular shapes and cut edges. All of these details and as an addition the lack of any related goldsmith artefact in the grave allow us to consider them as independent pieces collected together. Based on their coincident position a not preserved purse or bag made of some organic material may also be supposed even in spite of the total disorder of the bones.

In this study our main research objectives were to identify the garnet species and to determine their possible provenance, i.e. their geological-geographical origin. Aside from this paper only scanty literature exists about the Carpathian-Basin related to the provenance issue of early medieval garnet material (Arrhenius 1985; Horváth 2008; Ionescu & Hoeck 2008; Fritsch et al. 2010). Great

majority of the previous mineralogical studies are typically restricted to the identification of the particular mineral species and their discrimination from glass imitations (Alföldi 1932, 65-70; Fettich 1932, 71-72; Horváth 2006; Ionescu et al. 2010). Either it did not aimed attention at the geographical origin at all or the necessary measuring conditions were not attainable: advances in these analyses were not achieved. Regarding the Hungarian archaeometrical research in particular, garnet provenance studies have been more and more established in the past few years. Due to the latest developments in the archaeometrical research concerning analogous material, significant new results served as a reference base for our comparative analysis (Calligaro et al. 2002; Périn et al. 2007; Calligaro et al 2008; 2010; Gilg et al. 2010). In order to make the Carpathian-Basin not remaining a white spot any more, relevant results started to be published; focussing in this first paper on one of the most remarkable assemblages.



Fig. 5.: a) facet rough edges on two semi-finished pieces (No.2 and No.9) b) wheel-cut edges on a finished piece (No.15). Photo: Eszter Horváth

5. ábra: a) megmunkálatlan, nyers perem két félkész darabon (No.2 és No.9) b) csiszolókerékkel kialakított perem az egyik kész darabon (No.15). Fotó: Horváth Eszter

Methodology

Mounts or cell walls of the inlay decorated jewels usually make the accurate observation difficult (**Fig. 3**). Consequently, the loose character of the gemstones from Hajdúnánás was fundamental to perform an extensive archaeometrical investigation. This survey was achieved in several places with various purposes. In order to determine the possible raw material sources both gemmological-mineralogical and geochemical characteristics were analysed. These examinations were carried out at the Electron Microprobe and Microscope Laboratories of the Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös Loránd University, Budapest. During the in situ analyses only non-destructive and non-invasive methods were applied in accordance with the archaeological requirements (for exact parameters of the different analyses see **Table 2**).

Following a careful cleaning we were focussing on the optical and physical properties of the gemstones. Their colour, transparency and luster were observed in a macroscopic way and their surface damages through a binocular stereomicroscope. Besides, the refractive indices were measured by a gemmological refractometer. The mineral inclusion analysis was performed under normal and polarized light applying a petrographic microscope. Due to the relatively small thickness of the pieces (1-2.7 mm) as well as their polished flat-cut surfaces on the bottom and in most cases also on the top, they could be studied quite simply, similarly to thin sections by transmitted light. Various internal features were observed and identified morphologically and they were documented by excellent quality microphotographs.

Following the gemmological-mineralogical observations our investigation included a microanalytical technique in order to determine the elemental composition of the garnet matrix. The electron microprobe analyses were carried out by a scanning electron microscope equipped with energy dispersive spectrometer.

Table 2.: Exact parameters of the analytical investigations

2. táblázat: A vizsgálatok pontos paramétereit

Binocular Zoom-stereomicroscope
type: Nikon SMZ 800
Polarizing Petrographic Microscope
type: Nikon Labophot2-Pol
objectives: 4x, 10x, 20x, 60x
microscope camera type: Nikon DS-Fi1
camera software: Nikon Elements D 3.2
sample preparation: none

Scanning Electron Microscope
type: AMRAY 1830
detector: energy dispersive (EDS)
spectrometer: EDAX PV 9800
data processing software: Moran Scientific
cathode: wolfram
acceleration voltage: 20kV
beam current: 1 nA
beam diameter: ~ 100 nm
measurement time: 100 s (lifetime)
sample preparation: masking, carbon-coating
vacuum evaporator: JEOL JEE-4B

As it was mentioned above, the discussed gemstones have finished surfaces, and it made any supplemental polishing unnecessary; what is the commonly adopted but destructive preparatory step in case of geological samples. Obviously, it was essential in order to preserve original tool marks left by the early medieval gem-processing. Quantitative analyses required only carbon-coating and for practical reason only a small area was evaporated on all specimens.

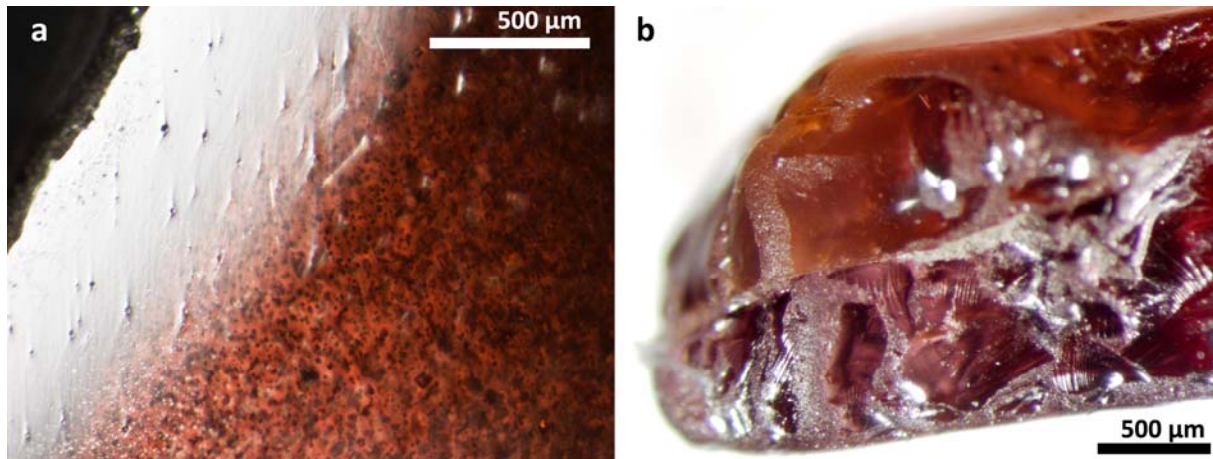


Fig. 6.: a) luster of the highly polished surface (No.7) b) conchoidal fractures on a facet rough edge (No.9). Photo: Eszter Horváth

6. ábra: a) finoman polírozott felület fénye (No.7) b) kagylós törések a természet által kialakított peremen (No.9). Fotó: Horváth Eszter

During the preparation works a metal plate served as a base for mounting and a conductive carbon tape was used for fixing and masking the specimens. The carbon-coating and carbon tape was easily removed from the surfaces immediately after the examinations by ethanol and a gentle manual rubbing. Using the SEM-EDS system, the detection limit was at about 0.1 weight%, hence trace elements represented below this concentration could not be displayed (e.g.: Ti, Cr, Y, etc). The measured elements were the major constituents of the garnet (Mg, Al, Si, Ca, Mn and Fe); their oxide-forms were calculated by a data processing software.

In order to refine our measurements standardisation was necessary to perform. In the light of the calculated cation numbers, the accessible international standards showed to be less appropriate. For that reason, an inner sample was used: in this case a volcanic garnet, found in Middle Miocene dacite in Visegrád Mountains (North from Budapest) served as a standard. Garnets of this dacite are very homogenous and almost inclusion-free, as previous studies have pointed it out (Harangi et al. 2001); our sample has already been several times measured by a wavelength dispersive X-ray spectrometer (EPMA-WDS system). Data evaluation was facilitated applying an Excel spreadsheet made by Locock (2008). This spreadsheet allowed us to calculate the molar proportions of garnet end-members from chemical analyses: 29 end-members (15 species and 14 hypothetical) were evaluated in each particular cases. Furthermore, the amounts of Fe^{2+} and Fe^{3+} were calculated by stoichiometric constraints as these quantities could not have been measured during the EDS analyses. Finally, the quality of our

measurements was controlled employing a simple scoring algorithm (Locock 2008, 1776-1777). The archaeological interpretation of the results was based on a comparative analysis presented below in the discussion.

Results

Results of the gemmological-mineralogical observations

Flat cabochons and thin plates from Hajdúnánás have a lustrous deep red colour with purple or orange-brown tone. Their highly polished surfaces make visible a relatively high reflectivity implying a vitreous or adamantine luster (**Fig. 6/a**).



Fig. 7.: Naturally faceted garnets from alluvial deposit before processing works

7. ábra: Alluviális lelőhelyről származó, megmunkálás előtt álló gránátok természet által kialakított fazettákkal

Table 3.: List of the detected mineral inclusions: (+) morphologically; (#) also by chemical composition**3. táblázat:** Az ásványzárványok listája: (+) morfológiailag meghatározott; (#) kémiai összetétel alapján ellenőrzött

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Long, curved anisotropic needles (sillimanite)		#						#	#	#		#			+		+
Plate-like pleochroic brown crystals (biotite)			+	#				#	+	#					#		
Plate-like anisotropic colourless crystals (muscovite)		+		+		+		+	+	+	+	+			+		
Crystallographically oriented needles (rutile)	+	+	#	+						+	+		+	+	+	+	+
Singular long needles (rutile)					+				#	#		#					
Isometric or plate crystals with tension halos or pleochroic brown radioactive halos (zircon and / or monazite)	#	#	#	+	+	#	#	#	#	+	+	#	#	#	+	+	#
Tiny elongate crystals with hexagonal end-section (apatite)	+	+	+		+		+		+			+		+		+	+
Large irregular opaque plates (ilmenite)			#					+	+	+	+	+	+	+			+
Large isometric or irregular anisotropic crystals (quartz)	#			+			#	+		+	#	+	+		#		
Singular long needles (quartz)				#			+	#		#	#						

The measured refractive indices revealed that the stones have isotropic optical character and all of them are garnets (**Table 1**). The majority of pieces showed values typical for almandine, whereas two pieces (No.5 and No.7) represented intermediate varieties between pyrope and almandine, named also rhodolite in the gemmology, which is however not a recognised mineralogical term. Primarily on the semi-finished pieces but even on the finished ones several tiny damages were observable along the edges such as smooth breaks with concentric rings resulting in shell like, conchoidal fractures (Fig. 6/b). Edges without any marks of cutting may preserve the original size of the raw grains. This observation implies that the garnets had a facet rough character before their processing, which suggests their alluvial origin (**Fig. 7**).

All of the garnets are transparent however, they have a wide range of internal features: several relatively large (1-2 mm) mineral inclusions as well as filled internal fractures were noticeable already in macroscopic view. The microscopic investigations permitted us to identify them morphologically together with a number of other tiny inclusions. As a next step, inclusions detected at the surface could be measured by the SEM-EDS system as well. These observations provided principal information about geological environments and P-T conditions of the garnet paragenesis and about the source rocks. Majority of the inclusions detected in the garnets points to a crustal origin and metamorphic formation. The most apparent mineral inclusions are the oriented

rutile needles, usually forming dense, complex networks of intersecting crystals (**Fig. 8/a-b**). Since they could be formed in various P-T conditions, they can be regarded as accessory minerals rather than indicators for the source rocks. From this point of view curved needles of sillimanite as well as brown pleochroic biotite and colourless muscovite plates can be considered as the most important inclusions. They indicate medium- to high-grade metamorphism at medium pressure (**Fig. 8/c-f**). While sillimanite needles and biotite grains refer to both amphibolite and granulite facies, muscovite inclusions manifest rather amphibolite facies metapelites (metamorphosed clay-rich sedimentary rocks) as source rocks (Spear 1995). Besides, several further mineral inclusions were identified morphologically and by their chemical composition: irregular opaque ilmenite plates, xenomorphic and acicular quartz crystals, elongate apatite crystals with hexagonal end sections, prismatic or nearly isometric zircon crystals surrounded by tension and pleochroic radioactive halos as well as brown monazite crystals also with radioactive halos (**Fig. 9/a-d, f**) (for the detailed list related to the particular specimens, see **Table 3**).

It must be emphasised that from the aspect of the mineral inclusions there are hardly any significant differences between pieces identified as almandine and as pyrope-almandine. The discrimination is based foremost on the measured refractive indices but primarily on the results of the geochemical analysis presented below.

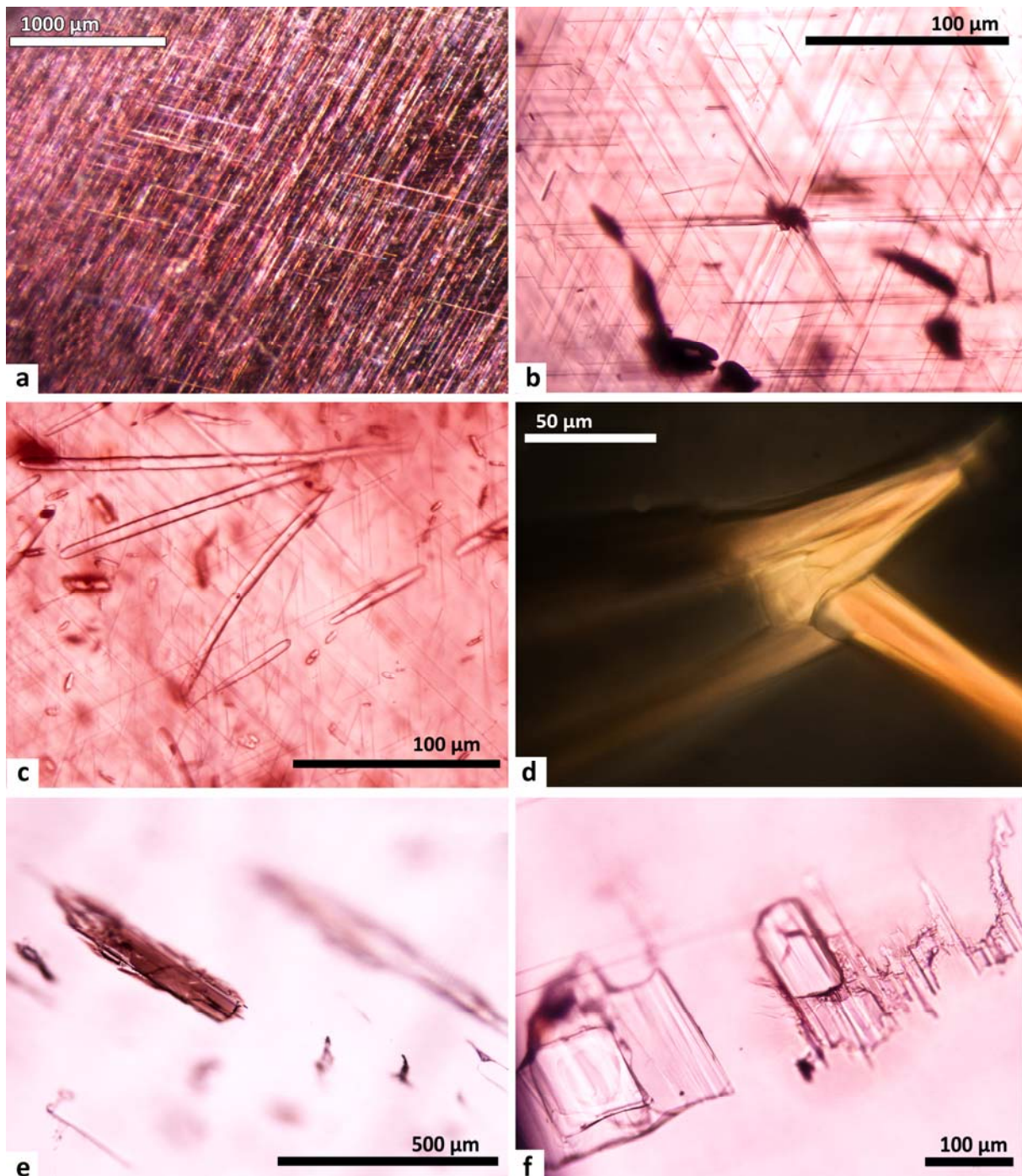


Fig. 8.: Micrographs of the detected mineral inclusions in the garnets from Hajdúnánás a-b) intersecting rutile needles: No.17, 1N and No.3, 1N c-d) sillimanite needles: No.2, 1N and No.9, +N e) biotite plate No.15, 1N f) muscovite plates No.15, 1N. Photo: Eszter Horváth

8. ábra: A hajdúnánási gránátok ásványzárványairól készült mikrofelveleek: a-b) egymást metsző rutil tűk rendszere: No.17, 1N és No.3, 1N c-d) szilimanit tűk: No.2, 1N és No.9, +N e) biotit lemez: No.15, 1N f) muszkovit lemezek: No.15, 1N. Fotó: Horváth Eszter

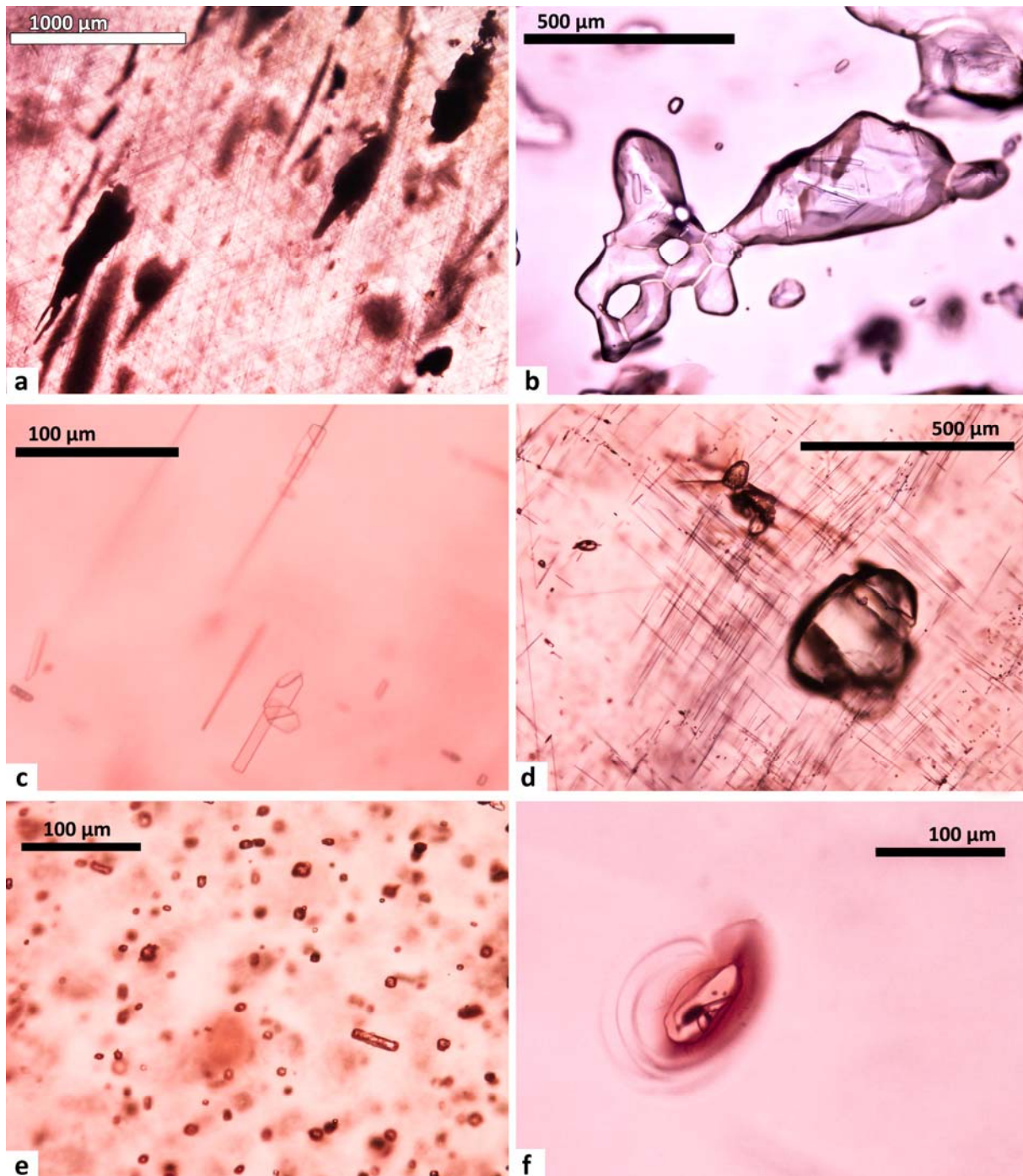


Fig. 9: Micrographs of further mineral inclusions in the garnets from Hajdúnánás a) ilmenite plates: No.3, 1N b) quartz crystal: No.12, 1N c) apatite crystals: No.14, 1N d) zircon crystals: No.14, 1N e) unidentified anisotropic crystals: No.7, 1N f) monazite crystal: No.10, 1N. Photo: Eszter Horváth

9. ábra: A hajdúnánási gránátok további ásványzárványairól készült mikrofelvelelek a) ilmenit lemezek: No.3, 1N b) kvarc kristály: No.12, 1N c) apatit kristály: No.14, 1N d) cirkon kristályok: No.14, 1N e) ismeretlen anizotróp kristályok: No.7, 1N f) monacit kristály: No.10, 1N. Fotó: Horváth Eszter

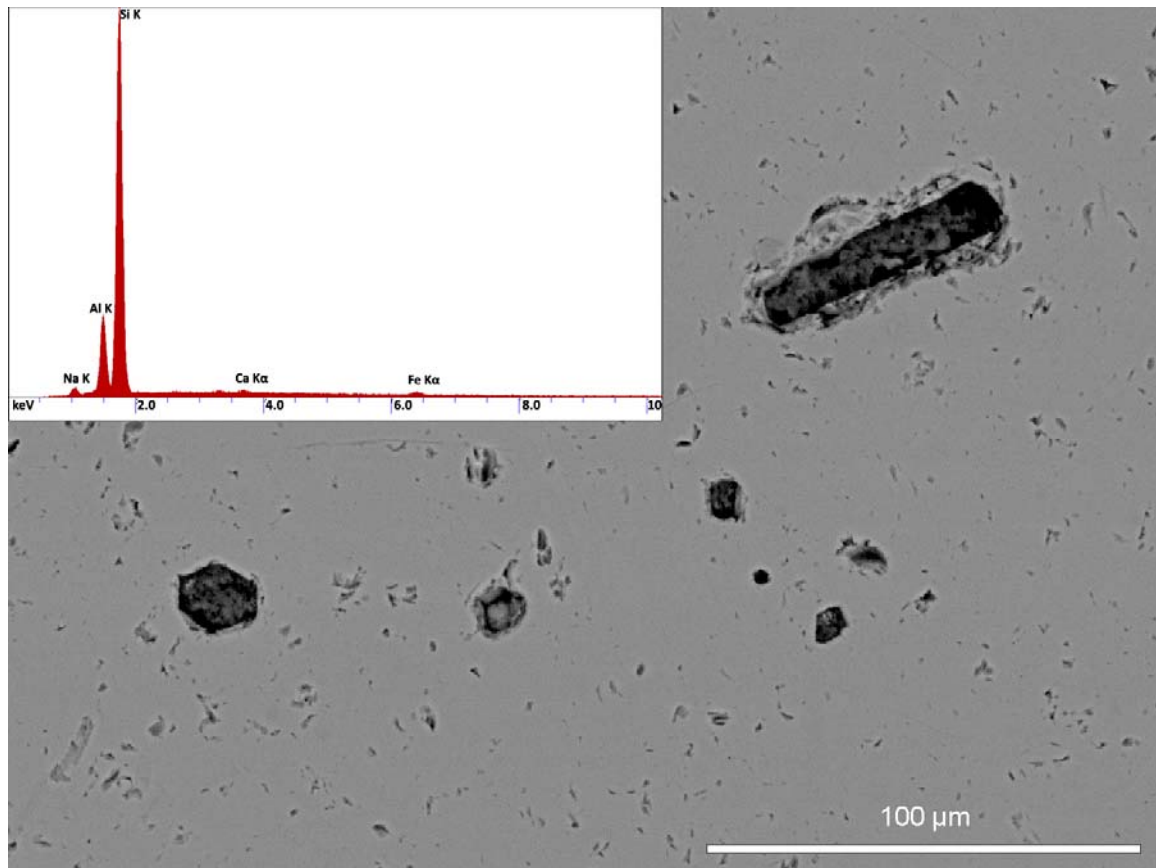


Fig. 10.: BSE image and EDS spectrum of the unidentified anisotropic crystals (Fig. 9/e). Photo: Zsolt Bendő
10. ábra: Az ismeretlen anizotróp kristályok (9/e ábra) BSE felvétele és EDS spektruma. Fotó: Bendő Zsolt

In fact, there is only one specific type of inclusions occurring exclusively in specimens No.7, with a considerable density (Fig. 9/e; 10). These isometric, anisotropic small crystals are preliminary supposed to be jadeite but an attested identification is waiting for a dispersive Raman spectro-photometric analysis.

As the laser light penetrates through the garnet matrix and it can be focussed on even the tiny mineral inclusions, the confocal Raman microscope proves to be the most appropriate for the identification (Calligaro et al. 2002; Smith 2005; Bersani et al. 2009).

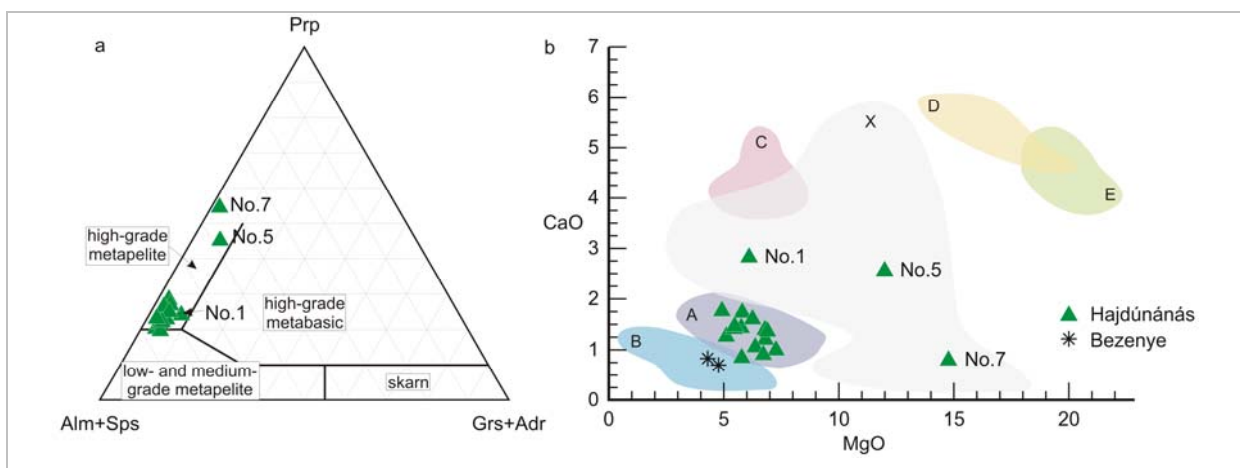


Fig. 11.: a) ternary plot with the end-member composition b) CaO/MgO plot, classification is based on Calligaro et al. (2008) modified by Gilg et al. (2010) c) metamorphic source rock characteristics of garnet as deciphered from its major element chemistry (modified after Morton et al. 2003)

11. ábra: a) a szélsőtág-összetétel háromszög diagramon b) CaO vs. MgO diagram, a rendszerezés alapja: Calligaro et al. (2008), Gilg et. al (2010) által módosítva c) a gránatkristályok főelem összetétele és metamorf forrásköze közötti kapcsolat (Morton et al. 2003 alapján módosítva)

Table 4.: Results of the SEM-EDS analyses: chemical composition (in weight %) and the molar proportions of garnet end-members; LD: limit of detection**4. táblázat:** A SEM-EDS vizsgálatok eredményei: kémiai összetétel (tömeg %) és a gránát szélsőtagok moláris aránya; LD: kimutatási határ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	
SiO ₂	37,95	37,71	37,78	37,68	39,69	37,84	40,46	38,20	38,28	37,76	37,99	38,28	38,10	37,51	37,81	37,56	37,70	
Al ₂ O ₃	20,50	20,96	20,72	20,70	22,23	20,82	22,73	21,33	21,38	20,41	20,84	21,66	21,17	20,33	20,38	20,18	20,78	
FeO (calc)	28,45	31,54	31,58	32,21	22,61	30,68	20,69	31,44	31,54	31,71	30,53	30,32	31,00	33,83	31,45	31,07	31,66	
Fe ₂ O ₃ (calc)	1,97	0,70	1,38	1,38	0,79	1,26	0,24	0,52	0,59	2,20	1,62	0,10	0,78	1,84	2,16	2,32	1,36	
MnO	2,41	2,79	1,48	1,31	0,21	1,99	0,34	0,55	<LD	0,73	1,00	1,39	1,41	<LD	0,56	2,19	2,01	
MgO	6,10	5,11	5,76	5,45	11,99	5,80	14,77	6,81	7,27	6,37	6,79	6,90	6,72	4,92	6,25	5,47	5,78	
CaO	2,82	1,26	1,43	1,41	2,55	1,73	0,79	1,20	0,99	1,05	1,39	1,36	0,90	1,76	1,60	1,46	0,84	
Total	100,20	100,07	100,13	100,14	100,07	100,12	100,02	100,05	100,05	100,23	100,16	100,01	100,08	100,19	100,21	100,25	100,13	
cation numbers																		
Si	2,99	3,00	2,99	2,99	2,99	2,99	3,00	3,00	3,00	2,98	2,99	3,00	3,00	2,99	2,99	2,99	2,99	
Al	1,90	1,96	1,93	1,94	1,97	1,94	1,99	1,97	1,97	1,90	1,93	2,00	1,96	1,91	1,90	1,89	1,94	
Fe ²⁺	1,87	2,10	2,09	2,14	1,42	2,03	1,28	2,06	2,07	2,10	2,01	1,99	2,04	2,26	2,08	2,07	2,10	
Fe ³⁺	0,12	0,04	0,08	0,08	0,05	0,08	0,01	0,03	0,04	0,13	0,10	0,01	0,05	0,11	0,13	0,14	0,08	
Mn	0,16	0,19	0,10	0,09	0,01	0,13	0,02	0,04	0,00	0,05	0,07	0,09	0,09	0,00	0,04	0,15	0,14	
Mg	0,72	0,61	0,68	0,64	1,35	0,68	1,63	0,80	0,85	0,75	0,80	0,81	0,79	0,58	0,74	0,65	0,68	
Ca	0,24	0,11	0,12	0,12	0,21	0,15	0,06	0,10	0,08	0,09	0,12	0,11	0,08	0,15	0,14	0,12	0,07	
sumcat	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
End-members																		
Spessartine	0,05	0,06	0,03	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,01	0,05	0,05	
Pyrope	0,24	0,20	0,23	0,21	0,45	0,23	0,54	0,27	0,28	0,25	0,27	0,27	0,26	0,19	0,25	0,22	0,23	
Almandine	0,62	0,70	0,70	0,71	0,47	0,68	0,43	0,69	0,69	0,68	0,67	0,66	0,68	0,75	0,68	0,67	0,69	
Grossular	0,03	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Andradite	0,05	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,00	0,02	0,05	0,05	0,04	0,02	
Skiagite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	
Majorite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	



Fig. 12.: Garnet slices from Bezenye-Papré and their typical mineral inclusions: apatite and zircon crystals. Photo: Eszter Horváth

12. ábra: Bezenye-Paprétről származó gránátlapok és tipikus ásványzárányaik: apatit és cirkon. Fotó: Horváth Eszter

Results of the geochemical analyses

The chemical analysis was performed in order to deepen our knowledge about the possible geological origin of the garnets. The resulting SEM-EDS spectra display characteristics of the pyrospite garnets, i.e. Fe-rich almandines as well as Fe-Mg-rich pyrope-almandines. Garnet is not a single mineral, but a group of isomorphous minerals with the general chemical formula $X_3Y_2(SiO_4)_3$, in which “X” and “Y” represent sites in the crystal structure occupied by bivalent (X: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}) and trivalent (Y: usually Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}) ions.

The garnet group is divided into two series representing solid solution of end-members with the combination of X^{2+} and Y^{3+} . The pyrospite series contains pyrope ($Mg_3Al_2(SiO_4)_3$), almandine ($Fe_3Al_2(SiO_4)_3$) and spessartine ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$) while the ugrandite series contains uvarovite ($Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$), grossular ($Ca_3Al_2(SiO_4)_3$) and andradite ($Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$) end-members. Although within these two series the variation in composition is fairly complete and continuous, between the pyrospite and ugrandite end-members there appears to be a less continuous variation (Deer et al. 1997, 468-470).

Regarding the composition in general, the specimens from Hajdúnánás have an extremely low MnO concentration (**Table 4**), in a few cases this value was even below the detection limit (max: 2.79%, spessartine proportion: 6.36%). Besides, they have a low CaO concentration as well falling below 3%, their grossular + andradite proportion falls below 8%. There are only two specimens (No.1 and No.5) with a relatively high CaO concentration and one of them has additionally a considerable MgO concentration as well (No.5). On the garnet compositional ternary plot fifteen of seventeen garnets fall approximately into the same group (**Fig. 11/a**). Their pyrope proportion is varied between 19.49 and 28.28% and their almandine proportion between 62.49 and 71.26%. On the other

hand, there are two considerably different garnets left showing a higher pyrope proportion (No.5: 44.89%; No.7: 54.41%). Accordingly, in view of the MgO/CaO plot there are three specimens, i.e. No.1, No.5 and No.7, conspicuously differing from the majority (**Fig. 11/b**).

Concerning the geological environments of the paragenesis and the source rocks, the following conclusions may have been drawn. The measured low Mn content implies at least a medium-grade metamorphism and in the same way, the calculated pyrope proportion points out to at least amphibolite facies source rocks (Miyashiro 1953; Miyashiro & Shido 1973). The generally low Ca content confirms the results of the gemmological-mineralogical observations and refers on metapelites as source rocks (**Fig. 11/a**) (Miyashiro 1953; Deer et al. 1997; Morton et al. 2003). Furthermore, the metamorphic pressure is supposed to be lower than the eclogite facies, since garnets originated in eclogite facies rocks have already a decreased Fe content while their Mg content is even more increased (Deer et al 1997). There are only two exceptions, specimens No.5 and No.7, which due to the higher Mg content may have been formed within high-grade metamorphic conditions at least, most likely in granulite or perhaps already in eclogite facies rocks.

Summarising the results of the extensive inclusion analysis and the compositional analysis, it can be concluded that the raw material of the discussed garnets has experienced medium- to high-grade metamorphism for the most part at medium pressure. Their source rocks were most likely metapelites formed in the sillimanite zone: in the great majority of the specimens at the higher temperature part of the amphibolite or the lower temperature part of the granulite facies (P-T estimates: 550-700 °C and 4-8 kbar) and in case of two specimens (No.5 and No.7) at higher grade of the granulite facies or possibly at lower pressures of the eclogite facies.

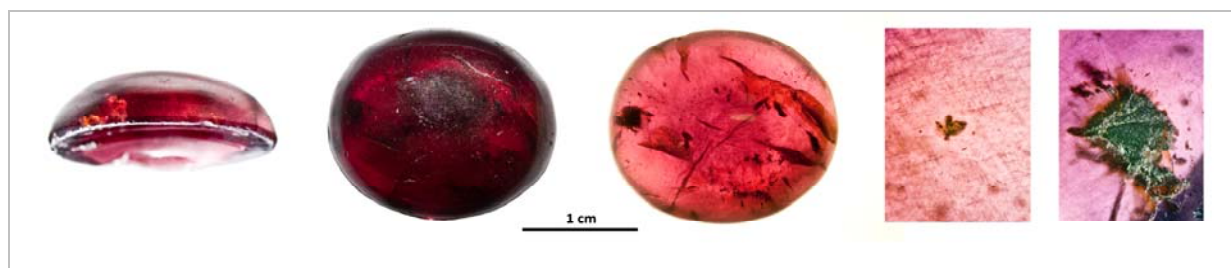


Fig. 13.: Garnet cabochon from Szentes-Nagyhegy and some of their typical mineral inclusions: rutile, monazite and ilmenite. Photo: Eszter Horváth

13. ábra: Szentes-Nagyhegyről származó gránát kaboson és néhány tipikus ásványzárványa: rutil, monacit and ilmenit. Fotó: Horváth Eszter

Discussion about the provenance – the comparative analysis

In order to determine the possible provenance of the garnet raw material a comparative analysis was performed on our results and the relevant literature data. Since amphibolite and granulite facies metapelites are widely distributed all around the world even with similar garnet composition, criteria of fingerprinting were needed to be specified. On the one hand it is evident that in archaeological point of view only the territory of the Old World can be considered. On the other hand, the character of the pieces from Hajdúnánás plays a more important role restricting the candidates to the well accessible and gem quality garnet provenances. The occurrence of the relatively large (a few cm), transparent, not zoned and not cracked garnet crystals with small inclusions is already fairly limited both in number and space. All further criteria are provided by the previous archaeometrical research and in the following we are focussing on observations concerning the early medieval archaeological material.

Garnets in Early Medieval Europe

Provenance study related to the early medieval garnet jewellery has already a long history in Europe. Among the numerous analyses performed so far, results measured in Würzburg, Mainz, Paris and latest in Munich prove to be significant (Greiff 1999; Quast & Schüssler 2000; Calligaro et al. 2008; Gilg et al. 2010). During the last fifteen years several thousand specimens representing not only archaeological assemblages but even geological samples from currently known deposits and mines were investigated resulting in a reference base. Consequently, earlier research is of great value contributing to the determination of garnet material used in the Early Middle Ages. On the basis of the specific mineral inclusions, trace element contents and slight differences in the concentration ratios of the major elements, five different garnet types or clusters were discerned dated to the Merovingian period. Moreover, there is an additional sixth type

considered rather as a large heterogeneous group requiring still further categorisation. Due to the achieved characterisations, only restricted areas from India, Sri Lanka, Bohemia, Portugal and Scandinavia are to be considered as the most possible sources (Calligaro et al. 2008, 120-127, Pl. I.2; Gilg et al. 2010, 91-100, Fig. 7.). As the majority of the examined garnets belong to archaeologically dated artefacts, the temporal distribution of the one-time garnet use was also to be demonstrated. This chronological study led to some promising conclusions and developed the clustering towards a typo-chronological classification. It was concluded that garnet jewels produced in different time were decorated with particular combinations of garnet types (in this case type refers to the geological origin, Quast & Schüssler 2000, 87-90; Calligaro et al. 2008, 128; Gilg et al. 2010, 94-96.).

Regarding the identified inclusions and measured chemical compositions, pieces from Hajdúnánás have close analogies among garnet inlays of the 5th- and early 6th-century jewellery analysed in Western Europe. Although in our SEM-EDS results the Cr and Y contents were below the detection limits, this deficiency was compensated by a comprehensive inclusion analysis. Namely, the advantageous accessibility of these loose pieces made the detection of the inclusions more significant in the provenance study. As a result of our investigation, the discussed garnets are obviously corresponding with one of the clusters as well as the heterogeneous group discerned within the Merovingian period material. This is established on the MgO/CaO plot (see green triangles on **Fig. 11/b**) representing the relationship between the compositions and the possible sources. On the one hand, the majority of the garnets, namely fourteen pieces of almandine fit to Cluster A in Gilg et al. (2010) i.e. Type II in Calligaro et al. (2008). On the other hand, the three pieces left in the collection were similar to the intermediate pyrope-almandine garnets belonging to the heterogeneous Group X of Gilg et al. (2010) called Type III by Calligaro et al. (2008). It is considerable, however, that in view of

the measured refractive indices one of them was obviously identified as almandine (No.1) suggesting that Group X garnets are even more diverse than it was shown before. While Cluster A almandines are corresponded most likely to South Indian provenance, Group X specimens are usually parallel with garnets from Sri Lankan deposits (referred on an unpublished database compiled on the basis of geochemical literature by Susanna Greiff). The geological origin of alluvial garnet deposits from the southern Indian coastal sediments was discussed among others by Sabben et al. (2002). Based on chemical compositional analyses they have clarified that pieces from one single deposit could have been originated from different source rocks: metapelites and a particular type of charnockites were apparently discerned (Sabben et al. 2002, 285). In this way, the possible source rock of the garnets from Hajdúnánás could be even more determined definitely excluding some Sri Lankan and Indian charnockites.

Further garnet material from the Early Medieval Carpathian-Basin

As it was pointed out in the introduction, our analysis presented in this paper has only a few published analogies from the Carpathian Basin. For comparison another group of loose pieces is discussed here, the almandine plates unearthed at Bezenye-Paprét, in a 6th-century Langobardic cemetery (Győr-Moson-Sopron County, see the point on the map **Fig. 4/d**). These seven pieces (one of them is preserved in two fragments) can be considered as ready-to-set inlays (**Fig. 12**). As opposed to those ones from Hajdúnánás, they must have been mounted previously (Horváth 2008, 62-63.). Their mineral inclusions, furthermore their chemical compositions measured in case of two selected pieces are in accordance with the typical 6th-century inlay material, i.e. almandine garnets with poor chromium content, characterised by Calligaro et al. (2008) as Type I and by Gilg et al. (2010) as Cluster B (**Fig. 11/b; 12**). According to these latest archaeometrical results, the raw material of Cluster B garnets from Bezenye may have been exploited in North India most likely in the area of Rajasthan.

Analytical results of the loose garnets from Hajdúnánás and Bezenye imply that garnet material of the 5th-6th-century Carpathian Basin was parallel to those used in the contemporary Merovingian area. This correspondence is unambiguous considering both the garnet types and their temporal distribution indicating the same raw material sources and trade links. However, it is important to emphasise that the majority of the mounted red inlays is still waiting for a detailed characterisation raising several questions. At the moment, it is only supposed that Cluster A garnets

generally used in the 5th century were continuously imported to the Carpathian Basin also in the 6th century, especially when large or cabochon cut inlays were needed. Namely, as the latest survey has pointed out, the original crystals of Cluster B garnets possessed cleavages tend to fracture, wherefore thin slices set in cloisonné work dominated among the 6th century jewels (Gilg et al. 2010, **Fig. 4.a**). A nice cabochon cut piece found in a 6th-century Gepidic grave at Szentes-Nagyhegy (Csongrád County, **Fig. 4/c**) would affirm this assumption because its detectable mineral inclusions are comparable with Cluster A and Group X garnets (**Fig. 13**). On the other hand, it is still unexplained whether the goldsmith's works produced in the Langobardic Pannonia may likewise contain garnets of Cluster A or Group X. In their case chemical analyses will play the decisive role as the cell walls hinder the comprehensive observation of the mineral inclusions.

Conclusions

In the early medieval Europe red garnets were generally used as inlay decoration of fine metalwork. Regarding the identified garnet types from the 5th-6th-century Carpathian Basin and their temporal distribution, raw material sources proved to be the same as in the contemporary Merovingian area. Our study has revealed that the investigated gemstones are almandine and pyrope-almandine garnets. Summarising the results of the gemmological-mineralogical and geochemical analysis it can be stated that the raw material of pieces from Hajdúnánás formed in medium- to high-grade metamorphic source rocks, most probably amphibolite and granulite facies metapelites. Considering the facet grade rough edges on the semi-finished pieces it can be concluded that they may have been exploited from alluvial deposits. On the basis of the comparative analysis particularly South India and Sri Lanka are presumed as their provenance. Further localisation could be confirmed by monazite dating as well as additional Raman analysis of mineral inclusions.

Acknowledgements

The research behind this study is part of a project supported by the European Union and co-financed by the European Social Fund (grant agreement no. TÁMOP [4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003](#)). The authors are grateful to Hans Albert Gilg, Susanne Greiff and Birgit Arrhenius for references, conversations and communications on various aspects of this issue. We have benefited also from discussions with Norbert Gast, Péter Horváth and Zsárd Ditrői-Puskás. Finally, we express our gratitude to Zsófia Rác who excavated the site at Hajdúnánás and to the Déri Museum, Debrecen, for the permission to analyse the garnets.

References

- ALFÖLDI, A. (1932): Leletek a hun korszakból és ethnikai szétválasztásuk.. *ArchHung* **9** Budapest, 90 pp.
- ARRHENIUS, B. (1985): *Merovingian Garnet Jewellery: Emergence and Social Implications*. Almqvist & Wiksell International, Stockholm, 229 pp.
- ASPÖCK, E. & STADLER, P. (2003): Die Langobardzeitlichen Gräber von Brunn am Gebirge, Flur Wolfholz, Niederösterreich. *Archaeologica Austriaca* **87** 169-223.
- BERSANI, D., ANDÒ, S., VIGNOLA, P., MOLTIFIORI, G., MARINO, I.-G., LOTTICI, P. P. & DIELLA, V. (2009): Micro-Raman spectroscopy as a routine tool for garnet analysis. *Spectrochimica Acta Part A* **73** 484-491.
- BÓNA, I. (1956): Die Langobarden in Ungarn. *ActaArchHung* **7** 183-244.
- BÓNA, I. & NAGY, M. (2002): *Gepidische Gräberfelder am Theissgebiet I*. MGAH 1. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 388 pp.
- CALLIGARO, T., COLINART, S., POIROT, J.-P. & SUDRES, C. (2002): Combined external-beam PIXE and μ -Raman characterisation of garnets used in Merovingian jewellery. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **189** 320-327.
- CALLIGARO, T., PÉRIN, P., VALLET, F. & POIROT, J.-P. (2008): Contribution à l'étude des grenats mérovingiens (Basilique de Saint-Denis et autres collections du musée d'Archéologie nationale, diverses collections publiques et objets de fouilles récentes). *Antiquités Nationales* **38** 111-144.
- CALLIGARO, T., PÉRIN, P. & SUDRES, C. (2010): À propos du «trésor de grenats de Carthage», attribué à l'époque vandale. *Antiquités Nationales* **40** 155-165.
- CSALLÁNY, G. (1904): Régi germán sírmező a szentesi határban. *ArchÉrt* **24** 153-170.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1997): *Rock-forming minerals. Orthosilicates*. Reprinted and corrected second edition, The Geologic Society, London, 919 pp.
- FETTICH, N. (1932): A szilágysomlyói második kincs. *ArchHung* **8** Budapest, 72 pp.
- FRITSCH, E., IONESCU, C., SIMON, V., NAGY, SZ., NAGY-PÓRA, K., ROTEA, M. (2010): 5th century garnet jewelry from Romania. *Gem News International. Gems & Gemology* **46/4** 316-318.
- GILG, A., GAST, N. & CALLIGARO, T. (2010): Vom Karfunkelstein. In: WAMSER, L. (ed) *Karfunkelstein und Seide. Neue Schätze aus Bayerns Frühzeit. Ausstellungskataloge der archäologischen Staatssammlung* **37** Verlag Friedrich Pustet, München pp. 87-100.
- GREIFF, S. (1999): Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Frage der Rohsteinquellen für frühmittelalterlichen Almandingranatschmuck rheinfränkischer Provenienz. *Jb RGZM* **45/2** 599-646.
- HARANGI, SZ., DOWNES, H., KÓSA, L., SZABÓ, CS., THIRLWALL, M. F., MASON, P. R. D. & MATTEY, D. (2001): Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of the Northern Pannonian Basin (Eastern-Central Europe): Geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications. *Journal of Petrology* **42** 1813-1843.
- HORVÁTH, E. (2006): A langobard ékkő- és üvegberakás technológiai sajátosságainak vizsgálata a várpalotai és jutasi fibulákon. *Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei* **24** 49-66.
- HORVÁTH, E. (2008): Alte Funde – neue Ergebnisse. Edelsteine und andere Mineralien in Kunstschmiedegenständen der Langobarden. In: MOLNÁR, A, NAGY, A. & TOMKA, P. (eds): *Sie kamen und gingen. Langobarden und Awaren in der Kleinen Tiefebene. Ausstellungsführer. A Győr-Moson-Sopron Megyei Múzeumok kiállításvezetője* **3**, Győr, pp. 55-71.
- HORVÁTH, E. (2010): Provenance and technology study on a collection of loose garnets from a late 5th century Gepidic grave in Northeast Hungary. In: ZAHARIA, L., KIS, A., TOPA, B., PAPP, G. & WEISZBURG, T. (eds): Abstracts Volume of IMA2010, the 20th General Meeting of the International Mineralogical Association 21-27 August, Budapest, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series* **6** 117.
- IONESCU, C. & HOECK, V. (2008): Zusammensetzung und Herkunft der Granate der Ohrringe und einer Gürtelschnalle aus dem Grab der Franziska aus Potaissa (Turda, Rumänien). In: BARBULESCU, M.: *Das germanische Fürstengrab von Turda*. (in Romanian and German) Tribuna, Cluj-Napoca, pp. 295-310.
- IONESCU, C., SIMON, V., NAGY, S., HOECK, V., NAGY-PÓRA, K., ROTEA, M. & FILIPESCU, S. (2010): The Vth century AD jewellery from Cluj-Napoca (Romania): a non-destructive investigation. In: CHATZIPETROS, A., MELFOS, V., MARCHEV, P. & LAKOVA, I. (eds): Abstracts Volume of CGBA2010, the XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association 23-27 September, Thessaloniki, Greece. *Geologica Balcanica* **39/1-2** 165-166.
- LOCOCK, A. J. (2008): An Excel spreadsheet to recast analyses of garnet into end-member

components, and a synopsis of the crystal chemistry of natural silicate garnets. *Computers & Geosciences* **34** 1769-1780.

MÁRKUS, G. (2005): Hajdúnánás-Fürj-Halom-Dülő. In: KISFALUDY, J. (ed.) *Régészeti kutatások Magyarországon 2004 - Archaeological Investigations in Hungary 2004*. Rövid jelentések Nr. **185**. - Short Reports Nr. **185**. Budapest, pp. 228-229.

MIYASHIRO, A. (1953): Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **4** 179-208.

MIYASHIRO, A. & SHIDO, F. (1973): Progressive compositional change of garnet in metapelite. *Lithos* **6/1** 13-20.

MORTON, A., ALLEN, M., SIMMONS, M., SPATHOPOULOS, F., STILL, J., HINDS, D., ISMAIL-ZADEH, A. & KROONENBERG, S. (2003): Provenance patterns in a neotectonic basin: Pliocene and Quaternary sediment supply to the South Caspian. *Basin Research* **15** 321-337.

PÉRIN, P., CALLIGARO, T., VALLET, F., POIROT, J.-P. & BAGAUT, D. (2007): Provenancing Merovingian garnets by PIXE and μ -Raman spectrometry. In: HENNING, J. (ed): *Post-Roman Towns. Trade and Settlement in Europe and Byzantium. Vol. 1. The heirs of the Roman West*.

Walter de Gruyter GmbH & Co., Berlin – New York, pp. 69-75.

PINTYE, G. (in press): Single graves from the Hun Age at the track of Motorway M3. In: Wandering and settled Barbarians in the Carpathian Region and neighbouring areas (1st-5th century). International Colloquium, Nyíregyháza - Satu Mare, October 11-14, 2010. Conference volume, in press.

QUAST, D. & SCHÜSSLER, U. (2000): Mineralogische Untersuchungen zur Herkunft der Granate merovingzeitlicher Cloisonnéarbeiten. *Germania* **78/1** 75-96.

SABEEN, H.M., RAMANUJAM, N. & MORTON, A.C. (2002): The provenance of garnet: constraints provided by studies of coastal sediments from southern India. *Sedimentary Geology* **152** 279-287.

SMITH, D. C. (2005): The RAMANITA method for non-destructive and in situ semi-quantitative chemical analysis of mineral solid-solutions by multidimensional calibration of Raman wavenumber shifts. *Spectrochimica Acta Part A* **61** 2299-2314.

SPEAR, F. S. (1995): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America 2nd Edition, Washington, 799 pp.

* A version of this paper was first presented at IMA2010, the 20th General Meeting of the International Mineralogical Association in Budapest (Horváth 2010). In this study we are focussing on the issue of provenance as results of the technological analysis concerning the reconstruction of the gem-cutting process, the applied equipment as well as the organisational aspects of this activity are intended to appear in a forthcoming paper

BAZALT ANYAGÚ CSISZOLT KŐESZKÖZÖK KÖZETTANI ÉS GEOKÉMIAI VIZSGÁLATA (BALATONÖSZÖD - TEMETŐI DÜLŐ LELŐHELY)

PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF POLISHED STONE TOOLS MADE OF BASALT FROM THE SITE BALATONÖSZÖD - TEMETŐI DÜLŐ (HUNGARY)

PÉTERDI, BÁLINT¹; SZAKMÁNY, GYÖRGY²; JUDIK, KATALIN³; DOBOSI, GÁBOR³;
KOVÁCS, JÓZSEF⁴; KASZTOVSZKY, ZSOLT⁵; SZILÁGYI, VERONIKA⁵

¹Magyar Állami Földtani Intézet, Országos Földtani Múzeum;

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Közettan-Geokémiai Tanszék

³MTA Geokémiai Kutató Intézet

⁴Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

⁵MTA Izotópkutató Intézet

E-mail: peterdi@mafi.hu, peterdib@freemail.hu

Abstract

The present study reports results of petrographical and geochemical analyses on polished stone artefacts (stone axes etc.) and stone tools from the archaeological site Balatonöszöd – Temetői dűlő (Hungary). Balatonöszöd – Temetői dűlő is the largest excavated and longest-lived site of the Baden Culture in Hungary (more than 20.000 m²) (Fig. 1.). In the site objects of the Balaton-Lasinja Culture (Middle Copper Age) and the Boleraz Culture were found too. Altogether 500 finds (made of stone) turned up. The present study reports the results of the investigation of 204 finds, all made of basalt. Most of the finds made of basalt belong to the Baden Culture. Almost all finds made of basalt are stone axes, but most of them are only pre-forms, or fragments, their material is weathered. (Handaxes, grinding stones, objects whose function is not known, boulders of raw material and cores of shaft-hole axes can also be found.)

According to their macroscopic and microscopic features (stage of the weathering, mineral composition, texture) two type of basaltic rocks can be separated among the finds.

On the basis of our analyses [i.e. macroscopical, microscopical and chemical examinations (bulk-rock chemistry (PGAA, ICP-ES, ICP-MS) and mineral chemistry (EPMA) of olivine, clinopyroxene, plagioclase, iron-titan-oxides (titanomagnetite), spinel inclusions in olivine, leucite (in the first type of basalt)], compared with data of analyses found in the literature consulted, with the help of multivariate dataprocessing – the basaltic raw material of the first type of the archaeological finds is originated most probable from the basaltic rocks of Hegyestű. The raw material of the second type of the archaeological finds is mainly similar to the basaltic rocks of Haláp and Uza (Fig. 20.), but can not be identified with them. Further investigations (i.e. more data of mineral chemistry) are needed for safety exclusion of the basaltic rocks of Selmečbánya (Banská Stiavnica, Slovakia) (in the case of the first type of the archaeological finds); and Diszel (Hajagoshegy) and Sarata (Muntii Persanii, Romania) (in the case of the second type of the archaeological finds). However, we can exclude Selmečbánya (Banská Stiavnica, Slovakia) and Sarata (Muntii Persanii, Romania) because of their significant distance from the archaeological site.

Kivonat

Cikkünkben a Balatonöszöd - Temetői dűlő lelőhelyről napvilágra került csiszolt kőeszközök (elsősorban kőbalták és töredékek) és szerszámkövek közettani és geokémiai vizsgálatával foglalkozunk. Balatonöszöd-Temetői dűlő lelőhely a badeni kultúra Magyarországon eddig feltárt legnagyobb és leghosszabb életű települése (területe meghaladta a 20 hektárt). A lelőhelyen a Balaton-Lasinja kultúrának és a Boleráz kultúrának is kerültek elő önálló objektumai. Az ásatás során 500 kőzet-anyagú lelet került napvilágra. Jelen cikk a bazalt-nyersanyagú kőeszközök (204 db, azaz 41 %) vizsgálatának eredményeit mutatja be. A bazalt-nyersanyagú kőeszközök régészeti kora túlnyomó részben badeni. Bazaltból főleg kőbalták készültek, de nagy részük félkész vagy töredékes, anyaguk mállott. (A balták mellett marokkövek, őrlőkövek, ismeretlen rendeltetésű tárgyak, nyersanyagtömbök és nyéllyukas balták fűrómagjai kerültek elő.)

Makroszkópos, és főként polarizációs mikroszkópban való megjelenésük (mállottság, ásványos összetétel, szövet) alapján a régészeti leletek között két bazalt-változatot különítettünk el.

Mikroszkópos tulajdonságaik (ásványos összetétel, szövet), teljes-kőzet kémiai összetételük valamint ásványaik (olivin, klinopiroxén, plagioklász, vas-titán-oxidok (titanomagnetit), spinell-zárányok olivinben, leucit (az első bazalt-változatban)) kémiai összetétele alapján, felhasználva a Pannon-medence bazaltos kőzeteiről a közelmúltban megjelent teljes-kőzet kémiai és ásványkémiai adatokat tartalmazó irodalmakat, megállapítottuk, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján az első bazalt-változat legvalószínűbb nyersanyagforrása a Hegyesűi bazaltja, míg a második bazalt-változat nyersanyaga a vizsgált geológiai lelőhelyek közül legjobban Haláp és Uzsa kőzeteire hasonlít, de azokkal egyértelműen nem azonosítható (20. ábra). Elégséges ásványkémiai mérési adat hiányában a szóbjárehető nyersanyagforrások közül nem zárható ki Selmebánya (az első bazalt-változat esetében), valamint, Diszel (Hajagoshegy), illetve Sarata (Persányi-hegység) (a második bazalt-változat esetében) (20. ábra). Mindazonáltal a régészeti lelőhelytől való jelentős távolsága miatt Selmebányát és Sarata-t is kizárhatjuk a lehetséges nyersanyagforrások közül.

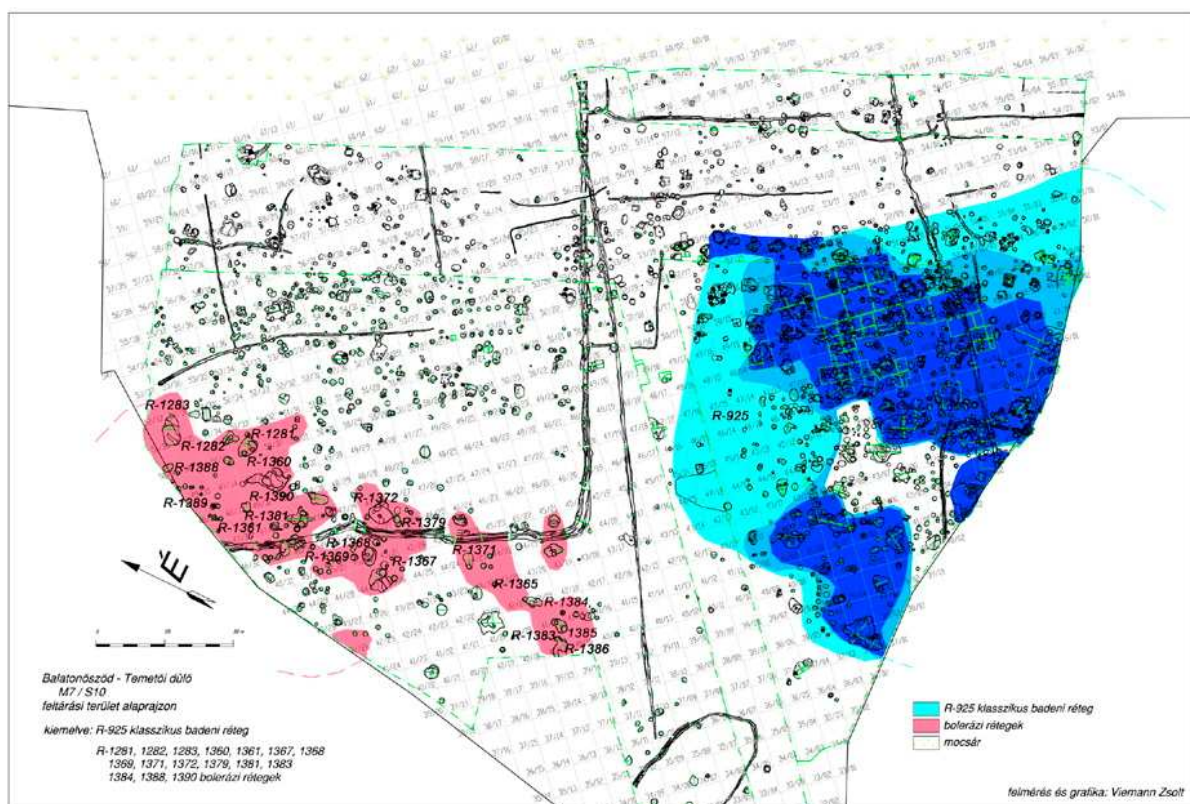
KEYWORDS: POLISHED STONE TOOLS, COPPER AGE, BADEN CULTURE, BASALT, PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY, BALATONÖSZÖD

KULCSSZAVAK: CSISZOLT KŐESZKÖZ, RÉZKOR, BÁDENI KULTÚRA, BAZALT, PETROGRÁFIA, GEOKÉMIA, BALATONÖSZÖD

Bevezetés, régészeti háttér, a kutatás célja

Balatonöszöd-Temetői dűlő lelőhely a badeni kultúra Magyarországon eddig feltárt legnagyobb és leghosszabb életű települése. A feltárt településrész egy, a Balatonba futó egykori folyóvölgy nyugati partján terült el, észak-déli irányban, a folyó vonalát követve. Északon a Boleráz kultúra településének magja, délebbre a Baden kultúra településének magja található (1. ábra) (Horváth et al. 2006, Horváth 2010).

Az egykori folyóvölgy keleti partján, a feltárt résszel szemközt egy hasonló nagyságú, ugyancsak a folyó vonalát követő lelőhelyet regisztráltak. A két lelőhely valószínűleg egy települést alkotott. Együttes területük meghaladta a 20 hektárt. A lelőhelyen a középső rézkori Balaton-Lasinja kultúrának és a Boleráz kultúrának is kerültek elő önálló objektumai.



1. ábra: A régészeti lelőhely (Balatonöszöd – Temetői dűlő), a badeni és boleraz rétegekkel. (Horváth 2010)

Fig. 1.: Map of the archaeological site (Balatonöszöd – Temetői dűlő), with the Badenian and Boleraz layers.

1. táblázat: Mintadarabok és elvégzett vizsgálatok**Table 1. Samples and analyses**

Objektum	Lelet	Kőzet	Vékony- csiszolat	PGAA	ICP-ES, ICP-MS	SEM
B 1857	Kőbalta	Bazalt (1. változat)	+	+	+	+
B 1392						
(egy darabja)	Kőbalta	Bazalt (2. változat: a minta) (mállott)	+		+	+
B 2677	Kőbalta	Bazalt (2. változat: b minta)	+	+	+	+
B 1228						
(44/9 szelvény)	Kőbalta	Bazalt		+		
B 1187						
(48/10 szelvény)	Marokkó	Bazalt		+		

A Balaton-Lasinja kultúra és a Baden kultúra anyaga több helyen keverve került elő, anélkül, hogy a metszetben későbbi beásás vagy bolygatás nyoma lett volna megfigyelhető. (Horváth et al. 2006)

A továbbiakban a különböző kultúrák csiszolt kőeszközeit együtt, összevonva tárgyaljuk, mivel bármelyik itt tárgyalt korszak csiszolással megmunkált leleteiről olyan keveset tudunk, hogy az eszközök szétválasztását tipológiailag vagy nyersanyag alapján nem tudjuk megkísérlni, a lelőhelyen pedig a legtöbb korszak a késő rézkorral szuperpozícióban jelentkezett, így a néhány, középső rézkorba vagy korai bronzkorba is sorolható lelet kora és kulturális besorolása kérdéses.

500 db, az ásatás során előkerült kőzet anyagú leletet vizsgáltunk meg. Ezek régészeti tipizálását Horváth Tünde végezte el. A kőeszközök között egész és töredékes őrlőkövek (főleg alsó- és kevesebb felső őrlőkő, egyes darabokon festéknyomokkal), csiszolókövek, kőbalták, félkész kőbalták, nyersanyagtömbök találhatóak. A kőeszköz leletanyag 41%-át (204 db) bazalt nyersanyagból készítették. Ezek régészeti kora túlnyomó részben badeni. Bazaltból főleg kőbalták (átfúratlan, trapéz alakú kőbalták, és átfúrt, éles vésőélű gyalubalták és nehéz testű döntőfejszék) készültek (151 db), többségük félkész vagy töredékes, anyaguk mállott. A balták mellett számszámkövek (marokkók, őrlőkövek) (25 db), ismeretlen rendeltetésű tárgyak, nyersanyagtömbök (22 db) és a nyéllyukas balták furatai kerültek elő (6 db).

Munkánk célja a Balatonöszöd – Temetői dűlő lelőhelyről (1. ábra) előkerült bazalt anyagú

kőeszközök részletes közettani és geokémiai vizsgálata; a nyersanyagok származási helyére vonatkozó következtetések levonása.

A lehetséges nyersanyagforrások nagy száma és hasonlósága miatt elsősorban a kőzet- és ásványkémiai vizsgálatok eredményeire hagyatkozva próbáltuk leszűkíteni a szóbjárehető geológiai lelőhelyek számát. További célunk volt egy, a teljes-kőzet-összetételi, ásványkémiai, ásványos összetételbeli és szöveti információkra alapuló adatbázis felállítása, amelynek segítségével a jövőben más régészeti lelőhelyek hasonló nyersanyagú kőeszközei nyersanyagának származási helyéről is információt tudunk szolgáltatni. Mindazonáltal – különösen az adatbázis jövőbeli felhasználhatósága miatt - elengedhetetlennek tartjuk a vizsgált kőzetek rövid petrográfiai jellemzésének közlését is, annál is inkább, mivel egyes lelőhelyek nyersanyagforrásként való megjelölése, illetve elvetése nem is lenne lehetséges kizárólag teljes-kőzet kémiai összetételük alapján.

Vizsgálati módszerek

A leleteket makroszkópos (azaz szabad szemmel és kézi nagyítóval végzett) megfigyelések révén nyersanyaguk alapján csoportokba soroltuk. A csoportok egy, vagy néhány jellemző (és régészeti szempontból kevésbé értékes, töredékes) példányából vékonycsiszolatot készítettünk a részletes, petrográfiai (polarizációs) mikroszkópos vizsgálatokhoz. A mikroszkópos vizsgálatok eredményét (ásványos összetétel, kőzetszövet) geokémiai vizsgálatokkal (teljes kémiai és elektronmikroszondás ásványkémiai vizsgálatokkal) egészítettük ki.



2. ábra: Részletes vizsgálatokra kiválasztott régészeti leletek.

Fig. 2.: Archaeological finds, chosen for detailed examinations

A teljes kémiai elemzések ICP-ES, illetve ICP-MS segítségével készültek a vancouveri ACME Analytical Laboratories Ltd. Laboratóriumában, valamint roncsolásmentes PGAA módszerrel Budapesten, a KFKI Izotópkutató Intézetében (a mérés a 10 MW-os Budapest Kutató Reaktornál készült, ahol a 24 mm² felületre kollimált, $1 \cdot 10^8$ termális ekvivalens neutronfluxusú neutronnyalábbal 3416 s-ig történt a besugárzás. A detektálást Canberra HPGe-BGO-detektorrendszerrel, a spektrum értékelését Hypermet PC szoftverrel végezték). Az elektron-mikroszondás (EPMA) vizsgálatok az MTA Geokémiai Kutató Intézetében, Budapesten készültek (Oxford Instruments INCA Energy 200 típusú energiadiszperzív elemző rendszerrel felszerelt JEOL Superprobe 733 típusú elektronmikroszondával, 15 kV gyorsítófeszültség és 4 nA mintaáram értékek mellett).

A kapott adatokat a szakirodalomban közölt elemzések adataival vetettük össze. A nagyszámú elemzési adat feldolgozásához és szemléletes megjelenítéséhez diagramokat készítettünk és többváltozós adatelemző módszereket alkalmaztunk

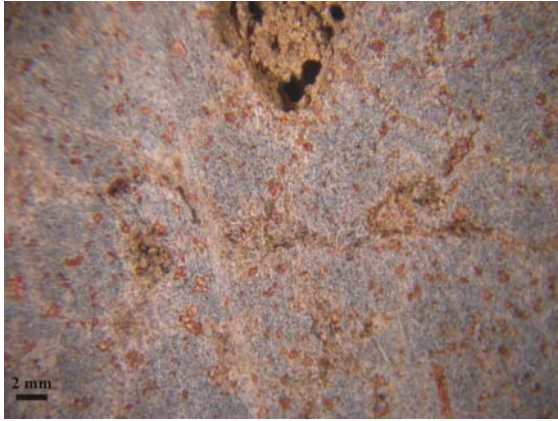
(hierarchikus klaszteranalízis, diszkriminancia-analízis (SPSS)).

A vizsgált mintákról és az elvégzett vizsgálatokról az **1. táblázat** tájékoztat.

A petrográfiai és az elektron-mikroszondás vizsgálatok eredményei

A régészeti leletek nyersanyaga szürke, finomszemcsés bazalt, majdnem minden lelet mállott, vagy erősen mállott. Az eltemetődés során elsősorban világosbarna, illetve világosszürke, fehér, karbonátos bevonat képződött a leletek felületén (**2. ábra**). A részletes petrográfiai mikroszkópos és elektron-mikroszondás vizsgálatokhoz természetesen a lehető legüdőbb minták közül válogattunk.

Bár első ránézésre a leletek anyaga nagyon hasonló, mégis a szabad szemmel és kézi nagyítóval látható fenokristályok színe és a mállás egyéb jellegzetességei alapján két csoportba soroltuk a leleteket.



3. ábra: Régészeti lelet frissen vágott felülete (2. bazalt-változat, 2a minta (B 1392)).

Fig. 3.: Cut surface of an archaeological find (basalt 2nd-type, sample 2a (B 1392)).

Az első változat felülete – a karbonátos bevonat által el nem fedett részeken – közel azonosan egyszínű szürke, az egyenletes eloszlásban megjelenő fenokristályok (olivin) mérete általában 0,5-2 mm között van, színük barna (sárgás- és zöldesbarna). Sok kipattogzott fenokristály helyét csak apró üregek jelzik. A vékonycsiszolat-készítéshez kialakított, frissen vágott felületen a fenokristályok színe zöld (nagyon ritkán halvány vörösbarna elszíneződéssel).

A második változat karbonátos bevonattal nem érintett felületén ezzel szemben átlagosan 3-8 mm átmérőjű egészen világos szürke foltokat találunk. A világosszürke foltok elszórtan, egyenletes eloszlásban borítják a leletek felületét, a bennük található fenokristályok teljesen megegyeznek a sötétebb szürke felületű részeken láthatóakkal. Az egyenletes eloszlásban megjelenő fenokristályok (olivin) mérete általában 0,5-2 mm között van, színük általában egészen sötét vörösbarna (szinte fekete), de előfordulnak zöldes színűek is. Az igen erőteljesen mállott leleteken 1-3 mm-es

halványvörös, izometrikus foltok is megjelennek, melyeknek 0,2-0,3 mm széles, sötét vörösbarna szegélye van (megjelenésük alapján iddingzitesedett olivin fenokristályok). Frissen vágott felületen a kőzet sötétszürke (nem láthatóak a felületen megjelenő világosszürke foltok), a fenokristályok színe vörösbarna (elvéve egy-egy zöldes színű szemcse is előfordul). Sok kipattogzott (vagy kimállott) fenokristály helyét csak apró üregek jelzik. Az erőteljesen mállott leletek frissen vágott felületén jól láthatóak a vörösbarna, iddingzitesedett olivin fenokristályok, valamint erek mentén megjelenő, vörösbarna mállási elszíneződés (**3. ábra**).

A fenti két, makroszkóposan elkülönített változat anyagában a mikroszkópos és elektronmikroszkopos vizsgálatok jelentős különbségeket mutattak ki.

Mikroszkópos jellemzők:

1. változat:

Porfíros, intergranuláris szövétű bazalt.

Fenokristályok:

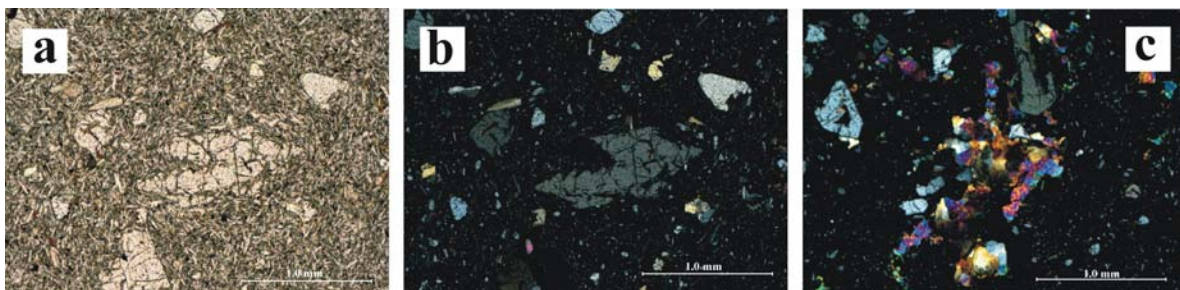
- Idiomorf-hipidiomorf, táblás, néhány száz µm-es, mm-es nagyságú olivin-kristályok. (**4. ábra/a-b**) Általában üdék, de egy részük karbonátosodott.

- Hipidiomorf, táblás, néhány száz µm-es (azaz az olivin-fenokristályoknál kisebb), üde klinopiroxén-kristályok. (**4. ábra/a-b**)

Előfordulnak színes elegyrész (olivin?, klinopiroxén?) utáni karbonátos pszeudomorfózák is (**4. ábra/c**).

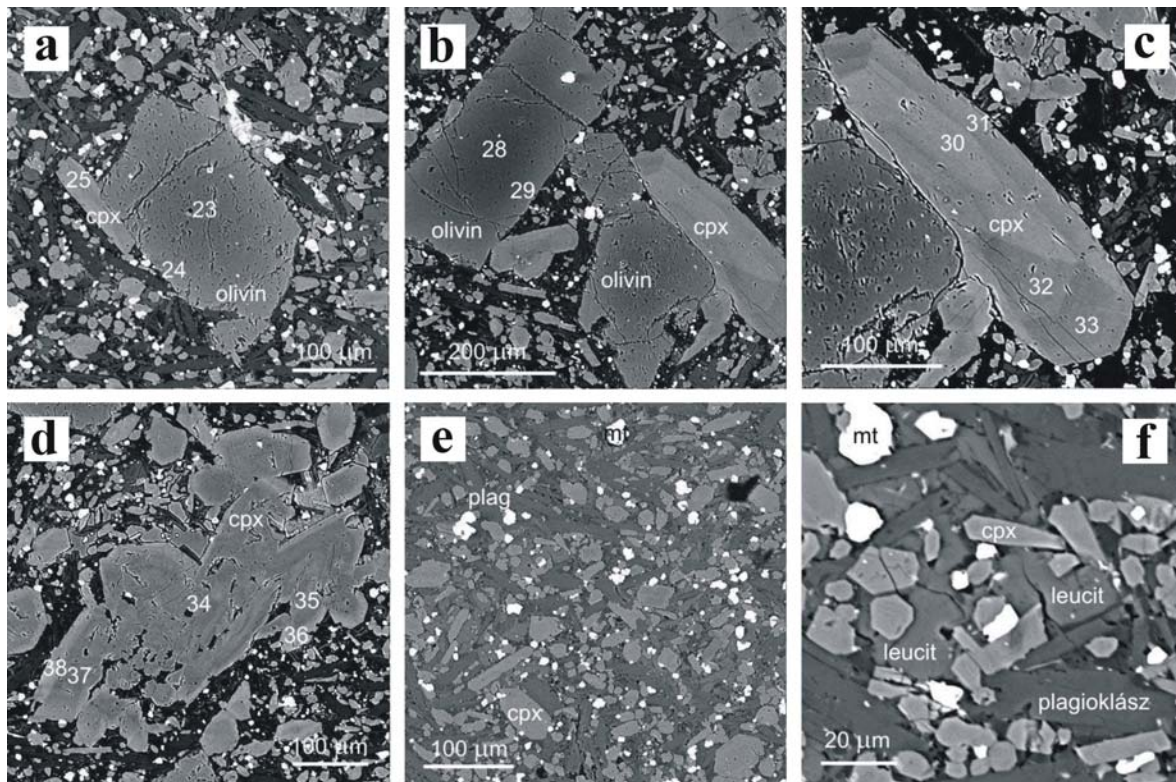
Mikrofenokristályok (100 µm-nél kisebb méretűek):

- idiomorf-hipidiomorf olivin, táblás vagy nyúlt, oszlopos klinopiroxén és zömök, izometrikus titanomagnetit.



4. ábra: a) Petrográfiai-mikroszópós fotó (1N): szöveti kép olivin- és klinopiroxén-fenokristályokkal; b) Petrográfiai-mikroszópós fotó (2N): szöveti kép olivin- és klinopiroxén-fenokristályokkal; c) Petrográfiai-mikroszópós fotó (2N): karbonátos pszeudomorfózák. (Régészeti leletek, 1. bazalt-változat. (B 1857))

Fig. 4.: a) Photomicrograph (1N): rock texture with olivine- and clinopyroxene-phenocrysts; b) Photomicrograph (2N): rock texture with olivine- and clinopyroxene-phenocrysts; c) Photomicrograph (2N): carbonatic pseudomorphs. (Archaeological finds, basalt 1st-type. (B1857))



5. ábra: a) SEM-fotó: zónás olivin-fenokristály klinopiroxén mikrofenokristállal a szélén; b) SEM-fotó: olivin- és klinopiroxén-fenokristályok; c) SEM-fotó: zónás klinopiroxén-fenokristály; d) SEM-fotó: monomineralikus klinopiroxén-fenokristály halmaz; e) SEM-fotó: plagioklász, klinopiroxén, magnetit az alapanyagban; f) SEM-fotó: leucit, klinopiroxén, plagioklász, magnetit az alapanyagban. (Régészeti leletek, 1. bazalt-változat. (B 1857))

Fig. 5.: a) SEM-photomicrograph: zoned olivine-phenocryst with clinopyroxene microphenocryst; b) SEM-photomicrograph: olivine- and clinopyroxene-phenocrysts; c) SEM-photomicrograph: zoned clinopyroxene-phenocryst; d) SEM-photomicrograph: monomineralic group of clinopyroxene-phenocrysts; e) SEM-photomicrograph: plagioclase, clinopyroxene, magnetite in the groundmass; f) SEM-photomicrograph: leucite, clinopyroxene, plagioclase, magnetite in the groundmass. (Archaeological finds, basalt 1st-type. (B1857))

Az elektron-mikroszondás vizsgálatok kimutatták, hogy az olivin-fenokristályok zónásak (a zónáság folyamatos) (**5. ábra/a**). A vastartalom a magtól kifelé haladva növekszik (a fayalit-tartalom 13-17%-ról 21-22%-ra növekszik).

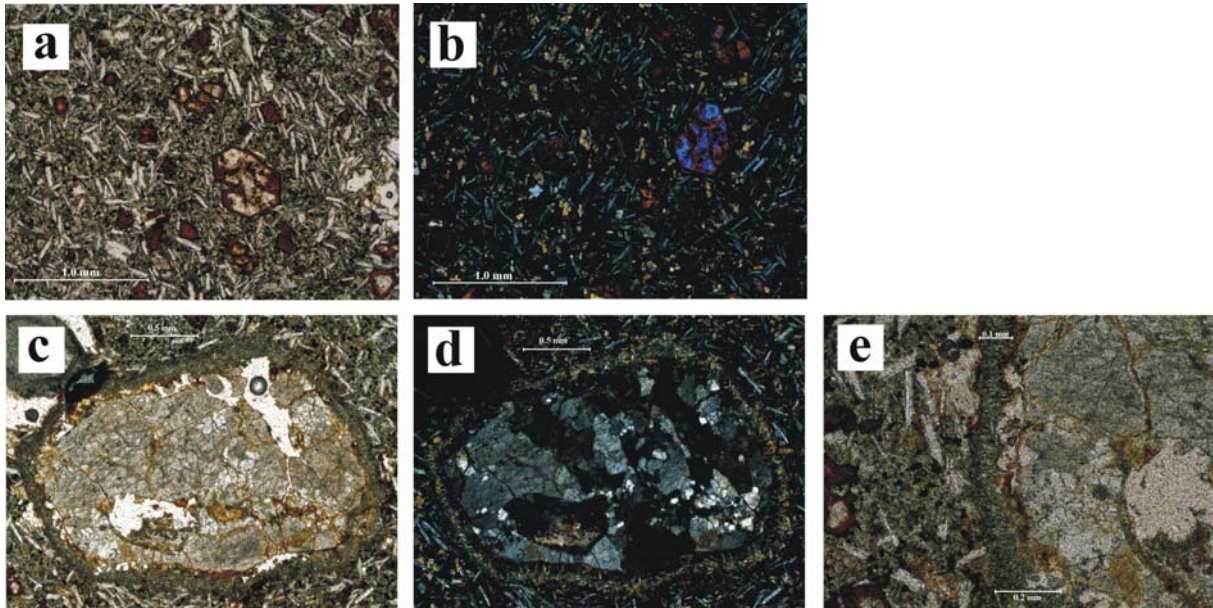
A klinopiroxén-fenokristályok és mikrofenokristályok olivinnel összenöve (), vagy monomineralikus halmazokat alkotva jelennek meg (**5. ábra/d**). Komplex szektor és koncentrikus zónáságot mutatnak (**5. ábra/c**), összetételük tág határok között változik: az Mg-érték 0.78 – 0.83, az Al₂O₃-tartalom 0.6 és 12.6 t% között, míg a TiO₂-tartalom 0.5 és 5.3 t% között mozog.

A mikrofenokristály generációban kimutatható titanomagnetit jellemzője a viszonylag nagy, 2 t% fölötti Cr₂O₃-tartalom.

Az alapanyagot klinoproxén, plagioklász, opakásvány (titanomagnetit), leucit és kőzetüveg alkotja (**5. ábra/e-f**), olivin vagy olivinre utaló

bomlástermék nem található benne. A leucit nagyon kis mérete (20 μm) miatt csak elektron-mikroszondával volt azonosítható, xenomorf kristályai (a kőzetüveghez hasonlóan) az alapanyagban található plagioklász és klinopiroxén-kristályok között fennmaradt helyeket töltik ki. Az alapanyagban a sötét barna színű kőzetüveg mennyisége kevesebb, mint 10%, eloszlása egyenletes. Az alapanyag klinopiroxén kristályainak összetétele ugyanolyan tág határok között változik, mint a fenokristályoké. A plagioklász lécek labradoritos összetételűek (56-66% anortit-tartalommal). A titanomagnetit-szemcsék alig tartalmaznak krómot, alumínium- és magnézium-tartalmuk is kisebb, mint a mikrofenokristályok között található szemcséké.

Másodlagos karbonát-foltok, erek is találhatóak a kőzetben. A karbonátok zónásak, az összetétel a viszonylag tiszta kalcitól néhány százalékos vastartalomig változik.



6. ábra: a) Petrográfiai-mikroszópós fotó (1N): szöveti kép iddingzitesedett olivin-fenokristályokkal.

b) Petrográfiai-mikroszópós fotó (2N): szöveti kép iddingzitesedett olivin-fenokristályokkal; c) Petrográfiai-mikroszópós fotó (1N): kvarcit-xenokristály reakció-koronával; d) Petrográfiai-mikroszópós fotó (2N): kvarcit-xenokristály reakció-koronával; e) Petrográfiai-mikroszópós fotó (1N): a kvarcit-xenokristály reakció-koronája (klinopiroxén, káli földpát és kőzetüveg). (Régészeti leletek, 2. bazalt-változat, 2a minta (B 1392))

Fig. 6.: a) Photomicrograph (1N): rock texture with olivine-phenocrysts (altered to iddingsite); b) Photomicrograph (2N): rock texture with olivine-phenocrysts (altered to iddingsite); c) Photomicrograph (1N): quartzite-xenocryst with a reaction corona; d) Photomicrograph (2N): quartzite-xenocryst with a reaction corona; e) Photomicrograph (1N): reaction corona (clinopyroxene, alkali feldspar and rock glass) of the quartzite-xenocryst. (Archaeological finds, basalt 2nd-type, sample 2a (B 1392))

2. változat:

Porfíros, intergranuláris szövettű bazalt. Az első változatnál durvább szemcsés és erősebben átalakult.

Fenokristályok:

- Kizárólag idiomorf-hipidiomorf, táblás, néhány száz μm -es - néhány mm-es nagyságú, erősen iddingzitesedett olivin (**6. ábra/a-b**).

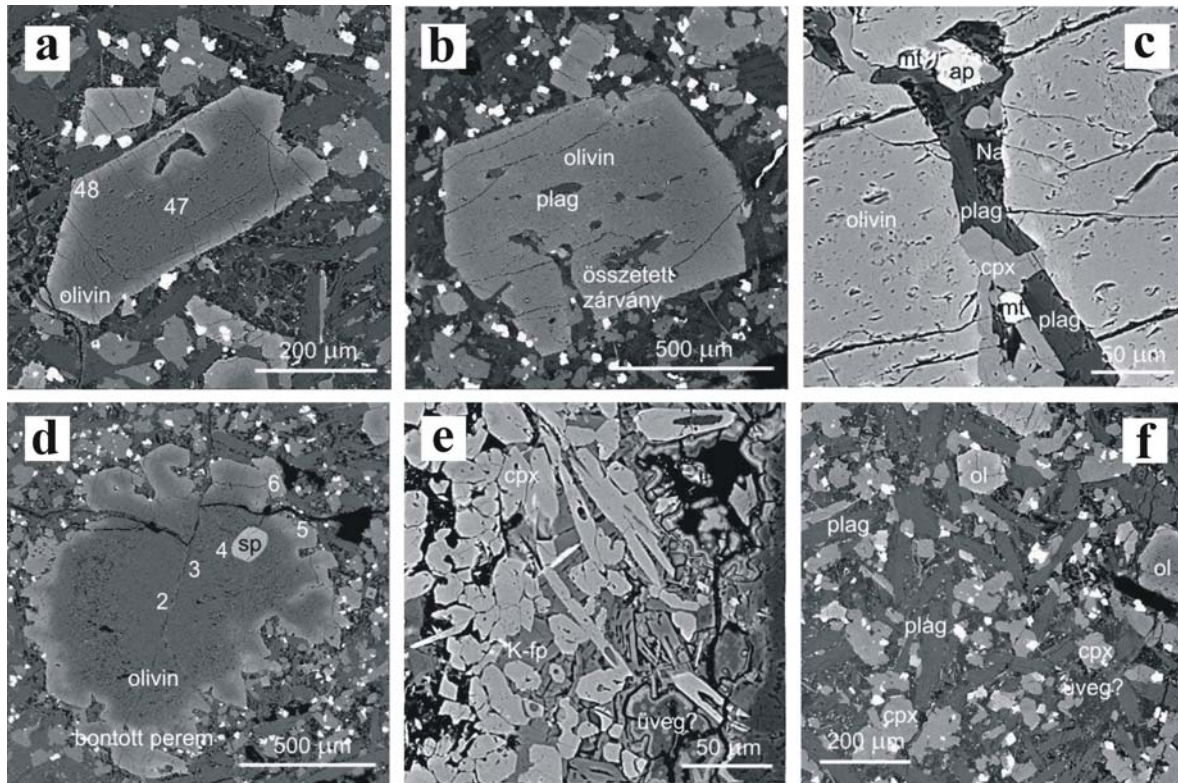
Az elektron-mikroszondás vizsgálatok kimutatták, hogy az olivin-fenokristályok zónásak (a zónáság folyamatos). A vastartalom a magtól kifelé haladva növekszik, de az előrehaladott átalakulás miatt a vasdús szegély általában elbomlott, viszonylag üde szegély csak egy-két szemcsén volt mérhető (a fayalit-tartalom a szemcsék magjában elég változatos, általában 14-18%-os, ritkán a 27%-ot is elérheti; míg a csak néhány helyen mérhető szegélyben 26-40%-ra növekszik) (**7. ábra/a**). Néhány szemcse plagioklász, illetve többfázisú (klinopiroxénból, plagioklászból, apatitból, opakásványból és egy azonosítatlan, Na-dús fázisból álló) zárványokat tartalmaz. A plagioklász-

zárványok, illetve az összetett zárványokban a plagioklász anortit-tartalma 59 és 62% között változik, a klinopiroxén pedig Ti-augitos összetételű (2,44-3,72 t% TiO_2 , 5,97-7,60 t% Al_2O_3) (**7. ábra/b-c**).

A kőzetváltozat jellegzetessége, hogy köpeny- és kéregeredetű zárványok is megjelennek benne.

A **7./d ábrán** köpenyeredetű olivin xenokristály látható. A szemcse forsterit-tartalma 90%. A szemcse szélénél króm-spinell zárvány található (Cr_2O_3 -tartalom: 33 t%).

Kéregeredetű zárvány a **6./c-d ábrán** látható nagyméretű kvarc- (kvarcit-) xenokristály (xenolit), amelyet finomszemcsés reakciószegély övez (**6. ábra/e**). A reakciószegélyt klinopiroxén, káli földpát és kőzetüveg alkotja, helyenként tús kifejlődésű apatitot is tartalmaz (**7. ábra/e**). A klinopiroxén jellemző sajátsága, hogy gyakorlatilag nem tartalmaz alumíniumot (0,00-0,68 t% Al_2O_3) és titánt (0,25-0,76 t% TiO_2). A káli földpát összetétele hozzávetőleg $\text{An}_1\text{Ab}_{30}\text{Or}_{69}$. Ehhez hasonló összetételű földpát máshol nincs a mintában.



7. ábra: a) SEM-fotó: olivin-fenokristály; b) SEM-fotó: zárványos olivin-fenokristály; c) SEM-fotó: olivin-fenokristály összetett zárványa (plagioklász, klinopiroxén, magnetit, apatit, Na-tartalmú fázis (kőzetüveg?))

d) SEM-fotó: olivin-xenokristály Cr-spinell zárvánnyal; e) SEM-fotó: a kvarcit-xenokristály reakció-koronája (klinopiroxén, káliföldpát és kőzetüveg); f) SEM-fotó: olivin, klinopiroxén, plagioklász (kőzetüveg?) az alapanyagban. (Régészeti leletek, 2. bazalt-változat, 7/a, d-f: 2a minta (B1392), 7/b-c: 2b minta (B 2677))

Fig. 7.: a) SEM-photomicrograph: olivine-phenocryst; b) SEM-photomicrograph: olivine-phenocryst with inclusions; c) SEM-photomicrograph: complex inclusion (plagioclase, clinopyroxene, magnetite, apatite, Na-rich phase (rock glass?)) of an olivine-phenocryst; d) SEM-photomicrograph: olivine-phenocryst with Cr-spinel inclusion; e) SEM-photomicrograph: reaction corona (clinopyroxene, alkali feldspar and rock glass) of the quartzite-phenocryst; f) SEM-photomicrograph: olivine, clinopyroxene, plagioclase (rock glass?) in the groundmass. (Archaeological finds, basalt 2nd-type, 7/a,d-f: sample 2a (B 1392), 7/b-c: sample 2b (B 2677))

Az alapanyagot olivin, klinopiroxén, plagioklász, opakásvány (titanomagnetit) és kőzetüveg alkotja (7. ábra/f). Az alapanyagban a sötét színű kőzetüveg mennyisége kevesebb, mint 10%, eloszlása egyenletes. Az olivin az alapanyagban általában bontott, csak néhány üde szemcse fordul elő, ezek összetétele a fenokristályok szegélyéhez hasonló (31-32% fayalit-tartalom). Az alapanyag klinopiroxénjének alumínium- és titán-tartalma nagyobb még az olivin-fenokristályok összetett zárványaiban található klinopiroxénéknél is (2,49-4,12 t% TiO₂, 5,65-9,22 t% Al₂O₃), összetétele élesen különbözik a kéreg-zárvány reakciószegélyében talált klinopiroxéntól. Az alapanyag-plagioklász anortit-tartalma 58-62%, gyakorlatilag megegyezik az olivin-fenokristályokban zárványként megjelenő plagioklászok összetételével.

A két változat petrográfiai és ásványkémiái jellegeinek összehasonlítása:

A 2. változatban fenokristályként csak olivin található (általában bontott, iddingzitesedett formában), mikrofenokristályok nincsenek, az alapanyagot pedig olivin, klinopiroxén, plagioklász, titanomagnetit és kőzetüveg alkotja.

Az 1. változatban ezzel szemben a fenokristályok, mikrofenokristályok között az olivin mellett megtalálható a klinopiroxén is, az alapanyagból hiányzik az olivin, viszont előfordul leucit.

A klinopiroxén összetétele az 1. változatban lényegesen tágabb határok között változik, mint a 2. változatban: különösen alacsony és kiugróan magas titán- és alumínium-tartalmak is megfigyelhetők, mind a fenokristályokban, mind az alapanyagban.

A plagioklász összetétele mindkét változat alapanyagában lényegében azonos, labradoritos.

2. táblázat: a kiválasztott minta-darabok teljes-kémiai (PGAA) elemzésének eredményei**Table 2.** Bulck-rock chemistry. PGAA-results of the archaeological finds

Objektum	B 1857		B 2677		B 1228		B 1187	
		hiba (%)		hiba (%)		hiba (%)		hiba (%)
Főelemek (w%)								
SiO ₂	47,43	1,4	48,29	1,4	45,36	1,4	47,48	1,3
TiO ₂	2,23	2,2	2,03	2,3	2,28	2,1	2,01	2,3
Al ₂ O ₃	14,82	2,1	14,29	2,1	15,01	2,1	14,50	2,1
Fe ₂ O ₃	11,06	2,2	11,28	2,3	9,93	2,1	11,01	2,1
MnO	0,16	3,0	0,13	6,3	0,16	3,0	0,13	3,6
MgO	6,59	6,1	7,79	6,3	9,74	4,9	8,51	5,4
CaO	10,36	2,7	8,48	2,8	10,09	2,7	8,50	2,8
Na ₂ O	3,80	2,5	4,73	2,5	3,53	2,5	4,33	3,0
K ₂ O	2,68	3,1	2,44	3,5	2,53	2,3	2,73	3,0
H ₂ O	0,84	2,3	0,38	3,5	1,13	2,1	0,70	3,0
Summa	99,96		99,83		99,76		99,90	
Nyomelemek (ppm)								
B	0,55	2,3	3,70	1,8	2,77	1,6	1,67	1,7
Cl	379,24	6,0	843,11	2,3	566,61	4,7	884,44	4,0
Sc	29,37	12,1	<10		33,45	14,4	14,21	24,7
Cr	<400		563,89	9,8	481,50	8,0	<400	
Co	<40		<40		<40		<40	
Ni	<500		<500		<500		<500	
Nd	46,70	15,0	49,32	10,6	53,75	9,4	39,55	16,4
Sm	3,93	2,6	3,75	3,3	4,94	2,3	5,48	7,2
Gd	3,70	3,6	4,86	3,9	5,36	4,1	5,13	4,0

Kőzetkémiai elemzések és értelmezésük**PGAA**

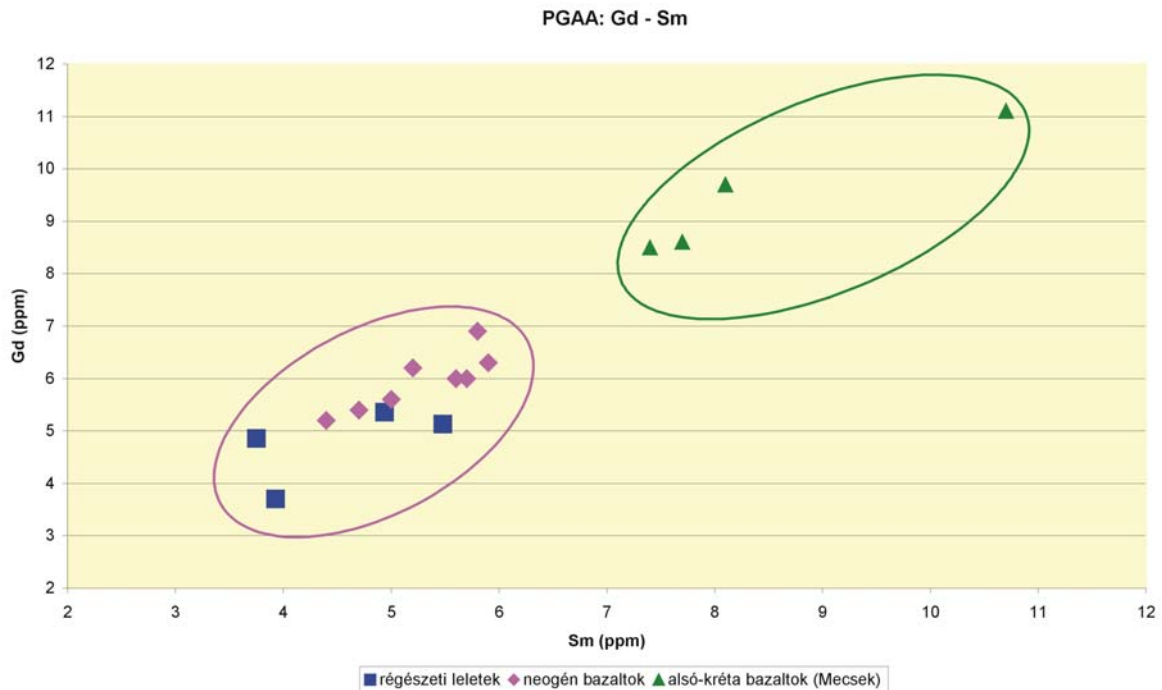
A közelmúltban több, régészeti leletek nyersanyagaként is előforduló kőzettípusról készültek összehasonlító PGAA-s tanulmányok, melyek célja a régészeti leletek nyersanyagának ezzel a teljesen roncsolásmentes módszerrel történő kémiai elemzése, illetve az elemzésekből egy adatbázis felállítása (Szakmány et al. 2010, Szakmány et al. in press). Már a korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy geológiai lelőhelyekről származó bazaltok esetében PGAA elemzések segítségével elkülöníthetők egymástól a

fiatal és idősebb magyarországi bazaltok (a Balaton-felvidéki, nógrádi neogén bazaltok, illetve a mecseki kréta bazaltok). (Füri et al. 2004)

A Füri Judit és szerzőtársai által közölt diagramokba illesztve a Balatonöszöd - Temetői dűlön előkerült leletek közül négy reprezentatív bazalt kőeszköz elemzésének eredményeit (**2. táblázat**) látható, hogy a vizsgált minták nyersanyaga a fiatal bazaltok csoportjába esik. (**8. ábra, melléklet 1-2. ábra**)

ICP-ES, ICP-MS

Ezzel a módszerrel három mintát elemeztünk, egyet az 1. változatból, kettőt a 2. változatból.



8. ábra: Teljes-kőzet összetétel. Gd-koncentráció a Sm-tartalom függvényében a PGAA-mérési eredmények alapján: régészeti leletek (kék négyzetek), neogén bazaltok (rózsaszín rombuszok) (FÜRI et al., 2004) és mecseki kréta bazaltok (zöld háromszögek) (FÜRI et al., 2004)

Fig. 8.: Bulk-rock chemistry. Gd-concentration as a function of Sm-content of the analysed basalt samples according to the results of PGAA: stone tools (blue squares), Neogene basalts (rose diamonds) (FÜRI et al., 2004) and Cretaceous basalts from the Mecsek-mts. (green triangles) (FÜRI et al., 2004)

A kapott kémiai összetételei adatokat (**3. táblázat**) összehasonlítottuk a fiatal bazaltokról a közelmúltban megjelent nagyszámú elemzés adataival (Poultidis & Scharbert 1986, Embey-Istintin et al. 1993, Harangi et al. 1995, Kóthay 2009, Jankovics et al. 2009, Kónya 2009). Az irodalmi adatok a Kárpát-medence különböző területeiről (a Grázi-medencéből, Burgenlandból, a Kisalföldről, a Balaton-felvidékről, Nógrádból (a Medves-fennsíkről), Közép-Szlovákiából (a Selmebányai-hegységből), a Persányi-hegységből és bánáti területekről) származó fiatal bazaltok összetételét tartalmazzák (**9. ábra**). Fel kell hívnunk a figyelmet, hogy az irodalomban közölt elemzések nem terjednek ki a fiatal bazaltok minden ismert Kárpát-medencei lelőhelyére, néhány lelőhely ezért nem szerepelhet az adatbázisban.

Az eredményeket diagramokon ábrázoltuk (TAS-diagram; főelemek a SiO_2 -tartalom, illetve egymás függvényében; nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei; ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei). A diagramok jelkulcsában az egyes területeket azonos színű jelekkel ábrázoltuk. Az áttekinthetőség érdekében a Balaton-felvidéken található lelőhelyeket két csoportra osztottuk: egy bázisosabb (48% SiO_2 -

tartalom alatt, BF 1) és egy savanyúbb (48% SiO_2 -tartalom felett, BF 2) csoportra. (A két csoport közötti határ megválasztása önkényes, csak az indokolja, hogy a 48% SiO_2 -tartalom nagyjából a Balaton-felvidéki minták SiO_2 -tartalom értékeinek közepére esik, és ennek az értéknek a környékén ritkábbak a mérési eredmények, mint az alacsonyabb, illetve magasabb értékeknél.) A Haláp kivételével minden lelőhely elemzési eredményei csak az egyik csoportba tartoznak, a halápi minták között azonban – az uralkodóan a savanyúbb csoportba tartozó minták mellett – két bázisosabb mintáról is rendelkezünk összetételei adatokkal.

A TAS-diagram (Total Alkali Silica-diagram, **10. ábra, melléklet 3. ábra**) alapján a régészeti leletek nyersanyaga – a geológiai minták többségéhez hasonlóan – a tefrit-bazanit, illetve a trachibazalt mezőbe esik.

A főelemeket a SiO_2 -tartalom függvényében ábrázoló diagramok azt mutatják, hogy az általunk elemzett bazalt kőeszközök jól hasonlítanak néhány geológiai lelőhely bazaltjaira, de egyes lelőhelyek bazaltjaitól jelentősen eltérnek. Ezek alapján a geológiai lelőhelyek jelentős része kizárható a régészeti leletek nyersanyagának lehetséges forrásai közül.

3. táblázat: A kiválasztott minta-darabok teljes-kémiai (ICP-ES, ICP-MS) elemzésének eredményei

Table 3.: Bulk-rock chemistry. ICP-ES and ICP-MS results of the archaeological finds

	bazalt 1	bazalt 2a	bazalt 2b
(w%)	B 1857	B 1392	B 2677
SiO ₂	43,96	45,48	45,61
Al ₂ O ₃	15,51	15,73	15,47
Fe ₂ O ₃	10,37	10,75	10,76
MgO	8,07	7,40	8,06
CaO	10,83	9,60	9,33
Na ₂ O	3,58	3,56	4,20
K ₂ O	2,50	1,76	2,36
TiO ₂	2,17	2,20	2,16
P ₂ O ₅	0,69	0,80	0,82
MnO	0,18	0,17	0,17
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,02
LOI	1,80	2,20	0,70
SUM	99,69	99,67	99,66
(ppm)			
Rb	87,40	48,20	75,60
Ba	797,00	1030,40	908,90
Th	7,30	7,90	8,70
Nb	65,30	71,20	74,20
Pb	5,10	3,80	2,70
Sr	834,80	1014,40	984,40
Nd	46,50	47,40	48,20
Zr	296,30	262,40	278,80
Y	29,00	28,70	28,90
La	56,20	55,20	58,10
Ce	113,40	110,70	113,20
Pr	12,12	11,60	12,25
Nd	46,50	47,40	48,20
Sm	8,40	8,20	8,90
Eu	2,32	2,64	2,62
Gd	6,64	7,10	7,45
Tb	0,82	0,85	0,79
Dy	4,94	5,10	5,13
Ho	1,01	0,98	0,97
Er	2,49	2,50	2,45
Tm	0,43	0,40	0,37
Yb	2,53	2,31	2,39
Lu	0,36	0,32	0,32

Terjedelmi okokból ezen ábrák többségét a mellékletben szerepeltetjük (**melléklet 4-23. ábra**), példaként azonban itt is bemutatunk néhány diagramot (**11-13. ábra**). Az egyes ábrákon a diagramok mellett a geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket (késsel a csak bizonytalanul kizártakat), normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek.

Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek. A jobb áttekinthetőség érdekében az ábrák között nemcsak a teljes diagramok, hanem a régészeti leletek elemzési eredményeinek környezetére koncentráló "kivágatok" is szerepelnek.

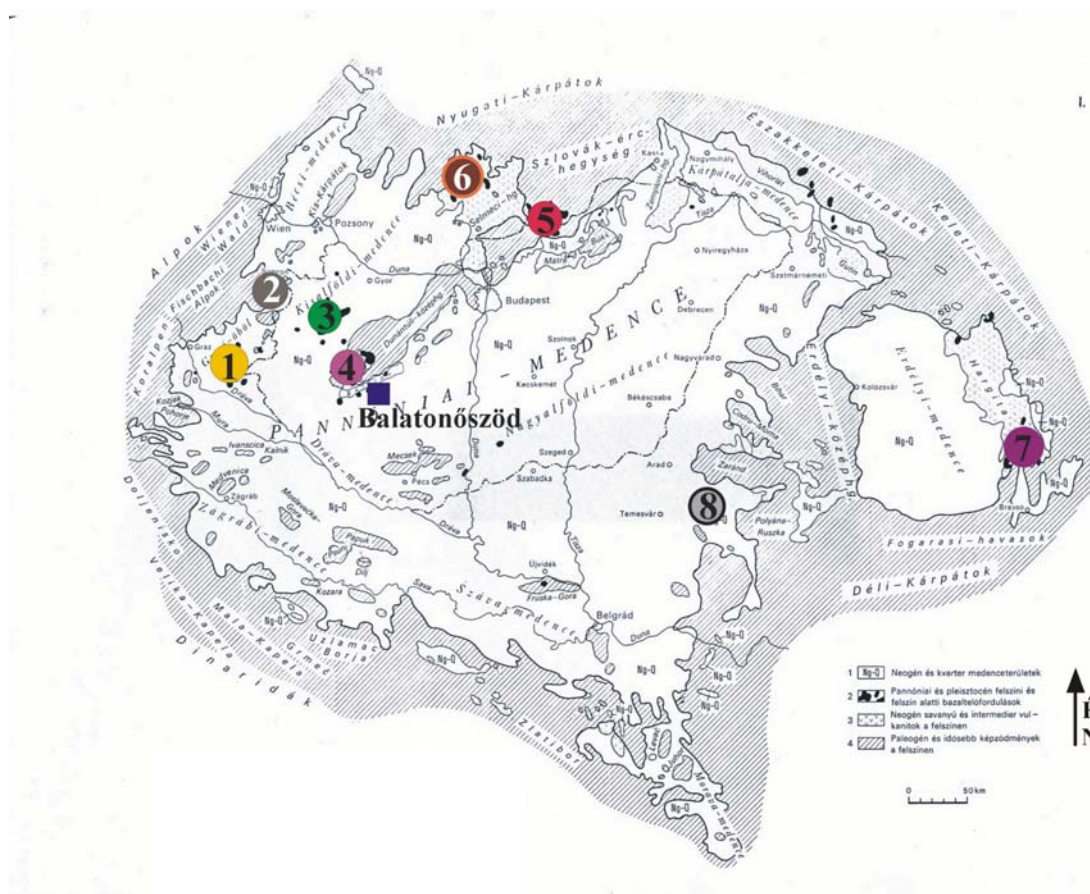
A **4. táblázatban** összefoglaltuk, hogy az egyes geológiai lelőhelyek mely főelemek mennyisége alapján zárhatóak ki a lehetséges nyersanyag-források közül.

A főelem-diagramok alapján a régészeti leletek összetételéhez legközelebb álló geológiai lelőhelyeket az **5. táblázat** tartalmazza. A táblázatban feltüntettük azokat a geológiai lelőhelyeket is, amelyek kizárását bizonytalannak ítéltük (2. és 3. csoport a táblázatban).

A rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján elkészítettük a nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékeit ábrázoló (**melléklet 24-29. ábra**) és a ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékeit ábrázoló (**melléklet 30-35. ábra**) diagramokat. Ezen diagramok alapján látható, hogy a fiatal bazaltok nyomelem- és ritkaföldfém-összetétele egymáshoz nagyon hasonló, a régészeti leletektől csak a burgenlandi, Persányi-hegységi, bányai minták és a Grazi-medencei Stradner Kogel tér el, ezeket a lelőhelyeket azonban a főelem-összetétel alapján már korábban kizártuk a lehetséges nyersanyag-források közül.

Többváltozós adatelemzés

Mivel a főelem-diagramok értelmezése (a geológiai lelőhelyek kizárása a lehetséges nyersanyagforrások közül) egyes esetekben meglehetősen szubjektív (például a MgO-SiO₂-diagram esetében), valamint igen jelentős mennyiségű kémiai elemzési adat áll rendelkezésünkre, többváltozós adatelemző módszereket is alkalmaztunk a teljes adatbázison. Első lépésben hierarchikus klaszteranalízist végeztünk 296 adatsoron (régészeti leletek és geológiai minták főelem-összetételei adatain). A csoportokat dendrogram alapján jelöltük ki, a csoportosítást diszkriminancia-analízissel ellenőriztük..



9. ábra: Fiatal bazalt-területek a Kárpát-medencében (Jámbor et al. 1981), módosítva:

A számok az egyes területeket jelzik, amelyekről teljes-kőzet kémiai elemzési adatokat használtunk fel: 1. Grázi-medence (Ausztria), 2. Burgenland (Ausztria), 3. Kisalföld, 4. Balaton-felvidék, 5. Nógrád – Medves-fennsík, 6. Közép-Szlovákia (Selmechányai-hegység) (Szlovákia), 7. Persányi-hegység, (Románia) 8. Bánát (Románia).

Fig. 9.: Neogene basalt areas in the Carpathian Basin (Jámbor et al. 1981), modified:

The numbers indicate the areas from which we used bulk-rock chemical data from the literature consulted: 1. Graz Basin (Austria), 2. Burgenland (Austria), 3. Little Hungarian Plane, 4. Balaton-Highland, 5. Nógrád county – Medves-plateau, 6. Central-Slovakia (Selmechánya-mts.) (Slovakia), 7. Muntii Persanii (Romania), 8. Banat (Romania).

A csoportosítás helyességét (megfelelőségét) – amely 94,6% volt – az elemző-szoftver által javasolt átsorolások után az ismételt diszkriminancia-analízis tanúsága szerint 97,3%-ra növeltük.

A csoportosítás eredményét a **6. táblázat** tartalmazza. Az egyes lelőhelyek neve mellett zárójelben feltüntettük az adott lelőhely mintáiról készült, a csoportba sorolt elemzések és a teljes csoportosításhoz a lelőhely mintáiról felhasznált elemzések számát is.

A csoportosítás helyességét (megfelelőségét) leképező diszkriminancia-analízis (**14. ábra**) alapján a régészeti leleteket is tartalmazó 1. és 2. csoport átfed, nem különül el egymástól kellő mértékben.

A további pontosítás érdekében az 1. és 2. csoport elemeire (135 adatsor) is elvégeztük a hierarchikus klaszteranalízist. Többszörös pontosítás (az elemző-szoftver által javasolt átsorolások) után a

csoportosítás helyességét (megfelelőségét) a kezdeti 93,1%-ról 98,5%-ra növeltük.

A végleges csoportosítás eredményét a **7. táblázat** tartalmazza. Az egyes lelőhelyek neve mellett zárójelben feltüntettük az adott lelőhely mintáiról készült, a csoportba sorolt elemzések és a teljes csoportosításhoz a lelőhely mintáiról felhasznált elemzések számát is.

A csoportosítás helyességét (megfelelőségét) leképező diszkriminancia-analízis eredményét a **15. ábrán** ábrázoltuk. Látható, hogy a régészeti leleteket tartalmazó csoportokhoz (1. és 3. csoport (2. bazaltváltozat), 4. csoport (1. bazaltváltozat)) vannak közel eső csoportok (7., 9., illetve 8. csoport), de az elkülönülés jobb, mint a fentebbi, mind a 296 adatsort figyelembe vevő csoportosítás esetében.

4. táblázat: A főelem-diagramok alapján a lehetséges nyersanyag-források közül kizárt lelőhelyek. A táblázatban 'x' jelzi a kizárás alapjául szolgáló főelemeket. A ki nem zárt lelőhelyek félkövérrel szedve.

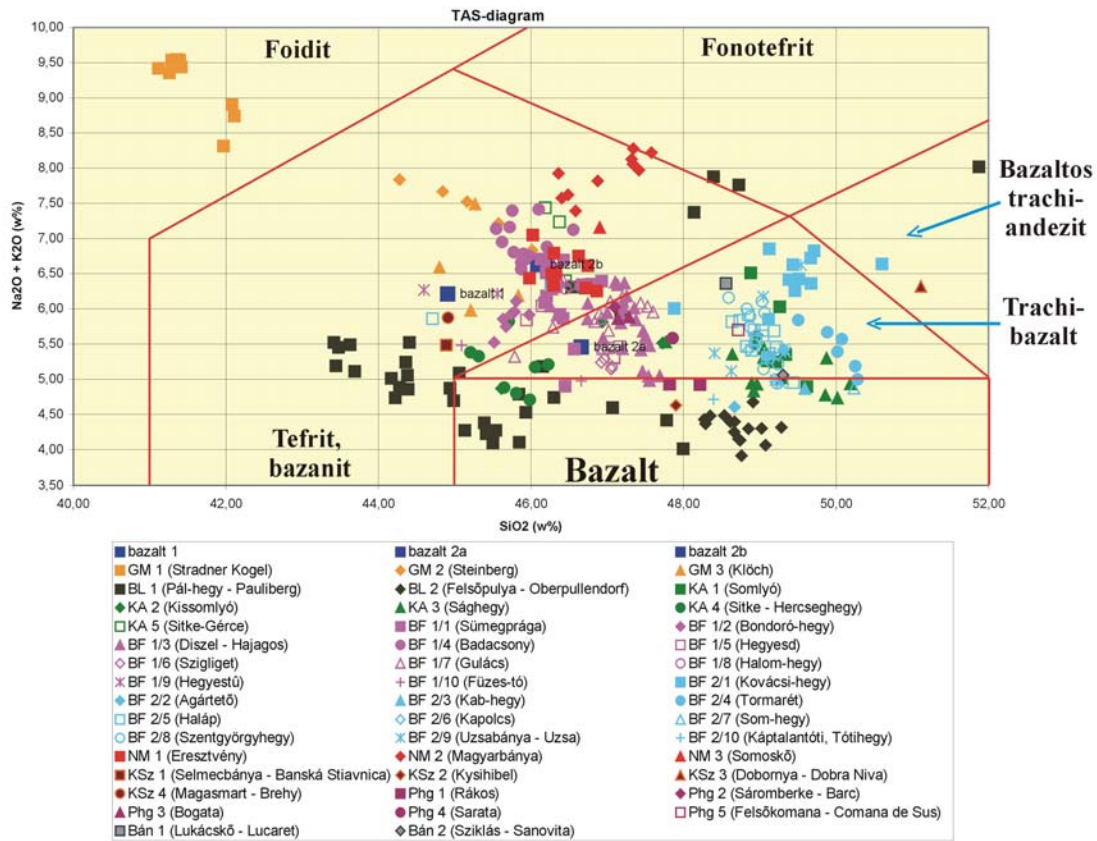
Table 4.: Geological localities excluded from the possible sources of the raw material of the archaeological finds according to the major-element-diagrams. The exclusion was made on the basis of the major elements. It is indicated in the table with an 'x'. In the listing of the geological localities the following notations are used: Printed in bold: geological localities not excluded.

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO
Grazi-medence	Stradner Kogel	x			x	x	x			x
Grazi-medence	Steinberg									
Grazi-medence	Klöch									
Burgenland	Pál-hegy (Pauliberg)		x		x				x	
Burgenland	Felsőpulya (Oberpullendorf)		x				x?		x?	
Kisalföld	Somlyó	x				x				
Kisalföld	Kissomlyó									
Kisalföld	Sághegy	x								
Kisalföld	Sítke (Hercseghegy)				x?			x?		
Kisalföld	Sítke-Gérce		x							x
Balaton-felvidék 1	Sümeprága									
Balaton-felvidék 1	Bondoró-hegy		x		x	x			x?	
Balaton-felvidék 1	Diszel									
Balaton-felvidék 1	Badacsony									
Balaton-felvidék 1	Hegyesd									
Balaton-felvidék 1	Szigliget						x?			
Balaton-felvidék 1	Gulács									
Balaton-felvidék 1	Halom-hegy									
Balaton-felvidék 1	Hegyestű									
Balaton-felvidék 1	Füzes-tó		x	x	x				x?	
Balaton-felvidék 2	Kovácsi-hegy	x		x	x					
Balaton-felvidék 2	Agár-tető	x				x				
Balaton-felvidék 2	Kab-hegy	x				x				
Balaton-felvidék 2	Tormarét	x				x				
Balaton-felvidék 2	Haláp (savanyúbb)	x								

4. táblázat, folyt.

Table 4., cont.

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO
Balaton-felvidék 2	Haláp (bázisosabb)				x?					
Balaton-felvidék 2	Kapolcs	x		x		x				
Balaton-felvidék 2	Som-hegy	x				x				
Balaton-felvidék 2	Szentgyörgy-hegy	x		x		x				
Balaton-felvidék 2	Uzsabánya	x								
Balaton-felvidék 2	Tóti-hegy (Káptalantóti)	x	x	x		x		x?		
Nógrád	Eresztvény		x	x						
Nógrád	Magyarbánya		x	x	x		x?			
Nógrád	Somoskő		x	x	x					
Közép-Szlovákia	Selmecbánya (Banská Stiavnica)				x?				x?	
Közép-Szlovákia	Kysihibel		x		x				x?	x
Közép-Szlovákia	Dobornya (Dobra Niva)	x		x	x					
Közép-Szlovákia	Magasmart (Brehy)		x		x					
Persányi-hegység (Muntii Persanii)	Rákos		x		x				x?	
Persányi-hegység (Muntii Persanii)	Barc (Sáromberke)		x						x?	
Persányi-hegység (Muntii Persanii)	Bogata		x						x?	
Persányi-hegység (Muntii Persanii)	Sarata		x						x?	
Persányi-hegység (Muntii Persanii)	Comana de Sus (Felsőkomana)	x	x	x					x?	
Bánát	Lucaret (Lukácskő)	x				x				
Bánát	Sanovita (Sziklás)	x				x				



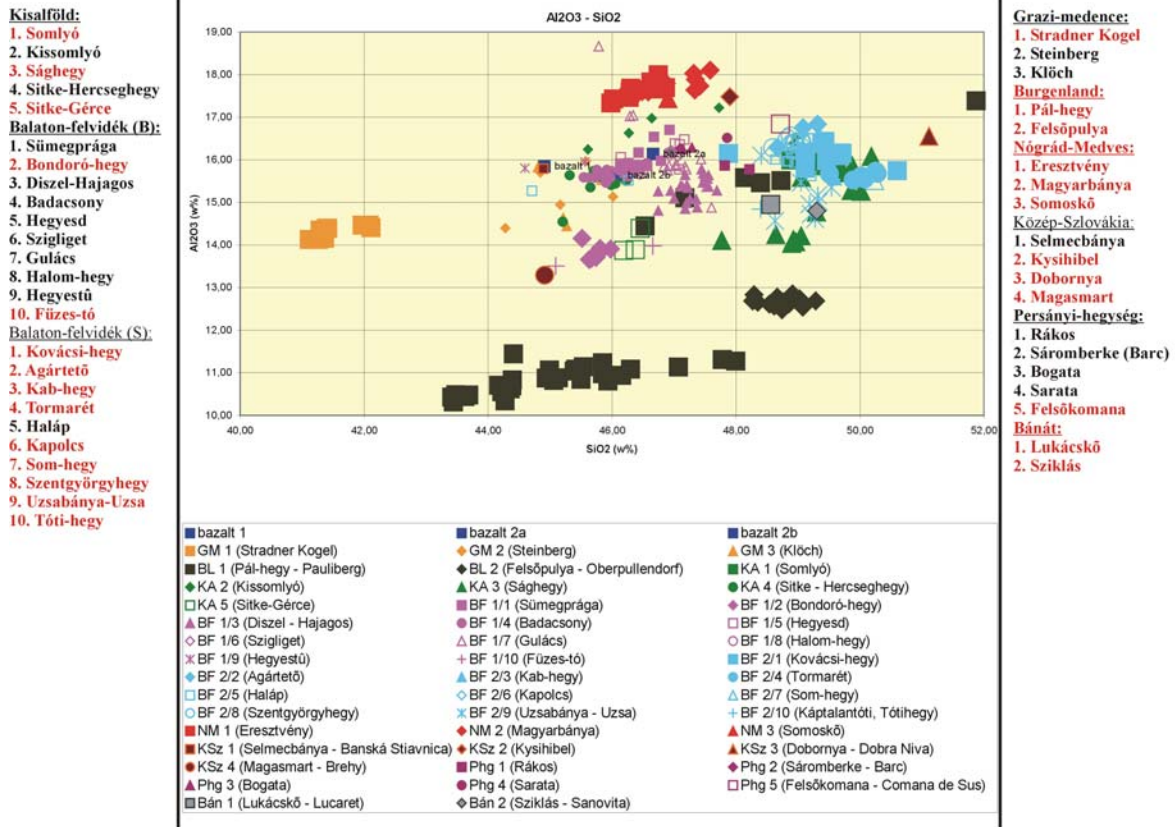
10. ábra: Teljes-kőzet összetétel. TAS (Total Alkali-Silica)-diagram

Fig. 10.: Bulk-rock chemistry. TAS (Total Alkali-Silica)-diagram

5. táblázat: A főelem-diagramok alapján a régészeti leletek összetételéhez legközelebb álló geológiai lelőhelyek

Table 5. Geological localities with basaltic rock most similar to the raw material of the archaeological finds according to the major-element-diagrams.

	bazalt 1	bazalt 2a	bazalt 2b
1.	Hegyesd	Sümeprága	Sümeprága
	Klőch	Diszel-Hajagos	Badacsony
	Steinberg	Halom-hegy	Halom-hegy
		Gulács	Gulács
		Hegyesd	Hegyesd
		Szigliget	Szigliget
		Kissomlyó	Kissomlyó
		Badacsony	Diszel-Hajagos
2.	Haláp (bázisosabb)	Haláp (bázisosabb)	Haláp (bázisosabb)
	Sitke-Hercseghegy		Sitke-Hercseghegy
3.	Selmecbánya	Selmecbánya	Selmecbánya

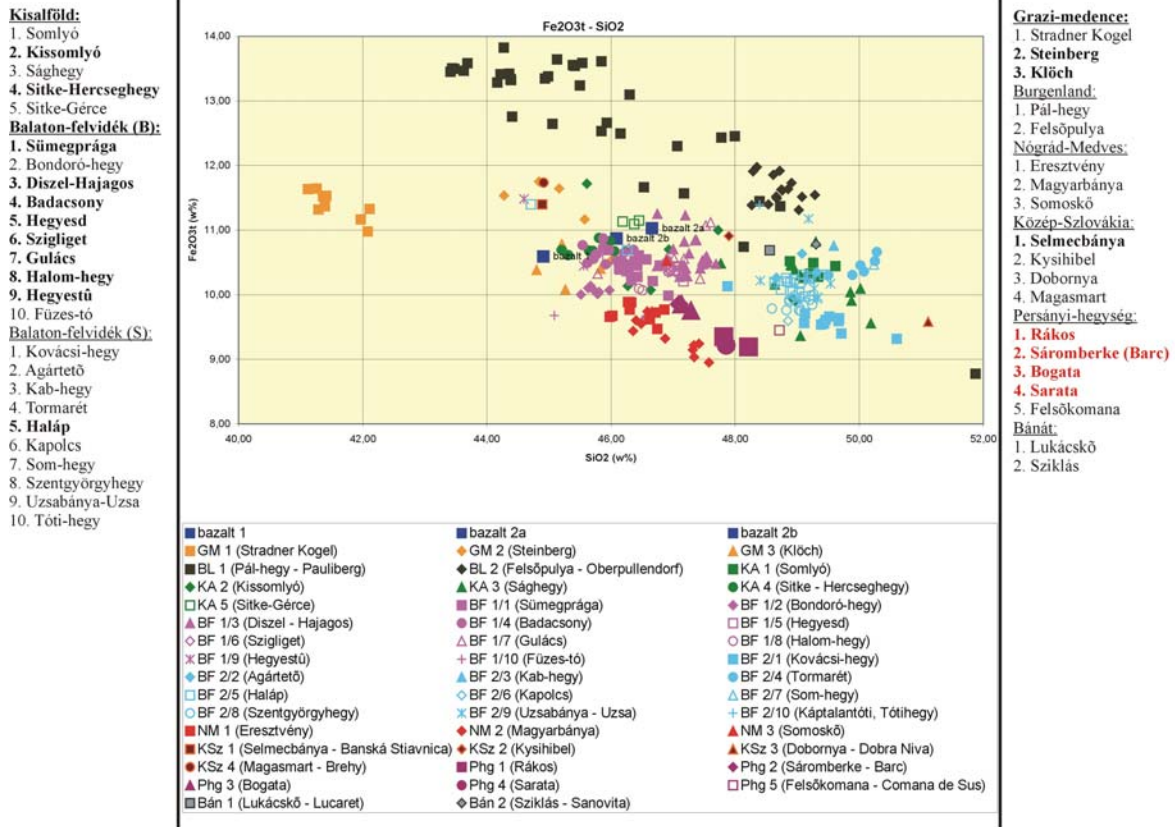


11. ábra: Teljes-kőzet összetétel. Al₂O₃-koncentráció a SiO₂-tartalom függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 11.: Bulk-rock chemistry. Al₂O₃-concentration (wt%) as a function of SiO₂-content (wt%).

In the listing of the geological localities the following notations are used: Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram. Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements. Printed in bold: geological localities not yet excluded. Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.

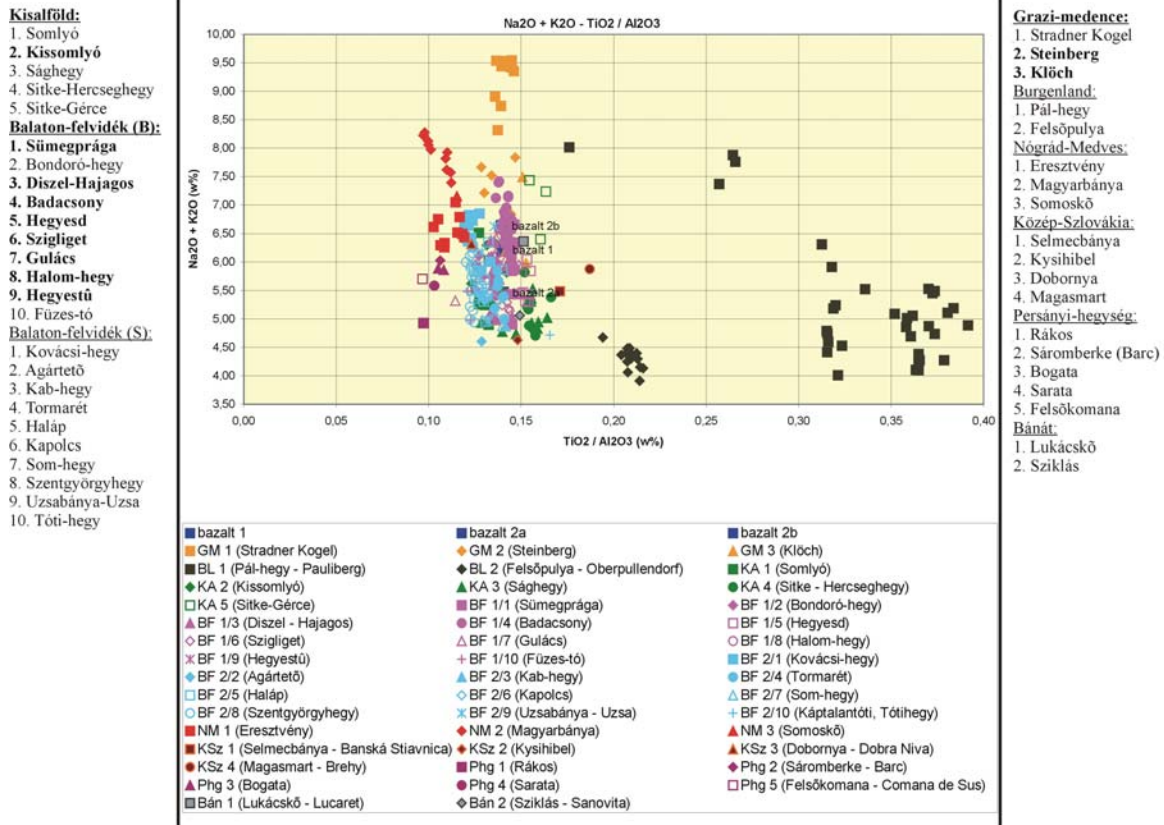


12. ábra: Teljes-kőzet összetétel. Fe₂O₃(t)-koncentráció a SiO₂-tartalom függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 12.: Bulk-rock chemistry. Fe₂O₃(t)-concentration (wt%) as a function of SiO₂-content (wt%).

In the listing of the geological localities the following notations are used: Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram. Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements. Printed in bold: geological localities not yet excluded. Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



13. ábra: Teljes-kőzet összetétel. Na₂O + K₂O-koncentráció (totál alkália-tartalom) a TiO₂/Al₂O₃-tartalom függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 13.: Bulk-rock chemistry. Na₂O + K₂O-concentration (total alkali concentration)(wt%) as a function of TiO₂/Al₂O₃-content (wt%).

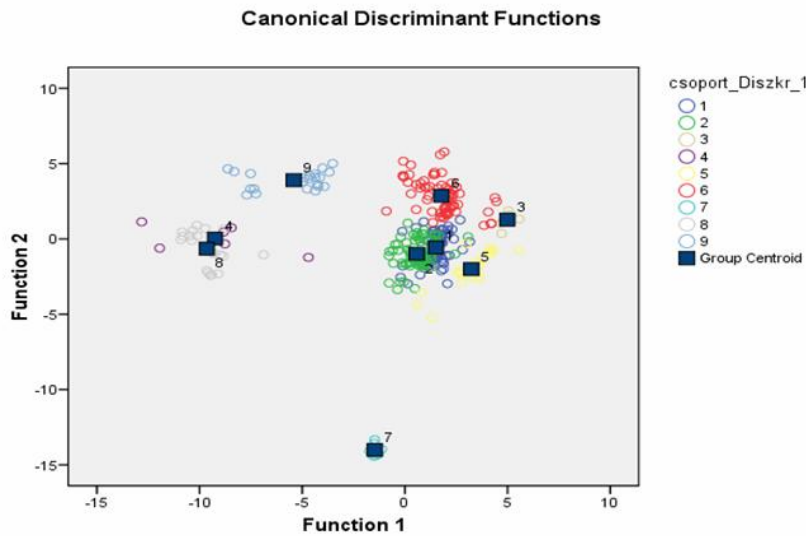
In the listing of the geological localities the following notations are used: Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram. Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements. Printed in bold: geological localities not yet excluded. Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.

6. táblázat: a lelőhelyek csoportosítása teljes kémiai elemzések (főelemek) alapján, az összes elemzés figyelembe vételével (296 adatsor). Az egyes lelőhelyek neve mellett zárójelben feltüntettük az adott lelőhely mintáiról készült, a csoportba sorolt elemzések és a teljes csoportosításhoz a lelőhely mintáiról felhasznált elemzések számát is.

Table 6. Grouping of the geological localities according to their bulk-rock chemistry (major elements), taking into consideration all records (296 records of major elements). Notation: name of the geological locality (number of analyses in the given group / all analyses of the given geological locality).

1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport	5. csoport	6. csoport	7. csoport	8. csoport	9. csoport
bazalt 2a	bazalt 1							
bazalt 2b								
Badacsony (14/15)	Badacsony (1/15)	Bondoró-hegy (7/7)	Pál-hegy (Pauliberg) (6/34)	Eresztvény (10/10)	Agár-tető (3/3)	Stradner Kogel (9/9)	Pál-hegy (Pauliberg) (21/34)	Felsőpulya (Oberpullendorf) (15/15)
Diszel-Hajagoshegy (20/25)	Diszel-Hajagoshegy (5/25)	Füzes-tó (2/2)		Gulács (1/14)	Bogata (2/2)			Pál-hegy (Pauliberg) (7/34)
Gulács (4/14)	Gulács (9/14)			Magyarbánya (10/10)	Dobornya (Dobra Niva) (1/1)			
Haláp (b) (2/2)	Hegyesd (7/7)			Somoskő (1/1)	Felsőkomana (Comana de Sus) (1/1)			
Halomhegy (2/2)	Hegyesztű (1/2)			Steinberg (3/5)	Haláp (s) (14/14)			
Hegyesztű (1/2)	Kapolcs (1/1)				Kab-hegy (1/1)			
Kissomlyó (1/7)	Kissomlyó (4/7)				Kissomlyó (2/7)			
Klöch (4/4)	Kovácsi-hegy (11/11)				Kysihibel (1/1)			
Magasmart (Brehy) (1/1)	Sítke-Gérce (1/3)				Lukácskő (Lucaret) (1/1)			
Sarata (1/1)	Sümeprága (12/16)				Rákos (2/2)			
Selmecbánya (1/1)	Szigliget (5/5)				Ság-hegy (12/12)			
Sítke-Gérce (2/3)	Uzsa (8/9)				Sáromberke (Barc) (1/1)			
Sítke-Hercseghegy (8/8)					Som-hegy (1/1)			
Sümeprága (4/16)					Somlyó (6/6)			
Steinberg (2/5)					Sziklás (Sanovita) (1/1)			
					Szentgyörgy-hegy (12/12)			
					Tormarét (6/6)			
					Tóti-hegy (1/1)			
					Uzsa (1/9)			

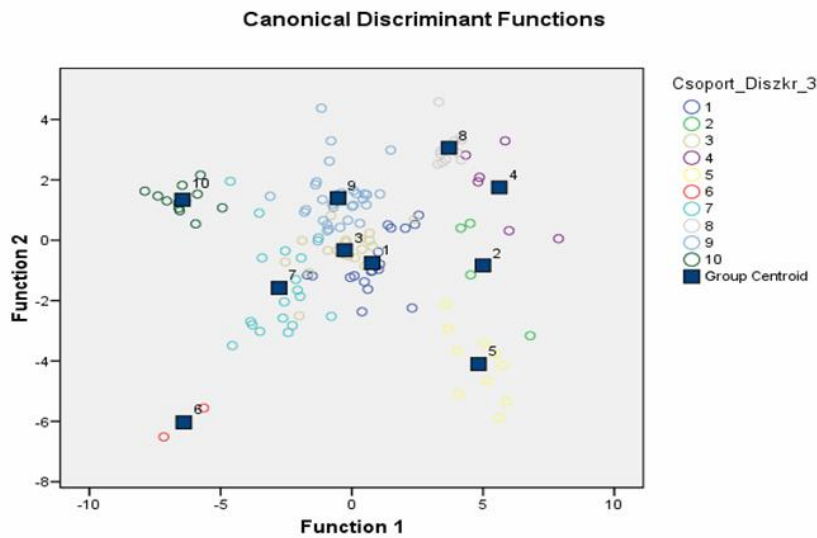
Diszkriminancia-analízis eredménye 296 adatsorra



14. ábra: A diszkriminancia-analízis eredménye 296 adatsor (teljes-kőzet kémiai elemzések: főelemek) csoportosítása után. A régészeti leleteket az 1. és a 2. csoport tartalmazza.

Fig. 14.: Result of the Discriminant Analysis after grouping 296 record (bulk-rock chemistry: major elements). Archaeological finds in the 1st and the 2nd group.

Diszkriminancia-analízis eredménye 135 adatsorra



15. ábra: A diszkriminancia-analízis eredménye 135 adatsor (teljes-kőzetkémiai elemzések: főelemek; 1. és 2. csoport a 14. ábrán) csoportosítása után. A régészeti leleteket az 1. és a 3. csoport tartalmazza.

Fig. 15.: Result of the Discriminant Analysis after grouping 135 record (bulk-rock chemistry: major elements; the 1st and 2nd group on fig. 14.). Archaeological finds in the 1st and the 3rd group.

7. táblázat: a lelőhelyek csoportosítása teljes kémiai elemzések (főelemek) alapján, csak a teljes csoportosítás 1. és 2. csoportjának figyelembe vételével (135 adatsor). Az egyes lelőhelyek neve mellett zárójelben feltüntettük az adott lelőhely mintáiról készült, a csoportba sorolt elemzések és a teljes csoportosításhoz a lelőhely mintáiról felhasznált elemzések számát is.

Table 7. Grouping of the geological localities according to their bulk-rock chemistry (major elements), taking into consideration only the 1. and 2. group of the whole grouping (135 records of major elements).

Notation: name of the geological locality (number of analyses in the given group / all analyses of the given geological locality).

1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport	5. csoport	6. csoport	7. csoport	8. csoport	9. csoport	10. csoport
bazalt 2a		bazalt 2b	bazalt 1						
Diszel-Hajagoshegy (12/25)	Klöch (4/4)	Badacsony (15/15)	Haláp (b) (1/2)	Magasmart (Brehy) (1/1)		Diszel-Hajagoshegy (9/25)	Hegyese (7/7)	Diszel-Hajagoshegy (3/25)	Kovácsi-hegy (10/11)
Haláp (b) (1/2)		Diszel-Hajagoshegy (1/25)	Hegyestű (2/2)	Sitke-Hercseghegy (8/8)	Sitke-Gérce (2/3)	Gulács (2/14)	Szigliget (5/5)	Gulács (11/14)	Uzsa (2/9)
Halomhegy (2/2)		Steinberg (2/5)	Kissomlyó (1/7)	Sümeprága (1/16)		Sitke-Gérce (1/3)		Kapolcs (1/1)	
Sarata (1/1)		Sümeprága (1/16)	Selmecebánya (1/1)			Uzsa (6/9)		Kissomlyó (4/7)	
Sümeprága (3/16)								Kovácsi-hegy (1/11)	
								Sümeprága (11/16)	

Kőzetkémiai elemzések összefoglalása:

A teljes-kőzet kémiai elemzések alapján a régészeti leletek nyersanyagához legközelebb álló geológiai lelőhelyek:

- bazalt, 1. változat: Hegyestű, a Haláp bázisosabb összetételű részei (Balaton-felvidék); Kissomlyó (Kisalföld); Selmecebánya (Közép-Szlovákia),
- bazalt, 2. változat: Badacsony, Diszel (Hajagoshegy), Halom-hegy, a Haláp bázisosabb összetételű részei, Sümeprága (Prágahegy) (Balaton-felvidék); Sarata (Persányi-hegység, Románia), Steinberg (Grazi-Medence, Ausztria).

Ásványkémiai elemzési eredmények értelmezése

A régészeti leletekről készült elektronmikroszkopos elemzések eredményeit összehasonlítottuk a fiatal bazaltos kőzetekről készült, irodalomban eddig közölt elemzések eredményeivel. A teljes kémiai elemzések eredményei alapján kiválasztott geológiai lelőhelyek bazaltos kőzeteinek csak egy részéről állnak rendelkezésre ásványkémiai elemzések (Hegyestű, Haláp, Steinberg, Selmecebánya, valamint a közeli csoportokból Uzsa; a halápi mérések a savanyúbb kőzetváltozat ásványaiból készültek) (Dobosi et al. 1991, Embey-Isztin & Dobosi 2007, Sági 2008, Kóthay 2009).

Összehasonlításképpen figyelembe vettünk egyéb geológiai lelőhelyekről az irodalomban megjelent elemzési eredményeket is (Pál-hegy (Pauliberg), Stradner Kogel, Klöch, Kapfenstein, Sághegy, Sitke-Gérce, Fűzes-tó, Bondoró-hegy, Szentgyörgy-hegy, Szigliget, Szentbékállá, Eresztvény, Salgóvár, Pécskő, Ajnácskő, Szilváskő, Magasmart (Brehy), Bolgárom (Bulhary), Sáromberke (Barc) (Poultidis & Scharbert 1986, Dobosi et al. 1991, Dobosi 1989, Embey-Isztin & Dobosi 2007, Sági 2008, Sági et al. 2008, Sági et al. 2010, Kóthay 2009, Jankovics et al. 2009, Jankovics et al. 2010).

Olivin

A régészeti leletekről készült elektronmikroszkopos elemzéseket (olivin fenokristályok magjának és szegélyének, köpenyeredetű olivin xenokristályok és az alapanyagban található olivin kristályok összetétele, **8. táblázat**) összehasonlítottuk a fiatal bazaltok olivinjeinek összetételéről a közelmúltban megjelent elemzések adataival (Dobosi et al. 1991, Embey-Isztin & Dobosi 2007, Sági 2008, Sági et al. 2008, Sági et al. 2010, Kóthay 2009, Jankovics et al. 2009, Jankovics et al. 2010).

Az eredményeket diagramokon ábráztuk (kalcium-tartalom és forsterit-molekula-tartalom; a xenokristály-elemzéseket elkülönítve).

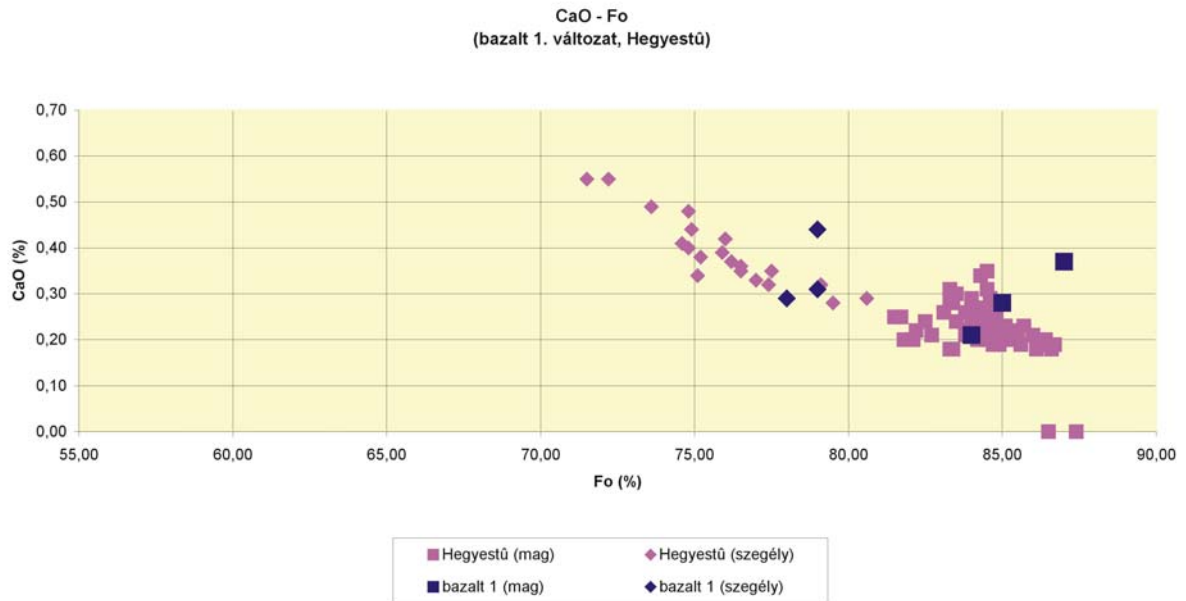
8. táblázat: elektron-mikroszondás (EPMA) eredmények I: régészeti leletek, olivinek**Table 8.** Results of EPMA (I.): archaeological finds, olivines. (Notations: mag: core, szegély: rim, alapanyag: groundmass, xenokristály: xenocryst)

		SiO ₂	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	total	Si	Fe	Mn	Ni	Mg	Ca	Fo (%)
bazalt 1	olivín mag	39,85	12,89	0,20	0,16	47,39	0,37	100,86	0,985	0,266	0,004	0,003	1,746	0,010	87,00
		39,69	15,32	0,32	0,11	44,65	0,21	100,30	0,997	0,321	0,007	0,002	1,671	0,006	84,00
		39,67	14,05	0,27	0,12	46,22	0,28	100,61	0,988	0,292	0,006	0,002	1,716	0,007	85,00
	olivín szegély	39,22	19,26	0,36	0,08	41,24	0,44	100,60	1,001	0,410	0,008	0,002	1,567	0,012	79,00
		39,29	19,69	0,70	0,07	41,00	0,29	101,04	1,001	0,418	0,015	0,001	1,556	0,008	78,00
		39,54	19,20	0,34	0,09	42,18	0,31	101,66	0,997	0,404	0,007	0,002	1,584	0,008	79,00
bazalt 2a		39,67	14,24	0,30	0,09	44,97	0,34	99,61	0,999	0,299	0,006	0,002	1,686	0,009	85,00
bazalt 2b	olivín mag	39,64	14,47	0,40	0,20	46,48	0,15	101,34	0,983	0,299	0,008	0,004	1,718	0,004	85,00
		39,34	15,14	0,10	0,15	45,59	0,28	100,60	0,985	0,316	0,002	0,003	1,701	0,008	84,00
		39,07	15,29	0,34	0,23	44,22	0,39	99,54	0,991	0,324	0,007	0,005	1,671	0,011	83,00
		39,53	14,79	0,28	0,38	44,43	0,19	99,60	0,999	0,312	0,006	0,008	1,672	0,005	84,00
	olivín szegély	36,69	33,73	0,88	0,28	28,86	0,55	100,99	1,005	0,771	0,020	0,006	1,177	0,016	60,00
	olivín (alapanyag)	39,08	16,70	0,31	0,11	43,57	0,14	99,91	0,992	0,354	0,007	0,002	1,648	0,004	82,00
	olivín (xenokristály)	40,89	9,95	0,16	0,57	49,49	0,00	101,06	0,995	0,202	0,003	0,011	1,794	0,000	90,00
		40,63	9,27	0,08	0,04	48,80	0,15	98,97	1,003	0,191	0,002	0,001	1,796	0,004	90,00
		40,45	9,53	0,00	0,41	49,36	0,07	99,82	0,994	0,195	0,000	0,008	1,807	0,002	90,00
	olivín mag	39,13	13,38	0,19	0,36	45,59	0,02	98,67	0,992	0,283	0,004	0,007	1,721	0,001	86,00
		39,86	13,69	0,27	0,53	46,13	0,05	100,53	0,993	0,285	0,006	0,011	1,712	0,001	86,00
		38,64	18,99	0,41	0,00	41,07	0,20	99,31	0,998	0,041	0,009	0,000	1,580	0,006	79,00
38,54		19,60	0,43	0,00	41,15	0,09	99,81	0,993	0,422	0,009	0,000	1,580	0,002	79,00	
37,39		22,54	0,74	0,01	38,45	0,33	99,46	0,985	0,495	0,017	0,000	1,509	0,009	75,00	
38,37		24,09	0,56	0,00	38,30	0,34	101,66	0,992	0,520	0,012	0,000	1,475	0,009	73,00	
37,81		20,92	0,35	0,11	39,95	0,47	99,61	0,985	0,455	0,008	0,002	1,551	0,013	77,00	
olivín szegély		36,89	27,86	0,56	0,00	33,18	0,45	98,94	1,001	0,631	0,013	0,000	1,341	0,013	68,00
		38,40	23,02	0,56	0,35	37,62	0,34	100,29	1,003	0,502	0,012	0,007	1,464	0,010	74,00
		36,96	27,76	0,61	0,32	34,55	0,51	100,71	0,986	0,618	0,014	0,007	1,374	0,015	68,00
olivín (alapanyag)		37,16	26,57	0,55	0,29	34,48	0,64	99,69	0,996	0,594	0,013	0,006	1,377	0,018	69,00
		37,12	27,69	0,68	0,30	34,81	0,44	101,04	0,987	0,614	0,015	0,006	1,378	0,013	69,00
		37,31	28,46	0,66	0,00	34,70	0,47	101,60	0,988	0,629	0,015	0,000	1,368	0,013	68,00

Terjedelmi okokból ezen ábrák többségét szintén a mellékletben szerepeltetjük (**melléklet 36-47. ábra**), a nyersanyagok származási helyének beazonosításához legnagyobb segítséget nyújtó diagramokat azonban a cikkben is bemutatjuk. Meg kell jegyeznünk, hogy a teljes kémiai elemzések eredményei alapján kiválasztott geológiai lelőhelyek bazaltos kőzeteinek csak egy részéről állnak rendelkezésre ásványkémiai elemzések (Hegyesű, Haláp, Steinberg, Selmebánya, valamint a többváltozós adatelemzéssel felállított csoportosításban a régészeti leletekhez közel eső csoportokból: Uzsa - **melléklet 36. ábra**; a halápi mérések a savanyúbb kőzetváltozat ásványaiból készültek).

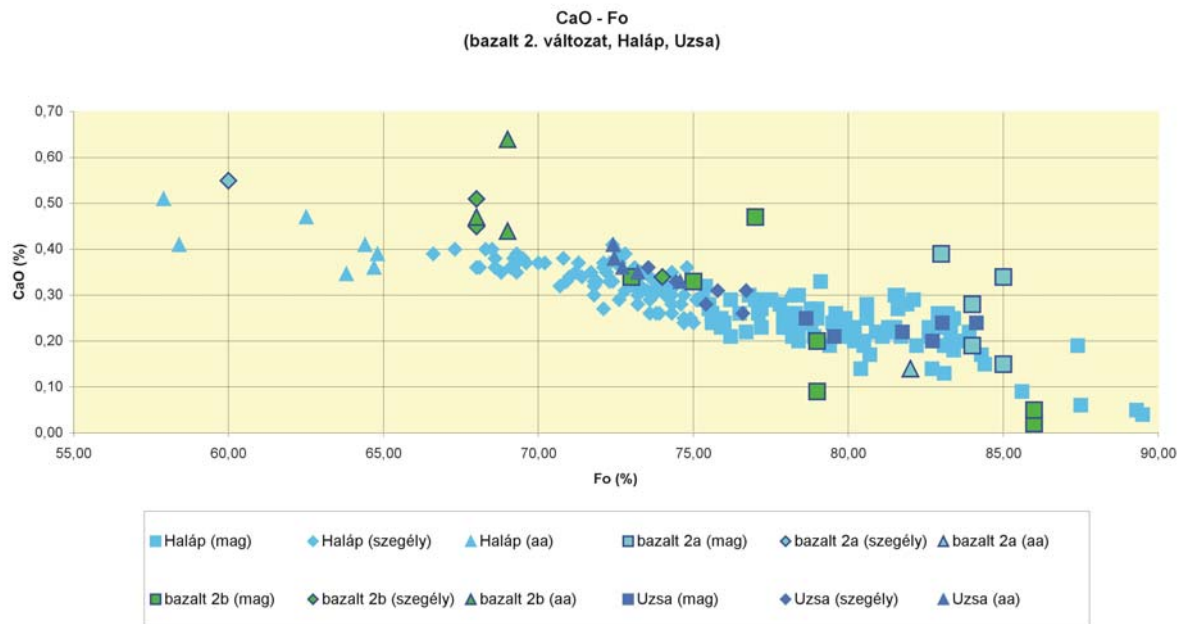
Az első bazalt-változatban található olivín összetétele a Hegyesű bazaltjában előforduló olivín

elemzési adataihoz hasonlít a legjobban (mind a magokon, mind a szegélyeken mért összetételek a geológiai mintákon mért értékek tartományába esnek, **16. ábra, melléklet 37. ábra**). A Haláp (és Uzsa) olivínjeinek szegélye magnéziumban szegényebb, mint az első bazalt-változat olivínjeinek szegélye, emellett ki kell emelni, hogy a Haláp (és Uzsa, valamint Sáromberke (Barc) és Ság-hegy) kőzeteiben az olivín az alapanyagban is megjelenik (**melléklet 38, 44, 46. ábra**). A steinbergi olivín-magok és -szegélyek összetétele nagyon hasonlít az első bazalt-változat olivínjeihez, magnézium-tartalom alapján azonban a magok és szegélyek nem különböznek el olyan élesen egymástól, mint az első bazalt-változat olivínjei (és a hegyesűi, halápi olivinek) esetében (**melléklet 39. ábra**).



16. ábra: Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, 1. bazalt-változat; Hegyestű) (Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 16.: Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines. (Archaeological finds, basalt, 1st-type; Hegyestű) (Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

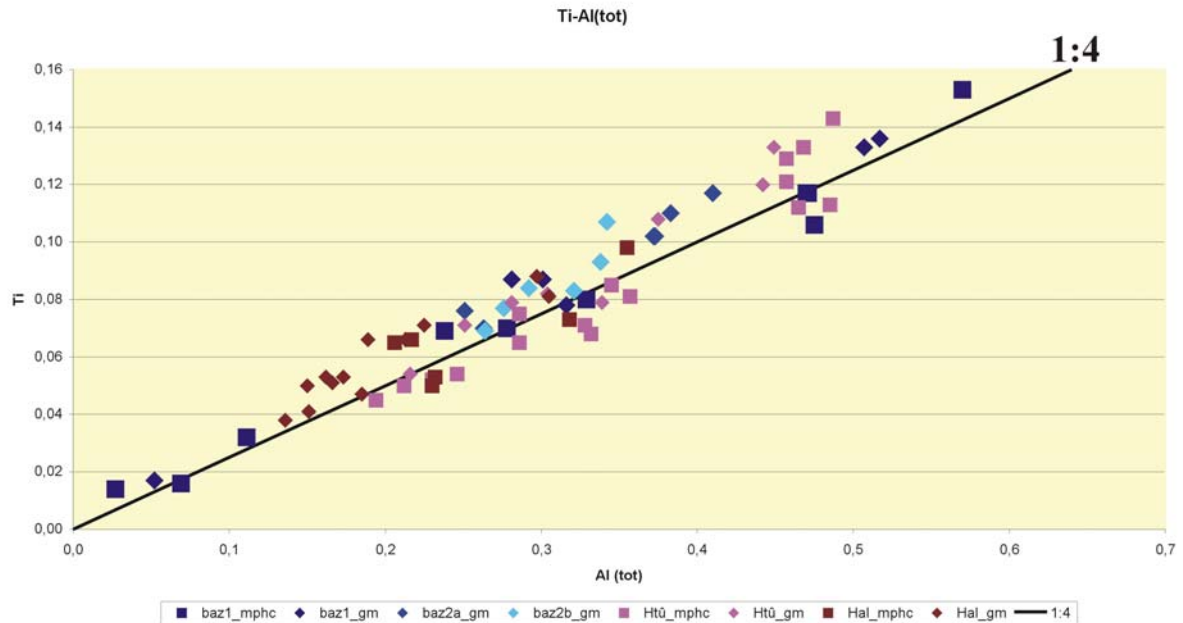


17. ábra

Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, 2. bazalt-változat; Haláp, Uzsa) (Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 17.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines. (Archaeological finds, basalt, 2nd-type; Haláp, Uzsa) (Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)



18. ábra: Ásványkémia. Titánaugitok Ti-tartalma az Al-tartalom függvényében. (Régészeti leletek; Hegyestű, Haláp) (Jelölések: mphc: fenokristály, mikrofenkristály, gm: alapanyag)

Fig. 18.: Mineral-chemistry. Ti-content as a function of Al(total)-content of titanaugites. (Archaeological finds; Hegyestű, Haláp) (Notations: mphc: phenocrysts, microphenocrysts, gm: groundmass)

Selmecbányáról csak egy-egy reprezentatív mag és szegély-összetétel állt rendelkezésre, ezek meglehetősen hasonlítanak az első bazaltváltozat olivinjeinek összetételére, bár a szegély magnézium-szegényebb, mint az első bazaltváltozathoz vizsgált régészeti minta olivinjeinek szegélye (**melléklet 39. ábra**). Stradner Kogel, Klösch és Kapfenstein lelőhelyekről az adatok a magnéziumban, illetve vasban leggazdagabb mért olivinnek összetételét jelzik (hasonló szélső-értékek szerepelnek Pálhegy és Steinberg feltüntetett értékei között is), ezek alapján mindhárom lelőhely olivinjei igen közel állnak az első bazaltváltozat olivinjeihez (**melléklet 45. ábra**). Meg kell jegyeznünk, hogy régebbi irodalomban (Poultidis & Scharbert 1986) Klösch lelőhely kőzeteiben az olivin-fenokristályok forsterit-molekula-tartalmát szűkebb tartományban (FO_{75-77}) mérték.

A második bazaltváltozatban található olivinnek összetétele ezzel szemben Haláp olivinjeinek összetételei adataihoz hasonlít a legjobban, igaz, a hasonlóság kevésbé áll fenn, mint az első típus és Hegyestű esetében (a régészeti leletek olivinjeinek CaO-tartalma magasabb, különösen a szemcsék szegélyén és az alapanyagban). Uzsá olivinjeinek összetétele is jó egyezést mutat a második bazaltváltozat eredményeivel (**17. ábra, melléklet 40. ábra**). Uzsához hasonlóan az olivin-összetételei értékek jó egyezést mutatnak a második bazaltváltozat értékeivel Sághegy, és Sáromberke (Barc)

esetében is (**melléklet 44, 46. ábra**). A többi elemzett geológiai lelőhelyen – a második bazaltváltozattal szemben – az olivin nem jelenik meg az alapanyagban.

A Balaton-felvidék további lelőhelyeinek elemzési értékei közül (**melléklet 43. ábra**) Fűzes-tó és Bondoró-hegy olivinjeinek magnézium-tartalma nagyobb, mint a régészeti leletek nyersanyagában, a Szentgyörgy-hegyi olivinéké pedig kisebb.

Selmecbányához hasonlóan csak egy-egy reprezentatív mag, illetve szegély-összetétel áll rendelkezésre Bolgárom (Bulhary), Eresztvény, Szilvás-kő és Magasmart (Brehy) lelőhelyekről (**melléklet 46. ábra**). Ezek alapján ezek a lelőhelyek nem zárhatók ki a nyersanyagforrások közül, azonban ezeket a lelőhelyeket a teljes-kőzet összetételük alapján már korábban kizártuk (ld. a 4., 6. és 7. táblázatot).

Az olivin-kristályok nikkeltartalmát ábrázolva a forsterit-molekula függvényében, az eredmények gyakorlatilag azonosak a kalcium-tartalmat ábrázoló diagramok eredményével, de meg kell jegyeznünk, hogy a második bazaltváltozat egyes olivin-kristályainak nikkeltartalma magasabb, mint a geológiai lelőhelyekről származó összehasonlító mintáké (**melléklet 47. ábra**).

9. táblázat: elektron-mikroszondás (EPMA) eredmények II: régészeti leletek, klinopiroxének**Table 9.** Results of EPMA (II.): archaeological finds, clinopyroxenes. (Notations: alapanyag: groundmass)

	bazalt 1 (I)									
	klinopiroxén mikrofenokristály									
SiO ₂	46,06	42,72	42,72	46,84	47,92	54,13	54,23	42,90	52,43	40,03
TiO ₂	2,81	4,12	4,11	2,46	2,47	0,60	0,52	3,72	1,15	5,32
Al ₂ O ₃	7,40	10,55	10,51	6,24	5,41	1,61	0,63	10,68	2,58	12,62
Cr ₂ O ₃	0,37	0,23	0,00	0,00	0,05	0,01	0,12	0,60	0,18	0,00
FeO	6,78	7,54	7,23	7,07	6,44	5,95	6,74	6,71	5,23	7,77
MnO	0,00	0,06	0,00	0,15	0,05	0,08	0,12	0,00	0,00	0,10
MgO	12,83	11,00	11,02	13,38	14,47	16,24	16,57	11,73	15,91	10,45
CaO	22,46	22,98	23,39	22,57	22,75	22,30	21,53	22,66	22,46	22,31
Na ₂ O	0,29	0,62	0,31	0,33	0,51	0,42	0,53	0,57	0,35	0,34
summa	99,00	99,82	99,29	99,04	99,77	101,34	100,99	99,57	100,29	98,94
Si	1,738	1,617	1,622	1,769	1,791	1,962	1,978	1,620	1,920	1,532
Al (IV)	0,262	0,383	0,378	0,231	0,209	0,038	0,022	0,380	0,080	0,468
Al (VI)	0,068	0,088	0,093	0,047	0,029	0,031	0,005	0,095	0,032	0,102
Ti	0,080	0,117	0,117	0,070	0,069	0,016	0,014	0,106	0,032	0,153
Cr	0,011	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,018	0,005	0,000
Fe	0,214	0,238	0,229	0,223	0,201	0,180	0,205	0,211	0,160	0,248
Mn	0,000	0,002	0,000	0,005	0,002	0,002	0,004	0,000	0,000	0,003
Mg	0,721	0,620	0,623	0,753	0,789	0,877	0,900	0,660	0,868	0,596
Ca	0,908	0,932	0,951	0,913	0,911	0,866	0,841	0,917	0,881	0,915
Na	0,021	0,045	0,023	0,024	0,037	0,029	0,037	0,042	0,025	0,025
Al (tot)	0,329	0,471	0,470	0,278	0,238	0,069	0,027	0,475	0,111	0,570
Mg-érték	0,771	0,723	0,731	0,772	0,797	0,830	0,814	0,758	0,844	0,706
Al(VI)/Al(IV)	0,26	0,23	0,25	0,20	0,14	0,82	0,23	0,25	0,40	0,22

	bazalt 1 (folyt)					
	klinopiroxén (alapanyag)					
SiO ₂	46,37	40,71	46,09	53,19	41,59	47,11
TiO ₂	2,77	4,72	3,06	0,61	4,67	3,11
Al ₂ O ₃	7,12	11,44	6,75	1,20	11,31	6,42
Cr ₂ O ₃	0,14	0,47	0,20	0,00	0,15	0,10
FeO	8,13	7,99	7,12	5,71	7,45	8,03
MnO	0,19	0,00	0,05	0,22	0,29	0,00
MgO	12,62	10,79	13,05	16,57	11,01	13,30
CaO	22,09	22,41	22,50	22,45	22,42	22,38
Na ₂ O	0,20	0,54	0,26	0,49	0,57	0,48
summa	99,63	99,07	99,08	100,44	99,46	100,93
Si	1,747	1,560	1,742	1,951	1,581	1,752
Al (IV)	0,253	0,440	0,258	0,049	0,419	0,248
Al (VI)	0,063	0,077	0,043	0,003	0,088	0,034
Ti	0,078	0,136	0,087	0,017	0,133	0,087
Cr	0,004	0,014	0,006	0,000	0,005	0,003
Fe	0,256	0,255	0,225	0,175	0,236	0,249
Mn	0,006	0,000	0,002	0,007	0,009	0,000
Mg	0,708	0,616	0,735	0,905	0,624	0,737
Ca	0,892	0,920	0,911	0,882	0,913	0,892
Na	0,015	0,040	0,019	0,035	0,042	0,035
Al (tot)	0,316	0,517	0,301	0,052	0,507	0,281
Mg-érték	0,734	0,707	0,766	0,838	0,726	0,747
Al(VI)/Al(IV)	0,25	0,18	0,17	0,06	0,21	0,14

9. táblázat, folyt.

Table 9. cont.

	bazalt 2a						bazalt 2b					
	klinopiroxén (alanyag)						klinopiroxén (alanyag)					
SiO ₂	45,04	44,85	47,13	47,31	44,86	44,01	46,62	47,42	45,62	47,44	44,38	46,29
TiO ₂	3,93	3,60	2,69	2,49	3,59	4,12	2,97	2,73	3,28	2,44	3,72	2,93
Al ₂ O ₃	8,73	8,38	5,65	5,93	8,37	9,22	6,54	6,24	7,60	5,97	7,59	7,21
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,21	0,00	0,22	0,00	0,17	0,00	0,05	0,00	0,07	0,05
FeO	7,68	8,44	7,50	7,58	8,01	8,13	7,05	7,99	7,65	7,57	8,01	7,64
MnO	0,03	0,34	0,14	0,06	0,07	0,13	0,13	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00
MgO	12,13	11,34	12,94	13,10	11,77	11,26	12,48	12,80	12,31	13,27	11,72	12,17
CaO	23,02	22,57	22,72	22,35	22,36	22,64	22,43	22,29	22,20	22,33	22,51	22,59
Na ₂ O	0,58	0,52	0,62	0,70	0,73	0,58	0,43	0,57	0,64	0,57	0,57	0,53
summa	101,16	100,04	99,60	99,52	99,98	100,09	98,82	100,04	99,38	99,59	98,68	99,41
Si	1,677	1,694	1,777	1,781	1,692	1,661	1,765	1,777	1,723	1,783	1,699	1,747
Al (IV)	0,323	0,306	0,223	0,219	0,308	0,339	0,235	0,223	0,277	0,217	0,301	0,253
Al (VI)	0,060	0,067	0,028	0,044	0,064	0,071	0,057	0,052	0,062	0,047	0,041	0,067
Ti	0,110	0,102	0,076	0,070	0,102	0,117	0,084	0,077	0,093	0,069	0,107	0,083
Cr	0,001	0,000	0,006	0,000	0,007	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001
Fe	0,239	0,266	0,236	0,238	0,252	0,256	0,223	0,250	0,241	0,237	0,256	0,241
Mn	0,001	0,011	0,004	0,002	0,002	0,004	0,004	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000
Mg	0,673	0,638	0,727	0,735	0,661	0,633	0,704	0,714	0,693	0,743	0,668	0,684
Ca	0,918	0,913	0,918	0,901	0,903	0,915	0,910	0,895	0,898	0,899	0,923	0,913
Na	0,042	0,038	0,045	0,051	0,053	0,042	0,032	0,041	0,047	0,041	0,042	0,039
Al (tot)	0,383	0,373	0,251	0,263	0,372	0,410	0,292	0,276	0,338	0,264	0,342	0,321
Mg-érték	0,738	0,706	0,755	0,755	0,724	0,712	0,759	0,741	0,742	0,758	0,723	0,739
Al(VI)/Al(IV)	0,19	0,22	0,13	0,20	0,21	0,21	0,24	0,23	0,22	0,22	0,14	0,26

Klinopiroxén

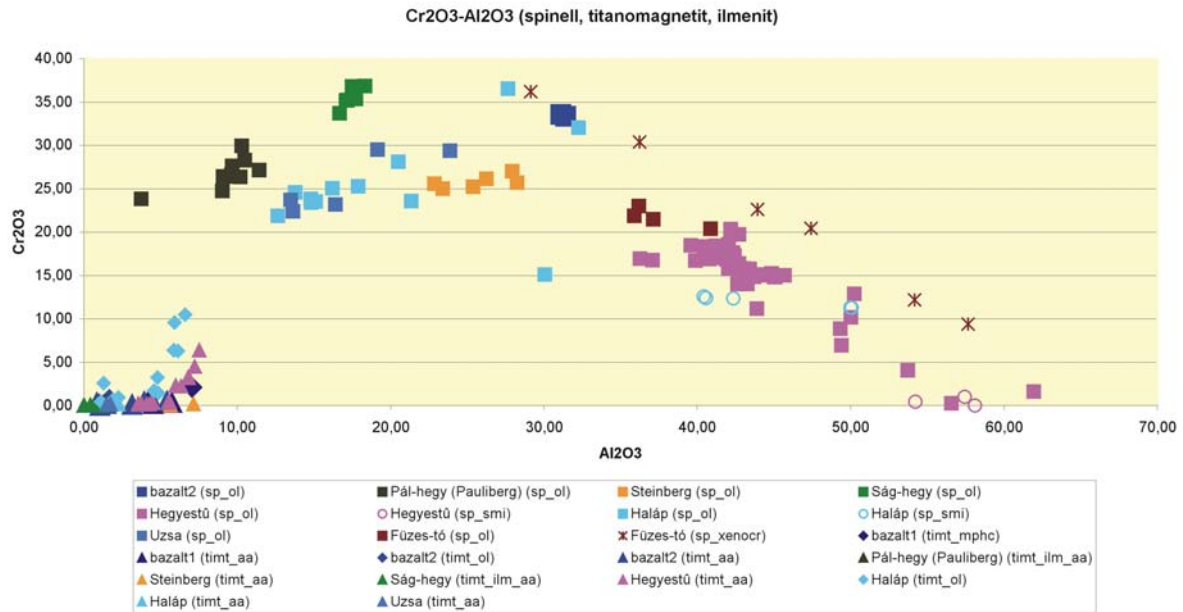
A régészeti leletekről készült elektronmikroszkopos elemzéseket (klinopiroxén fenokristályok és az alanyagban található klinopiroxén kristályok összetétele, **9. táblázat**) szintén összehasonlítottuk a fiatal bazaltok klinopiroxénjeinek összetételével, a közelmúltban megjelent irodalomban szereplő elemzések adatai alapján (Dobosi 1989, Dobosi et al. 1991, Kóthay 2009, Jankovics et al. 2009).

A régészeti leletek anyagában a klinopiroxén csoportot csak titánaugit-kristályok képviselik az alanyagban (valamint az első bazalt-változatban mikrofénokristályként is titánaugit fordul csak elő).

A klinopiroxének legfontosabb jellemzőit az alábbiakban foglaljuk össze:

A régészeti leletek anyagában (első és második bazalt-változat) előforduló klinopiroxének TiO₂-tartalma 0,52-5,32 % között, Al₂O₃-tartalma 0,63-12,62 % között változik.

Mindkét bazalt-változat klinopiroxénjeinek titán-alumínium-arányai jól illeszkednek az 1:4 egyenesre (**18. ábra, melléklet 48. ábra**). Ez az arány jellemző a Balaton-felvidéki bazaltokban megjelenő titánaugit-kristályokra (Dobosi 1989), és a Grazi-medence bazaltjainak alanyagában és mikrofénokristályként megjelenő klinopiroxénekre (Dobosi et al. 1991). A nógrádi bazaltok titánaugitjai között az 1:4-aránynál kisebb értékek is nagy számban megfigyelhetők (egészen 1:8-arányig) (Dobosi 1989), a Pál-hegy (Pauliberg) bazaltjaiban pedig magasabb (1:3, 1:2) arány jellemző (Dobosi et al. 1991).



19. ábra: Ásványkémia. Spinellek, titanomagnetitek, ilmenitek Cr₂O₃-tartalma az Al₂O₃-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, geológiai lelőhelyek) (Jelölések: sp_ol: spinell zárvány olivinben, sp_smi: spinell szilikát-olvadék zárványban, sp_xenocr: spinell olivin xenokristályban, timt_mphc: titanomagnetit mikrofenokristály, timt_aa: titanomagnetit az alapanyagban, timt_ol: titanomagnetit zárvány olivinben, timt_ilm_aa: titanomagnetit és ilmenit az alapanyagban)

Fig. 19.: Mineral-chemistry. Cr₂O₃-content (wt%) as a function of Al₂O₃-content (wt%) in spinel, titanomagnetite and ilmenite. (Archaeological finds, geological localities) (Notations: sp_ol: spinel inclusion in olivine, sp_smi: spinel in silicate melt inclusion, sp_xenocr: spinel inclusion in olivine xenocryst, timt_mphc: titanomagnetite as a microphenocryst, timt_aa: titanomagnetite in the groundmass, timt_ol: titanomagnetite inclusion in olivin, timt_ilm_aa: titanomagnetite and ilmenite in the groundmass)

A régészeti leletek klinopiroxénjeinek magnézium-száma (0,71-0,84) is a Pannon-medence fiatal bazaltjaira jellemző tartományba (0,69-0,86, Dobosi 1989) esik, és ezekhez ugyancsak hasonlóan a titán-, illetve alumínium-tartalom növekedésével a magnézium-szám csökken (Dobosi 1989, Dobosi et al. 1991) (**melléklet 49. ábra**).

A zónás mikrofenokristályokban a magtól a külső zónák felé az alumínium-, titán- és vastartalom növekszik, míg a szilícium- és magnézium-tartalom csökken, csakúgy, mint a Balaton-felvidéki bazaltokban általában (Dobosi 1989). Az Al^{VI}/Al^{IV}-arány a vizsgálat minták klinopiroxénjeiben uralkodóan 0,06-0,40 között változik (mindössze egy mikrofenokristályban mértünk 0,82-es arányt), az átlagérték 0,20 (a kiugró érték figyelembe vételével 0,22). Ezek az értékek egybeesnek a Balaton-felvidéki bazaltok piroxénjeire jellemző Al^{VI}/Al^{IV} értékekkel (arány: 0,04-0,57 között, átlag:

0,29, Dobosi 1989). A nógrádi bazaltokra jellemző Al^{VI}/Al^{IV} értékek magasabbak (arány: 0,40-1,02 között, átlag: 0,60, Dobosi 1989), a Grázi-medence és Pálhegy (Burgenland) bazaltjaira azonban a Balaton-felvidékihez hasonló, alacsony értékek a jellemzőek, kivéve Stradner Kogel lelőhelyet, ahol a nógrádi bazaltoknál is magasabb értékek jellemzőek (Dobosi et al. 1991).

A klinopiroxének összetétele alapján tehát a régészeti leletek nyersanyaga a Balaton-felvidéki és a Grázi-medencei bazaltok közül is kikerülhetett. A nógrádi és burgenlandi vizsgált lelőhelyek (és a Grázi-medencéből Stradner Kogel) klinopiroxénjeinek összetétele eltér a régészeti leletekben mért értékektől. Azonban az egyes Balaton-felvidéki, illetve Grázi-medencei lelőhelyek között a klinopiroxének összetétele alapján nem tudunk a régészeti leletek nyersanyag-eredete szempontjából további különbséget tenni.

Földpátok

A régészeti leletek anyagát adó bazalt-változatokban az alapanyag plagioklászainak összetétele egymáshoz nagyon hasonló (1. változat: $An_{56,4}-An_{66,5}$; 2. változat: $An_{58,2}-An_{62,2}$).

A geológiai minták közül a hegyestűi bazalt alapanyagában a plagioklászok valamivel ($An_{62,3}-An_{69,2}$), a mikrofenokristályként megjelenő földpátok még inkább ($An_{71,2}-An_{71,7}$) bázisosabbak (Kóthay 2009), mint az elemzett régészeti leletek.

Ugyancsak bázisosabbak a Prága-hegy (Sümeprága) felsőbb részein megjelenő, durvább szemcséjű bazalt alapanyagának plagioklászai (An_{60-75}), valamint a Sarvally-hegy (Sümeprága) bazaltjának alapanyagában megjelenő, labradoritos-bytownitos plagioklászok (An_{60-74}) (Jugovics 1959b).

A Haláp savanyúbb összetételű bazaltjain végzett mérések alapján az alapanyagban megjelenő plagioklászok összetétele változatosabb ($An_{41,8}-An_{94,8}$, a két kiugró értéket (1-1 db mérés) elhagyva: $An_{46,1}-An_{64,7}$) (Kóthay 2009).

A steinbergi bazalt-minták alapanyagában a plagioklászok összetétele a halápiakéhoz hasonló, szélesebb tartományban mozog ($An_{46}-An_{76}$). (Dobosi et al. 1991)

A klöchi nefelinbazanit alapanyagában megjelenő plagioklász labradoritos összetételű ($An_{54}-An_{60}$) (Poultidis & Scharbert 1986).

Pál-hegy (Pauliberg) vizsgálat bazaltjaiban a plagioklászok összetétele változatos, a régészeti leletek anyagában megjelenő plagioklászoknál lényegesen savanyúbb kristályok is megjelennek ($An_{20}-An_{65}$). (Dobosi et al. 1991)

A Füzes-tói bazaltok plagioklászaira a régészeti leletek anyagához hasonló összetétel jellemző ($An_{62}-An_{65}$) (Jankovics et al. 2009)

A Ság-hegyi plagioklászok összetétele a régészeti leletek anyagában megjelenő plagioklászokénál savanyúbb ($An_{40}-An_{53}$). (Mauritz & Harwood 1937).

Alkáli-földpát a régészeti leletek nyersanyagában csak a kéreg-zárvány körüli reakció-szegélyben jelenik meg ($An_1Ab_{30}Or_{69}$), az alapanyagban nem.

A Balaton-felvidék bazaltos kőzeteiből szanidint írtak le a Szebikéről (plagioklászra növekedett szanidin-burok; Mauritz 1948), és a Badacsonyból ("repedésekben, morzsás tömegekben"; Mauritz, 1948).

Vitális "nátronmikroklint vagy nátronortoklász" írt le az alábbi, az általa felállított csoportosításban a "magnetites ilmenites nefelines bazanitoid" csoportba sorolt lelőhelyeknél: Szigliget, Hegyes, Csobánc, Köves-hegy, Bondoró-hegy, Királykő-

Fekete-hegy északi része (a Kecske-hegy és a Kálomis-tó vidéke), Tátika-Lázi csoport, Fertős-hegy, Szebike alja, Tátika alja, Sümeprága (bazaltbánya), Sarvally-hegy, Szentgyörgy-hegy (Apáti felé néző része), Tóti-hegy (Káptalantóti), Tik-hegy, Oláh-hegy, Nyires, Somlyó északi része, valamint a Balaton déli partján Fonyód (Vitális 1904).

A Kisalföldről a Ság-hegy kőzeteiből az alapanyag plagioklászait "burkoló" szanidint, valamint anortoklászot írtak le (Mauritz & Harwood 1937).

A Grazi-medence és Burgenland bazaltjai között a steinbergi és klöchi kőzetekben mutattak ki az alapanyagban alkáli-földpátokat: anortoklászot ($Ab_{56}Or_{39}An_5$) és szanidint ($Ab_{32}Or_{64}An_4$) a steinbergi nefelinitben (Poultidis & Scharbert 1986); $Ab_{60}Or_{40}-Ab_{50}Or_{50}$ -összetételű alkáli-földpátokat a steinbergi nefelinbazanitban (Dobosi et al. 1991); szanidint a klöchi nefelinbazanitban (Poultidis & Scharbert 1986). A Pál-hegy kőzeteiben a szanidin önállóan és plagioklász "burkolva" is megjelenik, valamint plagioklásszal és/vagy szanidinnel összenőtt anortoklász is előfordul (Mauritz 1948).

Leucit

Az első bazalt-változat alapanyagában előforduló leucit összetétele (K_2O (m%): 20,64-20,98; Al_2O_3 (m%): 23,02-23,62; SiO_2 (m%): 54,2,4-56,11) igen közel áll az ideális leucit-összetételhez (Kubovics 1993). Ezzel gyakorlatilag megegyező összetételű leucit-szemcsék találhatók a Hegyestű bazaltjának alapanyagában is (K_2O (m%): 19,61-21,50; Al_2O_3 (m%): 22,75-23,57; SiO_2 (m%): 54,82-55,78) (Kóthay 2009). Az egyetlen apró különbség az, hogy míg a hegyestűi leucitba igen kis mennyiségben vas és nátrium épült be (Kóthay 2009), addig a régészeti leletek anyagában található leucitba a vas és nátrium mellett szintén igen kis mennyiségben (0,10-0,49 % CaO) kalcium is (meg kell jegyeznünk, hogy Kóthay nem mérte a leucit kalcium-tartalmát (Kóthay 2009)).

Az első bazalt-változathoz teljes-kémiai összetétel, illetve olivin-, klinopiroxén-összetétel alapján hasonló geológiai lelőhelyek kőzetei (Haláp, Steinberg, Klöch) nem tartalmaznak leucitot (Dobosi et al. 1991, Sági 2008, Kóthay 2009).

Irodalmi leírások szerint leucit előfordul a Somló (Mauritz 1948) és a Badacsony bazaltjában is ("üvegszerű alapanyag módjára tölti ki a hézagokat" Mauritz 1948), Fenyvestetőn üregkitöltő-ásványként (Mauritz 1948), ezek modern, elektron-mikroszondás elemzése azonban eddig még nem történt meg.

Spinell

A második bazalt-változat olivin-xenokristályában zárványként megjelenő króm-spinell összetétele

leginkább a halápi bazaltban néhány olivin-kristályban zárványként megjelenő spinell és a Fűzes-tói bazaltban néhány xenokristályként megjelenő spinell összetételére hasonlít. (19. ábra, melléklet 50-53. ábra)

A halápi bazalt olivin-kristályaiban zárványként megjelenő spinellek összetétele változatos, (Kóthay 2009), csakúgy, mint a Fűzes-tói bazalt spinell-xenokristályainak összetétele (Jankovics et al. 2009).

Az uzsai bazaltban olivin-kristályban zárványként megjelenő spinellek összetétele a halápi hasonló helyzetben megjelenő spinellek változatos összetételi tartományában mozog, króm-, magnézium- és alumínium-tartalmuk alacsonyabb, mint a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékek (Sági 2008, Kóthay 2009).

A hegyestűi bazaltban olivin-kristályban zárványként megjelenő spinellek összetétele szintén változatos, de króm-tartalmuk alacsonyabb, alumínium-tartalmuk magasabb, mint a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékek (Kóthay 2009). A fűzes-tói bazalt spinell-xenokristályainak összetétele is hasonló tartományban változik, és a fűzes-tói bazalt olivin-kristályaiban zárványként megjelenő spinellek összetétele is a hegyestűi hasonló megjelenésű spinellek összetételi tartományába esik (Jankovics et al. 2009).

A Pál-hegyi (paulibergeri) spinell-zárványok magnézium- és alumínium-tartalma alacsonyabb, vas-tartalma magasabb, mint a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékek (Sági 2008).

A steinbergi spinell-zárványok króm-tartalma alacsonyabb, vas-tartalma magasabb, mint a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékek, míg az alumínium- és magnézium-tartalom egyes esetekben megközelíti a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékeket (Sági 2008).

A Ság-hegyi spinell-zárványok alumínium- és magnézium-tartalma alacsonyabb, vas-tartalma magasabb, mint a második bazaltváltozat króm-spinelljein mért értékek (Sági 2008).

Opak ásványok (titanomagnetit, magnetit, ilmenit)

Opak ásványszemcsék változatos méretben és szöveti helyzetben találhatók a régészeti leletek és a geológiai lelőhelyekről származó minták anyagában. A régészeti leletek nyersanyagában mikrofénokristályként (első bazalt-változat), olivinben önálló zárványként és összetett zárvány részeként (második bazalt-változat), valamint az alapanyagban (mindkét bazalt-változat) megtalálhatók titanomagnetit-kristályok.

Összetételük nagyon hasonló (melléklet 50-53. ábra), bár az első bazalt-változat opak-szemcséinek titán-tartalma alacsonyabb, magnézium-tartalma magasabb a második-változat opak-szemcséinek megfelelő értékeinél, és az első változat mikrofénokristályában a króm-tartalom is meghaladja a 2%-ot (szemben a többi titanomagnetit 0,7% alatti értékeivel).

Hasonló összetételű titanomagnetitek megtalálhatóak az összes fentebb már említett geológiai lelőhely alapanyagában (Sági 2008, Kóthay 2009, Jankovics et al. 2009), egyetlen kivétel a Pál-hegy (Pauliberg), amely esetében az alapanyag titanomagnetitjeinek vas-tartalma magasabb (Sági 2008). Ugyancsak hasonló összetételű titanomagnetitek a halápi bazaltban olivin zárványaként is megjelennek (csakúgy, mint a régészeti leletek nyersanyagának második változatában) (Kóthay 2009).

A Fűzes-tói bazalt alapanyagában magnetit (FeO: 80,42-81,25%, TiO₂: 0,35-0,53%) is előfordul (Jankovics et al. 2009).

Haláp, Ság-hegy és Pál-hegy (Pauliberg) bazaltjának alapanyagában pedig a titanomagnetit mellett ilmenit is előfordul (TiO₂: 49,09-51,65% (Haláp, Kóthay 2009); 49,35-52,98% (Ság-hegy, Sági 2008); 50,21-50,62% (Pál-hegy), Sági 2008).

Xenolitok

Köpeny-eredetű olivin-xenokristályok (valamint ortopiroxén- és spinell-xenokristályok), ezen kívül kéregeredetű kvarcit zárványok több lelőhelyen is előfordulnak (pl. Badacsony (Mauritz 1948), Fűzes-tó (Jankovics et al. 2009), Hajagos (Diszel) (Mauritz 1958), Haláp (Mauritz 1937, 1958, Kóthay 2009), Hegyestű (Kóthay 2009), Kálomistó környéke (Királykő-Fekete-hegy északi része) (Vitális 1904), Kovácsi-hegy (Mauritz 1931), Ság-hegy (Mauritz & Harwood 1937, Sági 2008), Sátormál (Vitális 1904), Szentgyörgy-hegy (Kónya 2009), Uza (Mauritz 1958, Sági 2008))

Kéreg-eredetű kvarcit-zárványok reakciókoronáját a Bárna közelében található Nagykő (Nógrád) és Hegyestű (Balaton-felvidék) lelőhelyek bazaltjaiban vizsgálták részletesen. A nógrádi lelőhelyre jellemző, hogy a xenolitok reakciókoronája diopszid-kristályokból (és alárendelt mennyiségű kőzetüvegből) áll, míg a hegyestűi xenolitok reakciókoronájában elkülöníthető egy kőzetüveg- és egy klinopiroxén-zóna. Egyik lelőhelyen sem tartalmaznak a reakciókoronák alkáli-földpátot (Kovács et al. 2003, Kóthay 2009).

További diszkusszió (ásványos összetétel és szövet)

Az alábbiakban az ásványkémiai fejezetben részletesen elemzett geológiai lelőhelyek rövid mikroszkópos (ásványos összetételi, illetve szöveti)

leírásait gyűjtöttük egybe, kiegészítve azon geológiai lelőhelyek leírásaival, amelyekről nem álltak rendelkezésre részletes ásványkémiai elemzések, de teljes-kőzet-összetétel alapján a régészeti leletek nyersanyagaként szóba jöhetnek. Terjedelmi okokból a lelőhelyek többségénél igyekeztünk csak a geológiai lelőhelyekről származó bazaltos kőzetek ásványos összetételében és szövetében a régészeti leletek nyersanyagához képest fennálló különbségekre kitérni (a hasonlóságokra tehát – pl. iddingzitesedett szegélyű olivin-fenokristályok – itt nem térünk ki).

A rendelkezésre álló polarizációs mikroszkópos leírások alapján a hegyestűi bazalt szöveti képe nagyon hasonló az első bazalt-változathoz:

- a fenokristályok nagy része olivin, méretük és megjelenésük (0,2-1 mm-es átlagméret, egyes szemcsék elérhetik a 3 mm-t is, nagy részük idiomorf, általában önállóan jelennek meg, de kumulátumok is előfordulnak) megegyezik az első bazalt-változat olivinjeivel,

- fenokristályként megjelenik klinopiroxén is, de mérete kisebb mint az olivineké (legfeljebb 1 mm), idiomorf, hipidiomorf megjelenésűek, összetételük alapján titánaugitok,

- az alapanyagban plagioklász és klinopiroxén mellett opakásványok (titanomagnetit) mellett leucit (és alárendelt mennyiségben apatit) is megjelenik. (Kóthay 2009)

A halápi bazalt szöveti képe nagyon hasonló a második bazalt-változathoz:

- fenokristályként szinte csak olivin található, méretük és megjelenésük (0,2-1,5 mm-es átlagméret, egyes szemcsék elérhetik a 4 mm-t is, idiomorf, hipidiomorf megjelenésűek, általában önállóan jelennek meg, de kumulátumok is előfordulnak) megegyezik a második bazalt-változat olivinjeivel,

- az alapanyagban plagioklász és klinopiroxén mellett kevés olivin, sok opakásvány (magnetit, titanomagnetit, kevés ilmenit) jelenik meg.

Fontos eltérés az ilmenit jelenléte (Vitális 1904, Kóthay 2009), és az, hogy a halápi minták alapanyaga teljesen kristályos, míg a második bazalt-változat alapanyaga kevés (kevesebb, mint 10%) kőzetüveget is tartalmaz. (Jugovics 1959a, Kóthay 2009). A halápi savanyúbb összetételű bazalt teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Uzsa szöveti kép és ásványos összetétel (Sági 2008) alapján nem, de teljes-kőzet-összetétel és ásványkémiai elemzés alapján kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Stradner Kogel: a kőzet fenokristályként klinopiroxént tartalmaz, mikrofenokristályként

klinopiroxént és nefelint (Dobosi et al. 1991). Alapanyagában klinopiroxén mellett nefelin, haüyn és opakásványok vannak jelen (Poultidis & Scharbert 1986). Nemcsak petrográfiailag, hanem teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Steinberg (nefelinbazanit): a fenokristályok között olivin és klinopiroxén is megjelenik, utóbbiak mérete megegyezik az olivinekével. Mikrofenokristályként klinopiroxén és plagioklász is megjelenik. Holokristályos alapanyagában klinopiroxén, plagioklász és opakásványok mellett nefelin és alkáli-földpát is megjelenik (Poultidis & Scharbert 1986, Dobosi et al. 1991, Sági 2008). Főként petrográfiai jellemzői alapján (nefelin jelenléte) zárható ki a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Steinberg (nefelinit): a fenokristályok között klinopiroxén és olivin is megjelenik, az alapanyagban klinopiroxén, nefelin, alkáli-földpát és opakásványok vannak jelen (Poultidis & Scharbert 1986). Főként petrográfiai jellemzői alapján (nefelin jelenléte) zárható ki a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Klöch: a fenokristályok között olivin és klinopiroxén is megjelenik, utóbbiak mérete megegyezik, sőt meghaladja az olivinekét, a nagyméretű klinopiroxén-kristályok magja korrodált (Dobosi et al. 1991). Alapanyagában nefelin, analcim és alkáli-földpát (szanidin) is megjelenik (Poultidis & Scharbert 1986). Nemcsak az ásványos összetétel, hanem teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Kapfenstein: hólyagüreges, vitrofios szövet, a fenokristályok között olivin, klinopiroxén és plagioklász jelenik meg, mikrofenokristályként (10-40 µm) klinopiroxén (Kurat et al. 1980, Dobosi et al. 1991). A többi lelőhelyhez képest nagyon kevés adat áll rendelkezésre (mindössze egy magnézium- és egy vasdús olivin-szélsőértékkel rendelkezünk, egyéb ásványkémiai adat, teljes kőzet kémiai elemzés nem áll rendelkezésre), ezért csak szöveti képe alapján zárható ki a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Pál-hegy (Pauliberg): a fenokristályok között szinte csak olivin jelenik meg, méretük nem haladja meg az 1 mm-t. A fenokristályok szegélye gyakran rezorbeált. Az olivin fenokristályok szegélyén néhol kis mennyiségű biotit (illetve flogopit) is megjelenik. Opakásványok mikrofenokristályként is megjelennek, olivin-, klinopiroxén- és néhol földpát-zárványokkal. Az alapanyagban titanomagnetit mellett ilmenit is megjelenik. (Dobosi et al. 1991, Sági 2008) Meg kell jegyezzük, hogy korábbi irodalomban közölt mikroszkópos leírás alapján uralkodó elegyrész a plagioklász (akár 3 mm-es fenokristályok is) és a

barna augit, valamint önálló kristályként és plagioklász körülvevő "burokként" is megjelenik szanidin, valamint plagioklással és/vagy szanidinnel összenőtt anortoklász. Ritkán nefelin is előfordul. Igen ritkán biotit és amfibol, valamint analcim (főként földpátban zárványként) is található a kőzetben (Mauritz 1948). Az eltérő ásványos összetétel mellett a teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Ság-hegy: a fenokristályok között szinte csak olivin jelenik meg. A fenokristályok szegélye gyakran rezorbeált. Nagyon kis mennyiségben biotit és alkáliföldpát is megjelenik az alapanyagban. Az alapanyagban titanomagnetit mellett ilmenit is megjelenik. (Sági 2008) Meg kell jegyezzük, hogy korábbi irodalomban közölt mikroszkópos leírás alapján a Ság-hegy kőzetének "jellemző elegyrésze a biotit" és a plagioklászok gyakran szanidin-burokban vannak, valamint anortoklász is előfordul a kőzetben (Mauritz & Harwood 1937). Az eltérő ásványos összetétel mellett a teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Füzes-tó: közepesen vagy erőteljesen hólyagüreges szövet, a fenokristályok között az olivin mellett klinopiroxén és plagioklász is megjelenik, mikrofeno-kristályként olivin, klinopiroxén, plagioklász és opak-ásványok vannak jelen. (Jankovics et al. 2009). Az eltérő ásványos összetétel mellett a teljes-kőzet-összetétel alapján is kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

A teljes-kőzet-összetétel alapján lehetséges nyersanyagforrásként azonosított lelőhelyek közül néhányról nem állnak rendelkezésre ásványkémiai adatok. Irodalomban közölt polarizációs mikroszkópos leírások alapján azonban az alábbiakban ezen lelőhelyek bazaltos kőzeteinek ásványos összetételét és szövetét is össze tudjuk hasonlítani a régészeti leletek anyagával.

Kissomlyó: A fenokristályok között főként klinopiroxén jelenik meg, kisebb mennyiségű olivinnel, a klinopiroxén-fenokristályok mérete nagyobb, mint az olivin-fenokristályoké. A klinopiroxén-fenokristályok (augitok) erősen zónásak, gyakran sötétbarna, rezorbeált maggal. Az alapanyagban kis méretű, teljesen opacitosodott szemcsék találhatóak, amelyek piroxén, vagy amfibol utáni pszeudomorfózáként értékelhetők. (Oláh et al. in press.) Szöveti képe és az említett ásványfázisok megjelenése alapján kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

Badacsony: Az olivin-fenokristályok szerpentinesedtek, alapanyagában leucit ("gyakran üvegszerű alapanyagként tölti ki a hézagokat"), nefelin és analcim is megtalálható. "Lényeges szerepet" játszik a biotit (gyakran szerpentinesedett olivinnel, vagy piroxénnel összenöve jelenik meg,

vagy önálló, 100-150 µm-es pikkelyeket alkot). (Mauritz 1948)

Vitális a Badacsonyt az általa felállított csoportosításban a "magnetites ilmenites nefelines bazanitoid" csoportba sorolta (Vitális 1904), amelyben a nefelint önálló kristályként ugyan nem találta meg, "mezosztázisként" igen. Vitális ebben a csoportjában alkáli-földpátot: "nátronmikroklint vagy nátronortoklász" is leír (Vitális 1904).

Hajagos (Diszel): A biotit "általánosan el van terjedve" (Mauritz 1948). Ez kizárná ezt a lelőhelyet a lehetséges nyersanyagforrások közül, azonban Mauritz ugyancsak biotitot ír le a hegyestúti bazaltban ("analcim?" mellett), ugyanakkor azonban biotit jelenlétét a későbbi, korszerűbb műszeres vizsgálatok nem igazolták (Kóthay 2009). (Mindezek alapján Mauritz biotitleírásait csak akkor vettük figyelembe kizáró tényezőként, ha a biotit előfordulását korszerűbb műszeres vizsgálatok is igazolták (pl. Pál-hegy (Pauliberg), Ság-hegy)).

Bár Vitális a Hajagos-hegy kőzeteit tanulmányozta, nem sorolta be egyik általa felállított csoportba sem ("magnetites ilmenites nefelines bazanitoid", "ilmenites magnetites földpátos bazalt", "limburgitoidok: augitos limburgitoid, rombos piroxént tartalmazó limburgitoid, biotitos-amfibolos limburgitoid"), azaz ilmenitet, rombos piroxént, biotitot, amfibolt nem talált a kőzetben (Vitális 1904).

A Halom-hegy (Mencshely) kőzetét Vitális az általa felállított csoportosításban a "biotitos amfibolos limburgitoid" csoportba sorolta, azaz biotitot és amfibolt is talált a kőzetben (Vitális 1904).

Prága-hegy (Sümeprága), alsó, fekete, oszlopos bazalt: fenokristályként olivin (a nagyobb példányokon kezdődő szerpentinesedés) és földpát van jelen, körülbelül egyenlő arányban. Az alapanyagban piroxén (augit) mellett kevés földpát van jelen, valamint ilmenit (csoportosan, sorokba rendeződve, vagy "fenyőfaserű" képleteket alkotva megjelenő tük), apatit és zeolit (phillipsit). (Jugovics 1959b)

Prága-hegy (Sümeprága), felső, sötétszürke, pados-lemezes bazalt: szövete durvább, nagyobb szemcséjű, mint az alsó, oszlopos bazalté (szabad szemmel is láthatóak 2-3 mm-es, barnászöld olivinszemcsék, földpát-lécek, néhány augit-szemcse). Fenokristályként csak olivin jelenik meg (a nagyobb szemcséket a kezdődő szerpentinesedés apróbb szemcsékre tagolja). Az alapanyagban csoportokban megjelenő piroxén (augit) mellett plagioklász (An₆₀₋₇₅), magnetit, apatit, analcim, kevés kőzetüveg, ilmenit van jelen.

"A Prága-hegy kőzete rideg, nem hasad (kockakőfaragásra alkalmatlan), de elsőrendű zúzottkő, terméskő-nyersanyag." (Jugovics 1959b)

Hegyesd: A fenokristályok között főként klinopiroxén jelenik meg, kisebb mennyiségű olivinnel, a klinopiroxén-fenokristályok mérete nagyobb, mint az olivin-fenokristályoké. A klinopiroxén-fenokristályok (augitok) erősen zónásak, gyakran sötétbarna, rezorbeált maggal. Az alapanyagban kis méretű, teljesen opacitosodott szemcsék találhatóak, amelyek piroxén, vagy amfibol utáni pszeudomorfózáként értékelhetők. (Oláh et al. in press.) Szöveti képe és az említett ásványfázisok megjelenése alapján kizárható a lehetséges nyersanyagforrások közül.

A Balaton déli partjának vulkanitjairól korszerű kőzet-kémiai elemzések nem álltak rendelkezésünkre, de közelségük a régészeti lelőhelyhez indokolja, hogy irodalomban közölt polarizációs mikroszkópos leírások alapján ezen lelőhelyek bazaltos kőzeteinek ásványos összetételét és szövetét is összehasonlítsuk a régészeti leletek anyagával.

A balatonboglári bazalttufában amfibol (akár 1,5 cm-es méretben is) és biotit (apró kristályok) is megjelenik (Mauritz 1948).

Balatonszemesi bazaltkavicsokból szintén amfibol (augittal összenöve) írt le Mauritz (Mauritz 1948).

A Fonyódi Várhegy kőzetét Vitális az általa felállított csoportosításban a "magnetites ilmenites nefelines bazanitoid" csoportba sorolta, azaz ilmenitet talált a kőzetben (Vitális 1904).

Ásványos összetétel, kőzetszövet, ásványkémiai elemzések összefoglalása:

A rendelkezésre álló ásványkémiai elemzések és petrográfiai mikroszkópos leírások alapján az alábbi geológiai lelőhelyek zárhatóak ki a régészeti leletek nyersanyagának forrásai közül:

Mind az első, mind a második bazalt-változat esetében:

- nógrádi és burgenlandi lelőhelyek (a titánaugit titán-alumínium-aránya alapján),

- Pál-hegy (Pauliberg), Steinberg, Ság-hegy, Uzsa, az olivin fenokristályokban megjelenő spinell-zárványok összetétele alapján,

- Haláp, Ság-hegy, Pál-hegy (Pauliberg), Prága-hegy (Sümeprága): az alapanyagban megjelenő ilmenit alapján,

- Pál-hegy (Pauliberg): a fenokristályként megjelenő plagioklász, az önállóan és plagioklásszal együtt jelen lévő szanidin, a ritkán előforduló nefelin, amfibol és analcim (Mauritz 1948), valamint az olivin-fenokristályok szegélyén helyenként megjelenő biotit, flogopit (Dobosi et al 1991, Sági 2008) alapján is,

- Stradner Kogel: titánaugitok Al^{VI}/Al^{IV} -aránya, valamint az alapanyagban megjelenő nefelin alapján),

- Steinberg: az alapanyagban megjelenő nefelin és alkáli-földpát (Poultidis & Scharbert 1986, Dobosi et al. 1991, Sági 2008) alapján,

- Klösch: az olivin-fenokristályoknál nagyobb méretű klinopiroxén-fenokristályok (Dobosi et al. 1991), valamint az alapanyagban megjelenő nefelin és alkáli-földpát (Poultidis & Scharbert 1986) alapján,

- Kapfenstein: hólyagüreges, vitrofios szövete, a fenokristályként megjelenő plagioklász (Kurat et al. 1980, Dobosi et al. 1991) alapján,

- Ság-hegy: az alapanyagban megjelenő biotit és alkáli-földpátok (Mauritz & Harwood 1937, Sági 2008) alapján is,

- Kissomlyó: a mennyiségileg domináns, nagy (az olivin-fenokristályoknál is nagyobb) méretű klinopiroxén-fenokristályok, valamint az alapanyagban található opacitos, piroxén (vagy amfibol) utáni pszeudomorfózá (Oláh et al. in press) alapján,

- Füzes-tó: az olivin-kristályok magasabb Mg-tartalma, hólyagüreges, vitrofios szövete, a fenokristályként megjelenő plagioklász (Jankovics et al. 2009) alapján,

- Bondoró-hegy, az olivin-kristályok magasabb Mg-tartalma alapján,

- Szentgyörgy-hegy, az olivin-kristályok alacsonyabb Mg-tartalma alapján,

- Badacsony: az alapanyagban megjelenő nefelin, analcim és biotit (Mauritz 1948) alapján,

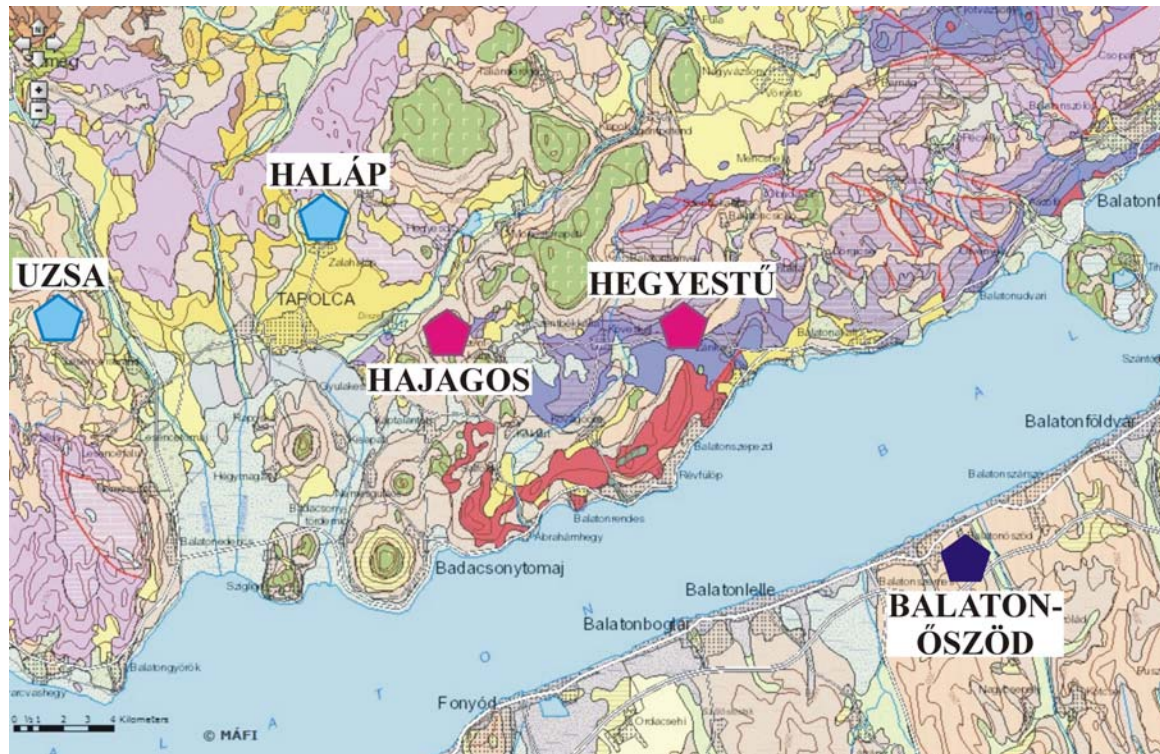
- Prága-hegy (Sümeprága): az alsó öszlet a fenokristályként megjelenő plagioklász, a felső öszlet az alapanyagban megjelenő analcim, mindkét öszlet az alapanyagban megjelenő ilmenit (Jugovics 1959b) alapján,

- Hegyesd: a mennyiségileg domináns, nagy (az olivin-fenokristályoknál is nagyobb) méretű klinopiroxén-fenokristályok, valamint az alapanyagban található opacitos, piroxén (vagy amfibol) utáni pszeudomorfózá (Oláh et al. in press) alapján.

Az első bazalt-változat nyersanyagának forrásai közül kizárható:

- Haláp, Uzsa, Ság-hegy, Sáromberke (Barc) (az alapanyagban is megjelenő olivin, illetve az olivin-fenokristályok összetétele alapján),

- Füzes-tó (az alapanyagban is megjelenő olivin (Jankovics et al. 2009) alapján is, bár ezekről elemzés nem készült),



20. ábra: Geológiai térkép (Budai & Gyalog 2010), módosítva: a régészeti lelőhellyel és a vizsgált régészeti leletek nyersanyagának legvalószínűbb származási helyeivel.

Fig. 20.: Geological map (Budai & Gyalog 2010), modified: with the archaeological site and the most probable places of origin of the raw material of the examined archaeological finds.

Leucitot az alapanyagban az elektronmikroszondával is vizsgált bazaltok közül egyedül Hegyestű bazaltjában találunk, és ennek összetétele megegyezik az első bazalt-változat alapanyagában található leucit összetételével. Az olivin fenokristályok magjának és szegélyének összetétele is a hegyestűi bazaltok elemzett olivinjeire hasonlít legjobban. Ugyanakkor Mauritz (1948) biotitot is említ hegyestűi bazaltban, de ennek meglétét a későbbi, korszerűbb műszeres vizsgálatok nem igazolták (Kóthay 2009).

Mindezek alapján tehát, az ásványkémiai elemzések alapján a régészeti leletek első bazalt-változatának nyersanyagához legközelebb álló geológiai lelőhely Hegyestű.

A teljes kémiai összetétel alapján lehetséges nyersanyagforrások közül – elégséges irodalmi ásványkémiai adat híján – nem zárható ki Selmechánya sem. Mindazonáltal a régészeti lelőhelytől való nagy távolsága miatt Selmechányt nem tartjuk valószínűnek, mint lehetséges nyersanyagforrást, mivel a régészeti lelőhely közelében is előfordul nagyon valószínű nyersanyagforrás.

A második bazalt-változat nyersanyagának forrásai közül kizárható:

- Hegyestű, Steinberg, Klöch, Kapfenstein, Pál-hegy (Pauliberg) (nincs olivin az alapanyagban),

- Hegyestű (mind az alapanyagban megjelenő leucit alapján, mind az olivin fenokristályokban megjelenő spinell-zárványok alapján),

Az ásványkémiai elemzések alapján a régészeti leletek második bazalt-változatának nyersanyagához hasonlóan közel álló geológiai lelőhelyet nem találtunk.

A részletesen vizsgált geológiai lelőhelyek közül a leginkább hasonlóak Haláp, és Uzsa (és az olivinek alapján Sáromberke (Barc), de ez utóbbi lelőhely más ásványairól nem állnak rendelkezésre ásványkémiai elemzések, valamint a teljes-kémiai elemzés alapján már kizártuk a lehetséges nyersanyagforrások közül), de (Haláp esetében) az alapanyagban megjelenő ilmenit, illetve a teljes-kémiai összetétel (az ásványkémiai elemzések a savanyúbb összetételű halápi bazaltokon készültek) alapján ezekről a lelőhelyekről sem származhat a régészeti leletek nyersanyaga.

A teljes kémiai összetétel alapján lehetséges nyersanyagforrások közül – elégséges irodalmi ásványkémiai adat híján – nem zárható ki Diszel (Hajagoshegy), illetve Sarata (Persányi-hegység) sem.

Mindazonáltal a régészeti lelőhelytől való nagy távolsága miatt Sarata-t nem tartjuk valószínűnek, mint lehetséges nyersanyagforrást.

Összefoglalás

Balatonöszöd-Temetői dűlő lelőhely a badeni kultúra Magyarországon eddig feltárt legnagyobb és leghosszabb életű települése (területe meghaladta a 20 hektárt). A lelőhelyen a középső rézkori Balaton-Lasinja kultúrának és a Boleráz kultúrának is kerültek elő önálló objektumai. Az ásatás során napvilágra került 500 db kőzet anyagú leletet vizsgáltunk meg. Jelen cikk a leletanyag több, mint harmadát kitevő (204 db, azaz 41%) bazalt-nyersanyagú kőeszközök vizsgálatának eredményeit mutatja be. A bazalt-nyersanyagú kőeszközök régészeti kora túlnyomó részben badeni. Bazaltból főleg kőbalták készültek, de nagy részük félkész vagy töredékes, anyaguk mállott. (A balták mellett marokkövek, őrlőkövek, ismeretlen rendeltetésű tárgyak, nyersanyagtömbök és nyéllyukas balták fűrómagjai kerültek elő.)

Makroszkópos, és főként polarizációs mikroszkópban való megjelenésük (mállottság, ásványos összetétel, szövet) alapján a régészeti leletek között két bazalt-változatot különítettünk el. Mikroszkópos tulajdonságaik (ásványos összetétel, szövet), teljes-kőzet kémiai összetételük valamint ásványaik (olivin, klinopiroxén, plagioklász, vas-titan-oxidok (titanomagnetit), spinell-zárányok olivinben, leucit (az első bazalt-változatban)) kémiai összetétele alapján, felhasználva a Pannon-medence bazaltos kőzeteiről a közelmúltban megjelent teljes-kőzet kémiai és ásványkémiai adatokat tartalmazó irodalmakat, megállapítottuk, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján az első bazalt-változat legvalószínűbb nyersanyagforrása a Hegyestű bazaltja, míg a második bazalt-változat nyersanyaga a vizsgált geológiai lelőhelyek közül legjobban Haláp és Uzsa kőzeteire hasonlít, de azokkal egyértelműen nem azonosítható (**20. ábra**).

Meg kell jegyeznünk, hogy elégséges ásványkémiai mérési adat hiányában a szóbanjehető nyersanyagforrások közül nem zárható ki Selmechánya (az első bazalt-változat esetében), valamint, Diszel (Hajagoshegy), illetve Sarata (Persányi-hegység) (a második bazalt-változat esetében) (**20. ábra**). Mindazonáltal a régészeti lelőhelytől való jelentős távolsága miatt Selmechányát és Sarata-t is kizárhatjuk a lehetséges nyersanyagforrások közül.

További kutatási lehetőségek

A jelen cikkünkben összegyűjtött és a későbbiekben a részletes adatokkal nem rendelkező geológiai lelőhelyekről begyűjtendő teljes-kőzet-összetételi, ásványkémiai, ásványos összetételbeli és szöveti információk, elemzési eredmények alapján felállított (és a jövőben bővítendő) alap adatbázis

segítségével nemcsak a Balatonöszöd – Temetői dűlő lelőhelyen napvilágra került bazaltos anyagú kőeszközök nyersanyagának származási helyét tudjuk pontosítani, hanem más régészeti lelőhelyek hasonló nyersanyagú kőeszközei nyersanyagának származási helyéről is információt tudunk szolgáltatni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a Balatonöszöd-Temetői dűlő lelőhely feltárását vezető Horváth Tündének, a leletanyag rendelkezésre bocsátásáért, valamint a vizsgálatok finanszírozásában nyújtott segítségért az OTKA K 62874 számú kutatási programjának.

Irodalom

BUDAI, T. & GYALOG, L. (szerk.) (2010): Magyarország földtani atlasza országjáróknak. *Magyar Állami Földtani Intézet* 2010. (www.mafi.hu)

DOBOSI, G. (1989): Clinopyroxene zoning patterns in the young alkali basalts of Hungary and their petrogenetic significance. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **101**: 112-121

DOBOSI, G., SCHULTZ-GÜTTLER, R., KURAT, G. & Kracher, A. (1991): Pyroxene Chemistry and Evolution of Alkali Basaltic Rocks from Burgenland and Styria, Austria. *Mineralogy and Petrology* **43**: 275-292

EMBEY-ISZTIN, A., DOBOSI, G., JAMES, D., DOWNES, H., POULTIDIS, Ch. & SCHARBERT, H.G. (1993): A compilation of new major, trace and isotope geochemical analyses of the young alkali basalts from the Pannonian Basin. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica* **16**: 5-26.

EMBEY-ISZTIN, A. & DOBOSI, G. (2007): Composition of olivines in the young alkali basalts and their peridotite xenoliths from the Pannonian Basin. *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici* **99**: 5-22.

FÜRI, J., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs. & T. BIRÓ, K. (2004): The origin of the raw material of basalt polished stone tools in Hungary. *Slovak Geological Magazine* **10**: 97-104.

HARANGI, Sz., VASELLI, O., TONARINI, S., SZABÓ, Cs., HARANGI, R. & CORADOSSI, N. (1995): Petrogenesis of Neogene extension-related alkaline volcanic rocks of the Little Hungarian Plain Volcanic Field (Western Hungary). *Acta Vulcanologica* **7**: 173-187.

HORVÁTH, T., S. SVINGOR, É. & MOLNÁR, M. (2006): Újabb adatok a baden-péceli kultúra keletkezéséhez. *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) 2006 (3): 19-30.

HORVÁTH, T. (2010): Megfigyelések a középső és késő rézkori kultúrák fazekasáruin Balatonöszöd

– Temetői dűlő lelőhelyen. Készítéstechnikai vizsgálatok. *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) 2010 (1): 51-82.

JÁMBOR Á., PARTÉNYI Z. & SOLTI G. (1981): A dunántúli bazalt vulkanitok földtani jellegei. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1979. évről*, 225-239.

JANKOVICS, É., HARANGI, Sz. & NTAFLÓS, T. (2009): A mineral-scale investigation of the origin of the 2.6 Ma Fűzes-tó basalt, Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (Pannonian Basin, Hungary). *Central European Geology* **52**: 97-124.

JANKOVICS, É., HARANGI, Sz. & NTAFLÓS, T. (2010): A mineral-scale investigation on the origin of the 2.6 Ma Fűzes-tó basalt, Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (Pannonian Basin, Hungary). In: IMA 2010. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 21-27 August, 2010 Budapest, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series* **6**: 543.

JUGOVICS, L. (1959a): A haláphegyi bazalt közettani vizsgálata. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1955-56 évről*, 123-135.

JUGOVICS, L. (1959b): Újabb vulkanológiai és közettani megfigyelések a Tátika-csoport bazalthegyein. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1955-56 évről*, 153-178.

KÓNYA, P. (2009): A Bakony – Balaton-felvidék Vulkáni Terület bazaltjaiban található üregkitöltő ásványok és üledékes eredetű közetzárványok ásványtani és genetikai vizsgálata (közöletlen PhD-dolgozat, ME MFK Ásványtani - Földtani Intézet, Ásvány- és Közettani Intézeti Tsz.)

KÓTHAY, K. (2009): Alkáli bazaltos magma fejlődéstörténete szilikátolvadék-zárványok vizsgálata alapján, a Balaton-felvidéki Hegyestű és Haláp példáján (közöletlen PhD dolgozat, ELTE TTK FFI Közettani és Geokémiai Tsz.)

KOVÁCS, I., BALI, E., KÓTHAY, K., SZABÓ, Cs. & NÉDLI, Zs. (2003): Bazaltos kőzetekben előforduló kvarc és földpát xenokristályok petrogenetikai jelentősége. *Földtani Közlöny* **133**: 397-420.

KUBOVICS, I (1993): Kőzetmikroszkópia II. *Tankönyvkiadó, Budapest* pp. 596.

KURAT, G., PALME, H., SPETTEL, B., BADDENHAUSEN, H., HOFMEISTER, H., PALME, C. & WÄNKE, H. (1980): Geochemistry of ultramafic xenoliths from Kapfenstein, Austria: evidence for a variety of upper mantle processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **44**: 45-60.

MAURITZ, B. (1931): Die Zeolithminerale der Basalte des Plattenseegebietes in Ungarn. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Beil.*, **64, A**: 477-494.

MAURITZ, B. (1937): A halápi és gulácsi bazalt hólyagüregeiben keletkezett ásványok. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* **55**: 923-937.

MAURITZ, B. & HARWOOD, H., F. (1937): A celldömölki Sághegy bazaltos kőzete. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* **55**: 938-959.

MAURITZ, B. (1948): A dunántúli bazaltok kőzetkémiai viszonyai. *Földtani Közlöny* **78**: 134-169.

MAURITZ, B. (1958): Újabb ásványközettani érdekességek hazánkban. *Földtani Közlöny* **88**: 447-452.

OLÁH, I. – BENDŐ, Zs. – SZAKMÁNY, Gy. – SZILÁGYI, V. & PÉTERDI, B. (in press): Results of the archaeometric analyses of stone implement preforms from Veszprém-Kádárta (W-Hungary). *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae*

PEARCE, J.A. & PARKINSON, I.J. (1993): Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: PRICHARD, H.M., ALABASTER, T., HARRIS, N.B.W. & NEARY, C.R. (eds.): Magmatic Processes and Plate Tectonics. *Geological Society, London, Special Publications* **76**: 373-403.

POULTIDIS, H. & SCHARBERT, H.G. (1986): Bericht über geochemisch-petrologische Untersuchungen an basaltischen Gesteinen des österreichischen Teils der transdanubischen vulkanischen Region. *Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, mathematische-naturwissenschaftliche Klasse* **123**: 65-76.

SÁGI, T. (2008): Petrogenetikai következtetések a Pannon-medence nyugati részén előforduló alkáli bazaltok képződésére olivin és spinell összetétel adatok alapján (közöletlen diploma dolgozat, ELTE TTK FFI Közettani és Geokémiai Tsz.)

SÁGI, T., HARANGI, Sz. & NTAFLÓS T. (2008): Petrogenesis of the Late Miocene-Pliocene alkali mafic rocks of the Pannonian Basin – inferences from the olivine compositions. *Geophysical Research Abstracts* **10**

SÁGI, T., HARANGI, Sz. & NTAFLÓS T. (2010): The Pleistocene alkali basaltic volcanism at the Perşani Mountains, SE Carpathians, Romania – inferences from olivine phenocrysts and their spinel inclusions. In: IMA 2010. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 21-27 August, 2010 Budapest, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series* **6**: 543.

SUN, S.-S. & McDONOUGH, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and

processes. In: SAUNDERS, A.D. & NORRY, M.J. (eds.): *Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications* **42**: 313-345.

SZAKMÁNY, Gy. – KASZTOVSZKY, Zs. – SZILÁGYI, V. – STARNINI, E. – FRIEDEL, O. & - T. Biró, K. (2010): Discrimination of prehistoric polished stone tools from Hungary by non-destructive chemical analyses. In: IMA 2010. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 21-27 August, 2010 Budapest, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series* **6**: 110.

SZAKMÁNY, Gy. – KASZTOVSZKY, Zs. – SZILÁGYI, V. – STARNINI, E. – FRIEDEL, O. & - T. Biró, K. (in press): Discrimination of prehistoric polished stone tools from Hungary by non-destructive chemical analyses. *European Journal of Mineralogy*

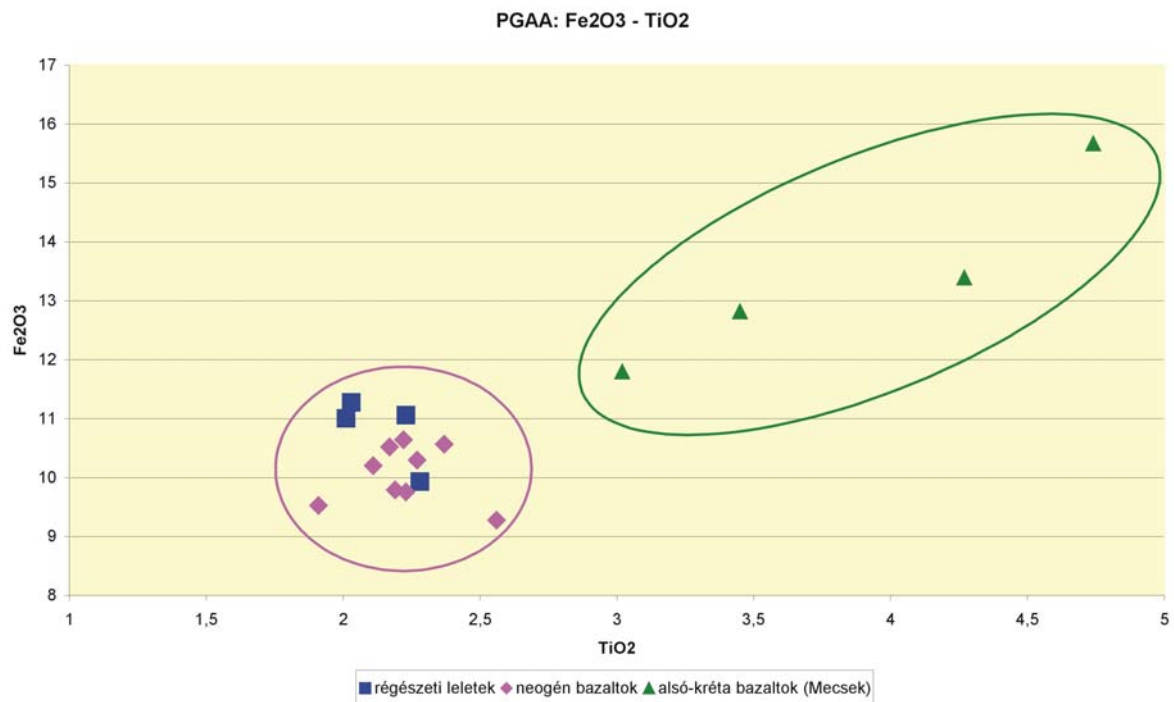
VITÁLIS, I. (1904): Adatok a Balaton-fölvidék bazaltos kőzeteinek ismeretéhez. *Földtani Közöny* **34**: 377-399.

Melléklet

BAZALT ANYAGÚ CSISZOLT KŐESZKÖZÖK KÖZETTANI ÉS GEOKÉMIAI VIZSGÁLATA (BALATONÖSZÖD - TEMETŐI DŰLŐ LELŐHELY)

Appendix

PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF POLISHED STONE TOOLS MADE OF BASALT FROM THE SITE BALATONÖSZÖD - TEMETŐI DŰLŐ (HUNGARY)

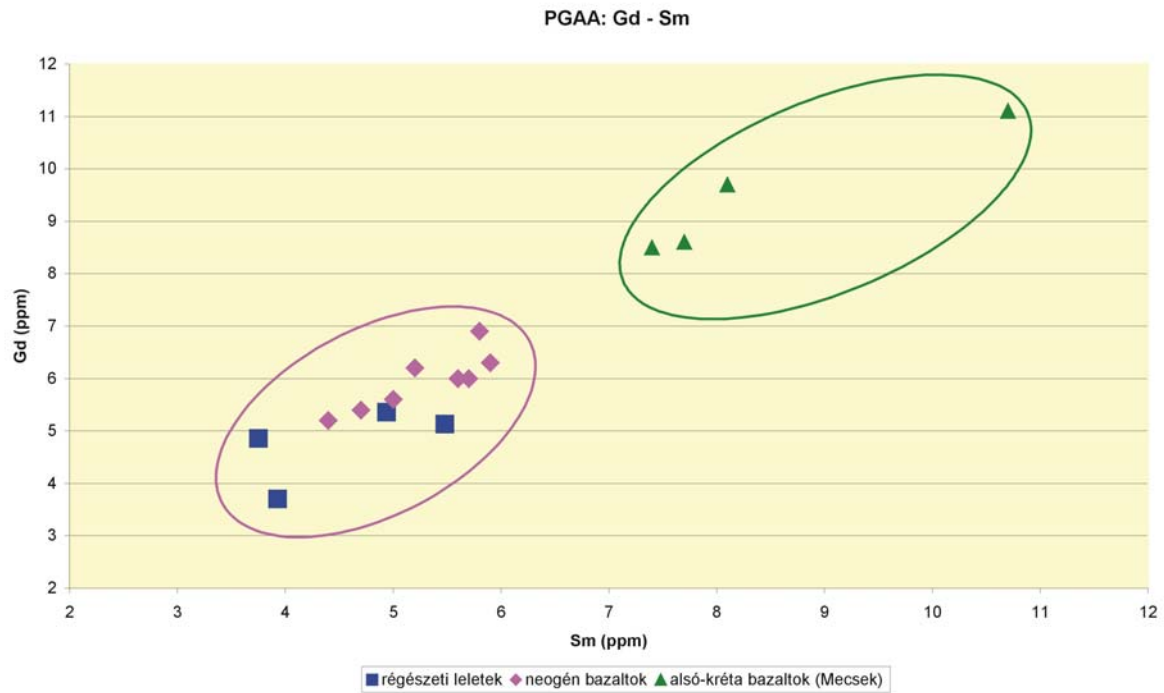


1. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Fe₂O₃(t)-koncentráció a TiO₂-tartalom függvényében a PGAA-mérési eredmények alapján: régészeti leletek (kék négyzetek), neogén bazaltok (rózsaszín rombuszok) (FÜRI et al., 2004) és mecseki kréta bazaltok (zöld háromszögek) (FÜRI et al., 2004).

Fig. 1.

Bulk-rock chemistry. Fe₂O₃(t)-concentration (wt%) as a function of TiO₂-content (wt%) of the analysed basalt samples according to the results of PGAA: stone tools (blue squares), Neogene basalts (rose diamonds) (FÜRI et al., 2004) and Cretaceous basalts from the Mecsek-mts. (green triangles) (FÜRI et al., 2004).

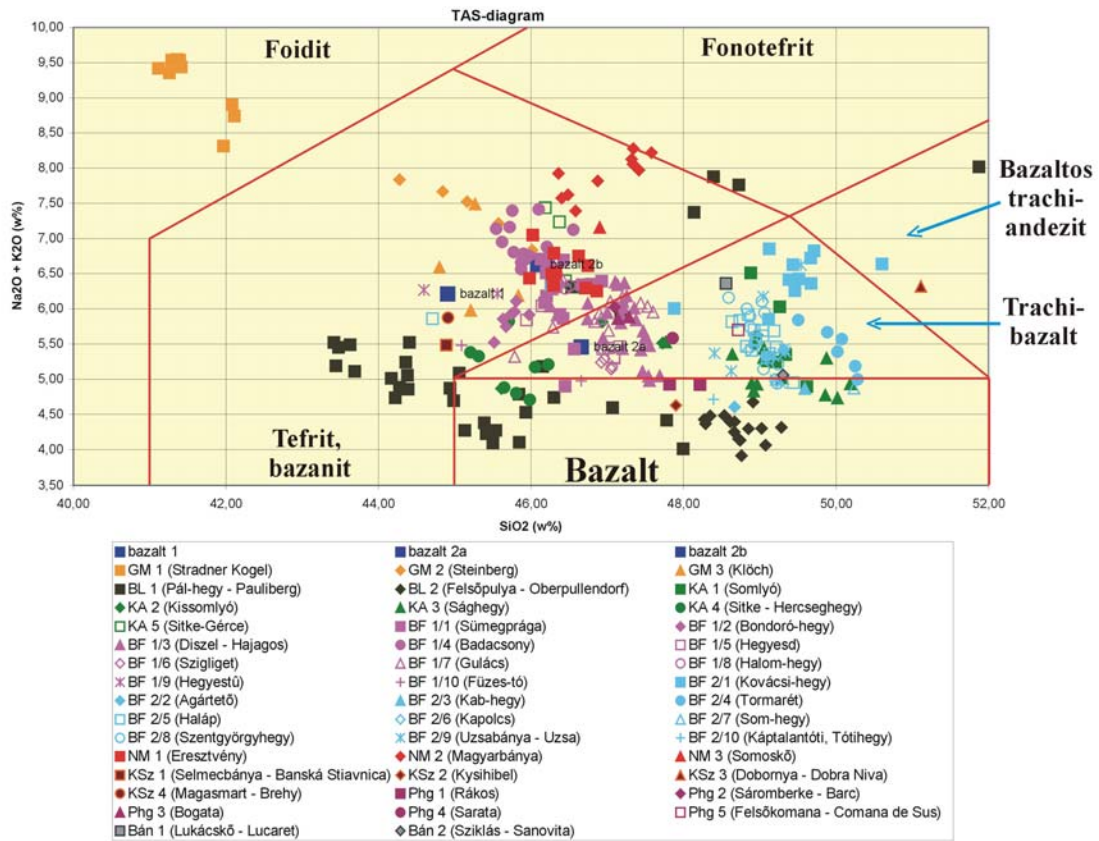


2. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Gd-koncentráció a Sm-tartalom függvényében a PGAA-mérési eredmények alapján: régészeti leletek (kék négyzetek), neogén bazaltok (rózsaszín rombuszok) (FÜRI et al., 2004) és mecseki kréta bazaltok (zöld háromszögek) (FÜRI et al., 2004).

Fig. 2.

Bulk-rock chemistry. Gd-concentration as a function of Sm-content of the analysed basalt samples according to the results of PGAA: stone tools (blue squares), Neogene basalts (rose diamonds) (FÜRI et al., 2004) and Cretaceous basalts from the Mecsek-mts. (green triangles) (FÜRI et al., 2004).

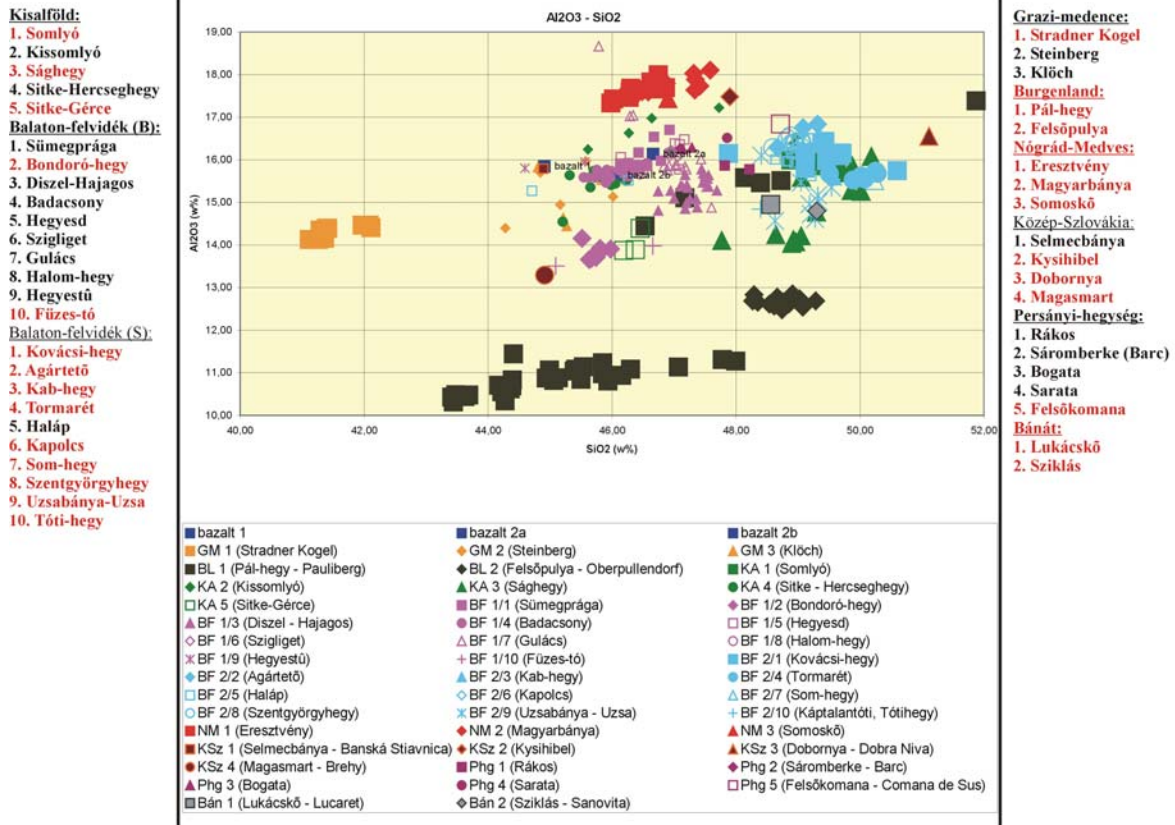


3. ábra

Teljes-kőzet összetétel. TAS (Total Alkali-Silica)-diagram

Fig. 3.

Bulk-rock chemistry. TAS (Total Alkali-Silica)-diagram



4. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 4.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

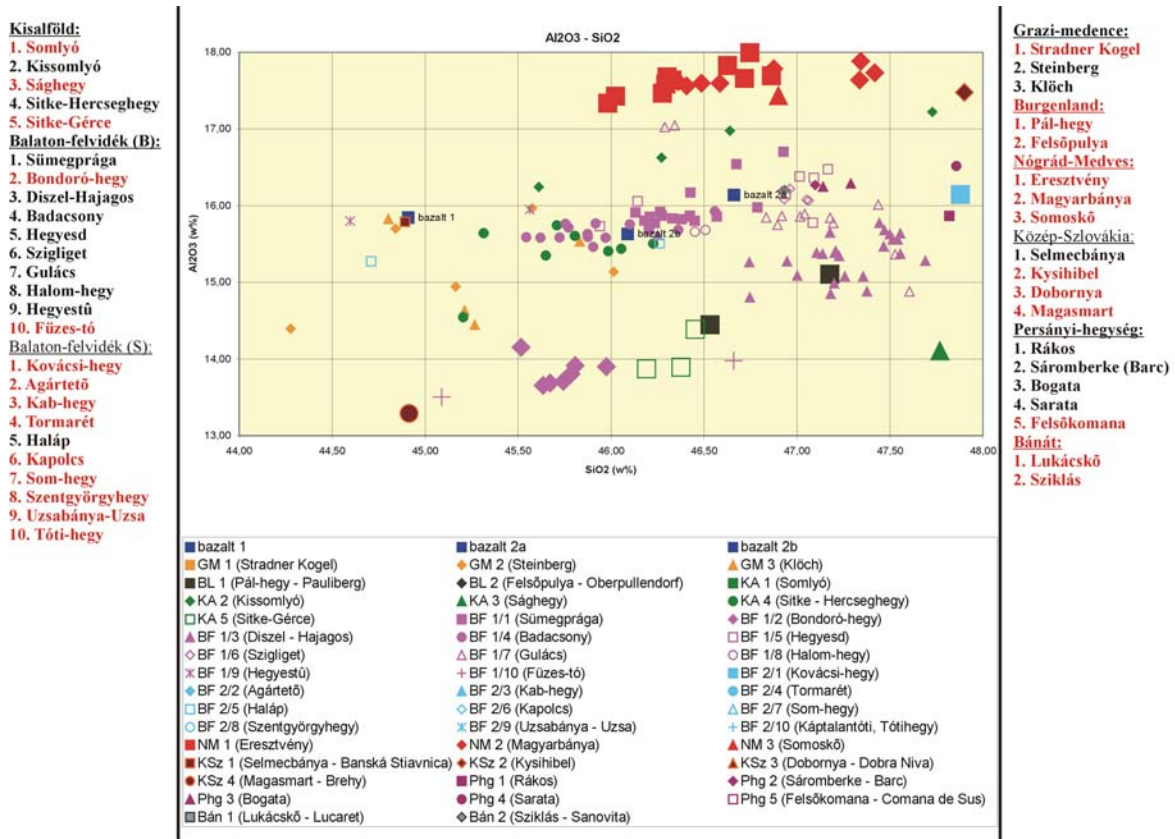
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



5. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO_2 -tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 5.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO_2 (wt%) (or other major element) content.

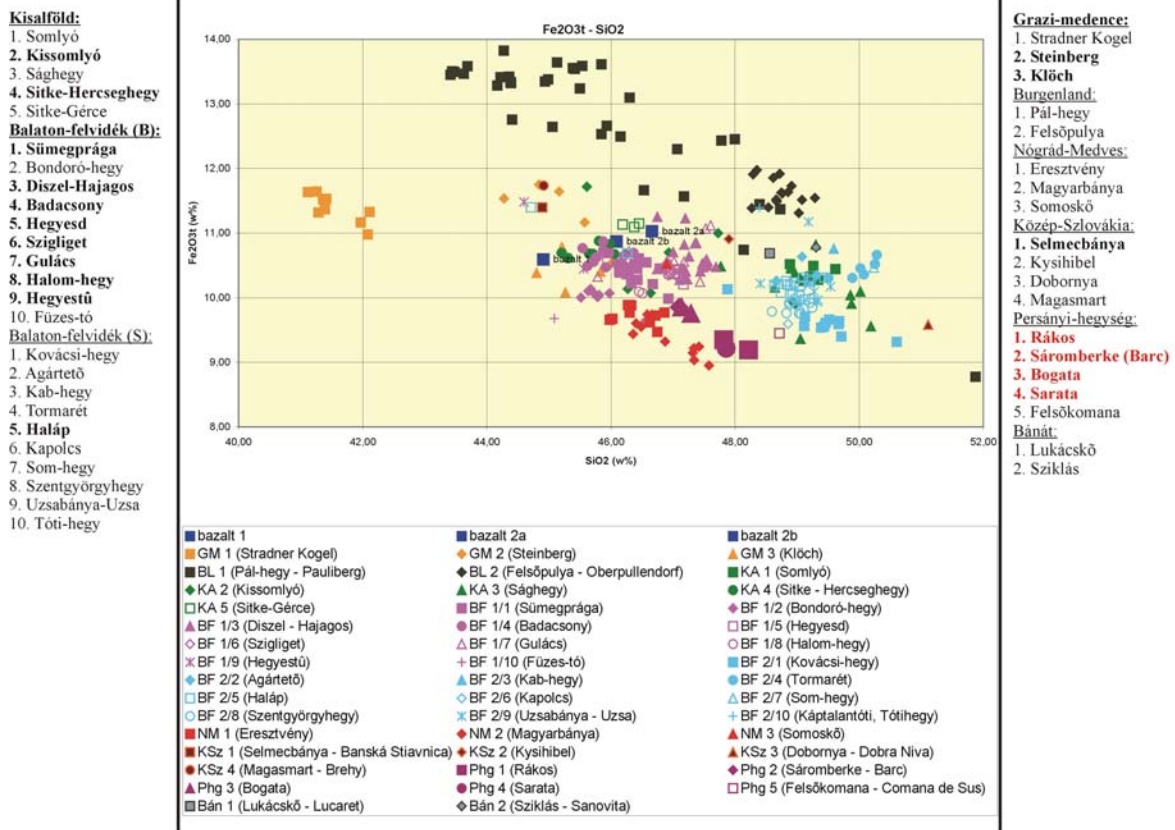
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



6. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 6.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

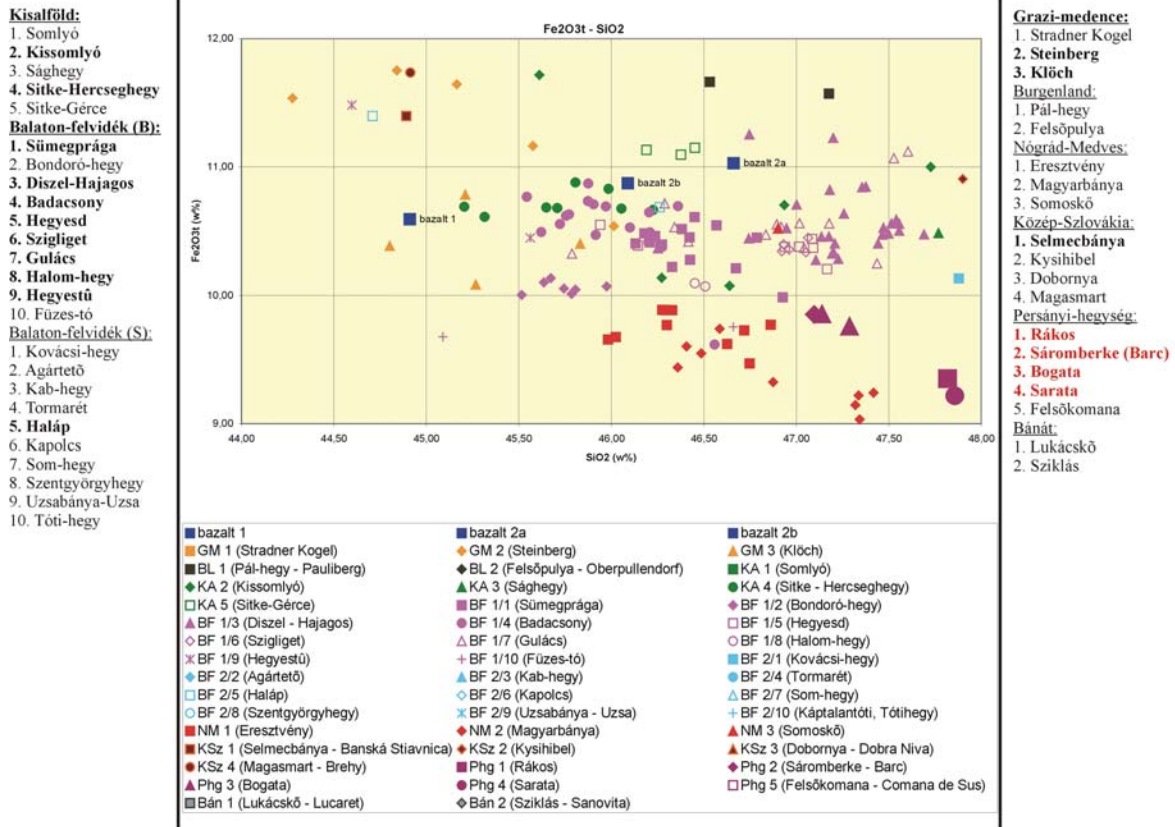
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



7. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 7.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

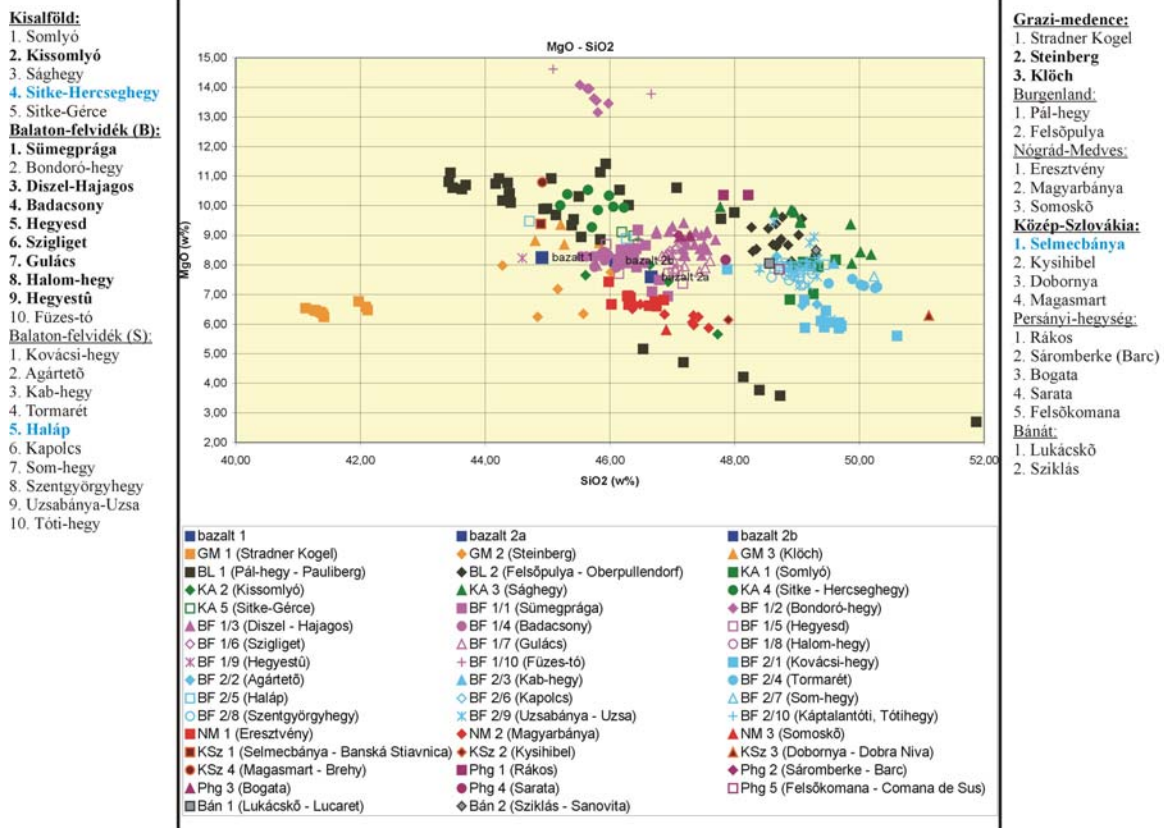
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



8. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 8.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

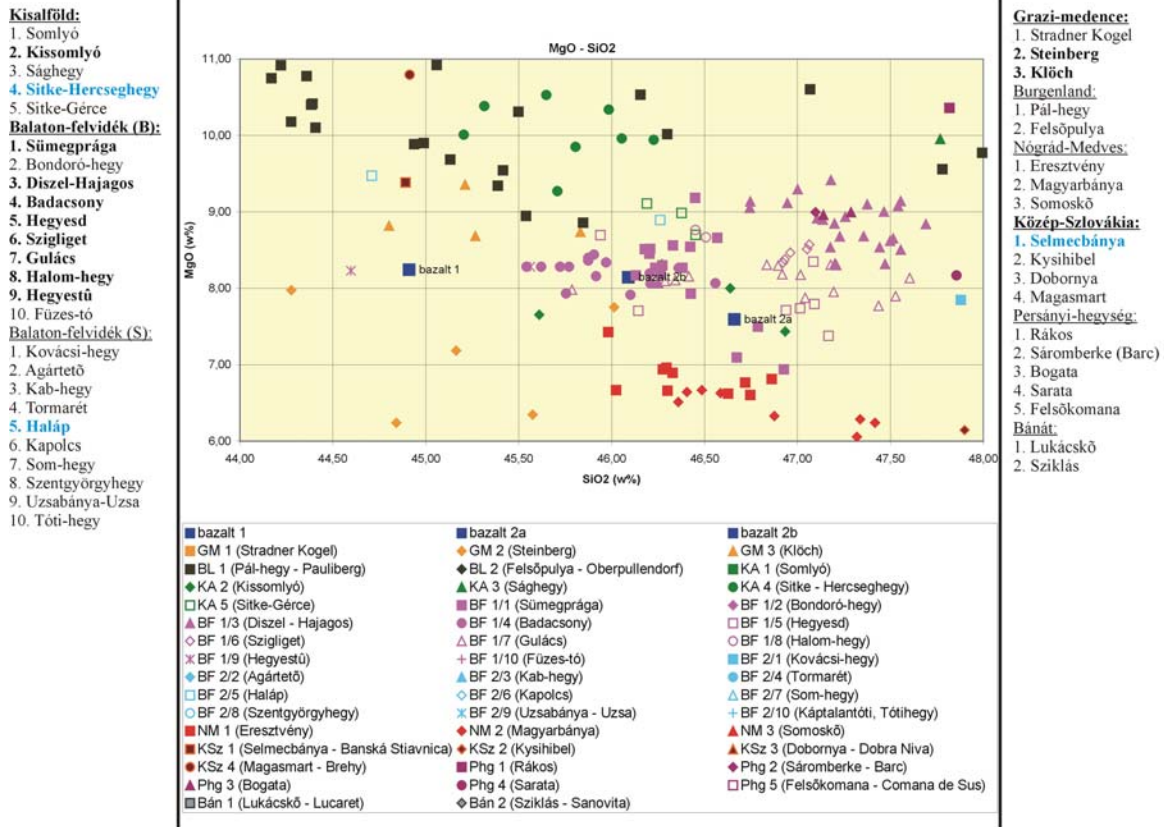
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



9. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 9.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

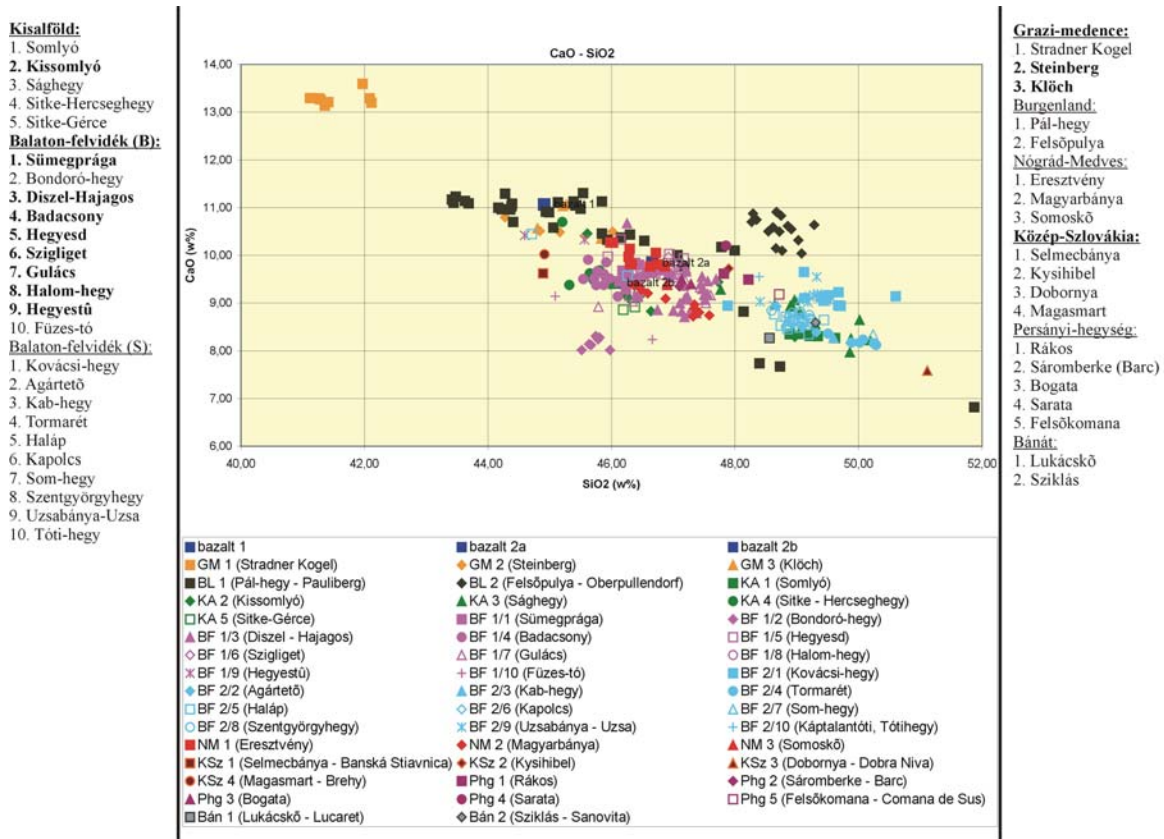
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



10. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO_2 -tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 10.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO_2 (wt%) (or other major element) content.

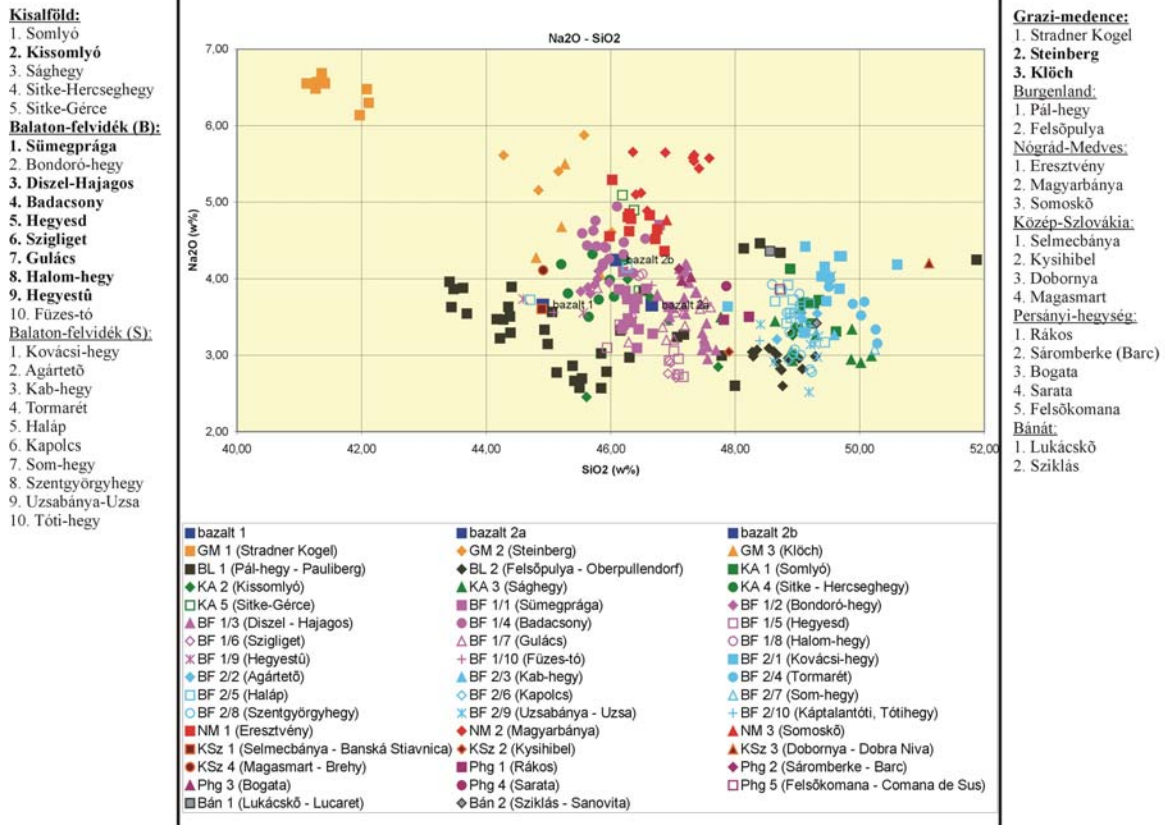
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



11. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 11.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

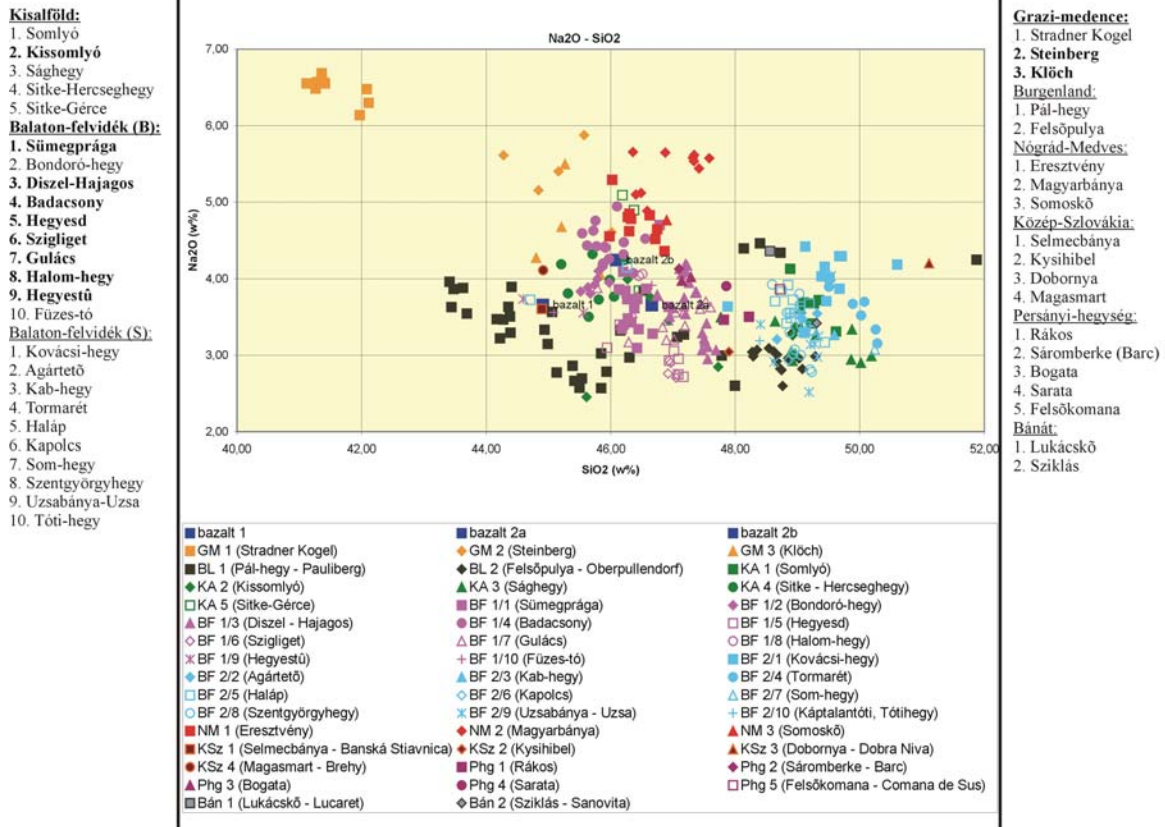
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



12. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 12.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

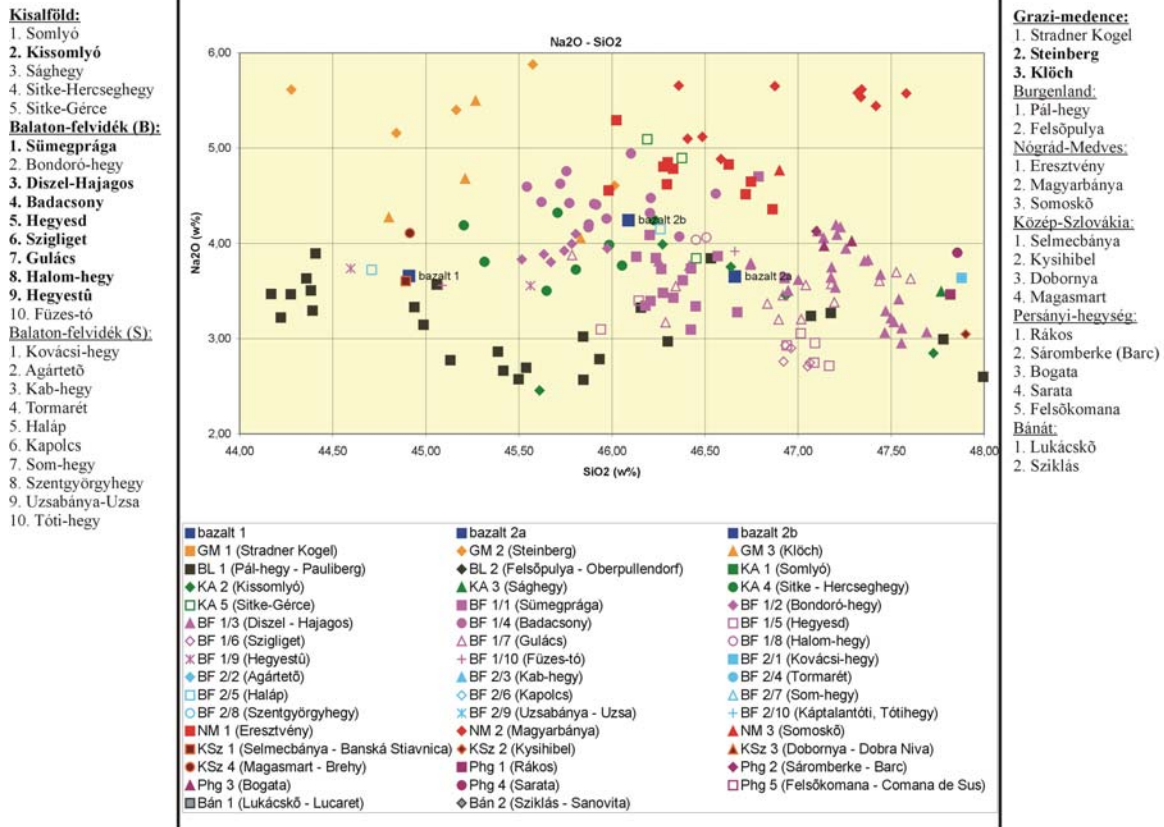
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



13. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 13.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

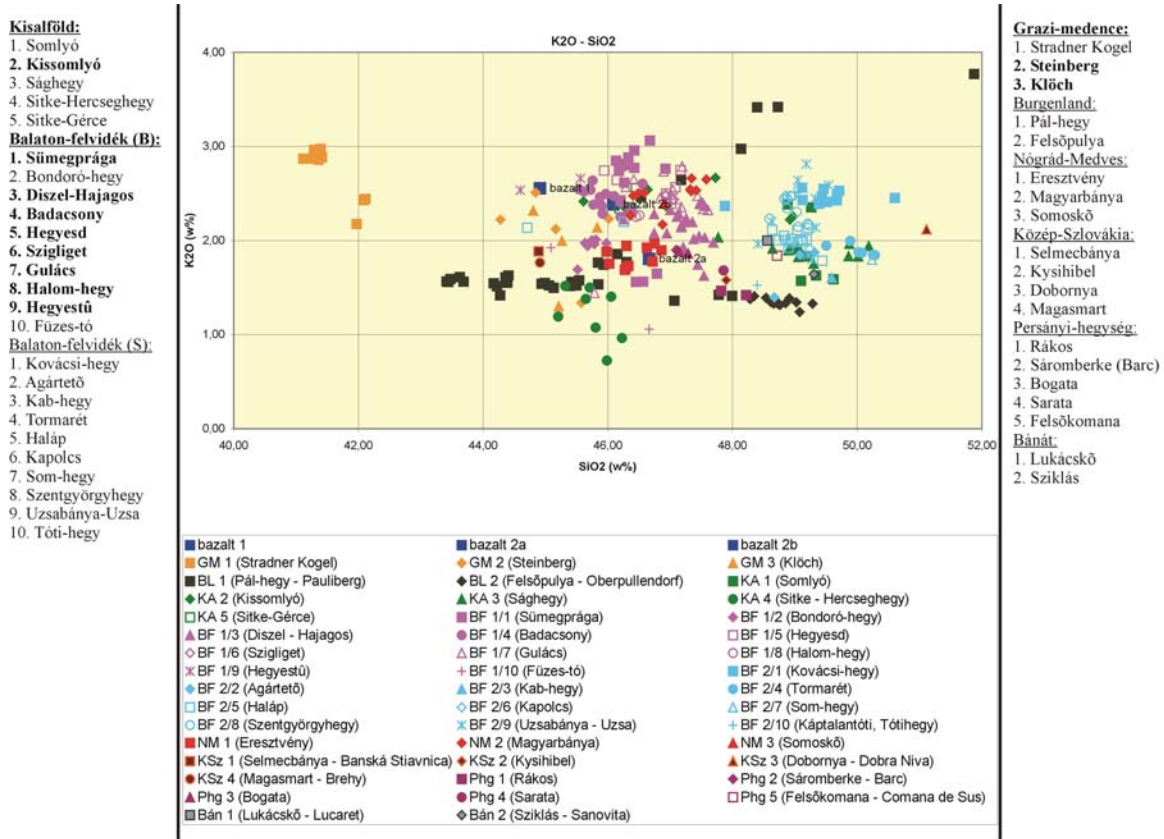
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



14. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 14.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

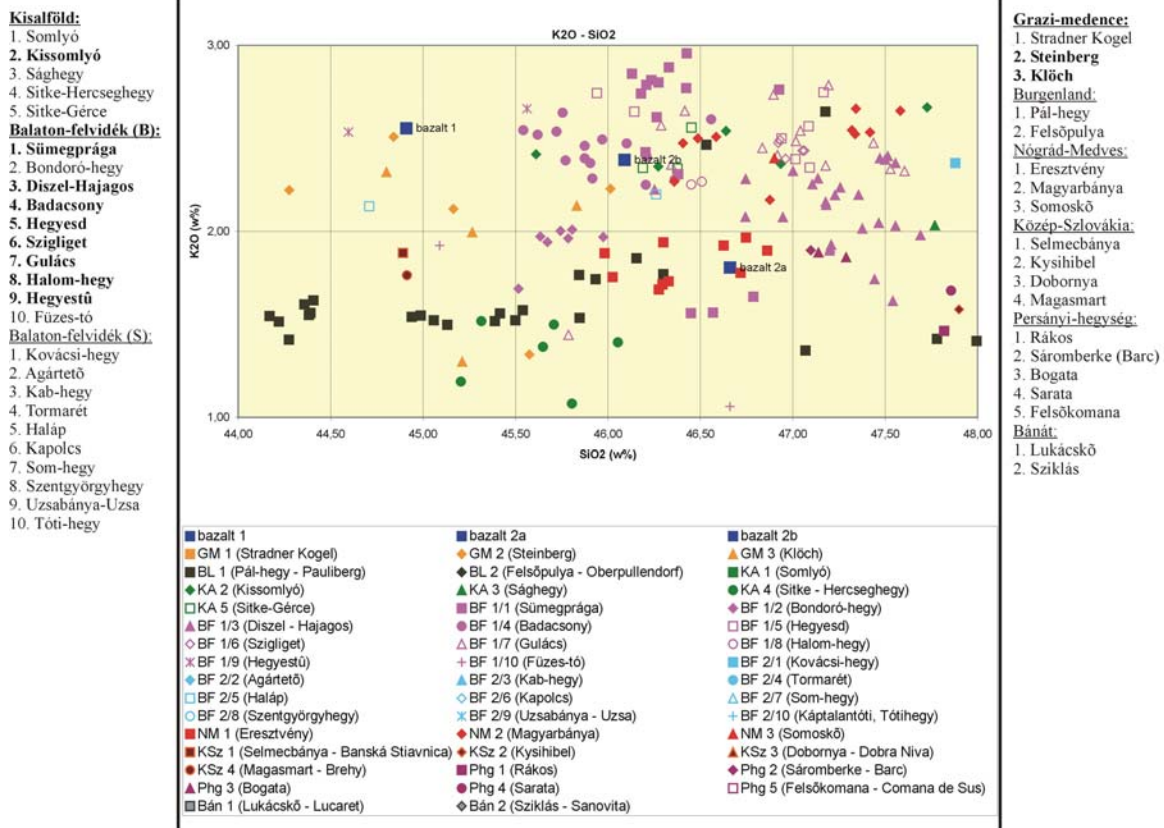
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



15. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO_2 -tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 15.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO_2 (wt%) (or other major element) content.

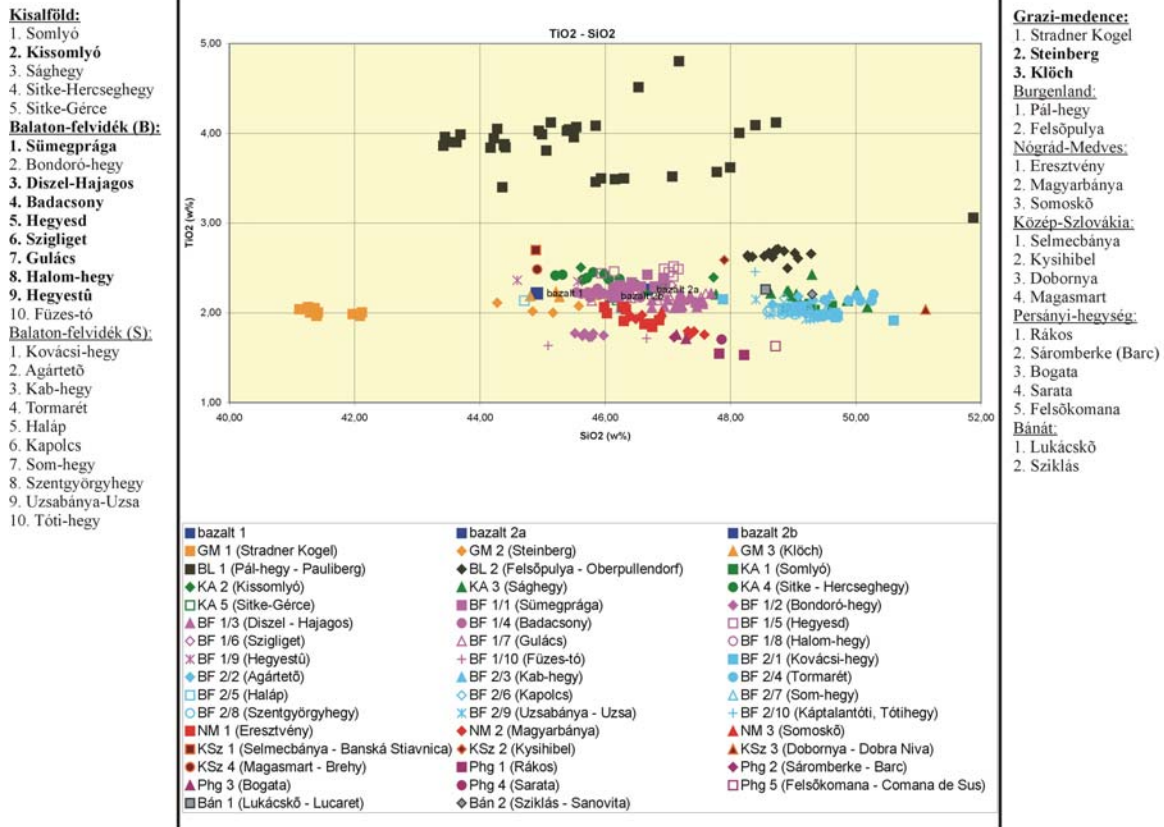
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



16. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 16.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

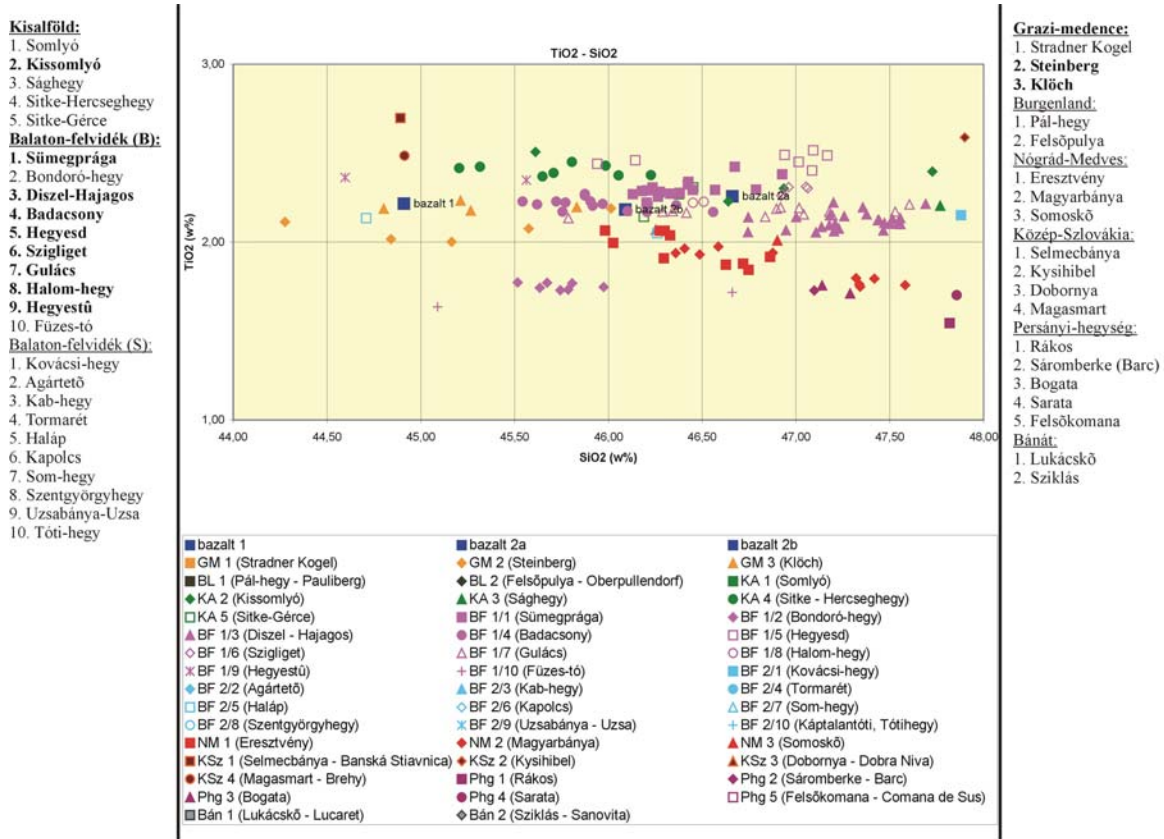
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



17. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 17.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

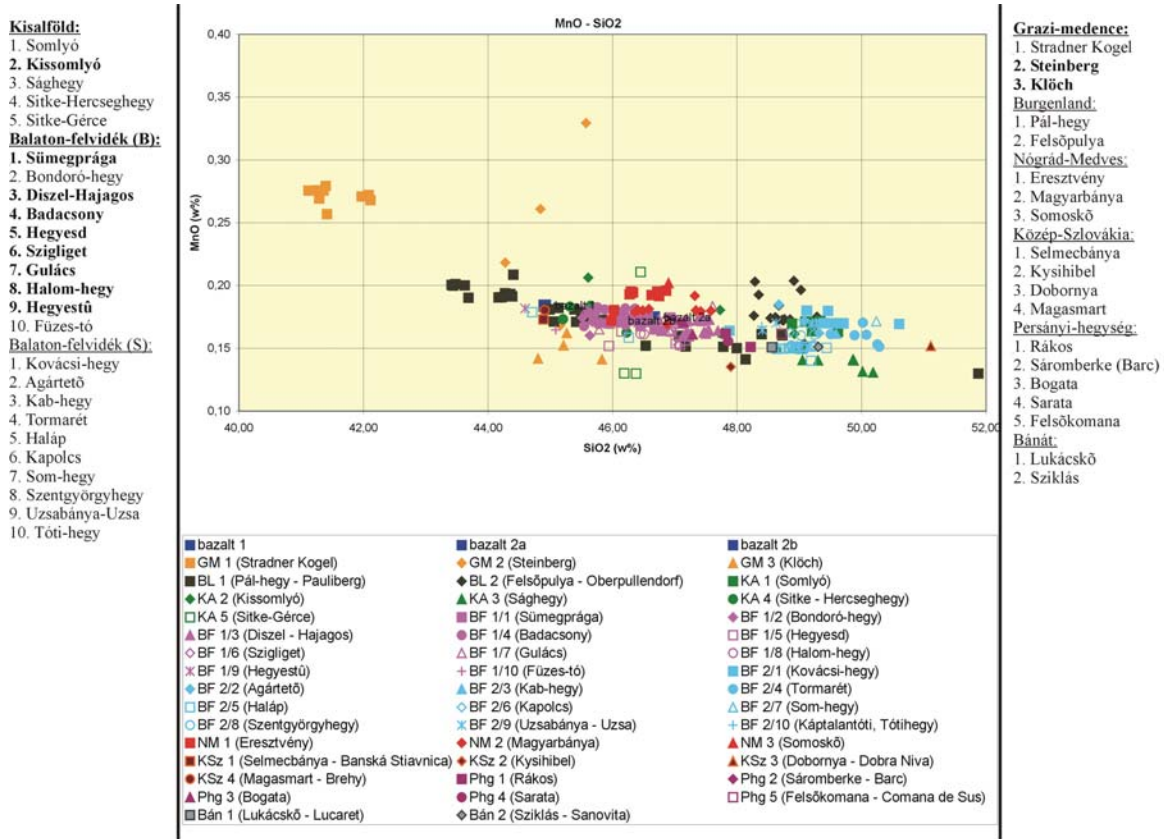
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



18. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 18.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

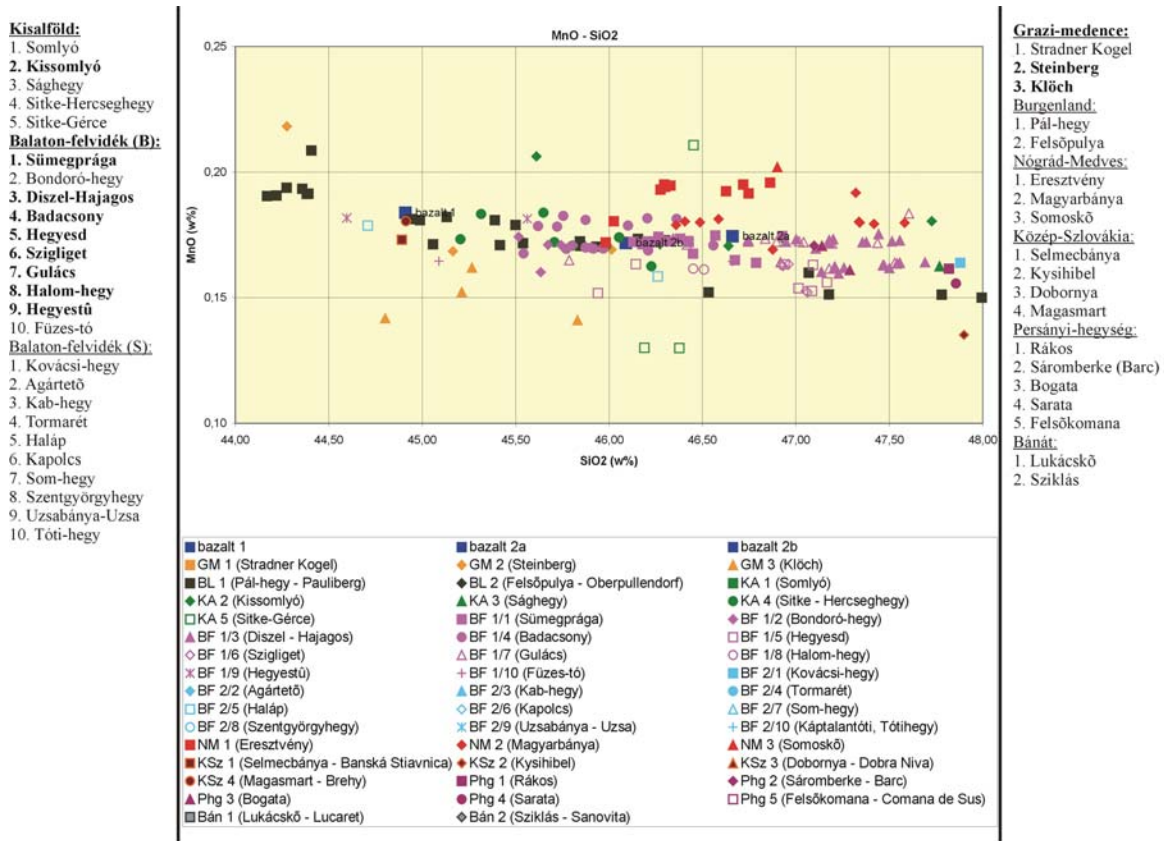
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



19. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 19.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

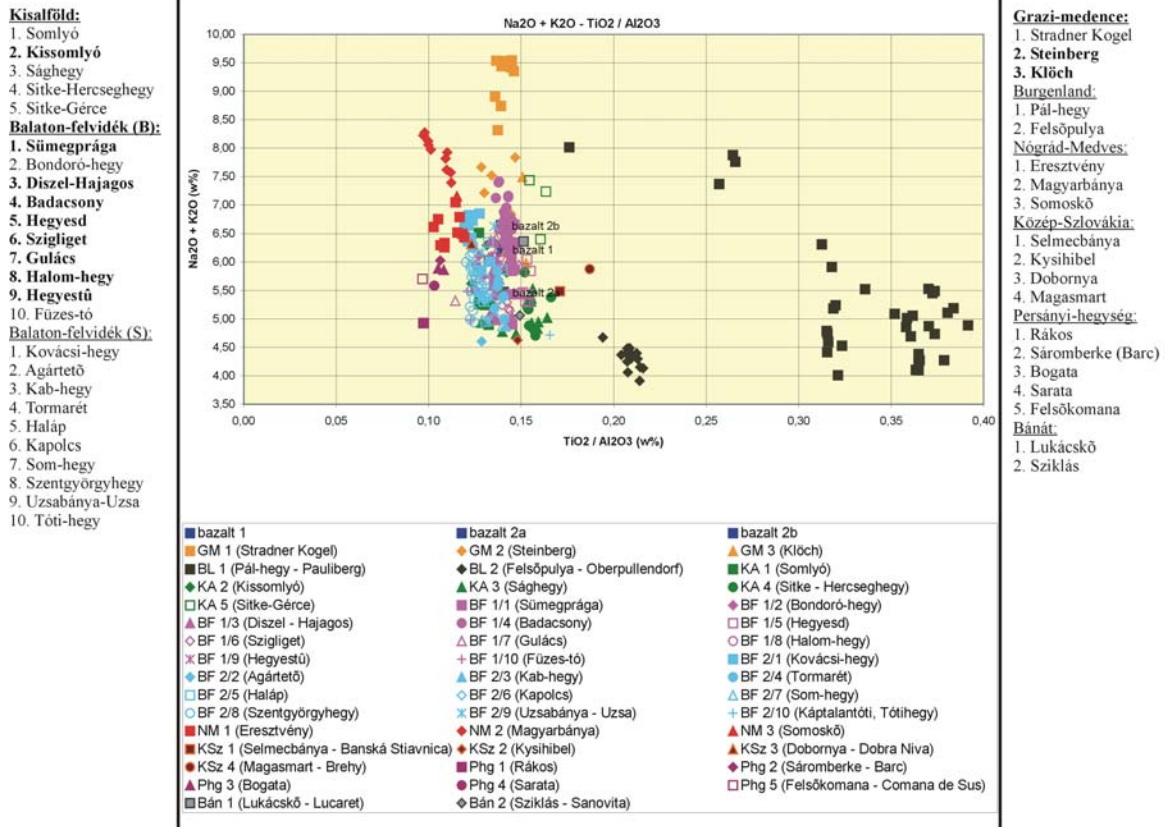
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



20. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 20.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

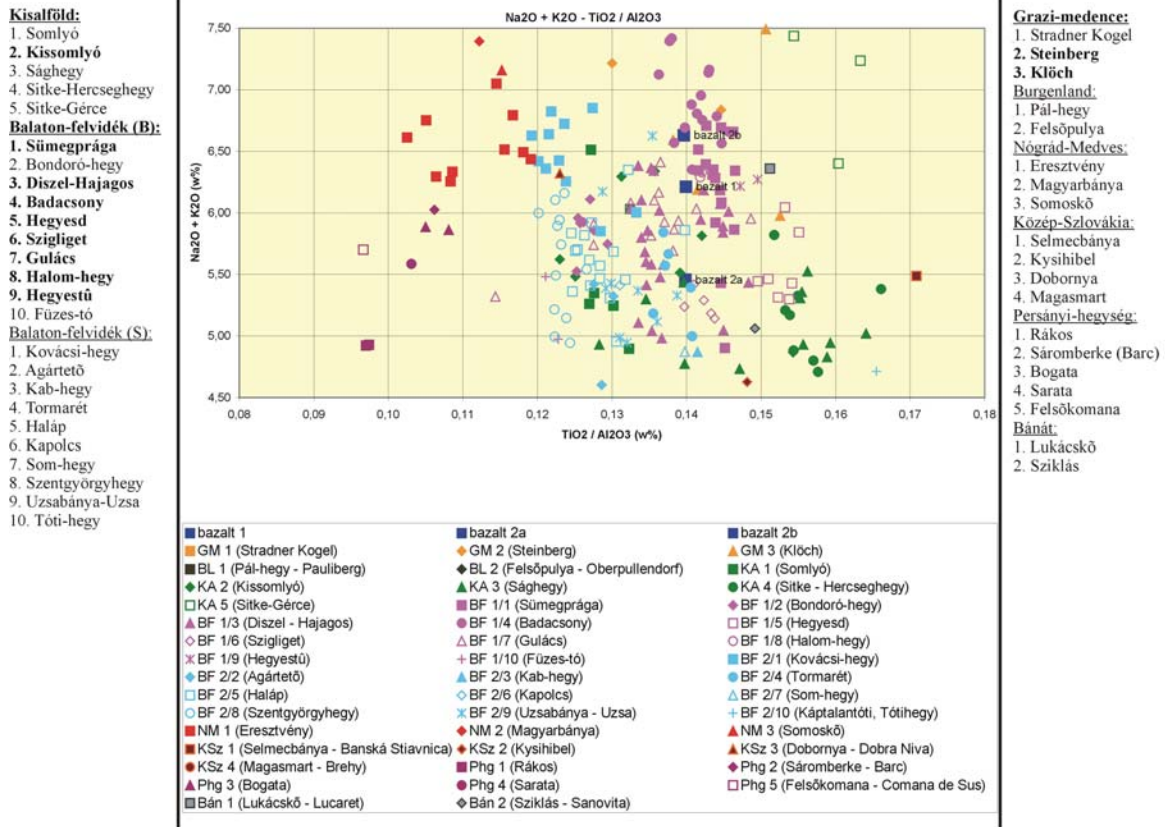
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



21. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 21.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

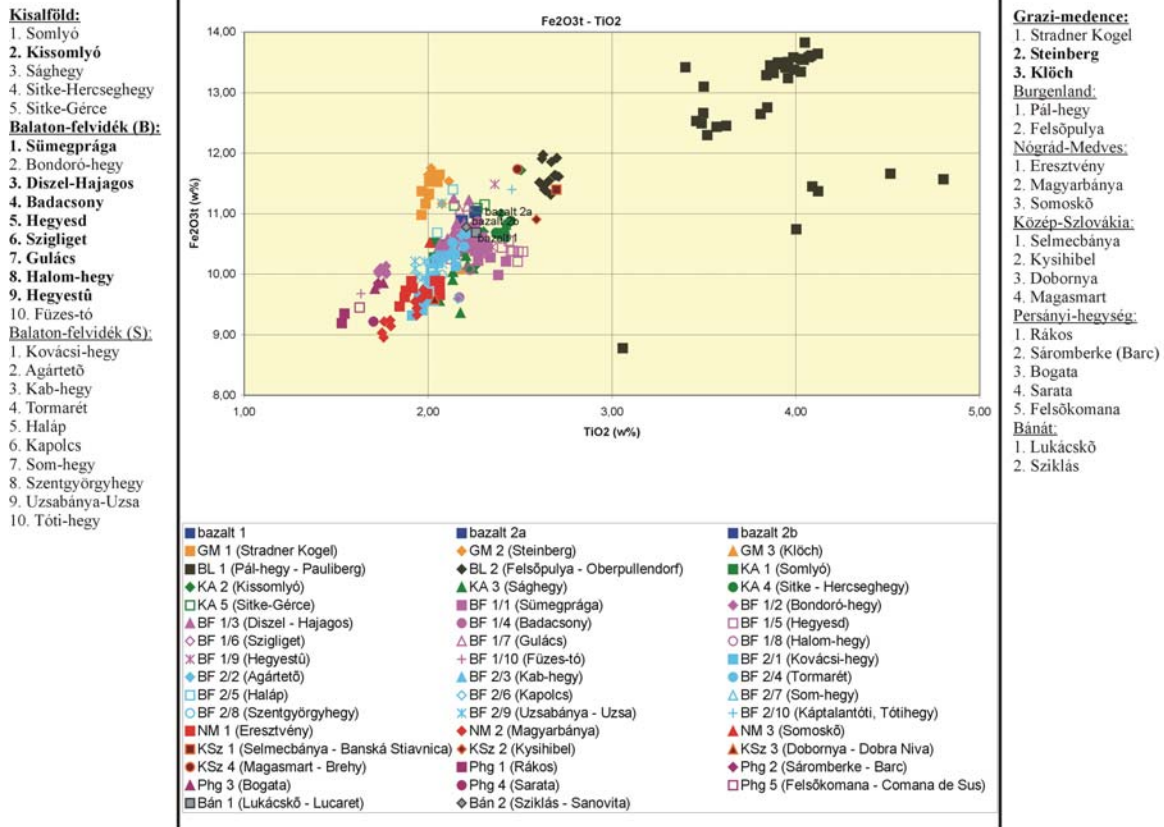
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



22. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 22.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

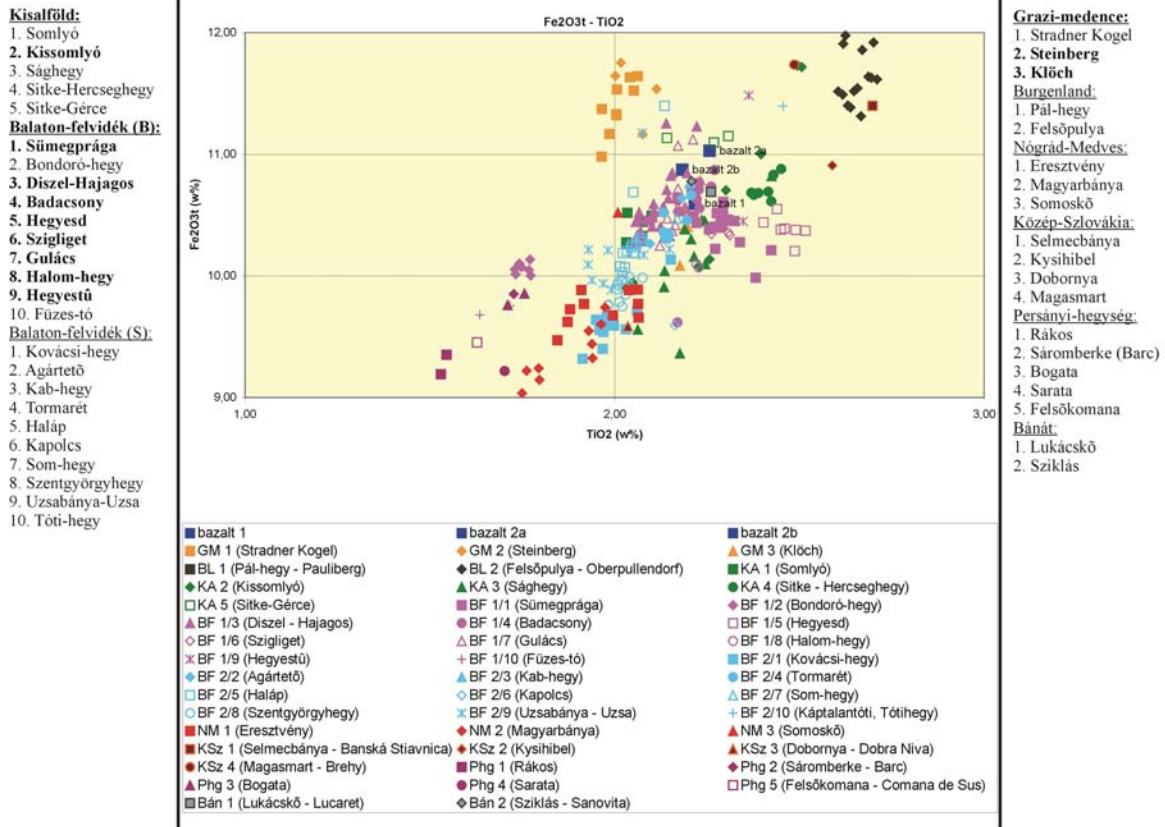
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.



23. ábra

Teljes-kőzet összetétel. Főelemek koncentrációja a SiO₂-tartalom (vagy más főelem) függvényében.

A geológiai lelőhelyek felsorolásában vörössel szedtük a lehetséges nyersanyag-források közül az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyeket, normál vastagsággal szerepelnek az egyéb főelem-tartalom alapján már kizárt lelőhelyek, félkövér szedéssel a még ki nem zárt lelőhelyek. Az aktuális diagram alapján kizárt geológiai lelőhelyek az ábrában nagyobb méretű jellel szerepelnek.

Fig. 23.

Bulk-rock chemistry. Concentration of major elements (wt%) as a function of SiO₂ (wt%) (or other major element) content.

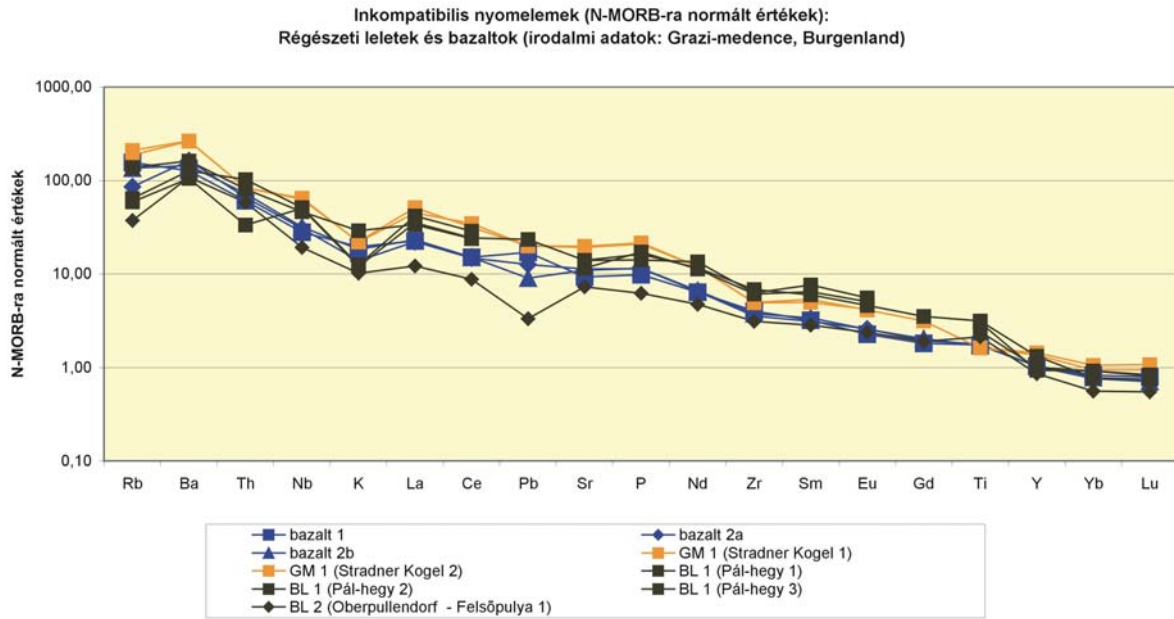
In the listing of the geological localities the following notations are used:

Printed in red: geological localities excluded from the possible sources of raw materials on the basis of the actual diagram.

Printed in normal type: geological localities already excluded on the basis of other major elements.

Printed in bold: geological localities not yet excluded.

Geological localities excluded on the basis of the actual diagram are indicated by enlarged signs in the diagram.

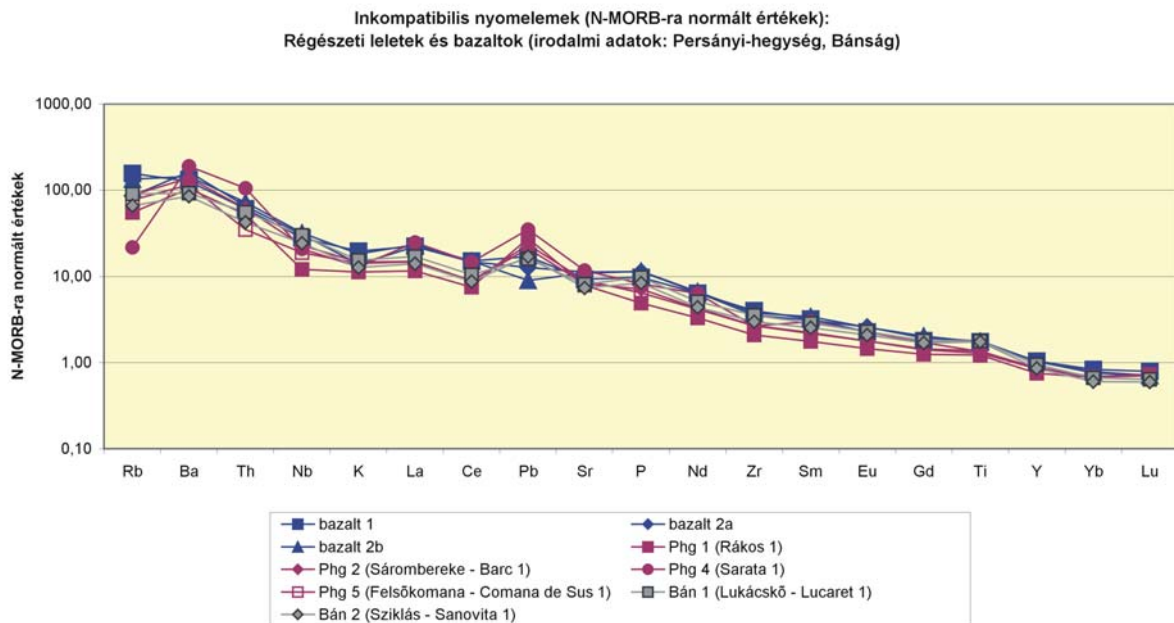


24. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 24.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

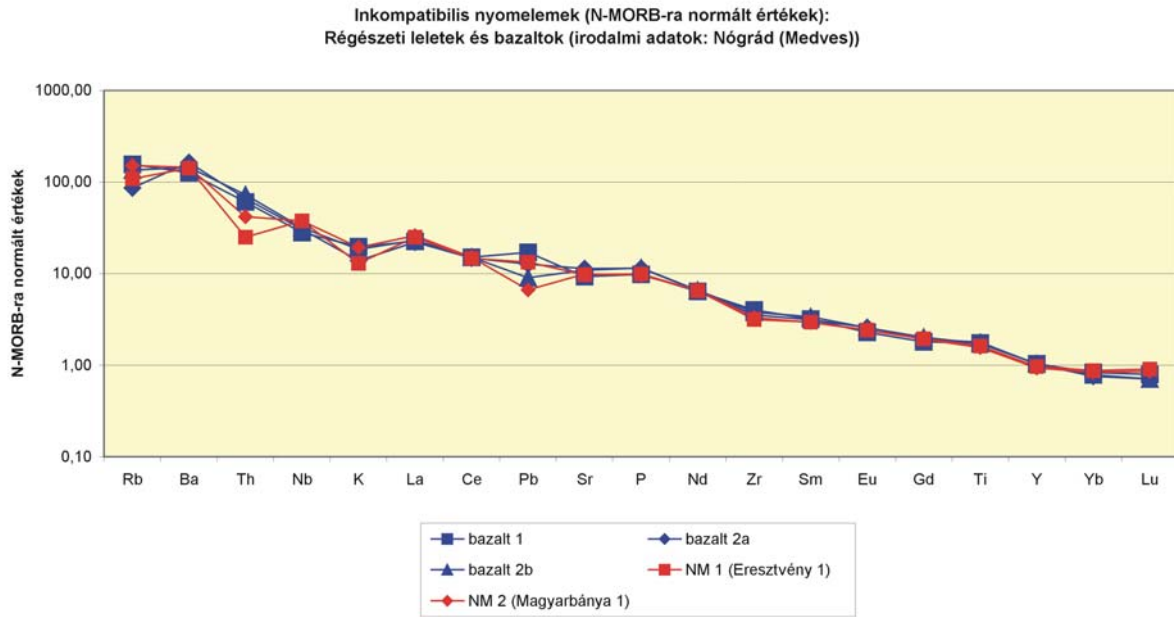


25. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 25.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

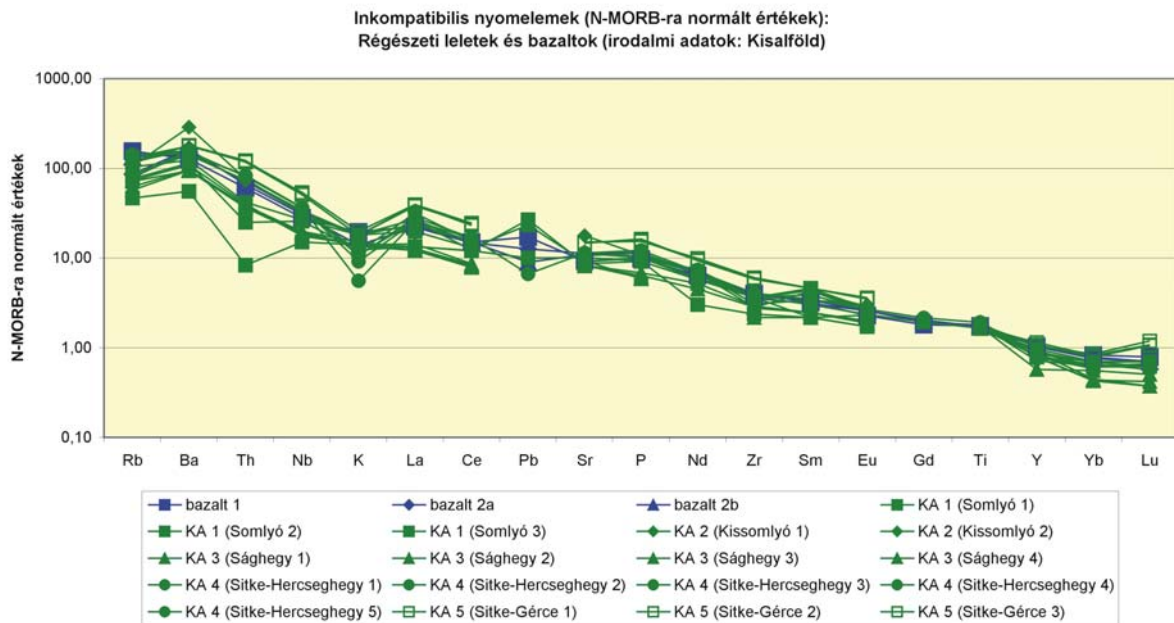


26. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 26.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

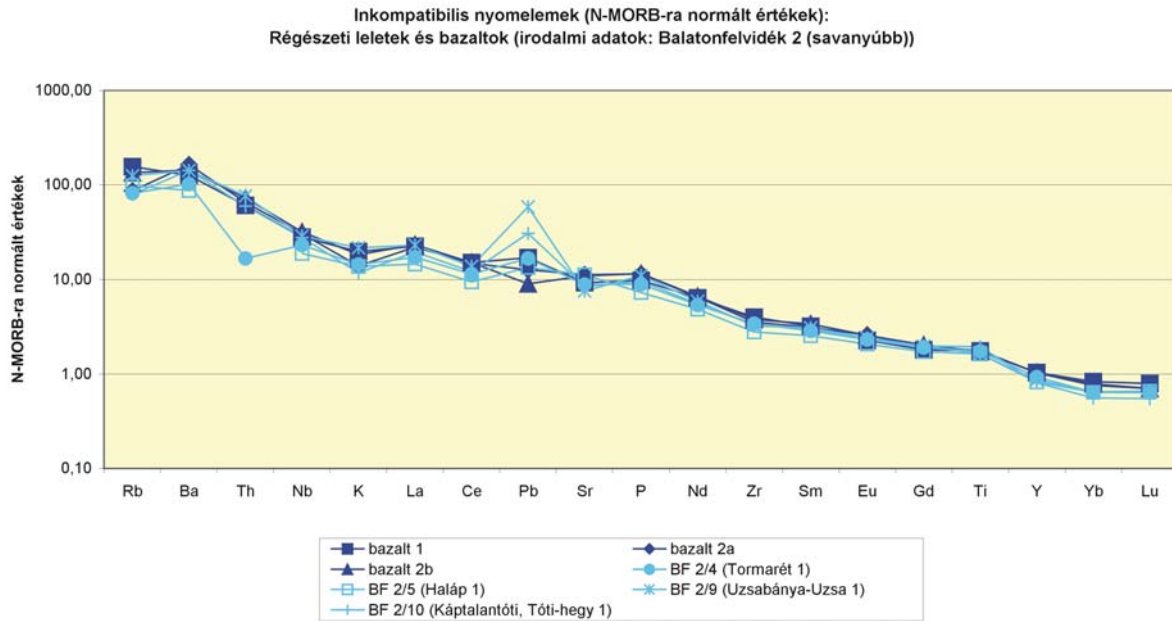


27. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 27.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

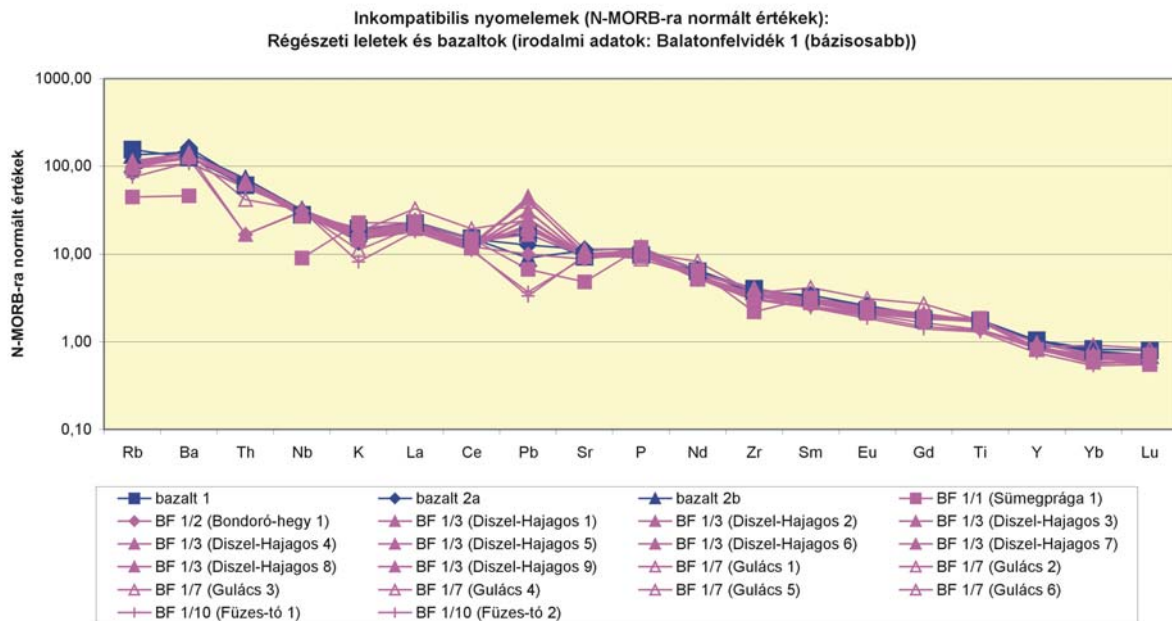


28. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 28.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

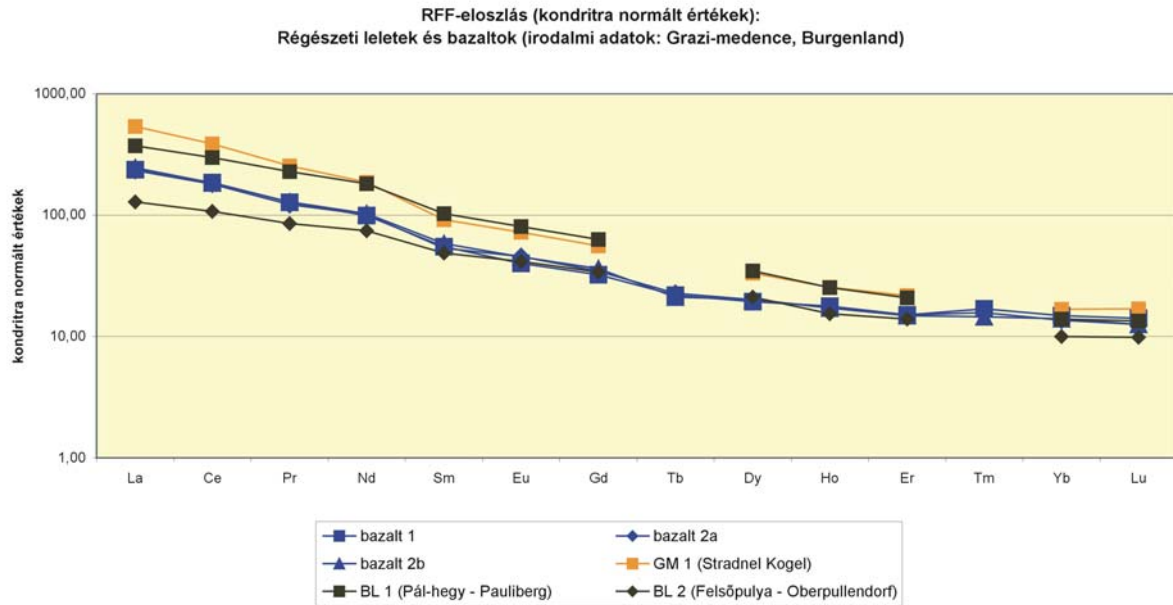


29. ábra

Nyomelemek N-MORB-ra (Pearce and Parkinson 1993.) normált értékei

Fig. 29.

N-MORB (Pearce and Parkinson 1993.) normalized trace element patterns.

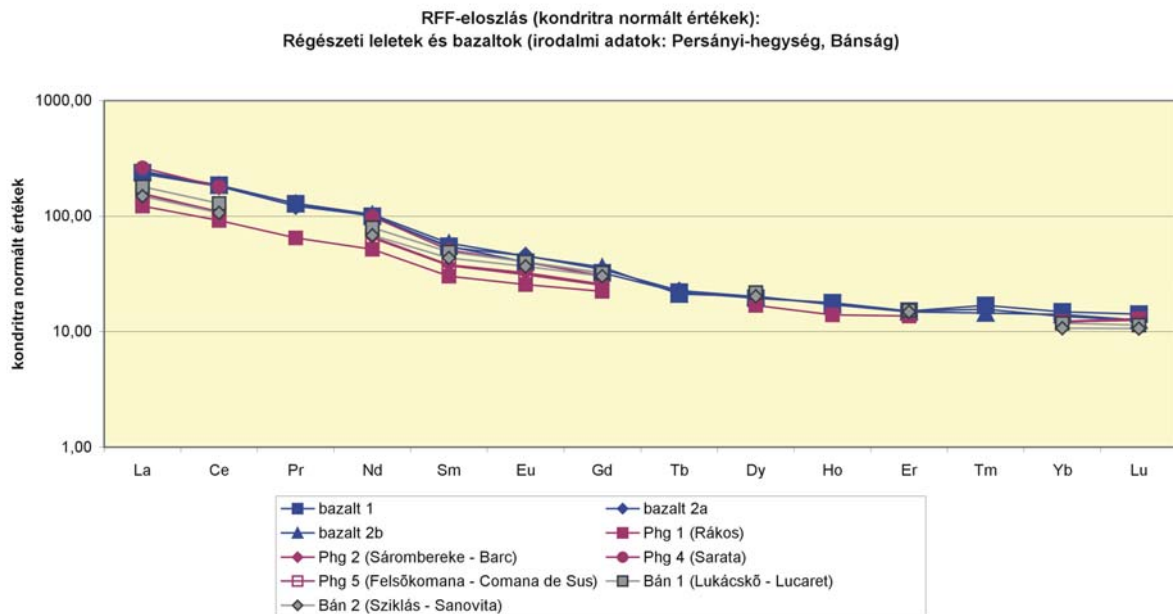


30. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 30.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

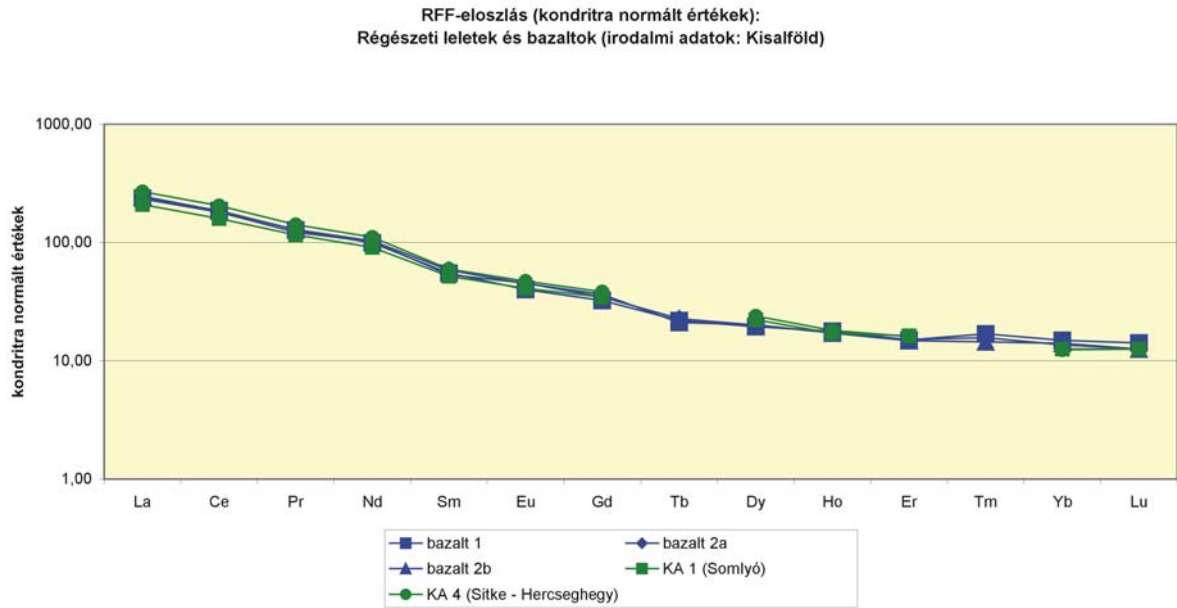


31. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 31.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

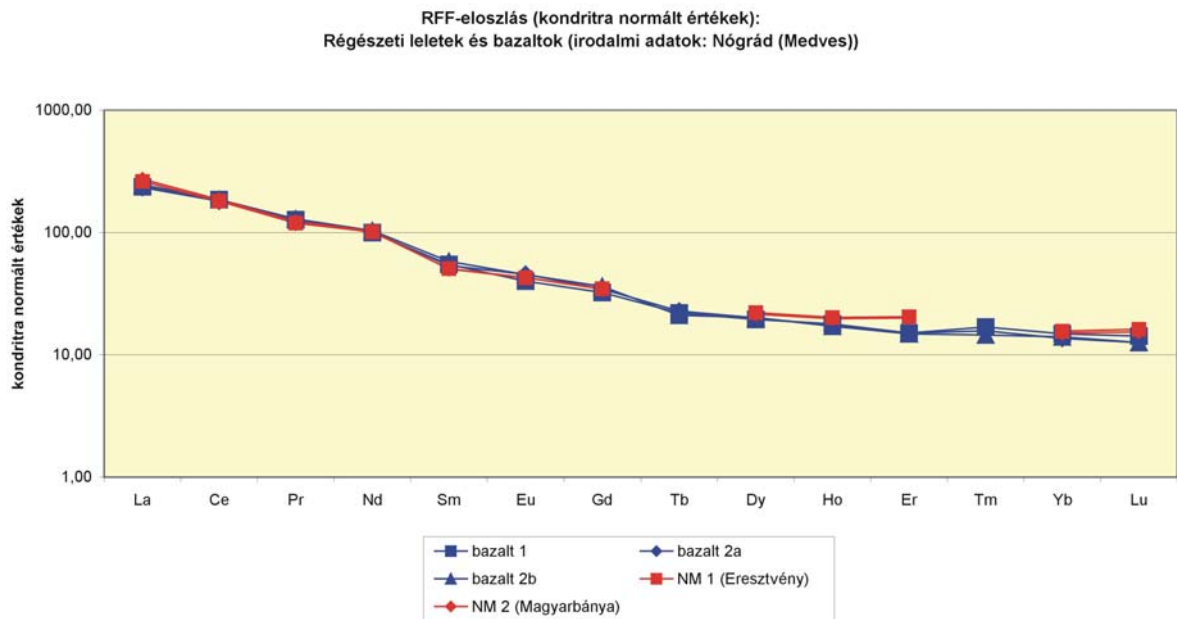


32. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 32.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

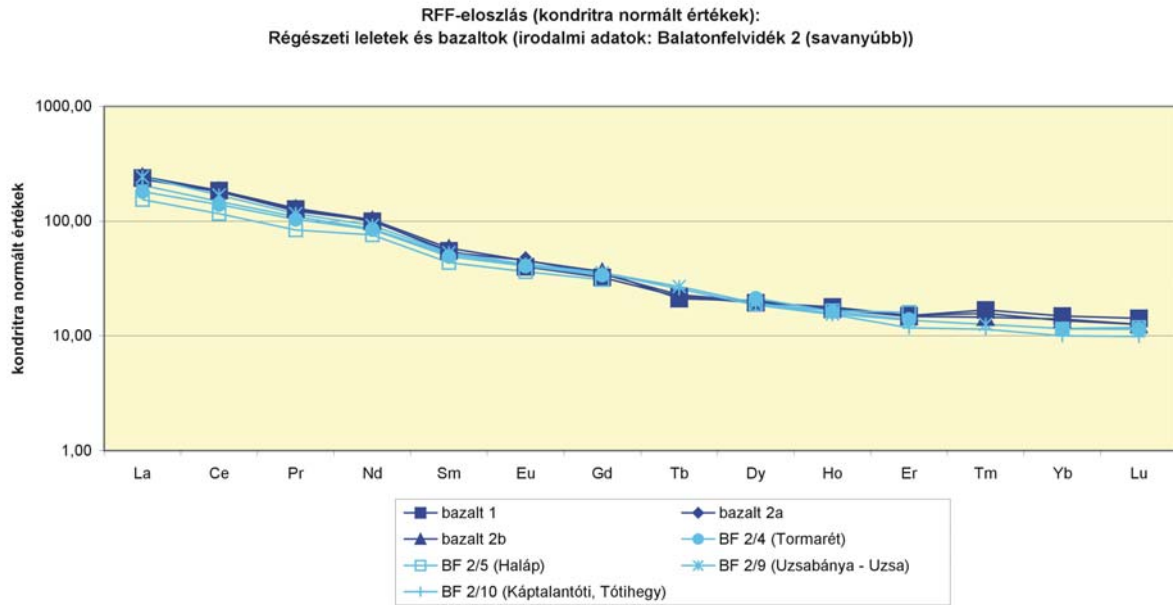


33. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 33.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

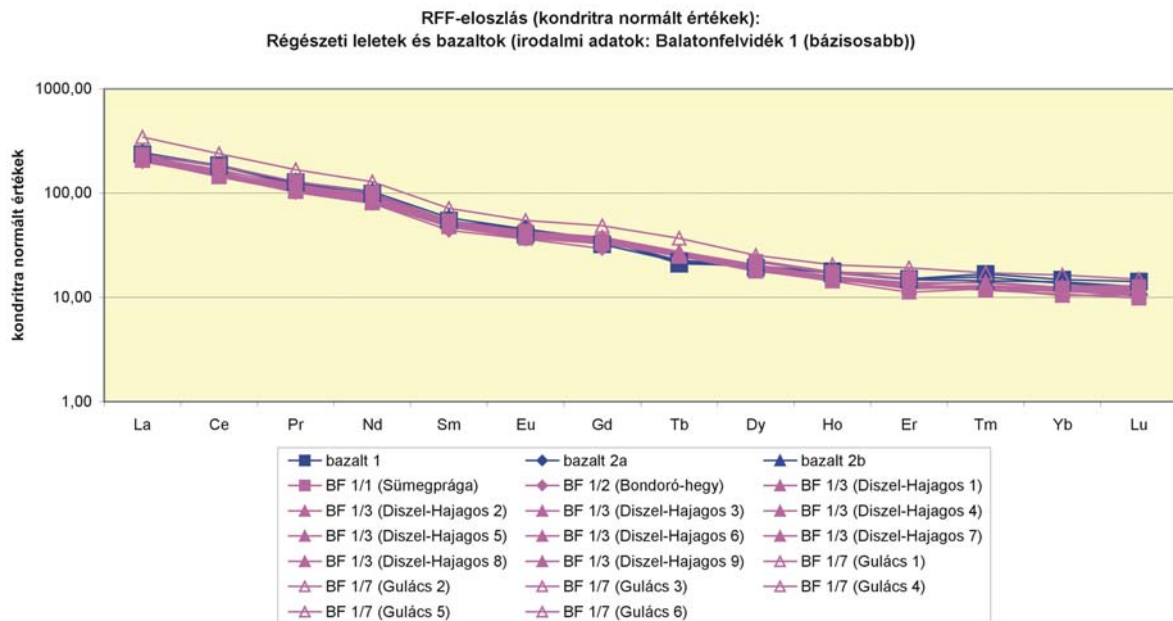


34. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 34.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

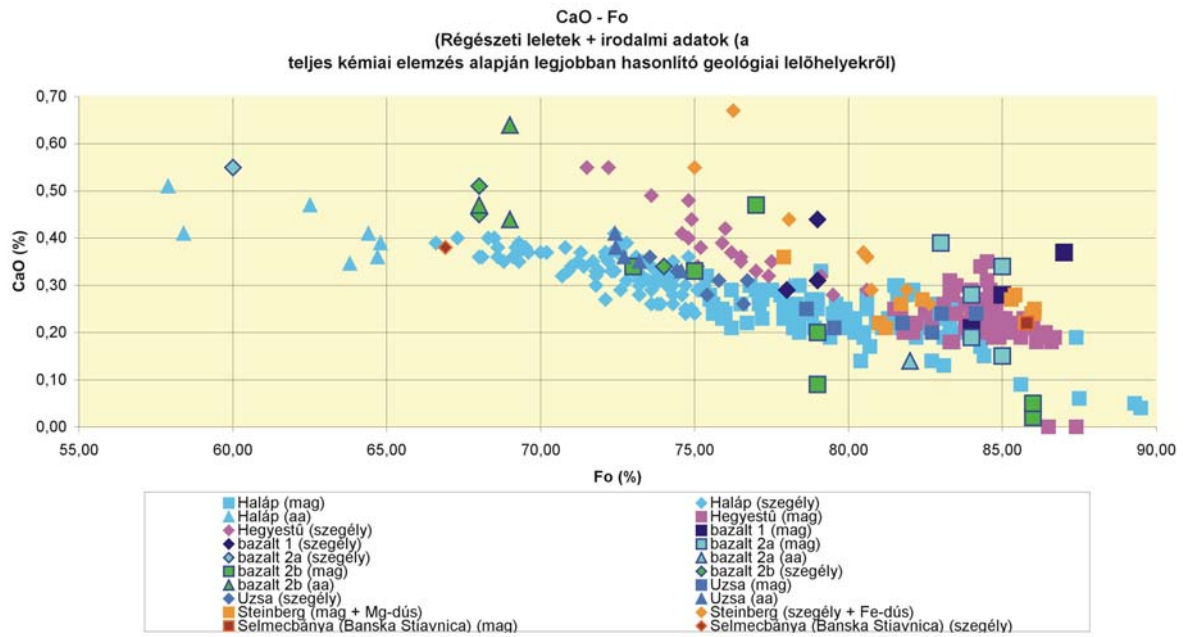


35. ábra

Ritkaföldfémek kondritra (Sun and McDonough 1989.) normált értékei

Fig. 35.

Chondrite (Sun and McDonough 1989.) normalized rare earth element patterns.

**36. ábra**

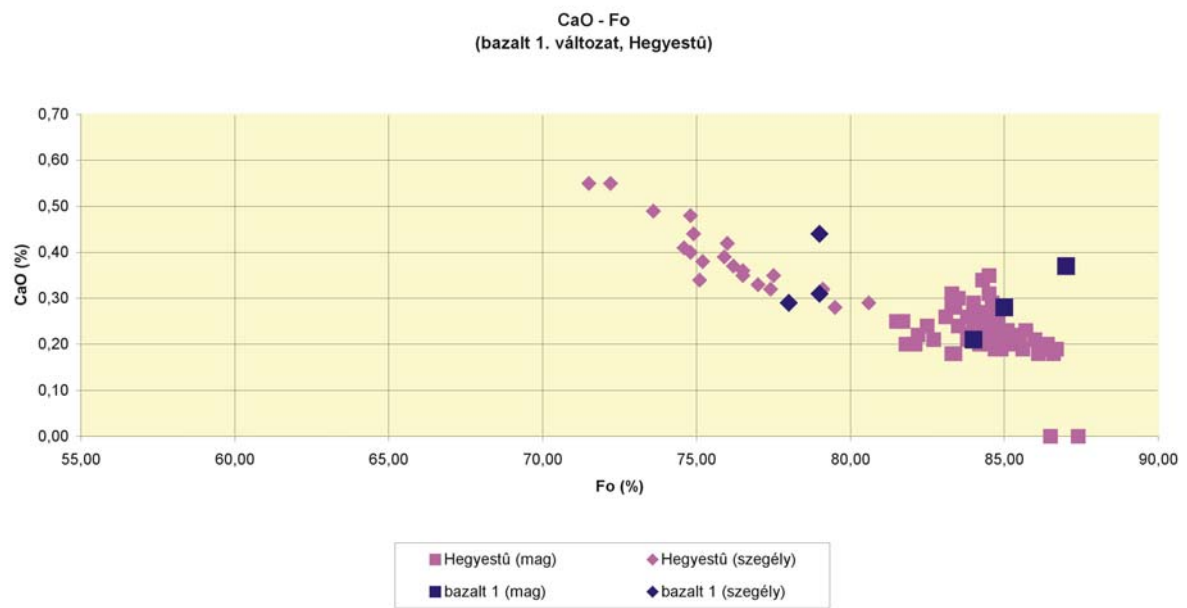
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 36.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**37. ábra**

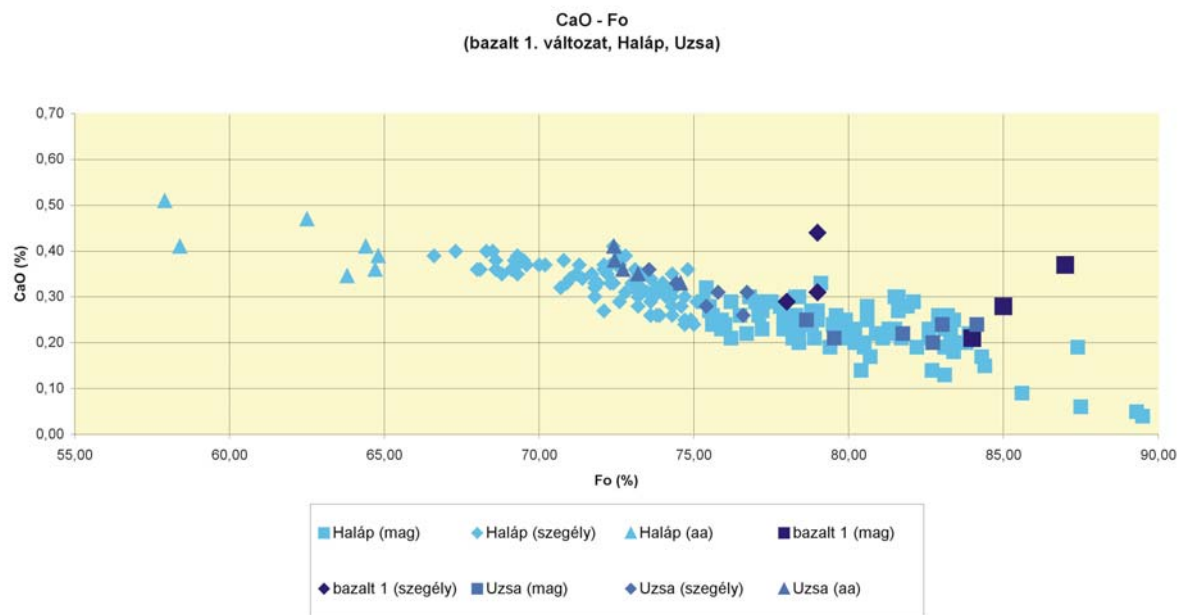
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 37.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**38. ábra**

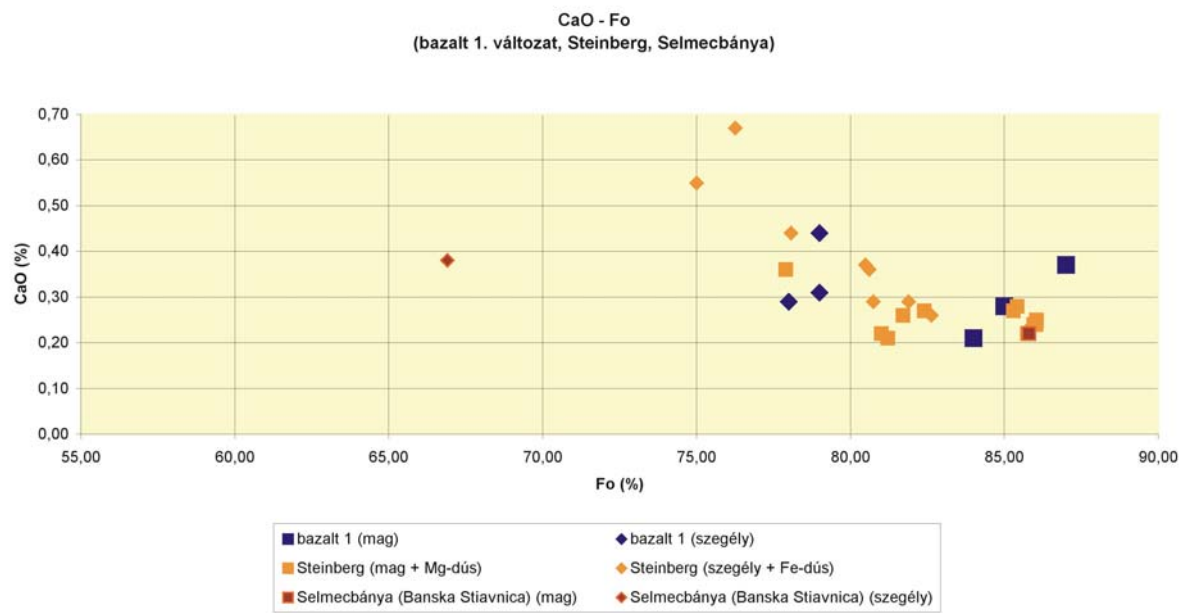
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 38.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**39. ábra**

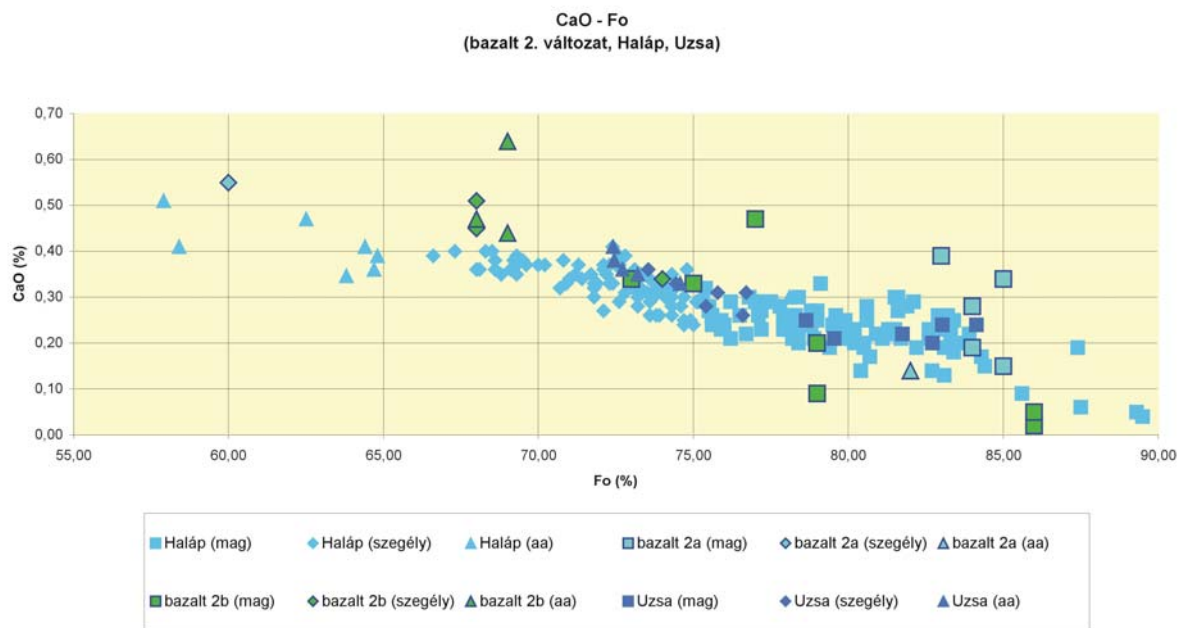
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 39.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**40. ábra**

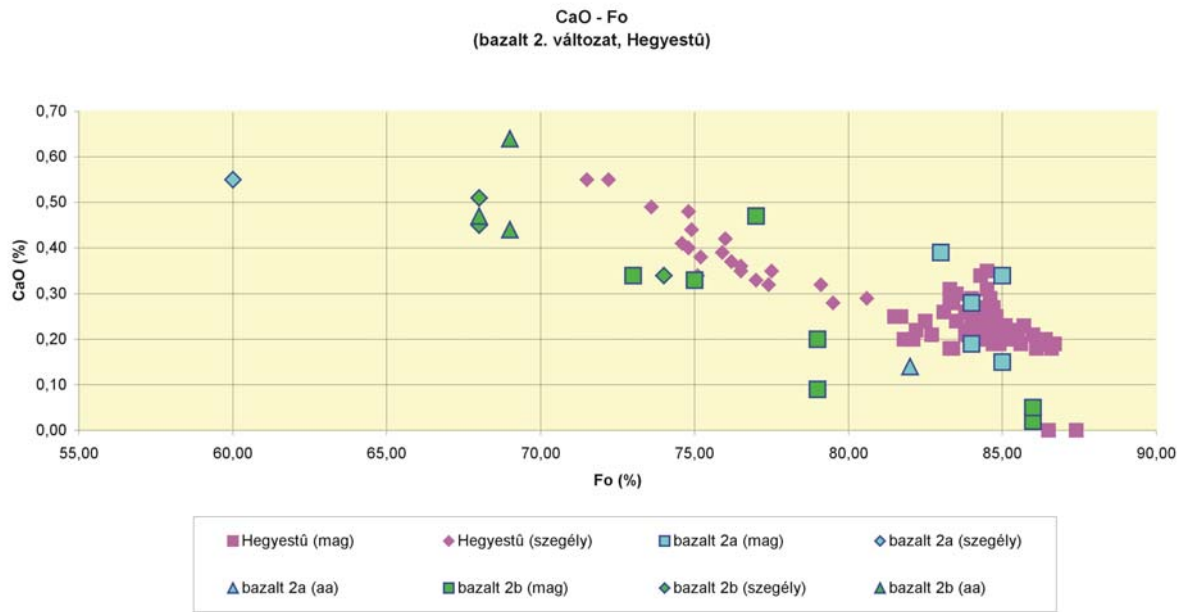
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 40.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)



41. ábra

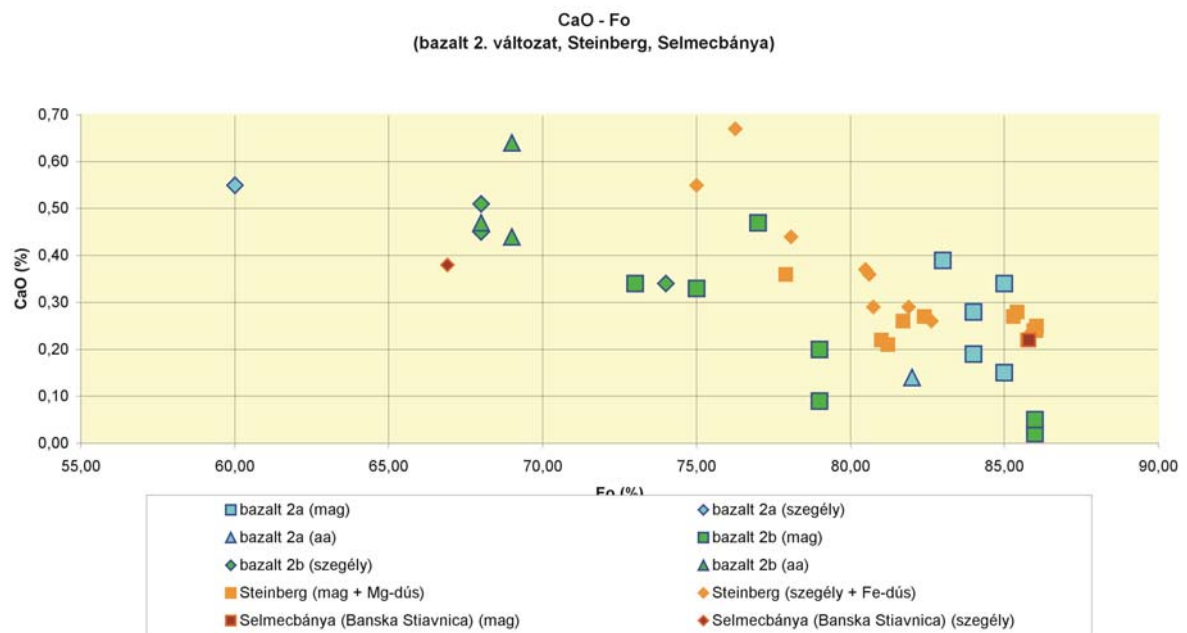
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 41.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**42. ábra**

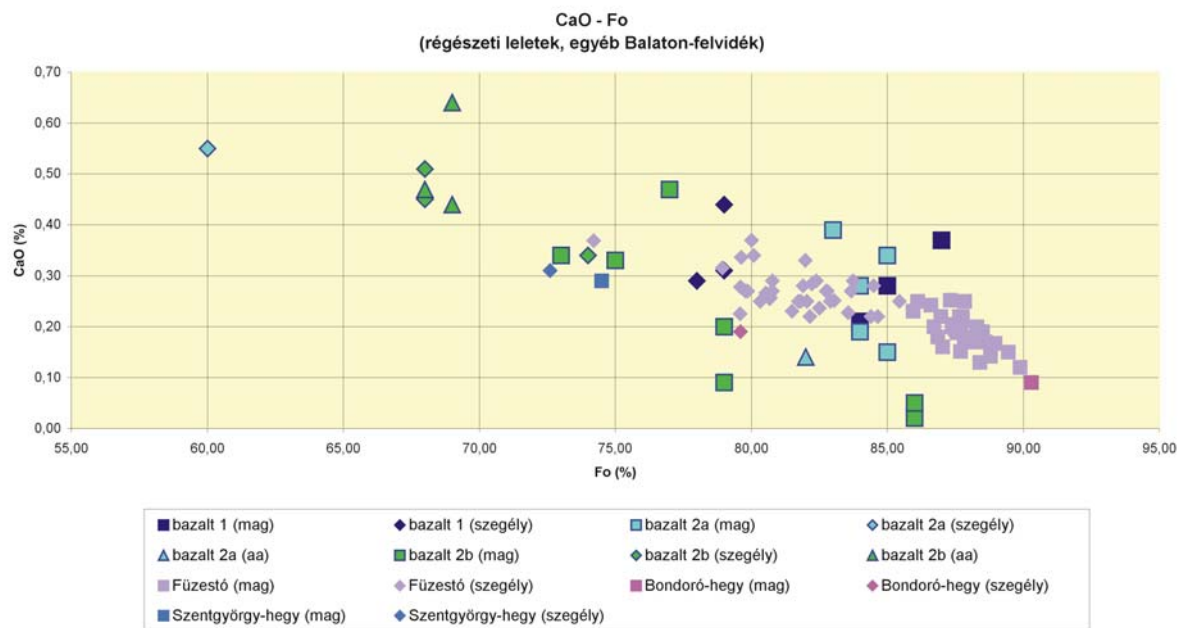
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 42.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**43. ábra**

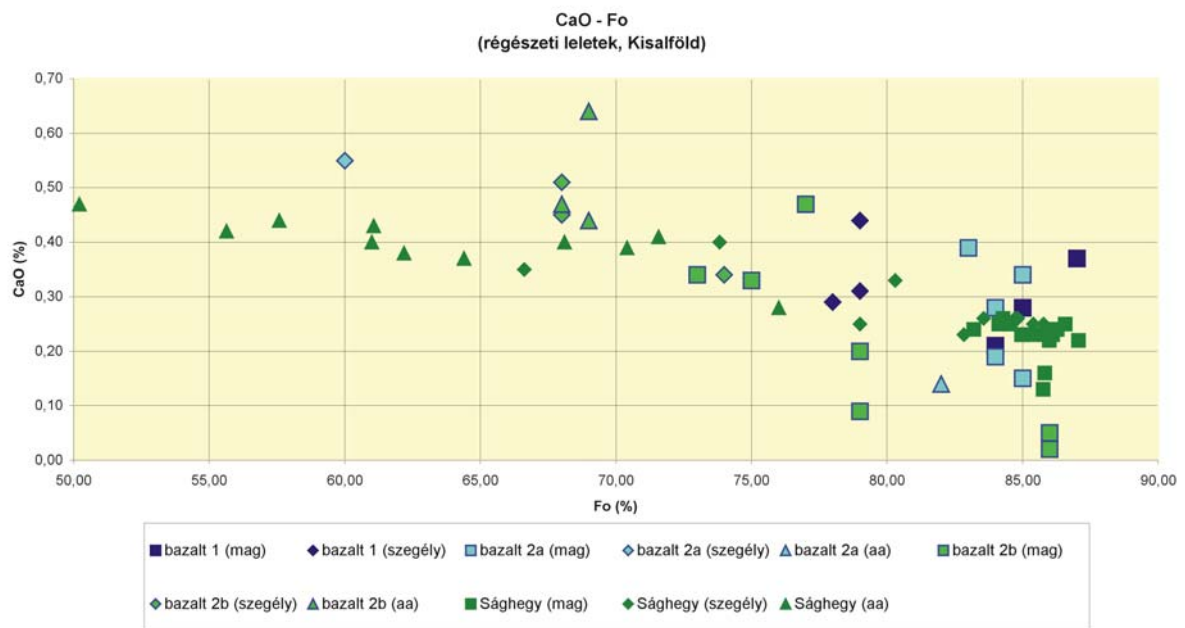
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 43

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**44. ábra**

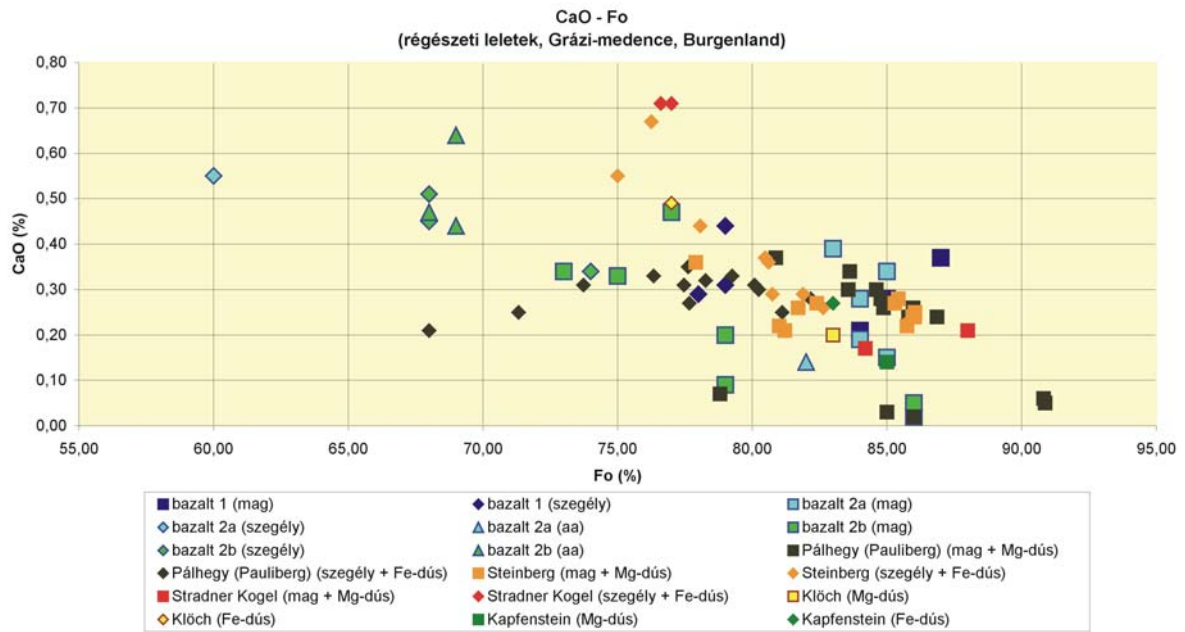
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 44.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**45. ábra**

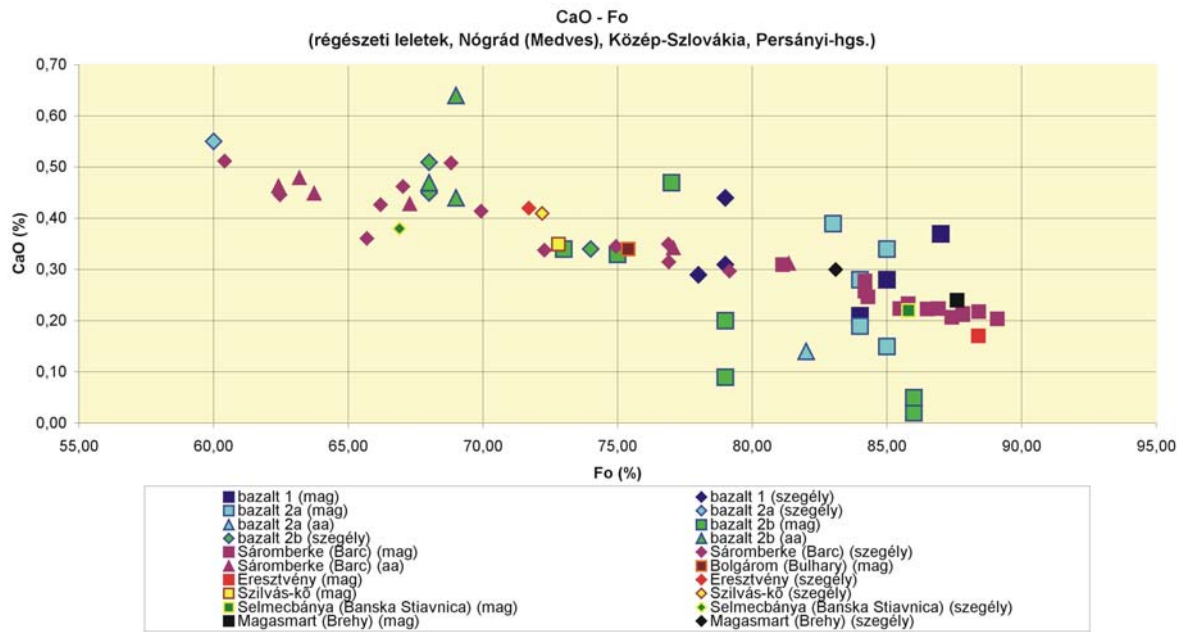
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 45.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)



46. ábra

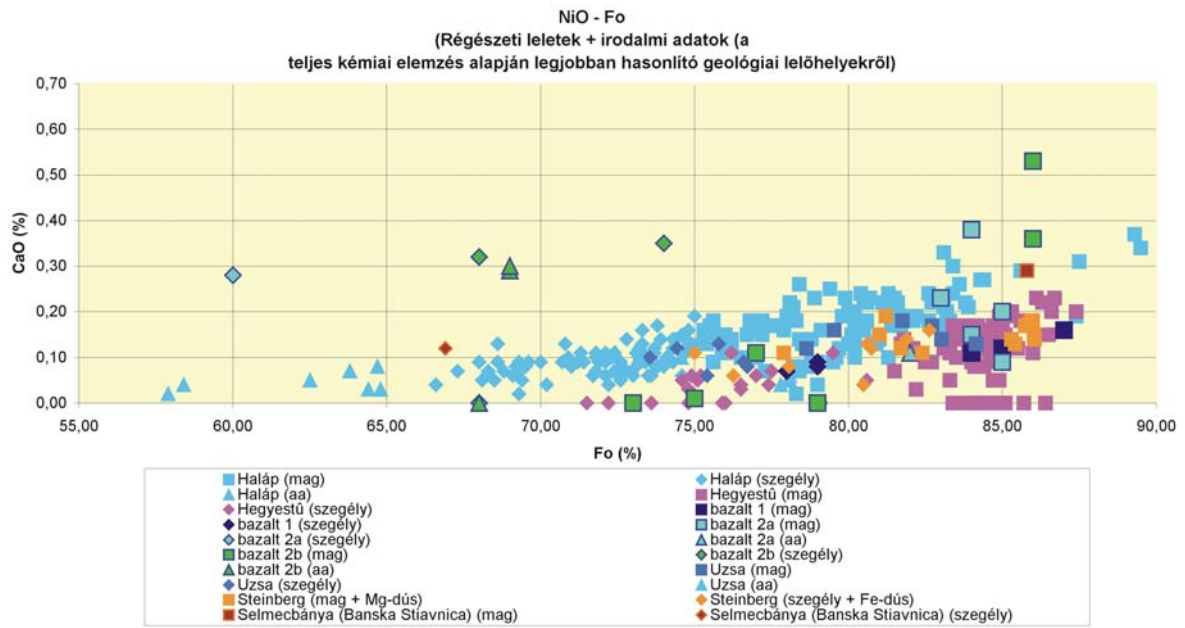
Ásványkémia. Olivinek CaO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 46.

Mineral-chemistry. CaO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**47. ábra**

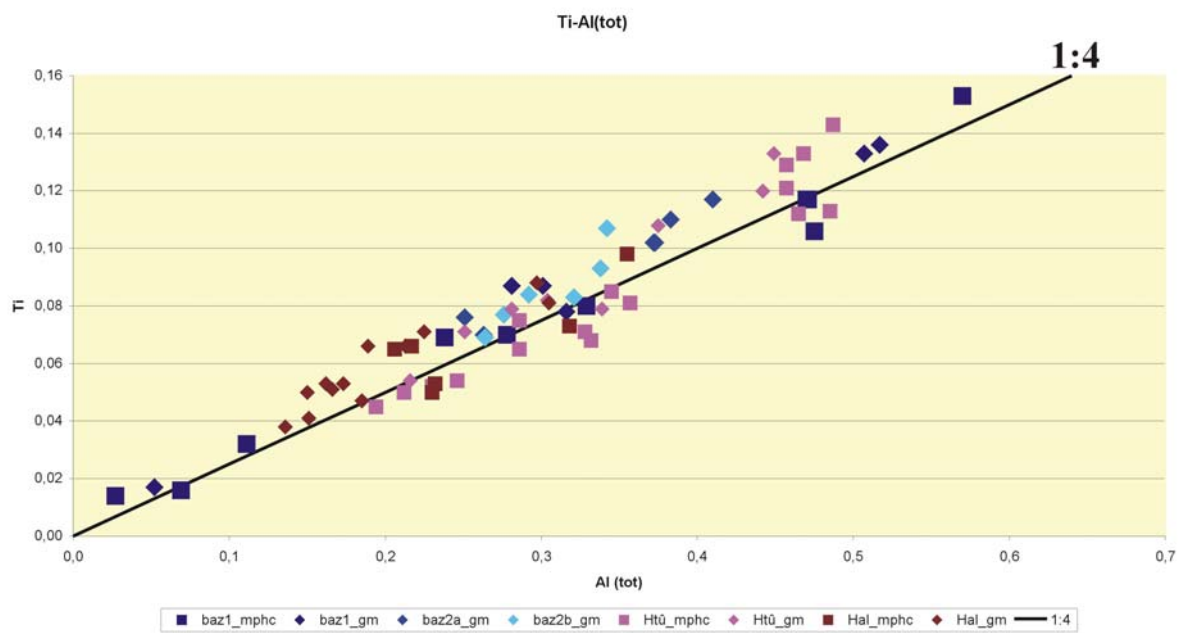
Ásványkémia. Olivinek NiO-tartalma a forsterit-molekula-tartalom függvényében.

(Jelölések: mag: fenokristály magja, szegély: fenokristály szegélye, aa: alapanyag)

Fig. 47.

Mineral-chemistry. NiO-concentration (wt%) as a function of forsterite-content of olivines.

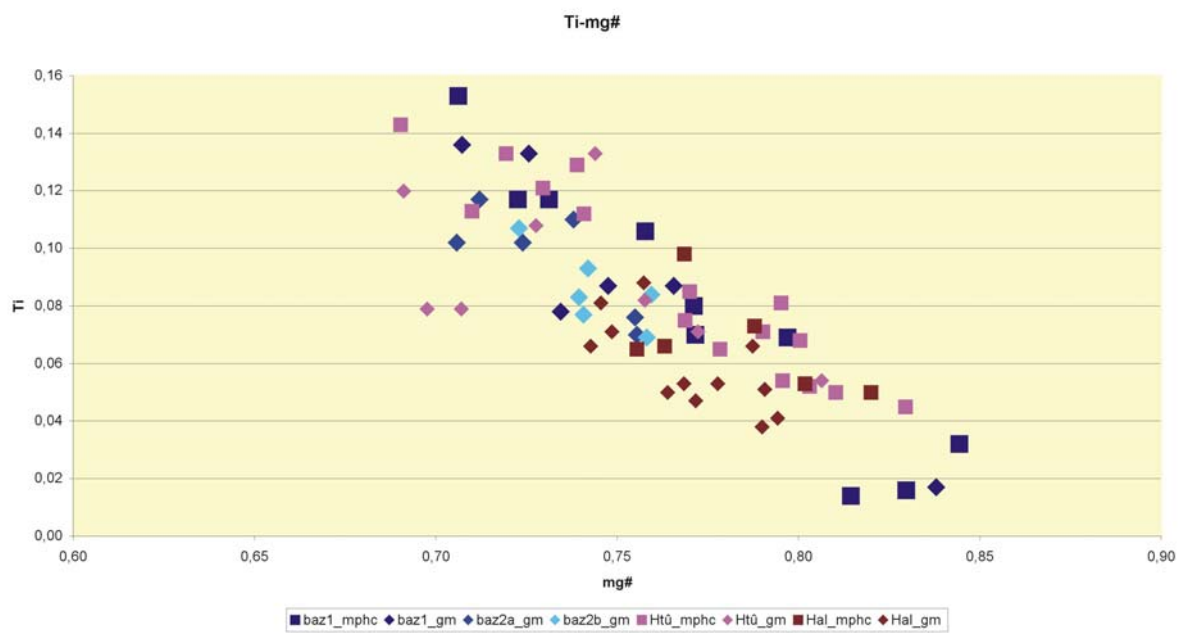
(Notations: mag: phenocrysts core, szegély: phenocrysts rim, aa: groundmass)

**48. ábra**

Ásványkémia. Titánaigitok Ti-tartalma az Al-tartalom függvényében. (Régészeti leletek; Hegyestű, Haláp)
 (Jelölések: mphc: fenokristály, mikrofenokristály, gm: alapanyag)

Fig. 48.

Mineral-chemistry. Ti-content as a function of Al(total)-content. (Archaeological finds; Hegyestű, Haláp)
 (Notations: mphc: phenocrysts, microphenocrysts, gm: groundmass)

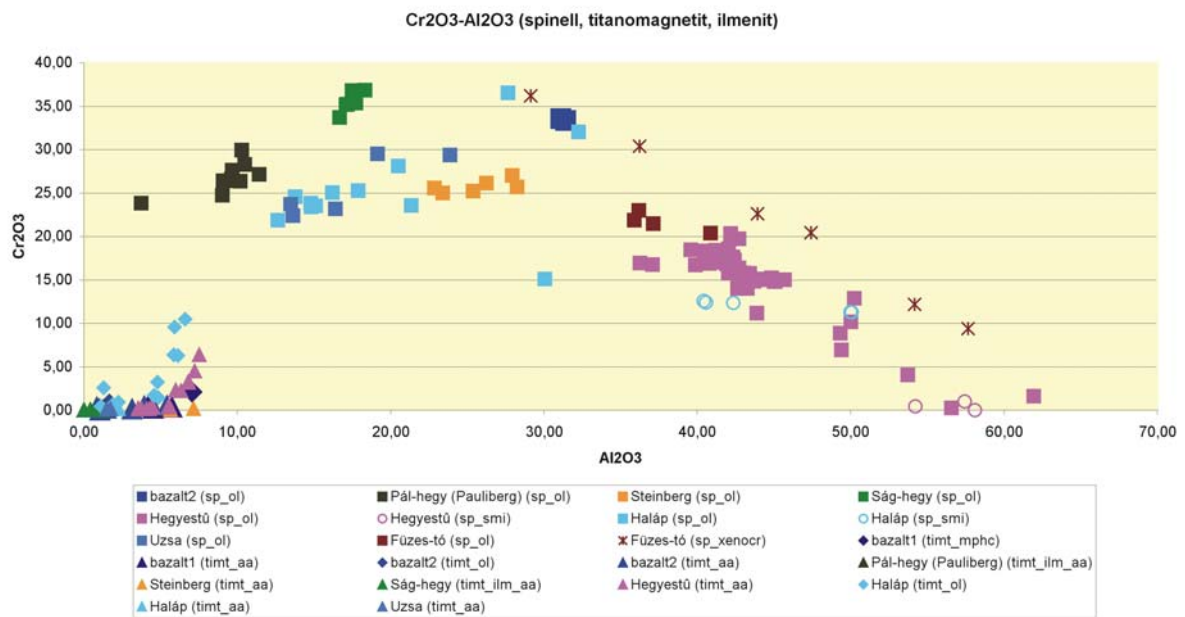
**49. ábra**

Ásványkémia. Titánaugitok Ti-tartalma a magnézium-szám (mg#) függvényében. (Régészeti leletek; Hegyestű, Haláp) (Jelölések: mphc: fenokristály, mikrofenokristály, gm: alapanyag)

Fig. 49.

Mineral-chemistry. Ti-content as a function of magnesium-number (mg#). (Archaeological finds; Hegyestű, Haláp)

(Notations: mphc: phenocrysts, microphenocrysts, gm: groundmass)



50. ábra

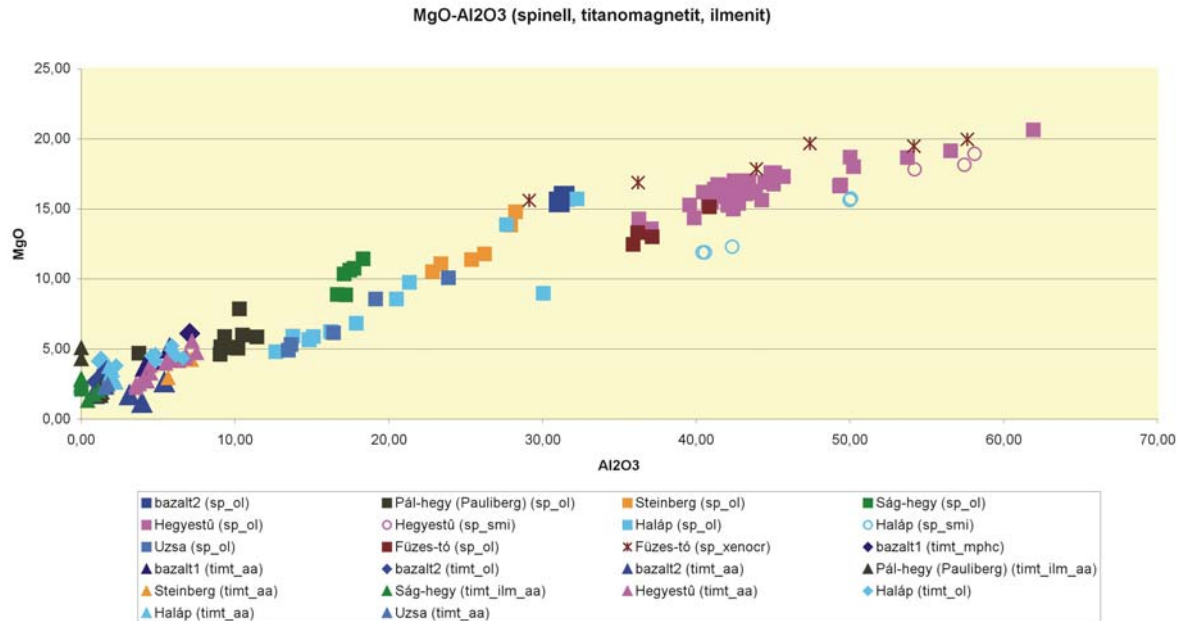
Ásványkémia. Spinellek, titanomagnetitek, ilmenitek Cr₂O₃-tartalma az Al₂O₃-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, geológiai lelőhelyek)

(Jelölések: sp_ol: spinell zárvány olivinben, sp_smi: spinell szilikát-olvadék zárványban, sp_xenocr: spinell zárvány olivin xenokristályban, timt_mphc: titanomagnetit mikrofenokristály, timt_aa: titanomagnetit az alapanyagban, timt_ol: titanomagnetit zárvány olivinben, timt_ilm_aa: titanomagnetit és ilmenit az alapanyagban)

Fig. 50.

Mineral-chemistry. Cr₂O₃-content (wt%) as a function of Al₂O₃-content (wt%) in spinel, titanomagnetite and ilmenite. (Archaeological finds, geological samples)

(Notations: sp_ol: spinel inclusion in olivine, sp_smi: spinel in silicate melt inclusion, sp_xenocr: spinel inclusion in olivine xenocryst, timt_mphc: titanomagnetite as a microphenocryst, timt_aa: titanomagnetite in the groundmass, timt_ol: titanomagnetite inclusion in olivine, timt_ilm_aa: titanomagnetite and ilmenite in the groundmass)

**51. ábra**

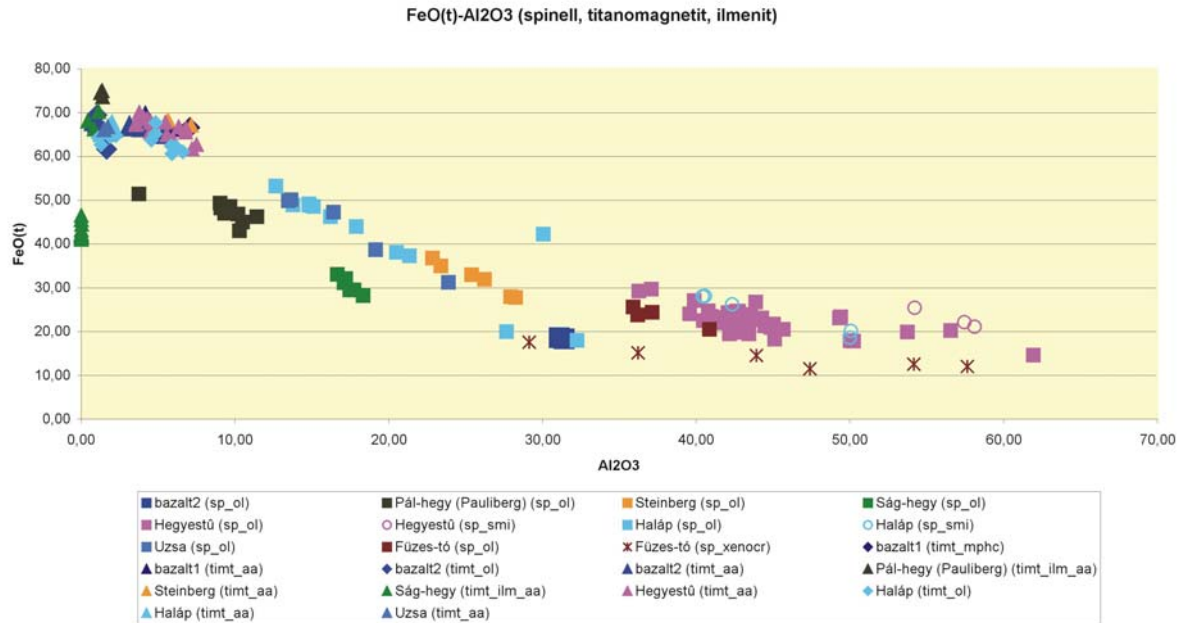
Ásványkémia. Spinellek, titanomagnetitek, ilmenitek MgO-tartalma az Al₂O₃-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, geológiai lelőhelyek)

(Jelölések: sp_ol: spinell zárvány olivinben, sp_smi: spinell szilikát-olvadék zárványban, sp_xenocr: spinell zárvány olivin xenokristályban, timt_mphc: titanomagnetit mikrofenokristály, timt_aa: titanomagnetit az alapanyagban, timt_ol: titanomagnetit zárvány olivinben, timt_ilm_aa: titanomagnetit és ilmenit az alapanyagban)

Fig. 51.

Mineral-chemistry. MgO-content (wt%) as a function of Al₂O₃-content (wt%) in spinel, titanomagnetite and ilmenite. (Archaeological finds, geological samples)

(Notations: sp_ol: spinel inclusion in olivine, sp_smi: spinel in silicate melt inclusion, sp_xenocr: spinel inclusion in olivine xenocryst, timt_mphc: titanomagnetite as a microphenocryst, timt_aa: titanomagnetite in the groundmass, timt_ol: titanomagnetite inclusion in olivin, timt_ilm_aa: titanomagnetite and ilmenite in the groundmass)



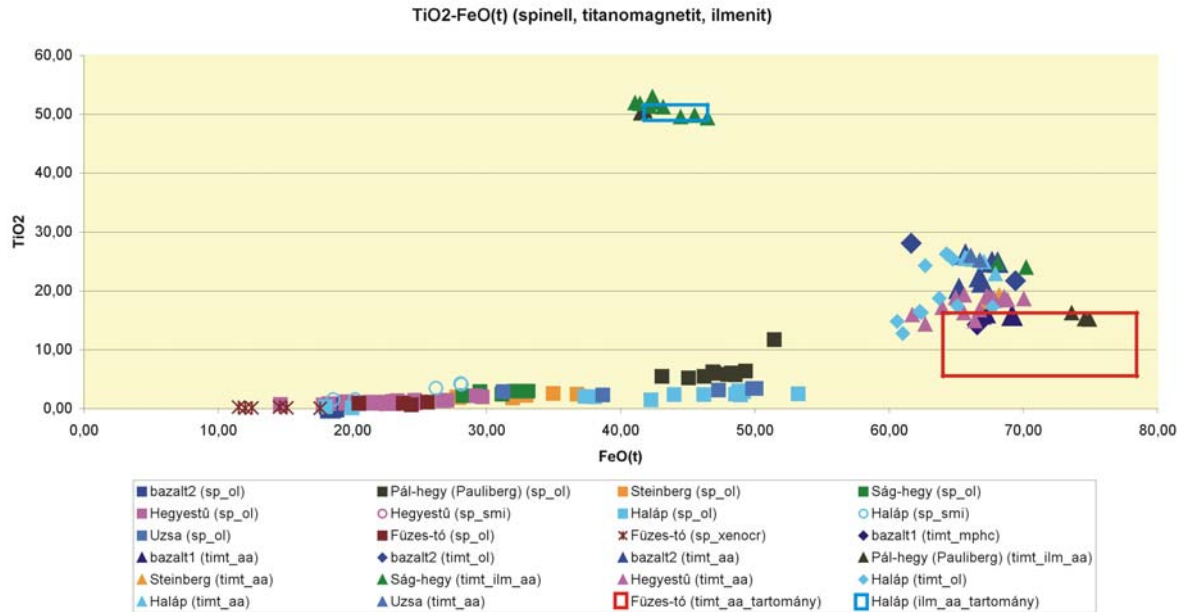
52. ábra

Ásványkémia. Spinellek, titanomagnetitek, ilmenitek FeO(total)-tartalma az Al₂O₃-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, geológiai lelőhelyek)

(Jelölések: sp_ol: spinell zárvány olivinben, sp_smi: spinell szilikát-olvadék zárványban, sp_xenocr: spinell olivin xenokristályban, timt_mphc: titanomagnetit mikrofenokristály, timt_aa: titanomagnetit az alpanyagban, timt_ol: titanomagnetit zárvány olivinben, timt_ilm_aa: titanomagnetit és ilmenit az alpanyagban)

Fig. 52.

Mineral-chemistry. FeO(total)-content (wt%) as a function of Al₂O₃-content (wt%) in spinel, titanomagnetite and ilmenite. (Archaeological finds, geological samples) (Notations: sp_ol: spinel inclusion in olivine, sp_smi: spinel in silicate melt inclusion, sp_xenocr: spinel inclusion in olivine xenocryst, timt_mphc: titanomagnetite as a microphenocryst, timt_aa: titanomagnetite in the groundmass, timt_ol: titanomagnetite inclusion in olivine, timt_ilm_aa: titanomagnetite and ilmenite in the groundmass)



53. ábra

Ásványkémia. Spinellek, titanomagnetitek, ilmenitek TiO₂-tartalma az FeO(total)-tartalom függvényében. (Régészeti leletek, geológiai lelőhelyek)

(Jelölések: sp_ol: spinell zárvány olivinben, sp_smi: spinell szilikát-olvadék zárványban, sp_xenocr: spinell olivin xenokristályban, timt_mphc: titanomagnetit mikrofenokristály, timt_aa: titanomagnetit az alapanyagban, timt_ol: titanomagnetit zárvány olivinben, timt_ilm_aa_ titanomagnetit és ilmenit az alapanyagban)

Fig. 53.

Mineral-chemistry. TiO₂-content (wt%) as a function of FeO(total)-content (wt%) in spinel, titanomagnetite and ilmenite. (Archaeological finds, geological samples) (Notations: sp_ol: spinel inclusion in olivine, sp_smi: spinel in silicate melt inclusion, sp_xenocr: spinel inclusion in olivine xenocryst, timt_mphc: titanomagnetite as a microphenocryst, timt_aa: titanomagnetite in the groundmass, timt_ol: titanomagnetiteinclusion in olivin, timt_ilm_aa: titanomagnetite and ilmenite in the groundmass, tartomány: within the range of)

ELŐTANULMÁNYOK A KERÁMIA NYERSANYAG MINTAVÉTELEZÉS STRATÉGIÁJÁNAK KIDOLGOZÁSÁHOZ A KÖZÉPSŐ NEOLITIKUS BÜKKI KULTÚRA FINOMKERÁMIÁJÁNAK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATA KAPCSÁN

PROSPECTING FOR ARCHAEOLOGICAL POTTERY PROVENANCE: EXPERIENCES ON MIDDLE NEOLITHIC BÜKK CULTURE FINEWARE FROM HUNGARY

SZILÁGYI VERONIKA^{1*}, SZAKMÁNY GYÖRGY², T. BIRÓ KATALIN³, HEINRICH
TAUBALD⁴, TÓTH MÁRIA⁵, BALÁZS RÉKA⁵, VIKTORIA LENO⁴, ZÖLDFÖLDI
JUDIT⁴, CSENGERI PIROSKA⁶

¹ MTA Izotópkutató Intézet, Budapest, Konkoly-Thege út 29-33., H-1121,

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, FFI, Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, H-1117

³ Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, Múzeum körút 14-16, H-1088

⁴ Chair of Isotope Geochemistry, University of Tübingen, 56 Wilhelm Str., D-72074 Tübingen, Germany

⁵ MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest, Budaörsi út 45., H-1112

⁶ Herman Ottó Múzeum, Miskolc, Görgey A. utca 28., H-3529

E-mail: szilagyv@iki.kfki.hu

Abstract

Provenance investigation of archaeological pottery means determining the sources of natural or artificial mixture of raw materials, and requires tracking the steps of a complex manufacturing process. The basic step is to sample the possible raw materials and to compare them with the pottery. It is a fundamental task to develop an effective sampling strategy for ceramic raw materials according to the conditions of the different archaeological sites.

This paper discusses the problems of geological fieldwork during the investigation of Middle Neolithic Bükk Culture (c. 5200-5000 B.C.) fine pottery in Hungary. Improving our knowledge on appropriate sampling strategy, this study showed two sites with similar geology and slightly different geomorphological position which gave different results. The variable influence of the local geology on the near-surface sediments may be the underlying reason. Therefore, provenance analysis of archaeological ceramics should be supported by proper petrological-mineralogical-geochemical and sedimentological databases, built on systematic sampling and investigation of local near-surface sediments. For Neolithic pottery in Hungary we are creating for this purpose the CeraMIS database as an initial set of information. Such a dataset can help to better understand the natural variability of the potential raw materials of a certain area and help to determine the local or non-local origin of pottery.

Kivonat

A régészeti kerámiák nyersanyageredet (proveniencia) vizsgálata egy bonyolult készítési folyamat visszanyomozását jelenti. Ennek során mind a természetes nyersanyagok lehetséges lelőhelyeit, mind az esetleges mesterségesen létrehozott keverék anyagok alkotóit azonosítani kell. A régészeti lelőhely környezetéből gyűjtött, kerámiakészítésre alkalmas üledékek mintázása és összehasonlító vizsgálata az egyik általánosan alkalmazott módszer a proveniencia vizsgálatokban. Ehhez azonban minden egyes lelőhely esetében a megfelelően széleskörű és reprezentatív mintavételezési stratégia kidolgozása szükséges.

Tanulmányunk a középső neolitikus Bükk kultúra (B.C. 5200-5000) finomkerámiájának proveniencia vizsgálata során szerzett terepi mintavételi tapasztalatunkról számol be. Célunk az volt, hogy ismereteket szerezzünk a vizsgált bükki települések kerámiakészítéshez felhasznált nyersanyagairól. Két kiválasztott lelőhely példáján azt szemléltetjük, hogy a hasonló földtani, illetve alig eltérő geomorfológiai adottságok esetén ugyanaz a mintavételi módszer nem egyenlő mértékben sikeres. Ennek oka az lehet, hogy a lelőhelyek felszínközeli üledékeinek kialakulásában eltérő szerepet játszott a folyóvízi és az in situ közet-üledékképződés. Mindez rámutat arra, hogy a megalapozott proveniencia vizsgálatához szükség van a helyi nyersanyagok természetes közet-ásványtani, geokémiai és szedimentológiai változékonyságának ismeretére. Ehhez a lehetséges nyersanyagok szisztematikus mintavételezését és vizsgálatát, valamint az eredmények adatbázis jellegű összegzését kell elvégezni.

Kutatócsoportunk a hazai neolitikus kerámiák több éves vizsgálata alapján elkezdte egy ilyen adatbázis létrehozását, CeraMIS néven. Reményeink szerint a folyamatosan bővülő adatbázis a jövőben segíteni fogja a régészeti kerámiák (helyi vagy nem helyi) nyersanyag eredetének meghatározását.

KEYWORDS: KEYWORDS: PROVENANCE, NATURAL VARIABILITY, SAMPLING STRATEGY, PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY

KULCSSZAVAK: NYERSANYAGEREDET VIZSGÁLAT, TERMÉSZETES VÁLTOZÉKONYSÁG, MINTAVÉTELI STRATÉGIA, KÖZETTAN, GEOKÉMIA

Bevezetés

A régészeti kerámiák nyersanyag eredet vizsgálata egy bonyolult készítési folyamat visszanyomozását jelenti. Ennek során mind a természetes nyersanyagok (pl. agyag, kőzetlisztes-homokos agyag) lehetséges lelőhelyeit, mind az esetleges mesterségesen (pl. soványítással, agyagok keverésével) létrehozott keverék anyagok alkotóit azonosítani kell. A régészeti lelőhely környezetéből gyűjtött, kerámiakészítésre alkalmas üledékek mintázása és összehasonlító vizsgálata az egyik általánosan alkalmazott módszer a proveniencia vizsgálatokban. Ehhez azonban minden egyes lelőhely esetében a megfelelően széleskörű és reprezentatív mintavételezési stratégia kidolgozása szükséges. A kőzetliszt-homok szemcseméretű alkotók (nem plasztikus elegyrészek, soványító anyag) alapvető vizsgálati módszere a mikroszkópos petrográfia. A finomabb szemcseméretű alapanyag azonban műszeres ásványtani és geokémiai vizsgálatot igényel.

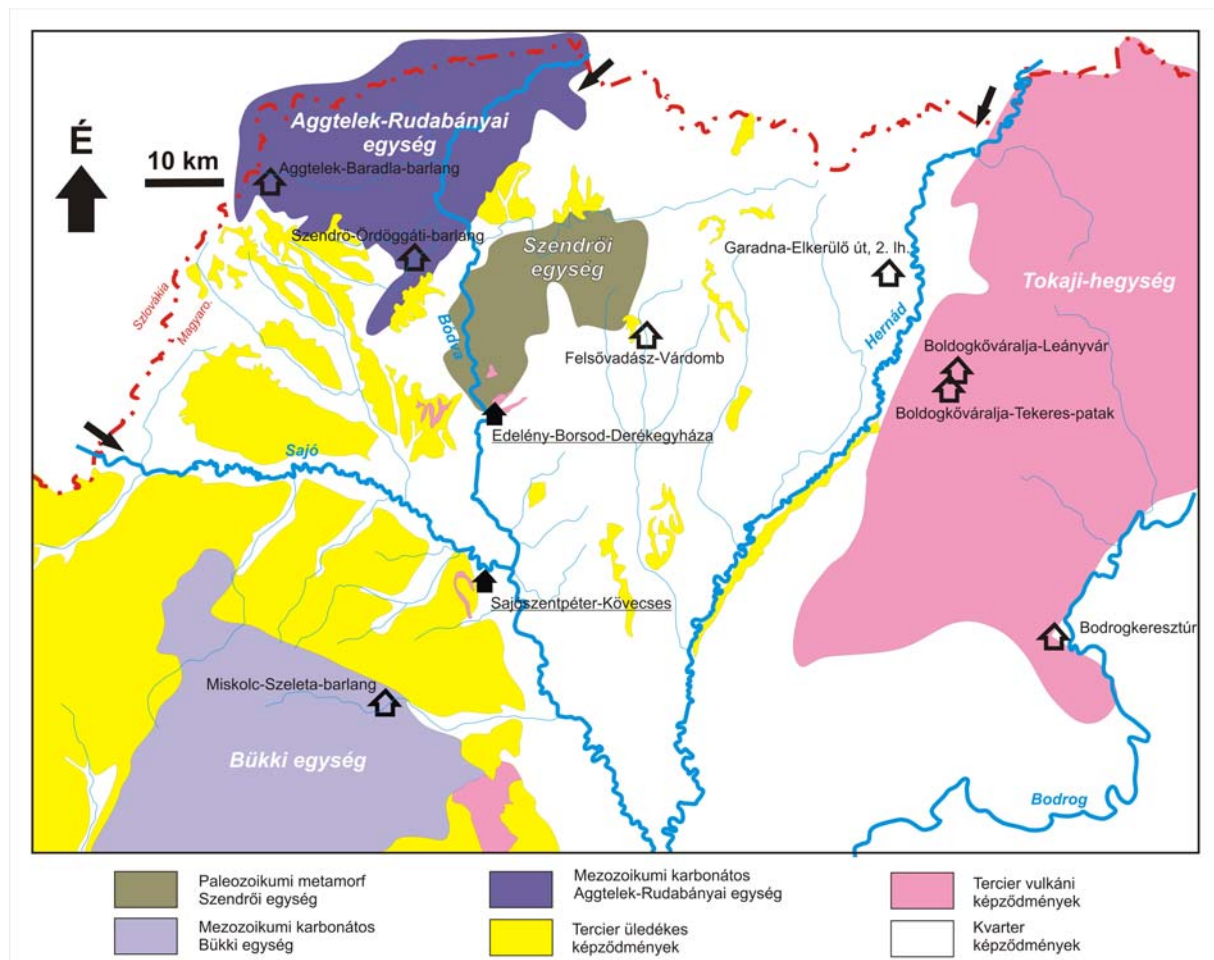
Komoly problémát jelent a régészeti kerámiák jelenlegi összetételének összehasonlítása a lehetséges nyersanyagokkal. Ennek az az oka, hogy a kerámia ásványos és kémiai összetétele nagyban módosulhat a kiinduló anyagéhoz képest az összetett kerámiakészítési folyamat (pl. nyersanyag előkészítés, soványítás, kiégetés) folyamán. Emellett az edényhasználat és az azt követő betemetődés (üledékképződés, talajosodás) eseményei is fontos változásokat idézhetnek elő az edénytestben.

A lehetséges nyersanyagok mintázása során azt is figyelembe kell venni, hogy több száz vagy ezer évvel korábban alkalmazott anyagokat keresünk. Az egyik alapvető feltétele a sikeres proveniencia vizsgálatoknak az, hogy a nyersanyagok lelőhelyen belüli természetes (ásványtani, kémiai) változékonysága kisebb legyen, mint a különböző lelőhelyek közötti változékonyság (pl. Weigand et al. 1977; Neff & Glowacki 2004; Caple 2006; Tykot 2004). Földrajzilag helyi-közeli (általában ~1 km, max. 7 km) és távoli-ismeretlen (több mint 7 km) nyersanyagforrásokat különítenek el (a definíciók Arnold 2005 és 2006 emberi-állati teherhordásra korlátozódó népcsoportoknál végzett néprajzi megfigyeléseinek alapulnak). Földtani szempontból 1-7 km-es távolságon belül már jelentős változás lehetséges az üledék litológiájában és mállottságában.

A fent ismertetettekhez a hazai kutatások esetében még azt fontos hozzátenni, hogy a Kárpát-medence földtani-geomorfológiai adottságai gyakori és változatos megjelenésű, kerámiakészítésre alkalmas agyagos nyersanyag képződést tettek lehetővé. Különösen fontos tehát kidolgoznunk a megfelelően hatékony mintavételezési stratégiát a régészeti kerámiák nyersanyag eredet vizsgálatához.

Tanulmányunk a középső neolit Bükki kultúra (B.C. 5200-5000; Csengeri 2010) finomkerámiájának proveniencia vizsgálata során szerzett terepi mintavételi tapasztalatunkról számol be. Finomkerámiának a finomszemcsés (<1 mm) és vékonyfalú (<6 mm), leggyakrabban bomba alakú edények díszített (bekarcolt díszű, inkrusztált, polírozott) vagy díszítetlen töredékeit tekintettük. Célunk az volt, hogy ismereteket szerezzünk a vizsgált bükki települések kerámiakészítéshez felhasznált nyersanyagairól. Tapasztalatainkat a jövőbeli, széleskörű nyersanyag mintavételezési munkáknál tervezzük felhasználni. Emellett az egyes régészeti lelőhelyek esetében tervezhető mintavételezéshez szándékozunk alapismeretet adni.

A középső neolitikus Bükki kultúra finomkerámiájáról, illetve a lehetséges helyi nyersanyagokról eddig tíz régészeti lelőhely környezetéből gyűjtött ismereteinket már többször összefoglaltuk (Szilágyi et al. 2011; Taubald & T. Biró 2007, **1. ábra**). A "hegyvidéki" kultúra származtatásáról és elterjedéséről, illetve sajátos finomkerámiájáról több szerző készített összefoglalót (Kalicz & Makkay 1977; Tompa 1929; Csengeri 2010). Egy DAAD-MÖB német-magyar kétoldalú kutatóprogram keretében ezen finomkerámia archeometriai jellemzését végeztük el néhány, a kultúrterületen belüli lelőhelyen. A tíz lelőhely kiválasztása egyrészt régészeti jelentőségükön alapult, másrészt figyelembe vettük földtani és földrajzi-geomorfológiai adottságaikat is. Ennek megfelelően választottunk ki folyóvízgyi, hegytetői, hegyoldali és barlangi lelőhelyeket. Ezzel párhuzamosan a paleozoikumi metamorf alapkőzettől (pl. Szendrői egység), a mezozoikumi karbonátos (pl. Aggtelek-Rudabányai egység) és a terciér-kvarter vulkáni képződményeken (pl. Tokaji-hegység) keresztül a fiatal kvarter üledékekig változott a kiválasztott lelőhelyek geológiai háttere (**1. ábra**).



1. ábra: Északkelet-Magyarország egyszerűsített földtani térképe a tanulmányban bemutatott (teli fekete jelek) és a kutatóprogramban vizsgált (üres jelek) bükki kulturabeli régészeti lelőhelyek elhelyezkedésével. A fekete nyilak azt jelzik, hogy a folyók ugyanazon lehordási területről, a paleozoikumi metamorf-(meta)granitoid Gömöri egységből (Szlovákia) erednek.

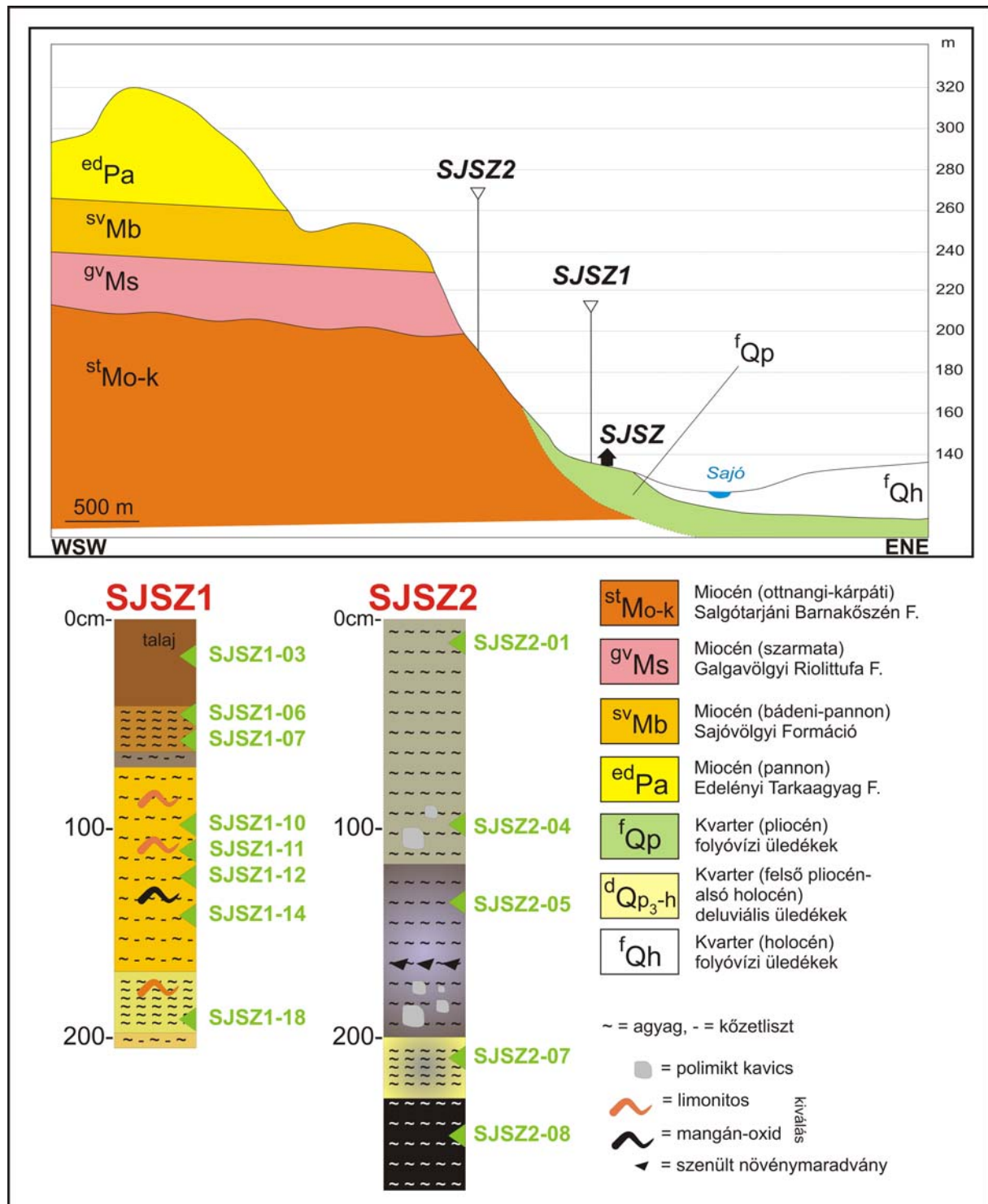
Fig. 1.: Simplified geological map of North-east Hungary. Source archaeological localities of Bükk culture fine pottery discussed in this paper (marked with full black signs) and involved in the research project (marked with open signs). Black arrows indicate that the rivers raise from the same background, the Palaeozoic Metamorphic-(Meta)granitoid Gömör Unit (Slovakia).

Ezzel a heterogén lelőhely összetétellel terveztük megalapozni a jól elkülöníthető kerámia-származtatást, ami a proveniencia vizsgálat fő célja.

A terepi mintavételezés és a minták vizsgálati eredményeinek szemléltetésére a tíz lelőhelyből kettőt mutatunk be példaként a jelenlegi tanulmányban (Sajószentpéter-Kövecses = SJSZ, Edelény-Borsod-Derékegyháza = EBDE). A két lelőhely sok tekintetben mutat hasonlóságot: mindkettő egy nagy folyóvölgy közvetlen közelében helyezkedik el, bár némileg eltérő topográfiai helyzetben. Mindkét lelőhely közelében található kis kiterjedésű, helyi jelentőségű vulkáni kőzetkibukkanás, ugyanakkor a felszíni-felszínközeli üledékképződést elsősorban a kanyarulat, középszakasz jellegű folyó határozza meg.

Sajószentpéter-Kövecses a Sajó síkján fekszik (**2. ábra**). Földtani értelemben a Sajó a szlovákiai Gömöri kristályos egység paleozoikumi metamorf-granitoid képződményeinek erodált anyagát gyűjti össze. A helyi felszínközeli képződmények miocén tavi és piroklasztitos eredetűek. A felszínen kiterjedt kvarter folyóvízi üledékek találhatók (Gyalog 2005; Bérczi & Jámor 1998; Fülöp 1994).

Borsod-Derékegyháza a Bódva és a Balajti-patak összefolyásától északkeletre néhány száz méterre, egy domboldalon található (**3. ábra**). A Bódva a Sajóhoz nagyon hasonló lehordási területtel rendelkezik, amelyet szintén a Gömöri kristályos egység paleozoikumi metamorf-granitoid kőzetei jellemeznek.

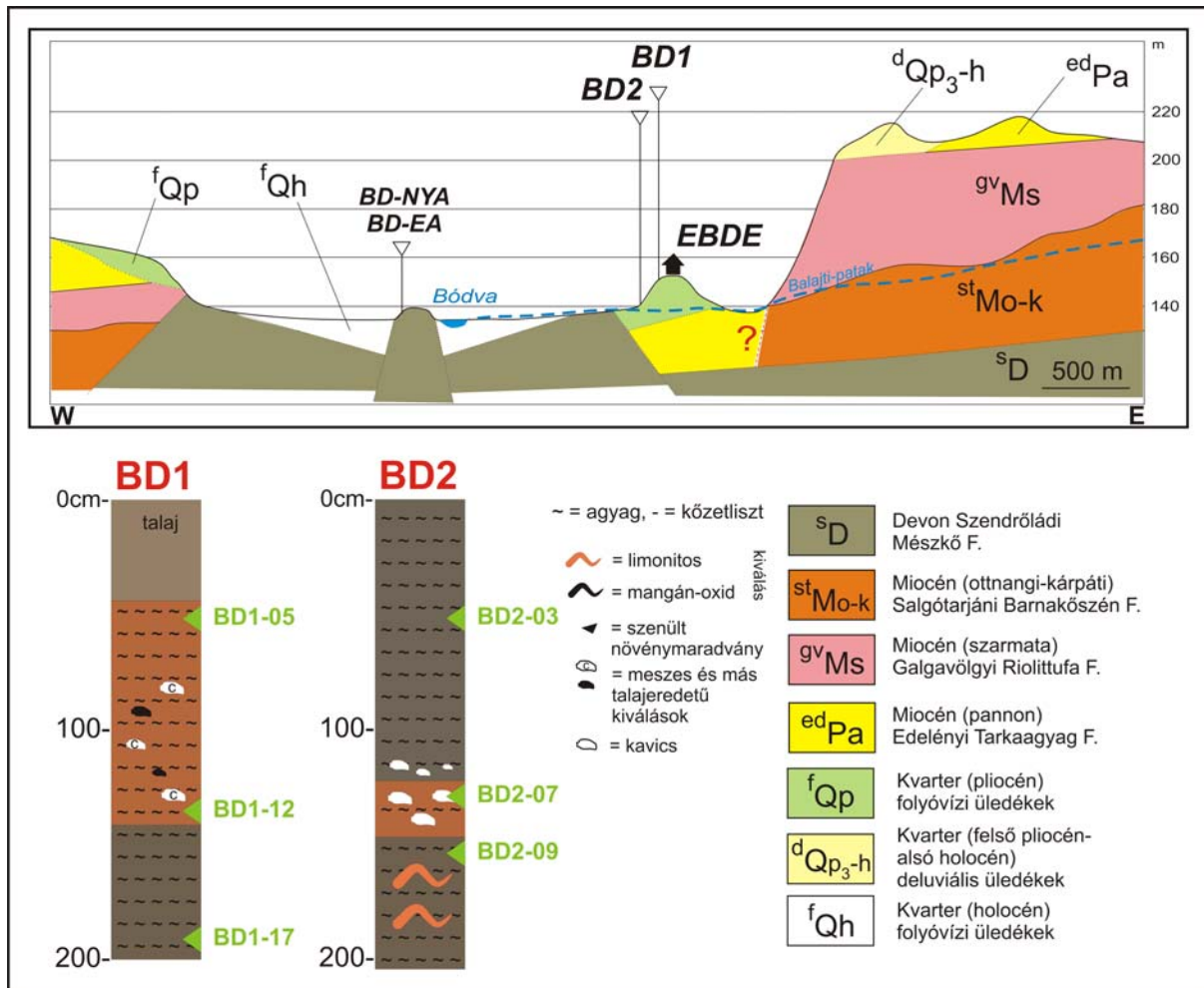


2. ábra: Sajószentpéter-Kövecses környékének (túlmagasított) földtani szelvénye, és a lemélyített talaj-üledékfúrások (SJSZ1 és 2) litológiai oszlopai.

Fig. 2.: Lithological cross section (overheightened) of the vicinity of Sajószentpéter-Kövecses and the lithological columns of the hand-drilled soil-sediment profiles (SJSZ1 and 2).

Emellett a lelőhely közelében devon kristályos mészkő és fillit (a Szendrői egység képződményei) kibukkanásai is megtalálhatók. A fiatalabb, szintén felszínen hozzáférhető kőzetek között miocén piroklasztitok és tavi üledékes kőzetek fordulnak

elő. A Balajti-patak elsősorban a közeli piroklasztitok mállott anyagát gyűjti össze. Az alacsonyabb térszínen, a Bódva völgyében kiterjedt kvarter folyóvízi üledéktakaró borítja a felszínt (Gyalog 2005; Bérczi & Jámbor 1998; Fülöp 1994).



3. ábra: Edelény-Borsod-Derékegyháza környékének (túlmagasított) földtani szelvénye a felszíni mintavételi pontokkal (BD-NYA, -EA), illetve a lemélyített talaj-üledékfúrások (BD1 és 2) litológiai oszlopai.

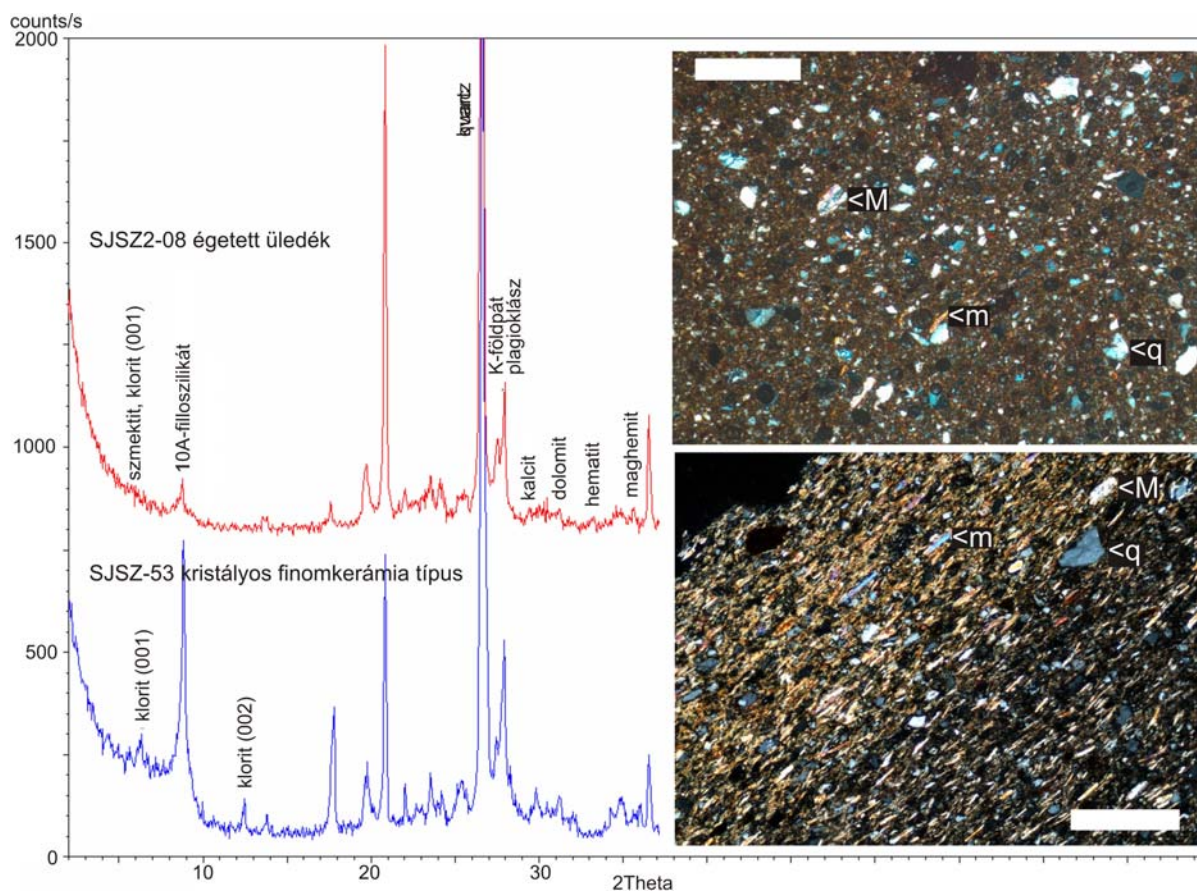
Fig. 3.: Lithological cross section (overheightened) of the vicinity of Edelény-Borsod-Derékegyháza with the surfacial sampling point (BD-NYA, -EA) and the lithological columns of the hand-drilled soil-sediment profiles (BD1 and 2).

Mintavétel, minták és módszerek

A későbbi, a jelenlegi lehetőségekhez képest szélesebb körű mintavételezés megalapozására olyan mintavételi stratégiát kerestünk, amely kevés mintavételi ponttal – elsősorban időben – viszonylag nagy intervallumot fog át. A ~2 méter mély, kézi talaj-üledékfúrások tűntek a legalkalmasabb módszernek lévén, hogy több ezer év üledékét – ezáltal a neolitikum idején is hozzáférhető nyersanyagokat – tárják fel. A fúrési pontokat a régészeti lelőhelyekhez közel, a földtani adottságok térképi léptékű változékonyságának figyelembe vételével jelöltük ki. A mintákat minden talaj-üledék szelvényből 10-20 cm-enként vettük, így a mélység függvényében történő ásványos és kémiai összetételbeli természetes változékonyságot is nyomon lehet követni. További, részletes vizsgálatra fúrásoként 3-6

mintát jelöltünk ki. Néhány lelőhely esetében felszíni mintázással is kiegészítettük az így nyert mintaegyüttest.

Az alkalmazott terepi mintavételezési módszer eltér a nemzetközi irodalomban általában publikált eljárásoktól. Nagy összehasonlító mintaszámmal dolgozó terepbejárásra alapozott kerámia proveniencia vizsgálatok elsősorban a szárazabb éghajlatú mediterrán térségből ismertek (Adan-Bayewitz & Perlman 1985; Gomez et al. 2002; Buxeda I Garrigós et al. 2003; Hein et al. 2004a és b; Laviano & Muntoni 2006). Ezek a kutatók felszíni mintavételezést végeztek, amely azonban – a klimatikus adottságok miatt – megközelítőleg összevethető volt a vizsgált (néhány ezer éves) régészeti korszakokban felszínen található nyersanyagokkal.



4. ábra: Vékonycsiszolati fotók és az ásványos összetételt mutató diffraktogramok Sajószentpéter-Kövecses lelőhely égetett üledékeinek (vörös görbe, SJSZ2-08), illetve a kristályos finomkerámia típus (kék görbe, SJSZ-53) reprezentatív példányai esetében. A fotókon a skála 500 μm -t jelöl, a rövidítések: 'M' metamorf-granitoid közettörmelék, 'm' csillám, 'q' kvarc. A diffraktogramokon a fő ásványos alkotók legfőbb csúcsai szerepelnek megjelölve.

Fig. 4.: Thin section photographs and mineralogical composition (by XRD) of representative samples of the fired local clayey raw materials (red curve, SJSZ2-08) and the crystalline type fine ware (blue curve, SJSZ-53) at Sajószentpéter-Kövecses. The main peaks of the major phases are indicated in the diffractograms. Scale on the photographs is 500 μm , abbreviations are 'M' metamorphic-granitoid rock fragment, 'm' mica, 'q' quartz.

A Kárpát-medencében azonban a nedvesebb éghajlat és intenzívebb mállási folyamatok miatt a neolit térszín alá hatoló agyaggyerő gödrök megközelítőleg 1-2 m-es mélységben lehettek (ha átlagosan 30 cm/1000 év szedimentációs rátával számolunk, amely azonban szélsőséges esetekben 1-100 cm/1000 év értéket is elérhetett a különféle topográfiai helyzetekben) (Sümeghy 1955; Rónai 1985; Juhász 1991).

A fűréssel vételezett üledékmintákból nedvesítés után kis tömböket formáztunk, amelyeket szárítást követően 700°C-os maximális hőmérsékleten 4 órán át oxidatív légkörű elektromos kemencében égettünk ki. A kísérleti égetés körülményeit úgy választottuk meg, hogy minél inkább hasonlítanak az eredeti neolit égetési technikára. Ennek körülményeit a bükki kerámiák archeometriai vizsgálatával becsült paraméterek határozták meg: 650-850°C-os maximális égetési hőmérséklet (Tóth

et al. in prep), változó, de uralkodóan oxidatív légkör, valamint a feltételezhető máglyás vagy gödrös égetés, amely égetőterekben az égetés folyamat az etnoarcheológiai kutatások szerint (Livingstone Smith 2001) kevesebb mint 1 órától több óráig tarthat(ott). A próbatestekből – a kerámiákhoz hasonlóan – vékonycsiszolatot és a műszeres vizsgálatokhoz pormintákat készítettünk.

Sajószentpéter-Kövecses lelőhely közelében két kézi talajfűrést mélyítettünk. Az SJSZ1 jelű fűrés helyét a pliocén-holocén folyóvízi üledékfedőn (amelyen a neolit település állt), míg az SJSZ2 jelű miocén agyagos-köszes tavi képződményeken jelöltük ki (2. ábra). Borsod-Derékegyháza lelőhelyen szintén két fűrést végeztünk. Mindkét szelvény pozíciója a pleisztocén-holocén folyóvízi üledékekre esik, bár a közelben miocén agyagos-köszes és piroklasztos képződmények is előfordulnak a felszínen. A BD1 jelű fűrést a neolit

településével topográfiai azonos, kiemelt, domboldali pozícióban mélyítettük, míg a BD2 jelűt alacsonyabban, a domb lábánál (**3. ábra**). Ezen lelőhely esetében egy felszínről gyűjtött mintát (BD-NYA jelöléssel) is felhasználtunk, amely a közeli, Bódva parti borsodi földvár (Edelény határában) felszíni üledéke. Emellett az összehasonlításához figyelembe vettük egy, szintén a földvár területéről, a 10. századi település ásatása során előkerült, részlegesen megégett agyagtömb mintát is (BD-EA jelöléssel). Ez utóbbi agyagtípus a térségben a fazekasok által bizonyosan alkalmazott nyersanyagként értelmezhető.

A teljes bükki kerámia kutatásunkat érintő vizsgálat összesen 123 db finom-, 57 db durvakerámia, illetve 63 db természetes üledékmintán történt meg. Jelen tanulmányban Sajószentpéter-Kövecses lelőhelyről 6 finomkerámia és 13 üledékminta, míg Edelény-Borsod-Derékegyháza lelőhelyről 10 finomkerámia és 8 üledékminta vizsgálati eredményeit közöljük.

A geológiai és régészeti minták összetétele és szöveti jellemzése petrográfiai mikroszkóppal (PM; ELTE, Közettan-Geokémiai Tsz., Budapest), röntgen fluoreszcens spektroszkópiával (XRF; Dept. Geochemistry, Univ. of Tübingen) és röntgen pordiffrakciós analízissel (XRD; MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest) történt. Az alkalmazott módszerek részletes leírását Gherdán és társai (2007) publikálták. Az így nyert (PM, XRD és XRF) eredményeket hasonlítottuk össze a régészeti és a geológiai minták esetében.

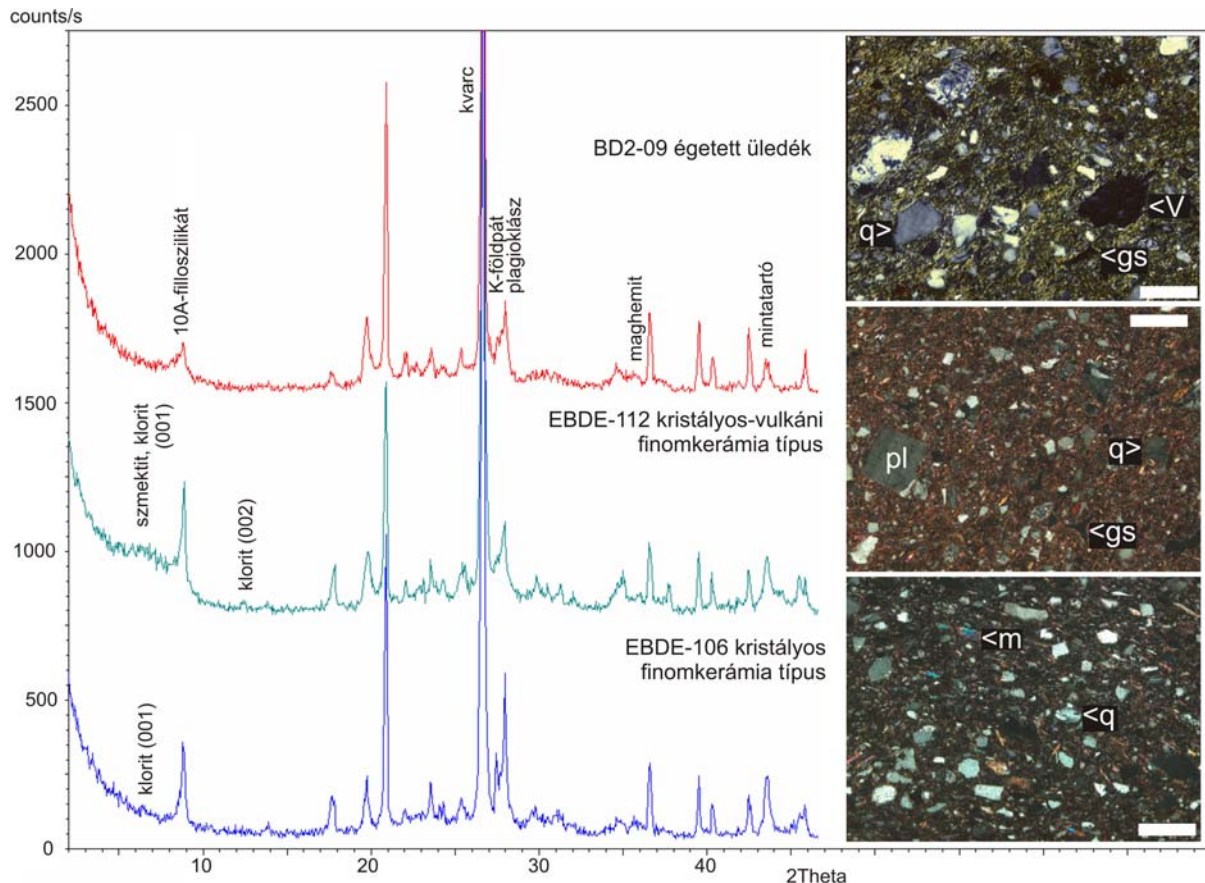
Eredmények

A mikroszkópos petrográfiai vizsgálatok alapján a bükki finomkerámia viszonylag egységes szöveti tulajdonságokkal jellemezhető minden vizsgált régészeti lelőhelyen (Szilágyi et al. 2011, in press). A kerámiáknak közép-finomszemcsés, szeriális és tömött szövete van, amely egy jól osztályozott szemcseméretű, mérsékelten képlékeny és mézszegény (1-3wt% CaO az XRF mérések alapján) agyagos kőzetliszt. A szövettől eltérően a kerámiák nem plasztikus elegyrészeinek ásványos-kőzettani összetétele változatosabb. Két fő összetétele csoport különíthető el a legtöbb vizsgált lelőhelyen. Az egyik kizárólag metamorf-granitoid (ezért kristályos típusnak nevezett), míg a másik a metamorf-granitoid mellett vulkáni-piroklasztos (ezért kristályos-vulkáni típusnak nevezett) kőzet- és ásványtörmelékeket tartalmaz. A kristályos típus fő nem plasztikus elegyrészei a kvarc (hullámos kioltású mono- és polikristályos), muszkovit, ritka mállott káliföldpát vagy (zónásság mentes) ikres plagioklász, valamint kvarcit, fillit és (meta)granitoid kőzettörmelékek. Az előbb említettek mellett a kristályos-vulkáni típusban még változó mennyiségű piroklasztos (horzsakó,

kőzetüveg szilánk) vagy vulkáni kőzet- és ásványtörmelék (üde, egyenes kioltású, monokristályos kvarc, piroxén vagy amfibol, üde és zónás plagioklász) fordul elő. Sajószentpéter-Kövecses lelőhelyen a vizsgált finomkerámiák kizárólag metamorf-granitoid eredetű elegyrészeket tartalmaznak. Az XRD vizsgálatok a legfinomabb szemcsés frakcióból kvarcot, 10Å-ös rétegszilikátot, plagioklászt, káliföldpátot és esetenként nyomnyi mennyiségű kalcitot, dolomitot, gehlenitet, diopszidot és kloritot mutatattak ki (**4. ábra**). Borsod-Derékegyháza lelőhely esetében a vizsgált finomkerámiák megoszottak a kristályos és kristályos-vulkáni összetételei típusok között. Ezekben a mintákban az XRD vizsgálatok közös fázisként azonosították a kvarcot, 10Å-ös rétegszilikátot, plagioklászt, káliföldpátot, 7Å-ös rétegszilikátot, illetve néhány esetben nyomnyi mennyiségű kalcitot, dolomitot, gehlenitet és diopszidot (**5. ábra**). Ami eltérésként mutatkozott a két összetételei csoport között, az elsősorban a 10Å-ös fázist érintette: a kristályos finomkerámia típusban szericit/muszkovit, míg a kristályos-vulkáni típusban illit/szericit szerkezet mutatkozott. Emellett a 7Å-ös fázis a kristályos típusban kloritként, a kristályos-vulkáni típusban kevert szmektit/kloritként értelmezhető.

A Sajószentpéter közelében gyűjtött üledékminták mindkét fúrás esetében (**2. ábra**) agyag-kőzetlisztes agyag anyagúak. Színük sárgától feketéig változik. Az SJSZ1 jelű fúrás kőzetlisztes agyagja azonban jelentős mennyiségű limonitos és mangán-oxidos talajeredetű kiválást tartalmaz, míg az SJSZ2 jelű fúrás inkább szürke-fekete kavicsos agyagból áll. A kavicsok oligomikt összetételűek (kvarcit és andezit). A detritális (kőzetliszt-homok szemcseméretű) klaszterek metamorf-granitoid kőzet eredetűek (kvarc, csillám, ritka mállott földpát). Az XRD vizsgálatok a kísérletileg kiégetett mintákból kvarcot, illitet, plagioklászt, káliföldpátot, illetve esetenként nyomokban 10Å-ös rétegszilikátot, kalcitot, dolomitot vagy kloritot mutattak ki (**4. ábra**).

A Borsod-Derékegyháza közeléből származó üledékminták mindkét fúrás esetében barna-szürke agyagok (**3. ábra**). Az uralkodó finomszemcsés üledékhez gyakran társul kavics szemcseméretű törmelék, amelynek összetétele eltérő a két fúrásban. A BD1 jelű fúrás elsősorban meszes vagy más anyagú, talajeredetű konkréciókat, míg a BD2 jelű tufatörmeléket tartalmaz. A detritális (kőzetliszt-homok szemcseméretű) klaszterek mind metamorf-granitoid (hullámos kioltású, mono- és polikristályos kvarc, csillám, mállott és ikres plagioklász, kvarcit, káliföldpát, turmalin, cirkon), mind piroklasztos eredetűek (üde, egyenes kioltású, monokristályos kvarc, üde és zónás plagioklász, kőzetüveg szilánk, horzsakó).



5. ábra: Vékonycsiszolati fotók és az ásványos összetételt mutató diffraktogramok Edelény-Borsod-Derékegyháza lelőhely égetett üledékeinek (vörös görbe, BD2-09), illetve a kristályos-vulkáni (zöld görbe, EBDE-112) és a kristályos (kék görbe, EBDE-106) finomkerámia típus reprezentatív példányáiban. A fotókon a skála 200 μm -t jelöl, a rövidítések: 'V' vulkáni kőzettörmelék, 'gs' piroklastos kőzetűveg szilánk, 'm' csillám, 'q' kvarc, 'pl' plagioklász. A diffraktogramokon a fő ásványos alkotók legfőbb csúcsai szerepelnek megjelölve.

Fig. 5.: Thin section photographs and mineralogical composition (by XRD) of representative samples of the fired local clayey raw materials (red curve, BD2-09) and the crystalline-volcanic type (green curve, EBDE-112) and crystalline type fine ware (blue curve, EBDE-106) at Edelény-Borsod-Derékegyháza. The main peaks of the major phases are indicated in the diffractograms. Scale on the photographs is 200 μm , abbreviations are 'V' volcanic rock fragment, 'gs' pyroclastic glass shard, 'm' mica, 'q' quartz, 'pl' plagioclase.

A felszínről gyűjtött üledékminták (BD-NYA és -EA) vörös-barna kőzetlisztes agyagok kevés homokszemcsével. Ezek a minták nem tartalmaznak vulkáni eredetű alkotórészeket a kőzetliszt-homok frakcióban. Fő törmelékes elegyrészeik a hullámos kioltású, mono- és polikristályos kvarc, kevés fillit- és homokkő törmelék, csillám és akcesszóriák (turmalin, cirkon, gránát). Az XRD vizsgálatok alapján a kísérletileg kiégetett BD1-2 üledékek alkotói kvarc, plagioklász, kálföldpát, valamint 10Å-ös rétegszilikát, maghemit, hematit és amorf anyag (**5. ábra**).

A teljes kőzet- és kerámiamintákból készített kémiai analízis átlagértékeit és szórását az **1. táblázatban** összegeztük. A különféle mintákban az egyes elemek kémiai változékonyságát

normalizált sokváltozós diagramokon elemeztük. Az SJSZ üledékek általában magasabb SiO_2 , MnO , Na_2O , Zr , Nb , Ce és Ni koncentrációt mutatnak, mint az SJSZ finomkerámiák. Ezzel párhuzamosan a kerámiák a TiO_2 -ot, Al_2O_3 -ot, alkáli és alkáli földfémeket, P_2O_5 -ot, néhány ritkaföldfémeket és a cinket dúsítják. Az üledékek és a kerámiák csoportjai kismértékű szórást mutatnak a nyomelem eloszlásban, azaz a csoportok homogénebben viselkednek. A szórás azonban jelentős, illetve az eloszlás eltérő a geológiai és régészeti minták összehasonlításában. Az EBDE minták esetében nagyobb változékonyság jellemzi a kerámiákat, mint az üledékeket. A BD üledékekben nagyobb a SiO_2 , MnO , Zr , Nb és Y koncentráció, mint az EBDE kerámiákban. Ezzel párhuzamosan a kerámiákban dúsul a TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , és részben a P_2O_5 , Rb , Sr , Ba és Ce . A Fe_2O_3 , MnO , CaO és

P_2O_5 koncentráció értékek jelentősen, a Na_2O és K_2O értékek kisebb mértékben szórnak. Az üledékek és a kerámiák csoportjai nagyobb szórást mutatnak a nyomelem eloszlásban, mint az SJSZ mintáknál. Ez egyben azt is eredményezi, hogy a kristályos és a kristályos-vulkáni finomkerámia típusok nem mutatnak egyértelmű különbséget elem-eloszlásukban.

Értelmezés

A régészeti és geológiai minták jellemzésének alapját a petrográfiai mikroszkópos vizsgálatok képezték. Ezek egyrészt bizonyították, hogy a kerámiák viszonylag egységes szöveti jegyekkel bírnak. A hasonló szöveti jellemzők hasonló fizikai tulajdonságokat (szemcseméret és -eloszlás), illetve hasonló nyersanyag előkészítési eljárást (iszapolás) jeleznek. A petrográfiai vizsgálatok másrészt a nem plasztikus elegyrészek többféleségét mutatták ki. Két nagy összetételi csoport, a kristályos és a kristályos-vulkáni különíthető el, amelyek nem léte nem magyarázható pusztán a nyersanyag iszapolásával. A kérdés az, hogy a két nagy típus hány nyersanyag forrást takar. A kétféle összetételi csoport szinte minden vizsgált bükki kultúrabeli lelőhelyen előfordult. Ez alapján feltehető, hogy nem lelőhely specifikusak, hanem inkább egy több forrásból táplálkozó nyersanyag ellátási rendszer elemei. A leletmennyiség alapján azonban azt feltételeztük, hogy lelőhelyenként legalább az egyik nyersanyag típus helyi, ezért volt érdemes a helyi üledékek összehasonlító vizsgálatával foglalkozni.

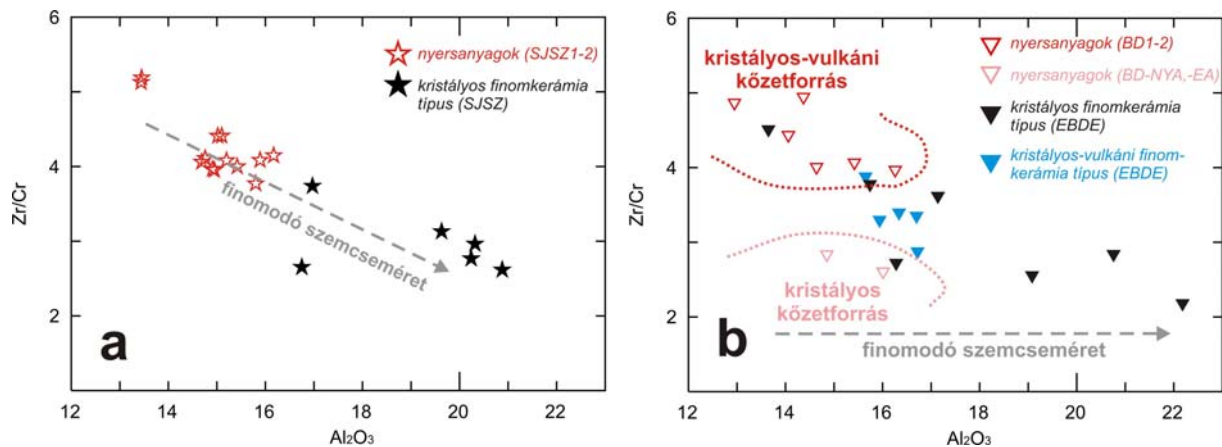
Sajószentpéter-Kövecses esetében az üledék-fúrásokat a pliocén-holocén folyóvízi agyag – kőzetlisztes agyag, illetve a miocén agyagos-köszes tavi képződményeken mélyítettük. Az eltérő aljzat ellenére nem tapasztaltunk jeletős eltérést a két fúrás mintáinak összetételében. Emellett vulkáni kőzet- vagy ásványtörmelékek sem azonosíthatók a minták kőzetliszt-finomszemcsés homok frakciójában, bár helyi piroklastos kőzetek kibukkannak a közelben. Az üledékek detritális szemcséi metamorf-granitoid eredetűek. Ez a tulajdonság összhangban áll azzal, hogy a sajószentpéteri bükki finomkerámiák is kizárólag metamorf-granitoid eredetű nem plasztikus elegyrészeket tartalmaznak, tehát a kristályos típusba sorolhatók. Ez alapján egyértelmű, hogy a lelőhelyen nem használtak vulkáni eredetű nyersanyagot kerámiakészítésre.

Borsod-Derékegyháza lelőhely esetében mindkét üledékfúrást a pleisztocén-holocén folyóvízi üledékeken, de a miocén piroklastos kőzetkibukkanások közelében mélyítettük. Ennek köszönhetően a két fúrás anyaga hasonló. Az üledékek detritális szemcséi részben metamorf-granitoid, részben piroklastos eredetűek. Ez a tulajdonság részben összhangban áll azzal, hogy a

borsod-derékegyházi bükki finomkerámiák egyik része a kristályos, másik része a kristályos-vulkáni típusba sorolható. Ez alapján úgy tűnik, hogy a lelőhelyen mind metamorf-granitoid, mind vulkáni eredetű nyersanyagot használtak kerámiakészítésre.

A kerámiák geokémiai összetételének értelmezésekor a finom-középszemcsés törmeléken üledékes kőzetek (homokkő, aleurolit, agyagkő) provenienciája vizsgálata során alkalmazott törvényszerűségeket használjuk fel. Természetesen azzal a feltétellel, ha a kerámia nyersanyagát nem keverték mesterségesen (pl. soványítással, agyagkeveréssel), tehát természetes üledéknek tekinthető. A kémiai összetételt alapvetően az ásványos összetétel határozza meg, azaz a nyersanyag kőzettani sajátosságai. A Si, Ti, Al, Fe, Mn, P és Zr, Nb, Y, ritkaföldfémek, V, Cr, Co elemek nem érzékenyek (immobilisak) az üledékképződés során zajló folyamatokra (Taylor & McLennan 1985; McLennan & Taylor 1991; Cullers & Berendsen 1998; Götze 1998; Gaiero et al. 2004). Emiatt koncentrációértékeik az eredeti, erodált kőzet összetételét tükrözik. Ezzel szemben a Na, K, Ca, Mg és a Rb, Ba, Sr a mállás és szállítódás folyamán mobilizálódhat. Így ez utóbbi elemek koncentrációértékei sokkal inkább a betemetődés és kőzettévalás kémiai folyamataira jellemzőek.

A kerámiák vizsgálatok az elemek eddigiekben ismertett geokémiai viselkedése mellett azt is figyelembe kell vennünk, hogy a kerámiakészítési folyamatra hogyan reagálnak. Buxeda I Garrigós és társai (2003) kutatási eredményei azt bizonyították, hogy a plasztikus alapanyag iszapolással történő előkészítése (azaz a különböző szemcsefrakciók szétválasztása) nem feltétlenül jár jelentős kémiai összetétel változással, ha metamorf és granitoid kőzetek mállásával képződött üledéket használunk. Az iszapolás leginkább a ritkaföldfémeket érinti, amelyek dúsulnak a finomszemcsés (agyagos) frakcióban. Ez a viszonylag inert viselkedés annak tulajdonítható, hogy a metamorf-granitoid eredetű üledékek (amilyenek pl. a Gömői fillitek, csillámpalák és metagránitok) gyakran kevés akcesszórius elegyrészt tartalmaznak, illetve a fő ásványos alkotóik (kvarc, csillám, földpát) viszonylag homogéne oszlanak el a különböző szemcsefrakciókban. Kréti kerámia nyersanyagok tisztítását követően a nyomelemek általános dúsulását detektálták Kilikoglou és társai (1988). A szerzők azonban részletezték (a kalcitartalom kivételével) az ásványos összetétel hatását erre a kémiai összetételbeli változásra. Az alkáli fémek (pl. Olin et al. 1978; Buxeda I Garrigós et al. 2001, 2002) és a kalcium (pl. Schwedt et al. 2004) a nagy hőmérséklet hatására történő mobilizálódásával több szerző foglalkozott.



6. ábra: Al_2O_3 vs. Zr/Cr kétváltozós diagram (a) Sajószentpéter-Kövecses, illetve (b) Edelény-Borsod-Derékegyháza lelőhely nyersanyag és bükki finomkerámia mintái esetében. A kerámiák kémiai összetétele mindkét esetben finomabb szemcseméretre utal, mint a megmintázott nyersanyagok szemcsemérete. Az EBDE kristályos-vulkáni típusú finomkerámiák esetében a kétféle nyersanyagforrásból származó anyagok kevert használata feltételezhető.

Fig. 6.: Al_2O_3 vs Zr/Cr bivariate diagram for (a) Sajószentpéter-Kövecses samples and (b) Edelény-Borsod-Derékegyháza samples. The chemical composition clearly indicates the finer grain size of pottery than comparative sediment samples. Note the possibility of two different originated sources in the case of crystalline-volcanic fine ware.

A vas és mangán oldódási-kicsapódási folyamatai talajos környezetben jól ismertek (pl. Schwertmann 2008). Emellett a kerámiák foszfortartalmának széles határok közötti ingadozása szintén ismeretes, bár még nem teljesen magyarázott (pl. Duma 1972; Fabbri et al. 1994; Maggetti 2001).

Mindezen jelenségek jelentősen befolyásol(hat)ják a kerámia betemetődés utáni kémiai összetételét, ennek megfelelően vehetjük alapul a geokémiai értelmezéskor az egyes elemek koncentrációértékeit. Az adott minták esetében az elemek változékonyságát is figyelembe véve a Si, Ti, Al, Zr, Nb, Y, ritkaföldfémek (az Eu kivételével), V és Cr elemeket tekintettük a proveniencia vizsgálat szempontjából alkalmazhatónak. A régészeti és geológiai minták kémiai összetételének összefüggéseit a Al_2O_3 vs. Zr/Cr kétváltozós diagramon szemléltettük (**6a és b ábrán**). Az alumínium tartalom egyenes összefüggést mutat a nagyobb agyagásvány-tartalommal, azaz az alkalmazott anyagok finomszemcséségével (Cullers 1995, 2000). A kerámiák Al_2O_3 tartalma szinte minden esetben nagyobb a geológiai mintákénál. Ez azt jelenti, hogy az általunk mintázottnál finomabb szemcsés nyersanyagokat használtak a bükki fazekasok finomkerámia készítéséhez. A cirkónium és a króm a magmás geokémiai folyamatokhoz erősen kötődnek, de ellentétes kemizmus mellett. A Zr a savanyú, míg a Cr a bázisos vulkanitokban dúsul. A két elem aránya esetünkben alkalmas a nyersanyagokban megjelenő vulkáni eredetű komponens jellemzésére – különösképpen Borsod-

Derékegyháza lelőhely esetében. A Zr/Cr arány a (**6b ábrán**) a kristályos-vulkáni típusú finomkerámiák kétféle nyersanyag természetes keveréséből való származásának lehetőségét veti fel. A kétféle nyersanyag a kis Zr/Cr aránnyal jellemezhető, metamorf-granitoid (kristályos) eredetű Bódva üledékek (BD-NYA, -EA), illetve a nagy Zr/Cr aránnyal jellemezhető, a metamorf-granitoid mellett piroklasztos kőzettörmelékeket is tartalmazó (kristályos-vulkáni) domboldali (Balajti-patak völgyéhez kötődő, a BD1-2 fúrásokkal feltárt) üledékek.

A sajószentpéteri minták vizsgálatánál összevetve a geokémiai és petrográfiai megállapításainkat azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a helyi, metamorf-granitoid kőzet eredetű nyersanyagokat – bár az általunk megmintázottnál finomabb szemcsés változatban – használták kerámiakészítésre. Ezt a feltételezést az is alátámasztja, hogy sem a kerámiákban, sem a helyi üledékekben nem azonosítható a közeli vulkáni kőzetforrás petrográfiai vagy geokémiai ujjlenyomata. A kevésbé karakteres jelleg azonban azt is magában hordozza, hogy a nyersanyag lelőhely pontosabb azonosítása nem valószínű. Ez abból is nyilvánvaló, hogy az eltérő lényeges anyagi különbség. A borsodi minták esetében petrográfiai és geokémiai adatok összevont értelmezésével arra következtethetünk, hogy a kerámiák egy részénél és a helyi üledékekben azonosítható a közeli vulkáni kőzetforrás. Ennek azonban petrográfiai, de különösen geokémiai

jellemzése nehéz a nagy változékonyság miatt. Ez abból adódhat, hogy helyről helyre változik a piroklasztos és a metamorf-granitoid forrásanyag keveredési aránya. Ugyanakkor éppen ez a változatosság adhat lehetőséget a jövőben a nyersanyag forrás pontosabb azonosítására.

Diszkusszió

Tanulmányunk elgondolkodtató példát mutat arra, hogy két, földtanilag-geomorfológiailag hasonló lelőhely esetében az azonos elven végzett potenciális nyersanyag mintavételi stratégia eltérő sikert mutathat. Ez régészeti szempontból azért fontos, mert azt is szükséges értelmezni, hogy két hasonló adottságú településen a Bükki kultúra fazekasai miért választottak eltérő nyersanyagokat a finomkerámia készítéséhez.

Sajószentpéter-Kövecsesen az egykor használt nyersanyagok és az általunk megmintázott üledékek közös közettani-geokémiai jellemzője, hogy a Sajó folyóvízi üledékképződése határozza meg összetételüket. Az üledékek a Gömői kristályos egység metamorf-(meta)granitoid kőzeteinek lepusztulásával képződtek, és az azokra jellemző petrográfiai-geokémiai jeleket mutatják. A helyi, felszínen is előforduló, vulkáni eredetű nyersanyagok használatára nem találtunk bizonyítékot sem a régészeti, sem a geológiai anyagban. Mivel a sajószentpéterihez petrográfiaiailag hasonló kristályos típusú bükki finomkerámiát az általunk vizsgált összes Bükki kultúrabeli lelőhelyen találtunk, ezért ezt a kristályos összetételű (metamorf-granitoid kőzet eredetű) nyersanyag típust egy regionális, a Bükki kultúra területén széles körben hozzáférhető forrásnak tekintjük (ami a Gömői kristályos egységről eredő folyók üledékeit jelentheti). Ez az általános elterjedés és a viszonylag homogén összetétel kérdésessé teszi az egyes lelőhelyekhez tartozó egyedi kitermelőhelyek pontosabb azonosítását.

Borsod-Derékegyháza esetében, az egykor a kristályos-vulkáni típusú finomkerámiák készítésére használt nyersanyagok és az általunk megmintázott üledékek közös közettani-geokémiai jellemzője, hogy összetételüket a Bódva folyóvízi üledékének és Balajt-patak által beszállított vulkáni komponens keveredése határozza meg. Ennek eredményeként az üledékek viselik mind a Gömői kristályos egység metamorf-(meta)granitoid, mind a helyi miocén vulkáni eredetű anyagok petrográfiai-geokémiai tulajdonságait. A két komponens keveredési aránya azonban nagyon eltérő lehet a piroklasztos kőzetforrástól való távolság és az üledék mállottsága függvényében. A kristályos-vulkáni finomkerámiák esetében tehát egy helyi nyersanyagforrásról beszélhetünk, amelynek pontosabb azonosítására egy szélesebb körű mintavételezéssel (és az üledékben a keveredési

arányok feltérképezésével) lehetőség adódhat a jövőben.

Összefoglalás

Két kiválasztott lelőhely példáján azt szemléltettük, hogy a hasonló földtani, illetve alig eltérő geomorfológiai adottságok esetén ugyanaz a nyersanyag mintavételi módszer nem egyenlő mértékben sikeres. Ennek oka az lehet, hogy a lelőhelyek felszinközeli üledékeinek kialakulásában eltérő szerepet játszott a folyóvízi és az in situ kőzet-üledékképződés. Sajószentpéter esetében a régészeti és a megmintázott geológiai minták hasonló ásványos összetétele egy regionális szinten hozzáférhető nyersanyag forrás használatára utalhat. Borsod-Derékegyháza esetében a helyi léptékben hozzáférhető nyersanyagok használata is kimutatható volt. A kérdés tehát az, hogy milyen tulajdonságok alapján döntjük el, hogy egy adott lelőhely esetében milyen mintavételi stratégiát válasszunk. Az ugyanis egyértelmű, hogy nincsen univerzális megoldás. Hiába vettük figyelembe a földtani felépítést és az általános topográfiai adottságokat, a jóval árnyaltabb tulajdonságokra (pl. az üledékek mállottsági viszonyaira) is tekintettel kell lenni a megfelelő terepi módszer kidolgozásánál. Erre pedig olyan előzetes vizsgálatok mutathatnak rá, mint jelen tanulmányunk. Emellett azt is fontos tapasztalatnak tekinthetjük, hogy a kárpát-medencei neolitikus kultúrák esetében is alkalmazható lehet – amennyiben a modern kori mesterséges kontamináció kizárható – a felszínről gyűjtött üledékminták vizsgálata. Ez abból következtethető, hogy az 1-2 m-es üledékfúrásainkban nem mutatkozott jelentős petrográfiai-geokémiai változás a legmélyebb és a legsekélyebb mélységközből vételezett minták között – legalább is a Bükki kultúrára jellemző hegyvidéki felső-középszakasz jellegű folyóvizek környezetében.

Mindez arra is felhívja a figyelmet, hogy a megalapozott proveniencia vizsgálathoz szükség van a helyi nyersanyagok természetes kőzet-ásványtani, geokémiai és szedimentológiai változékonyságának ismeretére. Ehhez a lehetséges nyersanyagok szisztematikus mintavételezését és vizsgálatát, valamint az eredmények adatbázis jellegű összegzését kell elvégezni. Kutatócsoportunk a hazai neolitikus kerámiák több éves vizsgálata alapján elkezdte egy ilyen adatbázis létrehozását, CeraMIS (Ceramic Measurement and Information System) néven. Az adatbázis mikroszkópos petrográfiai, műszeres ásványtani (XRD és mikroanalitikai módszerek), illetve kémiai (XRF, INAA, ICP-MS, PGAA) információkat összesít (Zöldföldi *et al.* in press). Reményeink szerint a folyamatosan bővülő adatbázis a jövőben segíteni fogja a régészeti kerámiák (helyi vagy nem helyi) nyersanyageredetének meghatározását.

1. táblázat: Sajószentpéter-Kövecses és Borsod-Derékegyháza bükki kultúrabeli régészeti lelőhelyekről származó potenciális nyersanyagok és finomkerámiák átlagos, illetve minimum-maximum koncentráció értékei (analitikai módszer: XRF).

Table 1.: Average and minimum-maximum concentration values of chemical elements (by XRF) for potential raw materials and Bükk culture fine pottery from Sajószentpéter-Kövecses and Borsod-Derékegyháza.

	Sajószentpéter-Kövecses						Edelény-Borsod-Derékegyháza	
	SJSZ 1 fúrás (n=8)	min-max	SJSZ 2 fúrás (n=5)	min-max	SJSZ ker. (n=6)	min-max	BD 1 fúrás (n=3)	min-max
SiO ₂	72,82	70.55-74.67	71,55	70.78-72.29	62,65	58.07-66.47	68,46	66.63-70.34
TiO ₂	0,92	0.87-0.98	0,88	0.85-0.91	0,95	0.83-1.05	0,93	0.91-0.95
Al ₂ O ₃	14,54	13.32-15.63	15,29	14.83-15.92	18,68	15.38-20.32	14,42	13.59-15.18
Fe ₂ O ₃	5,04	4.32-5.71	5,29	5.13-5.41	5,15	4.04-5.91	5,2	4.78-5.54
MnO	0,09	0.07-0.11	0,1	0.09-0.10	0,03	0.02-0.03	0,11	0.10-0.11
MgO	1,3	1.12-1.52	1,42	1.36-1.47	1,82	1.40-2.09	1,08	1.02-1.13
CaO	1,03	0.97-1.11	1,09	0.97-1.24	1,75	1.63-1.90	0,79	0.77-0.80
Na ₂ O	1,13	1.06-1.26	1,15	1.07-1.27	1,31	1.07-1.59	0,87	0.83-0.91
K ₂ O	2,1	1.88-2.29	1,99	1.80-2.26	3,25	2.71-3.57	2,04	1.97-2.11
P ₂ O ₅	0,12	0.09-0.14	0,07	0.06-0.08	1,91	1.09-3.05	0,1	0.08-0.13
LOI	0,72	0.60-0.86	0,64	0.29-0.97	2,36	3.41-5.44	5,74	5.10-6.37
Rb	116	111-119	115	110-123	134	107-151	117	110-127
Sr	95	86-102	97	95-101	183	156-221	82	82
Ba	473	436-502	444	421-494	1472	1290-1876	443	425-459
Zr	358	333-415	342	311-366	262	244-314	393	369-418
Nb	21	20-24	17	0-22	16	17-21	25	24-26
Y	42	38-46	43	40-45	41	29-47	47	47-48
La	29	25-34	32	29-37	35	30-44	36	35-37
Ce	172	155-185	190	159-237	117	99-138	99	93-101
Nd	40	28-48	38	33-45	50	48-53	42	39-47
Sm	5,9	4.3-7.8	6,9	5.8-7.6	7,5	5.0-9.1	6,9	6.6-7.4
Eu	0,7	0.6-0.9	0,8	0.7-0.9	1	0.8-1.1	0,7	0.7-0.8
Yb	4,7	4.2-5.0	4,8	4.5-5.1	4,4	3.8-4.9	4	3.9-4.0
V	105	95-113	110	105-117	116	89-132	110	102-116
Cr	84	78-96	81	75-87	88	80-94	91	85-96
Co	0	0	2	0-4	7	15,Jan	16	16-17
Ni	119	110-128	119	101-133	38	35-77	94	93-97
Zn	46	38-51	50	46-54	78	51-102	61	60-62

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat az „Újkőkori kerámiák távolsági kereskedelme” című MÖB-DAAD (magyar-német) kétoldalú együttműködési program keretében folytattuk (honlap: www.ace.hu/daad/daad3).

1. táblázat: Sajószentpéter-Kövecses és Borsod-Derékegyháza bükki kultúrabeli régészeti lelőhelyekről származó potenciális nyersanyagok és finomkerámiák átlagos, illetve minimum-maximum koncentráció értékei (analitikai módszer: XRF), folyt.

Table 1.: Average and minimum-maximum concentration values of chemical elements (by XRF) for potential raw materials and Bükk culture fine pottery from Sajószentpéter-Kövecses and Borsod-Derékegyháza, cont.

	Edelény-Borsod-Derékegyháza							
	BD 2 fűrés (n=3)	min-max	BD- EA	BD-NYA	EBDE ker. K-V (n=5)	min-max	EBDE ker. K (n=5)	min-max
SiO ₂	68,98	67.83-70.96	70,47	67,59	66,64	65.01-68.85	66,63	63.02-69.17
TiO ₂	0,83	0.82-0.84	0,86	0,86	0,79	0.74-0.82	0,88	0.82-0.97
Al ₂ O ₃	12,98	12.24-13.76	14,67	15,18	15,59	14.88-16.09	17,33	15.29-20.42
Fe ₂ O ₃	4,7	4.55-4.92	5,41	5,71	5,12	4.84-5.54	4,82	3.80-6.45
MnO	0,12	0.12-0.14	0,11	0,1	0,07	0.03-0.10	0,06	0.03-0.12
MgO	1,14	1.07-1.26	1,25	1,18	1,38	1.25-1.46	1,62	1.51-1.80
CaO	1,26	1.17-1.35	2,74	1,12	1,29	0.80-1.57	1,35	0.80-2.17
Na ₂ O	1,02	0.97-1.08	0,93	0,87	1,07	1.01-1.13	1,05	0.79-1.28
K ₂ O	2,25	2.08-2.42	2,18	2,08	3,17	3.04-3.41	3,25	2.87-4.10
P ₂ O ₅	0,28	0.19-0.37	0,12	0,11	0,71	0.28-1.27	0,32	0.13-0.55
LOI	6,45	5.42-7.62	1,81	5,92	4,18	2.02-5.25	2,34	1.40-3.61
Rb	115	105-123	119	128	118	103-132	134	116-171
Sr	100	95-108	100	86	140	102-165	131	102-172
Ba	464	439-480	465	461	1069	617-1743	735	544-998
Zr	340	318-376	278	267	238	210-285	230	196-271
Nb	21	20-21	22	22	19	0-19	17	0-20
Y	43	42-45	44	42	27	10-39	27	16-38
La	35	32-38	44	44	24	15-36	31	25-39
Ce	91	86-95	89	84	169	84-222	172	88-231
Nd	35	33-39	43	42	34	28-48	39	30-53
Sm	6,3	5.8-6.6	7,3	7,5	6,7	5.2-8.5	5,1	0.0-7.1
Eu	0,8	0.7-0.8	0,8	0,8	0,9	0.7-1.0	0,8	0.5-0.9
Yb	3,7	3.6-3.8	3,8	3,5	3	1.3-3.8	3,1	2.0-4.3
V	93	89-97	102	110	106	99-112	119	101-143
Cr	77	74-79	98	102	71	58-73	75	63-100
Co	14	14-15	17	18	14	0-14	15	0-15
Ni	83	75-89	n.d.	n.d.	99	82-109	99	85-128
Zn	72	59-85	68	67	61	42-86	56	44-85

Irodalom

ADAN-BAYEWITZ, D. & PERLMAN, I. (1985): Local pottery provenience studies: a role for clay analysis. *Archaeometry*, **27**, 2, 203-217.

ARNOLD, D.E. (2005): Linking society with the compositional analyses of pottery: a model from comparative ethnography. in Livingstone Smith, A., Bosquet, D., Martineau, R., eds., "Pottery Manufacturing Processes: Reconstitution and Interpretation", BAR International Series 1349, 15-21.

ARNOLD, D.E. (2006): The threshold model for ceramic resources: a refinement. in Gheorghiu, D., ed., "Ceramic Studies. Papers on the social and cultural significance of ceramics in Europe and

Eurasia from prehistoric to historic times", BAR International Series 1553, 3-9.

BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (1998): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. MOL-MÁFI Publication, Budapest, 517 p.

BUXEDA I GARRIGÓS, J., CAU ONTIVEROS, M.A., KILIKOGLU, V. (2003): Chemical variability in clays and pottery from a traditional cooking pot production village: testing assumptions in Pereruela. *Archaeometry*, **45**, 1, 1-17.

BUXEDA I GARRIGÓS, J., KILIKOGLU, V., DAY, P.M. (2001): Chemical and mineralogical alteration of ceramics from a Late Bronze Age kiln at Kommos, Crete: the effect on the formation of a reference group. *Archaeometry*, **43**, 3, 349-371.

- BUXEDA I GARRIGÓS, J., MOMMSEN, H., TSOLAKIDOU, A. (2002): Alterations of Na, K and Rb concentrations in Mycenaean pottery and a proposed explanation using X-ray diffraction. *Archaeometry*, **44**, 2, 187-198.
- CAPLE, C. (2006): *Objects: reluctant witnesses to the past*. Taylor & Francis, New York, 266 p.
- CSENGERI, P. (2010): A bükki kultúra kutatásának új eredményei Borsod-Abaúj-Zemplén megyében. *Gesta*, **IX**, pp. 55-77.
- CULLERS, R.L. (1995): The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. *Chemical Geology*, **123**, 107-131.
- CULLERS, R.L. (2000): The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, **51**, 181-203.
- CULLERS, R.L. & BERENDSEN, P. (1998): The provenance and chemical variation of sandstones associated with the Mid-continent Rift System, U.S.A. *European Journal of Mineralogy*, **10**, 987-1002.
- DUMA, GY. (1972): Phosphate content of ancient ceramics as indication of use. *Current Anthropology*, **13**, 127-130.
- FABBRI, B., GUARINI, G., ARDUINO, E., COGHÉ, M. (1994): Significato del fosforo nei reperti ceramici di scavo. in Burrigato, F., Grubessi, O., Lazzarini, L., eds., "Proceedings of the 1st European Meeting on Archaeological Ceramics", Roma, Università degli studi La Sapienza, Dipartimento di Scienza della Terra, 183-192.
- FÜLÖP, J. (1994): Magyarország geológiája — Paleozoikum II. Akadémiai Kiadó, Budapest, 447 p.
- GAIERO, D.M., DEPETRIS, P.J., PROBST, J., BIDART, S.M., LELEYTER, L. (2004): The signature of river- and wind-borne materials exported from Patagonia to the southern latitudes: a view from REEs and implications for paleoclimatic interpretations. *Earth and Planetary Science Letters*, **219**, 357-376.
- GHERDÁN, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M., T. BIRÓ, K., KISS, V. (2007): Archaeometric studies on Early Bronze Age pottery from Vörs-Máriaasszony-sziget. *Archeometriai Műhely*, **2007/2**, 21-31.
- GOMEZ, B., NEFF, H., RAUTMAN, M.L., VAUGHAN, S.J., GLASCOCK, M.D. (2002): The source provenance of Bronze Age and Roman pottery from Cyprus. *Archaeometry*, **44**, 1, 23-36.
- GÖTZE, J. (1998): Geochemistry and provenance of the Altendorf feldspathic sandstone in the Middle Bunter of the Thuringian basin (Germany). *Chemical Geology*, **150**, 43-61.
- GYALOG, L. (2005): Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez, 1:100.000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 188 p.
- HEIN, A., DAY, P.M., CAU ONTIVEROS, M.A., KILIKOGLU, V. (2004a): Red clays from Central and Eastern Crete: geochemical and mineralogical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. *Applied Clay Science*, **24**, 245-255.
- HEIN, A., DAY, P.M., QUINN, P.S., KILIKOGLU, V. (2004b): The geochemical diversity of Neogene clay deposits in Crete and its implications for provenance studies of Minoan pottery. *Archaeometry*, **46**, 3, 357-384.
- JUHÁSZ, GY. (1991): Lithostratigraphical and sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), eastern Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, **34**, 1-2, 53-72.
- KALICZ, N. & MAKKAY, J. (1977): Die Linienbandkeramik in der Grossen Ungarischen Tiefebene. *Studia Archaeologica*, **7**, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- KILIKOGLU, V., MANIATIS, Y., GRIMANIS, A.P. (1988): The effect of purification and firing of clays on trace element provenance studies. *Archaeometry*, **30**, 1, 37-46.
- LAVIANO, R. & MUNTONI, I.M. (2006): Provenance and technology of Apulian Neolithic pottery. in M. Maggetti & B. Messiga, eds., "Geomaterials in Cultural Heritage", Geological Society of London, London, 49-62.
- LIVINGSTONE SMITH, A. (2001): Bonfire II: the return of pottery firing temperatures. *Journal of Archaeological Science*, **28**, 991-1003.
- MAGGETTI, M. (2001): Chemical analyses of ancient ceramics: what for? *Chimia*, **55**, 923-930.
- MCLENNAN, S. M. & TAYLOR, S.R. (1991): Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology*, **99/1**, 1-21.
- NEFF, H. & GLOWACKI, D.M. (2004): Ceramic source determination by instrumental neutron activation analysis in the American Southwest. in Glowacki, D.M. & Neff, H., eds., "Ceramic Production and Circulation in the Greater Southwest", Monograph 44, The Cotsen Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles, 1-14.
- OLIN, J.S., HARBOTTLE, G., SAYRE, E.V. (1978): Elemental composition of Spanish and

Spanish-colonial majolica ceramics in the identification of provenience. *in* Carter, G.F., ed., "Archaeological chemistry II", Advances in Chemistry Series, 171, American Chemical Society, Washington, D.C., 200-229.

RÓNAI, J. (1985): Az Alföld negyedidőszaki földtana. *Geologica Hungarica*, **21**, 66-121.

SCHWEDT, A., MOMMSEN, H., ZACHARIAS, N. (2004): Post-depositional elemental alterations in pottery: neutron activation analyses of surface and core samples. *Archaeometry*, **46**, 1, 85-101.

SCHWERTMANN, U. (2008): Iron oxides. *in* Chesworth, W., ed., "Encyclopedia of Soil Science", Springer, Berlin, 363-369.

SÜMEGHY, J. (1955): A magyarországi pleisztocén összefoglaló ismertetése. MÁFI Évi Jelentése 1953-ról, 395-404.

SZILÁGYI, V., TAUBALD, H., T. BIRÓ, K., S. KOÓS, J., CSENGERI, P., TÓTH, M., SZAKMÁNY, GY. (2011): Archaeometrical data on the fineware of the Middle Neolithic Bükk culture – preliminary results. *in* Turbanti-Memmi, I., ed., "Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry", Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 159-167.

SZILÁGYI, V., T. BIRÓ, K., CSENGERI, P., SZAKMÁNY, GY., TAUBALD, H., MIHÁLY, J., BERTHOLD, C., S. KOÓS, J., ZÖLDFÖLDI, J. (in press): Petro-mineralogical and geochemical characterization of Middle Neolithic Bükk Culture fine ware from Garadna, NE Hungary. *in* Martinón-Torres, M., ed., "Proceedings of the 10th European

Meeting on Ancient Ceramics", Archaeopress, Oxford.

TAUBALD, H. & T. BIRÓ, K. (2007): Archaeometrical analyses of Neolithic pottery and comparison to potential sources of raw materials in the immediate environment of the settlements – a first summary of the MÖB-DAAD exchange program. *Archeometriai Műhely*, **2007/2**, 1-4.

TAYLOR, S.R. & MCLENNAN, S.M. (1985): The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, 312 p.

TOMPA, F. (1929): Die Bandkeramik in Ungarn. *Archaeologica Hungarica*, **5-6**, Budapest.

TÓTH, M., BALÁZS, R., SZILÁGYI, V., SZAKMÁNY, GY. (in prep): Phase analysis of Bükk pottery and local sediments (with special regard to fineware). *Archeometriai Műhely*.

TYKOT, R.H. (2004): Scientific methods and applications to archaeological provenance studies. *in* Martini, M., Milazzo, M., Piacentini, M., eds., "Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course CLIV", IOS Press, Amsterdam, 407-432.

WEIGAND, P.C., HARBOTTLE, G., SAYRE, E.V. (1977): Turquoise sources and source analysis: Mesoamerican and Southwestern U.S.A. *in* Earle, T.K. & Ericson, E., eds., "Exchange Systems", Academic Press, New York, 15-34.

ZÖLDFÖLDI, J., HEGEDŰS, P., TAUBALD, H., T. BIRÓ, K., SZILÁGYI, V., SZÉKELY, B. (2011): CeraMIS - interactive Internet-based information system on Neolithic pottery. *Arheologia e Calcolatori*, **21**, 295-308.

ZALALÖVŐRŐL SZÁRMAZÓ RÓMAI KORI MALOMKÖVEK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

RESULTS OF ARCHAEOMETRICAL ANALYSIS OF ROMAN MILLSTONES FROM ZALALÖVŐ

SZAKMÁNY GYÖRGY¹ – NAGY-SZABÓ TIBOR²

¹ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, e-mail: gyorgy.szakmany@geology.elte.hu

²E-mail: savim@freemail.hu

Abstract

109 pieces of Roman age millstones from Zalalövő (Roman name is Salla) were studied archaeometrically. Authors made detailed macroscopic and polarising microscopic description moreover representative samples were chemically analysed. The most important raw materials of the millstones are vesicular basalt, originated highly probably from Ság-hegy (near Celldömök). Other important raw materials were potassic volcanic rock types, andesite-trachianandesite-latitude, these raw materials originated from Gleichenberg (Steyr-basin, Austria). The origin of the raw materials of rarely occurred basaltic tuff is questionable.

The archaeometric results have high importance in archaeological point of view, namely these raw materials were imported from quite close geological localities, which show local commercial procedures as regards millstones. Possibly the millstones were finally formed in the quarries, and the ready millstones were delivered to the town, but there are no archaeological proofs for this due to the later intensive quarrying of the raw materials.

Kivonat

A szerzők a Zalalövő (római kori nevén Salla) lelőhelyről előkerült 109 db római kori malomkő archeometriai vizsgálata során részletes makroszkópos és polarizációs mikroszkópos petrográfiai leírást adtak, valamint reprezentatív mintákból kémiai elemzéseket végeztek. A vizsgálatok szerint a malomkövek legjelentősebb csoportjának nyersanyaga hólyagüreges bazalt, amely nagy valószínűséggel a Ság-hegyről származik. A másik jelentős nyersanyag típus a kálíkőzetek csoportjába tartozó andezites-trachandezites-látitos kőzetváltozatok, ezek nyersanyaga a Stájer-medencéből, Gleichenberg környékéről származik. Az elvételre előforduló bazaltos kőzettörmelék tufa nyersanyaglelőhelye egyelőre kérdéses.

Régészeti szempontból ennek az eredménynek nagy jelentősége van, ugyanis arra enged következtetni, hogy a malomköveket – illetve azok nyersanyagát – viszonylag közletről szerezték be, vagyis a helyi kereskedelem jelentősége e nyersanyagcsoportnál meghatározó volt. A közép-olaszországi orvietói kőfejtő leletei alapján akár azt is feltételezhetjük, hogy a malomköveket már a kőfejtőkben kifaragták, s a kész árut szállították a városba, bár erre egyértelmű régészeti bizonyítékot feltehetően kevés eséllyel lehet találni, figyelembe véve a lehetséges nyersanyag lelőhelyek későbbi használatát.

KEYWORDS: MILLSTONE, PETROGRAPHY, BULK ROCK CHEMISTRY, RAW MATERIALS, PROVENANCE

KULCSSZAVAK: MALOMKŐ, PETROGRÁFIA, KÉMIAI ÖSSZETÉTEL, NYERSANYAG, SZÁRMAZÁSI HELY

Bevezetés

Malomkövek az őskortól használatosak voltak, hiszen az őrlés igénye már ekkortól előtérbe került. Jelentős számú malomkővet tartalmazó leletanyag archeometriai szempontból történő feldolgozása azonban magyarországi leletanyagon eddig még csak elvétve történt (Péterdi et al. 2009), jóllehet nemzetközi irodalomban számos példát találunk a malomkövek és nyersanyagaik részletes archeometriai szempontból történő feldolgozására, elsősorban a mediterrán területekről (pl. Antonelli & Lazzarini 2010). Mivel a malomköveket egykor kizárólag kőzetekből faragták, vizsgálatuk leginkább kőzettani és geokémiai módszerekkel a legcélravezetőbb.

A Zalalövön fellelt római kori malomkövek archeometriai vizsgálatának a célja egyrészt a malomkövek kőzettípusainak megállapítása, azok részletes leírása, másrészt a nyersanyagok származási helyének lehetőleg minél pontosabb meghatározása volt. E kérdések megválaszolásához petrográfiai (makroszkópos és polarizációs mikroszkópos), valamint reprezentatív mintákon teljes kémiai elemzést végeztünk. Az eredmények értékeléséhez irodalmi adatokat, továbbá az ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék kőzetgyűjteményéből származó, összehasonlító mintákat és azok vizsgálati eredményeit használtunk fel.

Régészeti háttér

Zalalövő a Zala folyó partján fekszik, Zala megye székhelyétől, Zalaegerszegtől nyugatra, az egykori Borostyánkőút mentén. A régészeti kutatásokat Mócsy András kezdte meg, s sikeresen azonosította a mai Zalalövő alatti települést a római kori Salla városával. Az ásásokat 1973-1975 között Mócsy András, 1976-1989 és 1999-2005 között Redő Ferenc vezette. A kutatások felszínre hozták egy Kr. u. I-IV. században élt római kori települést, valamint egy korábbi, kelta megtelepedés szórványos emlékeit (Redő 2003). Az eddigi feltárásokon előkerült 109 darab római korú malomkővet Nagy-Szabó Tibor dolgozta fel szakdolgozat formájában (Nagy-Szabó 2008). A leletek mindegyike forgómalomhoz köthető szerkezet része volt, s ezek közül 7 darab feltehetően vízimalomban szolgált, a többi mérhető paraméterekkel rendelkező darab pedig kb. 30-46 cm átmérő közötti kézimalomhoz tartozott. A malomkövek és a lelőhelykörnyezetükben előkerült keltezéjű leletek aprólékos összevetése még nem történt meg, de az előzetes vizsgálatok alapján egyelőre úgy tűnik, hogy a malmok zöme a II-III. században volt használatban. Továbbá figyelemre méltó leletek egy pékműhelyként azonosítható – csak részlegesen feltárt – épület maradványai, amelynek lelőhelykörnyezetéből a malomkövek mintegy egyharmada származott.

Módszerek

A malomkő mintákat azok makroszkópos leírása után közettípusok szerint csoportosítottuk, majd további részletes vizsgálatokat az egyes csoportok reprezentatív, lehető legüdőbb példányaiból végeztünk. A mikroszkópos vizsgálatokhoz ezek alapján 9 mintát választottunk ki, azokból vékonycsiszolatot készítettünk, és Leitz Laborlux 11 Pol S típusú polarizációs (petrográfiai) mikroszkópban vizsgáltuk. A mikroszkópos leírások során választottuk ki azt a 3 db reprezentatív mintát, amelyből a Tübingeni Egyetem Geokémiai Tanszékén XRF módszerrel teljes kémiai elemzés (fő- és nyomelemek) történt, a vizsgálatot Heinrich Taubald végezte Bruker AXS S4 Pioneer típusú készülékkel, Rh anód használatával. A mintaelőkészítés során achátmózsárban porított bazalt kőzetmintákból 1,5 g pormintát 7,5 g ömlesztőanyaggal („Spectromelt Fluxing agent”, Merck A12, dilítiumtetraborát/lítium-metaborát (66:34) kevert, majd 1200 °C-on megolvasztotta és az így nyert anyagból homogén tablettákat készített. A mérési eredmények kiértékeléséhez a „Traces” szoftvert, a kalibrációhoz 32 sztenderdet használt. Az összes Fe mennyiségét Fe_2O_3 formában adta meg. Az izzítási veszteség („Loss on ignition”, LOI) a porminta 1000 °C-on, egy órán keresztül hevítése után került meghatározásra.

Petrográfia

A makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatok eredménye alapján a Zalalövőről előkerült római korú malomkövek kizárólag vulkáni eredetű kőzetekből készültek, megjelenésük, ásványos összetételük és szöveti jellegeik alapján négy típusba soroltuk őket: trachiandezit-látit, piroxén-biotitandezit, hólyagüreges bazalt valamint bazalttufa.

Makroszkópos jellemzés

Trachiandezit-látit („Andezit1” típus)

Üdén szürke, az átalakulástól függően gyakran sárgásszürke, lilás-vörösseszürke színű kemény, rücskös felszínű vulkanit. Benne viszonylag nagyméretű, 0,5-1 cm-es idiomorf-hipidiomorf porfirós elegyrészek láthatók, ezek fehér, gyakran szabad szemmel is felismerhetően zónás plagioklász, üvegfényű, szintelen, táblás káliföldpát, fekete vagy esetenként zöldes-sárgás barna piroxén, és néhány fekete, illetve rozsdabarnára színeződött biotit. Az alapanyag szürke-lilásszürke, esetenként az alapanyagban apró, fehér, tús plagioklászok láthatók. A kőzet ritkán nagyobb, az alapanyagban viszont sok kisméretű (maximálisan 1 mm átmérőjű), hólyagüregeket tartalmaz, melyekben gyakori a sárgás színű átalakulási termék. (1. ábra)

Piroxén-biotitandezit („Andezit 1a” típus)

Közepesen sötétszürke, az átalakult részekben lilásszürke, kemény, rücskös, de nem hólyagüreges kőzet. Szabad szemmel is megfigyelhető a nagyon sok, általában 1-3 mm-es szemcseméretű porfirós elegyrész, amelyek szintelen (vagy ritkán) fehér, nyúlt földpátok, viszonylag sok fekete, sajátalakú biotit, és kevesebb fekete piroxén.



1. ábra: Trachiandezit-látit („Andezit1” típus) anyagú malomkő makroszkópos fényképe; 62. számú minta.

Fig. 1: Macrophoto of trachiandesite-latite (type Andesite1) millstone; sample 62.



2. ábra: Piroxén-biotitandezit („Andezit1a” típus) anyagú malomkő makroszkópos fényképe; 80. számú minta

Fig. 2: Macrophoto of pyroxene-biotiteandesite (type Andesite1a) millstone; sample 80.



3. ábra: Hólyagüreges bazalt anyagú malomkő makroszkópos fényképe; 46. számú minta

Fig. 3: Macrophoto of vesicular basalt millstone; sample 46.



4. ábra: Bazalttufa anyagú malomkő makroszkópos fényképe; 12. számú minta

Fig. 4: Macrophoto of basaltic tuff millstone; sample 12.

Az alapanyagban nagyon sok igen apró (tized mm-es) fehér földpát látható. (**2. ábra**)

Hólyagüreges bazalt

Közepesen sötét szürke, kemény, szívós, erősen hólyagüreges (átmérő 3-5 mm) kőzet. Finomszemcsés, a fenokristályok kizárólag kevés-közepes mennyiségben előforduló 1(-2) mm-es vörös, oxidált olivin, emellett, nagyon ritkán halványzöld üvegfenyű piroxén. Az alapanyagban kevés, tized-milliméteres, fehér színű nyúlt plagioklász szintén látható. (**3. ábra**)

Bazalttufa

Szürke, porózus, viszonylag könnyen kipergő, általában 1-2 mm-es kissé kerekített szemcsékből és kevés kötőanyagból álló szemcsevázú kőzet. Az elegyrészek finomszemcsés, uralkodóan szürke bazalttörmelékek, ritkán zöld, vörösesbarna vagy fehér ásványtörmelékek.

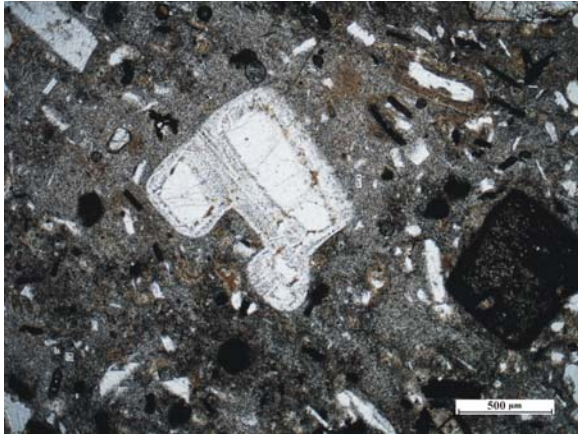
A kötőanyag zömében finomszemcsés, világosszürke, helyenként foltosan fehér, jól kristályos kalcitból áll. (**4. ábra**)

Petrográfiai mikroszkópos vizsgálatok eredményei

Trachandezit-látit (Andezit 1 típus) (34, 62, 97 minták)

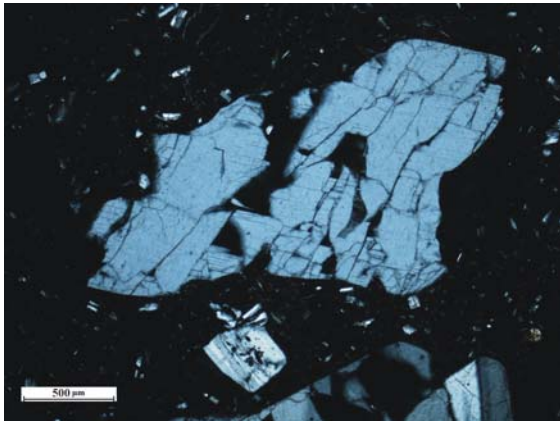
A kőzetek szövete porfiros hialopilités. Fenokristályként plagioklász, szanidin, augit és opacitosodott biotit fordul elő az erősen üveges, gyakran irányított, folyásos jellegű alapanyagban. A kőzetben endogén zárványok, magmakeveredésre utaló reliktumok valamint kéregzárványok szintén előfordulnak.

A **porfiros elegyrészek** közül a **plagioklász** – nagyméretű, akár 1 cm-t is elérő, táblás, hipidiomorf, zónás, ikerlemezes. Az ikerlemezek határai általában elmosódottak, és gyakran a plagioklász is inhomogén, mozaikos, zavaros megjelenésű. A szemcsék külső részén (a legkülső zóna kivételével) sok apró üvegzárványt tartalmaz, ez a rész a belső, rezorpciós zárványmentes részre kristályosodott. A plagioklász legkülső zónája szintén rezorpciós jellegeket mutat. Esetenként 2-3 szemcséből álló kumulátum is megfigyelhető. Összetétele a szimmetrikus zónában mért kioltás alapján (18-22°) andezines (**5a és 5b ábra**). A **szanidin** néhány nagyméretű (3-4 mm), táblás, üde, de szegélyén visszaolvadt-rezorbeálódott, xenomorf-hipidiomorf szemcsék formájában fordul elő (**6. ábra**). Az **augit** átlagosan 0,5 mm-es (maximálisan 1 mm-es) zömök oszlopos, idiomorf-hipidiomorf, halványzöld, gyengén zónás. Gyakori a poliszintetikus iker.



5a és 5b. ábra: Rezorbeálódott plagioklász, a szegélyén sok üvegzárvánnyal, valamint csaknem teljesen opacitosodott biotit (fekete), uralkodóan kőzetüvegből álló alanyanyagban. 34. sz. malomkő; Andezit1 típus, a) 1N, b) +N.

Figs. 5a and 5b: Resorbed plagioclase with a lot of glass inclusion in its rim, and almost completely opacitized biotite (black) in predominantly glassy groundmass. Sample 34; type andesite1, a) 1N, b) +N.

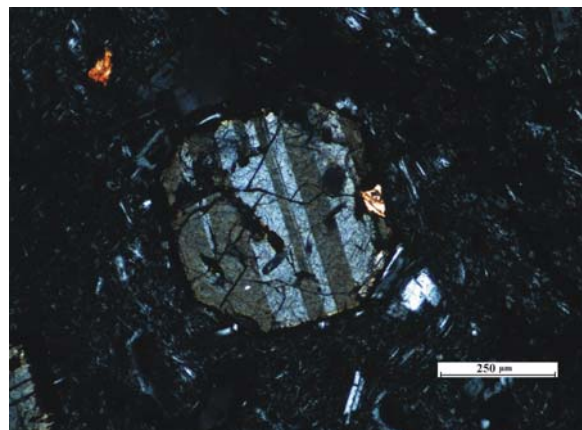
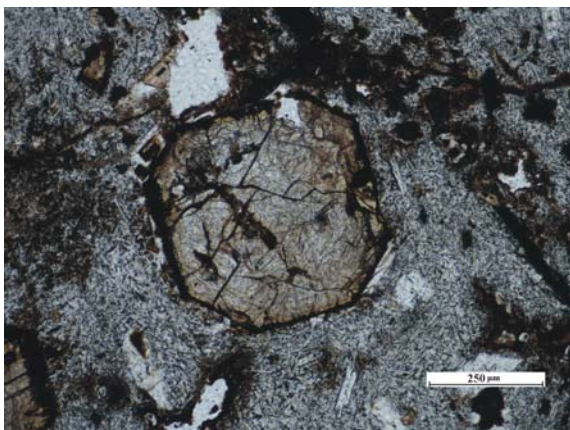


6. ábra: Nagyméretű töredezett sanidín fenokristály. 34. sz. malomkő; Andezit1 típus, +N

Fig. 6: Coarse grained broken sanidine phenocryst. Sample 97; type andesite1, +N

Néhány esetben rezorpció megfigyelhető, ennek során vagy limonitos, visszaolvadt kéreg, vagy más esetben az olvadékkal reakcióba lépve a finomszemcsés, plagioklászból és biotitból álló szegély alakul ki. Az átalakulás sokszor a hasadásokon keresztül az egész szemcsére is kiterjed. Esetenként néhány szemcsé kumuloporfir alkot (**7a és 7b ábra**).

A szinte teljesen *opacitosodott biotit* változatos méretű (0,2-1 mm) hatszöges szemcsék formájában jelenik meg, az eredeti sötétbarna-sárgásbarna pleokroizmusú biotit reliktumai csak elvétve figyelhetők meg néhány szemcsé közepén (ld. **5a és 5b ábra**).



7a és 7b. ábra: Sajátalakú, ikresedett augit fenokristály. 97. sz. malomkő; Andezit1 típus, a) 1N, b) +N.

Figs. 7a and 7b: Euhedral, twinned augite phenocryst. Sample 97; type andesite1, a) 1N, b) +N.

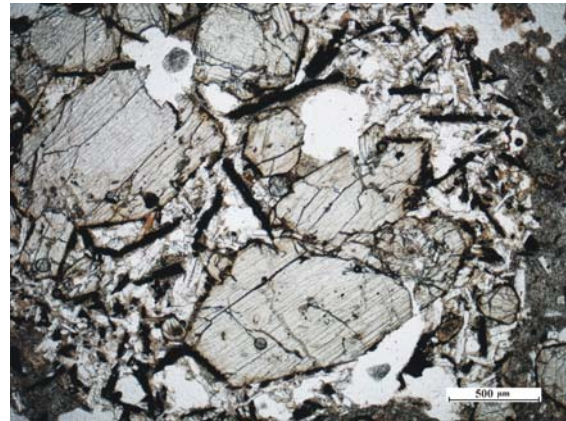
Az **alapananyag** uralkodóan kőzetüvegből áll, amelyben kisméretű (általában <0,1 mm) plagioklász, opakásvány (opacit), esetenként piroxén valamint ritkán apatit és cirkon fordul elő (ld. **5a és 5b ábra**). A **kőzetüveg** szürkésbarna-barnásszürke, zavaros. Egyes mintákban az üvegben homogén, feltehetően újraolvadt, teljesen szabálytalan alakú, zárványmentes narancsvörös színű (limonitos) kőzetüvegből álló részek alakultak ki, amelyek közepe gyakran üreges. A **plagioklász** üde, táblás-léces megjelenésű, kevés (3-4) ikertagból áll. A szimmetrikus zónában mért kioltás alapján (20-24°) andezites összetételű. Az **opakásvány** általában nagyrészt teljesen opacitosodott biotit, kisebb részben ilmenit lehet. Egyes mintákban apró (<50 µm), sajátalakú, zömök oszlopos **piroxén** szemcsék is előfordulnak. Az **akcessóriák** közül az **apatit** a gyakoribb, idiomorf, nyúlt, vékony oszlopos megjelenésű, a **cirkon** elvétve fordul elő, a magmakeveredés csaknem teljesen felolvadt reliktumában (ld. később) található zömök oszlopos, sajátalakú, viszonylag nagyméretű (~0,1 mm) szemcsék formájában.

Endogén zárványok viszonylag ritkák, mintegy 1 cm-es átmérőjűek. Viszonylag sok, általában nagyobb (max. 0,5-1 mm) piroxénból, és sok kisebb (~0,25 mm), nyúlt plagioklászából álló kristályos szemcsés szövétű lekerekített, általában nem teljesen határozott körvonalú elegyrészek, esetenként erősen átalakultak (**8. ábra**).

A kőzettípusban **magmakeveredés reliktumainak** értelmeztük azokat az erősen átalakulóban levő klinopiroxénból és sötét vörösbarna-barnásfekete, homogén alapananyagból álló lekerekített, mintegy 0,5 cm-es maradványokat, amelyek a fent leírt cirkon szemcséket tartalmazzák, továbbá azokat a finomszemcsés (0,1-0,2 mm), nyúlt plagioklászából és közte narancsvörös színű homogén kőzetüvegből álló zárványokat, amelyekben néhol nagyméretű (1-2 mm-es) zónás, üveg-zárványos plagioklász, vagy augit fenokristály fordul elő (**9. ábra**).

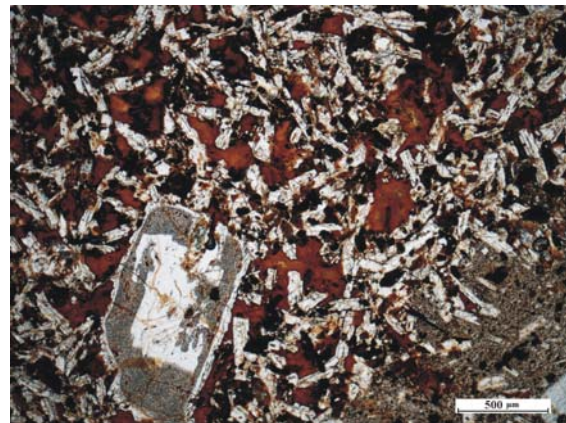
A kőzetek elvétve karbonátásványokból álló limonitos szegélyű **kéregzárványokat** is tartalmaznak.

Összefoglalóan a kőzettípusba tartozó kőzetek ásványi összetételük alapján, a szanidin mennyiségétől függően, trachandezites vagy látitos összetételűek, amelyekben számos jel utal magmakeveredésre (plagioklász ikerlemezhatárok fokozatos elmosódása, rezorpciója, üveg-zárványok zónás megjelenése, piroxének rezorpciója, átalakulása, reakciószegélye, relikta magmatit zárványok, a biotitok teljes opacitosodása). A fentiek és a piroxén-biotitandezit kőzettípus (ld. alább) azt mutatja, hogy a normál andezites összetételű kőzethez illőben és feltehetően alkáliákban dúsabb magma keveredett.



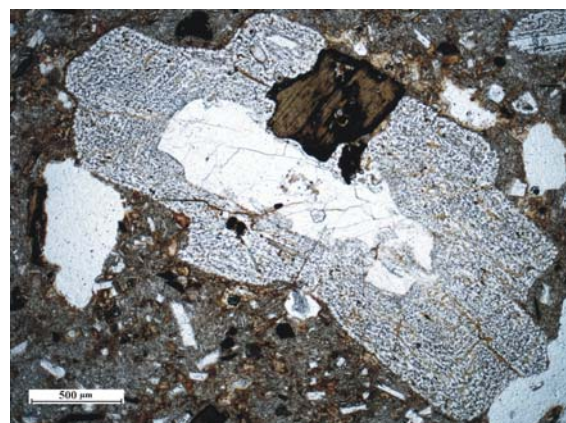
8. ábra: Augitból, plagioklászából és opak ásványból álló endogén zárvány. 34. sz. malomkő; Andezit1 típus, 1N.

Fig. 8: Endogene inclusion consists of augite, plagioclase and opaque minerals. Sample 34; type andesite1, 1N..



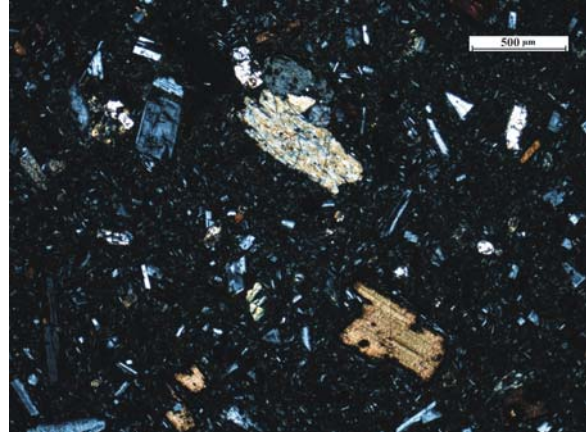
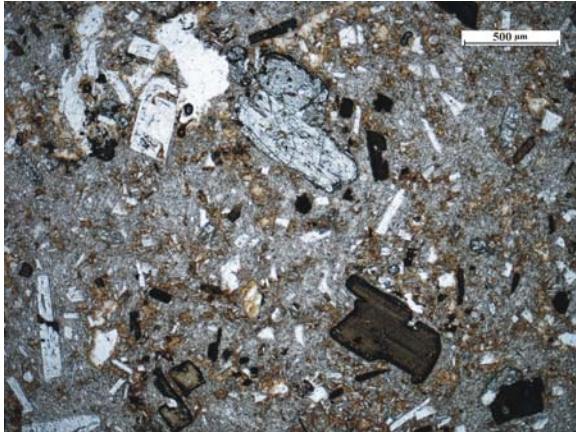
9. ábra: Plagioklászából, piroxénból és vörösbarna kőzetüvegből álló relikta zárvány. 62. sz. malomkő; Andezit1 típus, 1N.

Fig. 9: Relict inclusion consist of plagioclase, pyroxene and reddish brown glass. Sample 62; type andesite1, 1N.



10. ábra: Sajátalakú, zónás, a szegélyén üveg-zárványos plagioklász és biotit fenokristályok. 80. sz. malomkő; Andezit1a típus, 1N.

Fig. 10: Euhedral, zoned plagioclase with glass inclusion on its rim, moreover biotite phenocryst. Sample 80; type andesite1a, 1N



11a és 11b. ábra: Plagioklász, biotit és augit fenokristályok nagyrészt üveges alapanyagban, amely viszonylag sok aprószemcsés plagioklászt, biotitot, klinopiroxént és opak ásványt tartalmaz. 80. sz. malomkő; a) 1N, b) +N.

Figs. 11a and 11b: Plagioclase, biotite and augite phenocrysts in predominantly glassy groundmass consists of quite a large amount of plagioclase, biotite, clinopyroxene and opaque minerals. Sample 80; type andesite 1a, a) 1N, b) +N.

Piroxén-biotitandezit (*Andezit 1a típus*) (77, 80 minták)

A kőzet szövete porfíros hialopilités, helyenként pilotaxitos felé átmenetet mutat. Emellett az alapanyagban kezdődő átkristályosodás megfigyelhető.

A *porfíros elegyrészek* közül az üde, változó méretű (1-10 mm), idiomorf-hipidiomorf táblás plagioklász az uralkodó. Zónás, jellemző, hogy belseje zárványmentes, amit kívül általában vastag, sűrűn üvegzárványos szegély övez, rezorpció nincs. Összetétele a szimmetrikus zónában mért maximális kioltási szög (24°) alapján andezites (**10. ábra**). A *biotit* viszonylag nagy mennyiségben fordul elő. Mérete változatos, uralkodóan 100 μm körüli, de esetenként eléri a 1,5 mm-t is (emellett lényegesen kisebb méretű biotit az alapanyagban is előfordul). Üde, sötétbarna - világos sárgásbarna, erősen pleokroós. Rezorpció ritkán megfigyelhető. Jellegzetessége, hogy zárványként tús, szagenitrácús rutilt tartalmaz, ami mellett opakásvány és ritkán apatit is előfordul. A viszonylag kevés *augit* néhány nagyobb (1-1,5 mm) rezorbeálódott és több kisebb (100-200 μm) idiomorf, zömök oszlopos nagyon gyengén pleokroós üde szemcsék formájában jelenik meg. Ritkán több szemcse kumuloporfirt alkot (**11a és 11b ábra**).

Az *alapanyag* uralkodóan szürkésbarna, zavaros kőzetüvegből áll, amiben kevés plagioklász, klinopiroxén, biotit, opakásvány és apatit fordul elő. Az alapanyag részlegesen és gyengén átkristályosodott (ld. **11a és 11b ábra**), sok helyen azonban a „maradék helyeket” kitöltve világos, barnássárga-sárgásbarna, helyenként narancssárga üde üvegfoszlány is előfordul, amelyek közepén

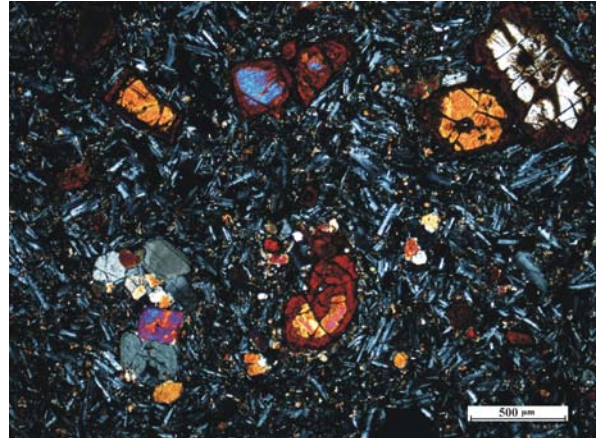
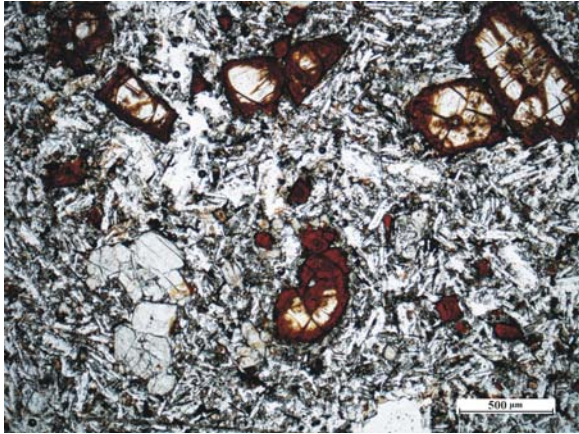
gyakran kis üreg alakult ki. Az alapanyagban emellett kevés apró, léces-tűs *plagioklász*, a fenokristályokhoz hasonló megjelenésű, de méretében lényegesen kisebb (<100 μm) *klinopiroxén* és *biotit*, valamint elvéve *opakásvány* (izometrikus magnetit, és léces átmetszetű ilmenit) továbbá nyúlt, oszlopos *apatit* fordul elő, ez utóbbi gyakori biotitban is zárványként.

Az *endogén zárvány* ritka, biotitból, plagioklászból és kevés klinopiroxénből áll.

Összefoglalóan a kőzettípus üde, üveges piroxén-biotitandezit nagyon kevés endogén zárvánnyal.

Az andezites-látitos kőzettípusok képződése

A fent leírt két kőzettípus petrográfiai vizsgálatának eredménye azt mutatja, hogy a trachandezit-látit és a piroxén-biotitandezit genetikailag összetartozó kőzettípusok a bennük előforduló kőzetalkotó elegyrészek jelentős hasonlatossága alapján, vagyis a két kőzettípus ugyanarról a lelőhelyről származhat. Ezen túlmenően azonban a piroxén-biotitandezit sokkal üdebb, mint a trachandezit-látit, nem hólyagüreges és egyáltalán nem tartalmaz káliföldpátot. Endogén zárvány csak ritka, és magmakeveredésre utaló nyomok sem figyelhetők meg benne. Miután a trachandezit-látit csoportba tartozó kőzetekben minden olyan elegyrész megtalálható, amely a piroxén-biotitandezitben is előfordul, ez utóbbi lehetett a magmakeveredés egyik résztvevője, ez képviseli az üde anyagot. Ezen kívül a trachandezit-látit típusú kőzetek kialakulása során, a magmakeveredésben résztvevő másik magmának kálium dúsabbnak és feltehetően illó-dúsabbnak kellett lennie, amire a szanidin és az erősen opacitosodott biotit jelenléte, továbbá a viszonylag nagyméretű hólyagüreges utalnak.



12a és 12b. ábra: Augit kumuloporfir és iddingzites olivin fenokristályok interszertális szövetű alapanyagban. 79. sz. malomkő; hólyagüreges bazalt, a) 1N, b) +N.

Figs 12a and 12b: Augite porphyre with the formation of their cumulate and iddingsitized olivine phenocrysts in intersertal texture groundmass. Sample 79; vesicular basalt, a) 1N, b) +N.

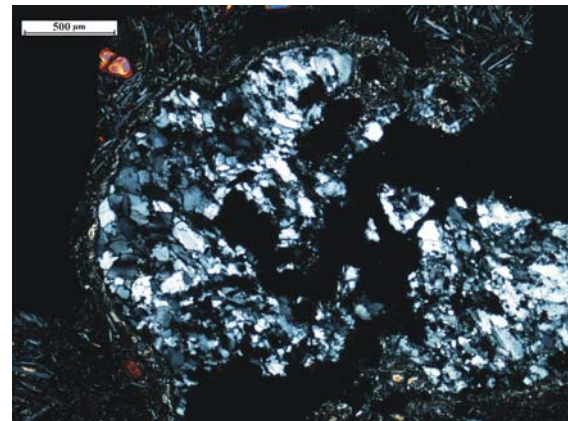
A magmakeveredés hatására az illók jelenléte és/vagy a hőmérséklet-növekedés (esetleg nyomáscsökkenés) hatására részben újraolvadás is történt, amire a plagioklász üvegzárványossága a külső zónában, a biotit erőteljes opacitosodása, a piroxén fenokristályok töredezett jellege, valamint a szanidin jelenléte utal.

Hólyagüreges bazalt (46, 78, 79 minták)

A kőzet szövete porfíros intergranuláris, illetve részben – a kőzetüvegtartalmú változatok - interszertális jellegeket mutatnak. A kőzet hólyagüreges, az alapanyag irányított, folyásos jellegű.

A *porfíros elegyrészek* közül legjellegzetesebb az *olivin*, amely iddingzites, idiomorf, zömök oszlopos szemcsék formájában jelenik meg. Uralkodó szemcsemérete 250-1000 µm közötti, maximálisan 2000 µm, de vannak kisebb, 100 µm körüli szemcsék is. Rezorpció ritkán figyelhető meg (**12a és 12b. ábra**). Esetenként az olivin kristályok csoportokban dúsulnak. Az *augit* nem minden mintában fordul elő porfíros elegyrészként. Nagyon halvány zöld-lilás rózsaszín pleokroizmusú, idiomorf-hipidiomorf zömök oszlopos. Gyakran néhány szemcse kumuloporfirt alkot, ritkán olivinnel történt összenövése is megfigyelhető (**ld. 12a és 12b. ábra**).

Az *alapanyag* irányított, uralkodóan hipidiomorf, tús-léces, közel párhuzamosan elhelyezkedő üde, néhány ikertagból álló plagioklászokból áll (**ld. 12a és 12b. ábra**). Összetétele az albitikerlemezek szimmetrikus zónában mért kioltási szöge (26-32°), alapján bázisos andezin-labradorit. A plagioklászlécek között elsősorban apró *clinopiroxén* és nyúlt, tús vagy izometrikus opakásvány (ilmenit, illetve magnetit) figyelhető meg. Akcesszóriaként kevés tús *apatit* található.

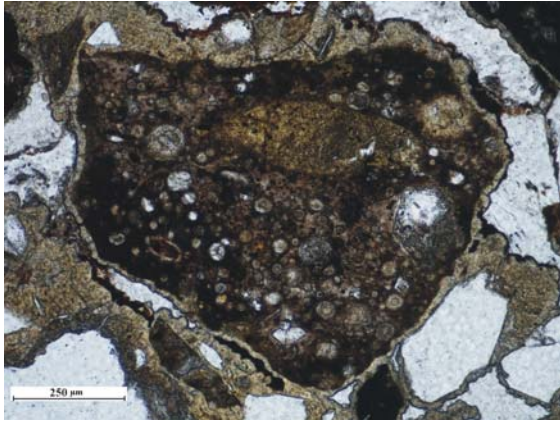


13. ábra: Kvarcit kéregzárvány bazaltban, a szegélyén finomszemcsés klinopiroxénekből álló vékony reakciószegéllyel. 78. sz. malomkő; hólyagüreges bazalt, +N.

Fig. 13: Upper crust xenolith of quartzite with fine grained clinopyroxene reaction rim. Sample 78, vesicular basalt, +N.

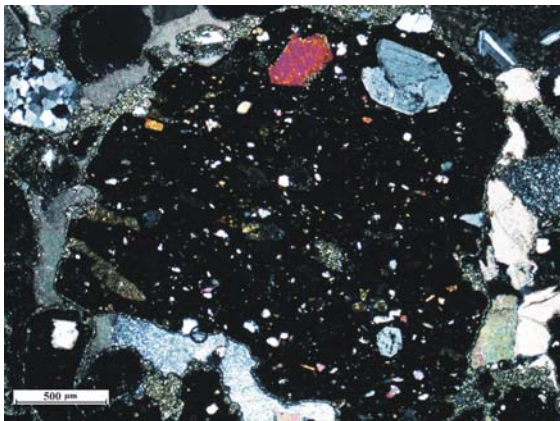
Másodlagos átalakulásként az alapanyagban az olivin fenokristályok közelében foltosan limonitosodás alakult ki. A viszonylag kevés *kőzetüveg* – amennyiben megjelenik - sötétszürke színű, zavaros megjelenésű, és a maradékhelyeket tölti ki.

Nagyon ritkán a bazaltban kéregzárvány is előfordul, amely palás szövetű (csillámos) kvarcit, szegélyén apró, tömeges piroxénkristályokból álló kéreggel (**13. ábra**). Apró piroxénszemcsékből álló aggregátumok a kőzetpéldányokban több helyen is előfordulnak.



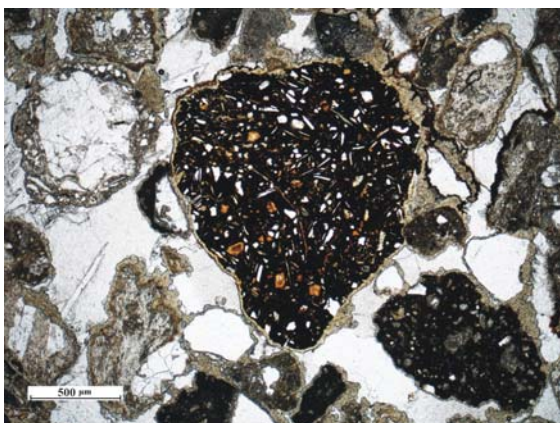
14. ábra: Hólyagüreges bazalttörmelék bazalttufában. 12. sz. malomkő; 1N.

Fig. 14: Vesicular basalt fragment in basaltic tuff. Sample 12, 1N.



15. ábra: Üveges bazalttörmelék üde klinopiroxén fenokristályokkal bazalttufában. 12. sz. malomkő; +N

Fig. 15: Glassy basalt fragment with fresh clinopyroxene phenocrysts in basaltic tuff. Sample 12, +N.



16. ábra: Intersertális szövetű bazalttörmelék bazalttufában. A kötőanyag uralkodóan durvaszemcsés kalcit. 12. sz. malomkő; 1N.

Fig. 16: Basalt fragment with intersertal texture in basaltic tuff. Sample 12, 1N.

Bazalttufa (12. minta)

Jól osztályozott, uralkodóan 500-1000 µm-es szemcsékből álló szemcsevázú tufa. A szemcsék között uralkodó mennyiségben bazaltos közettörmelékek, ritkábban ezek önállóan előforduló ásványszemcséi, továbbá kisebb mennyiségben felszakított, hozzákevert üledékes és részben metamorf eredetű ásvány- és közettörmelékek találhatóak. Az elegyrészek összetétele alapján **közettörmelékes bazalttufa**.

A gyakran irányított, folyásos szövetű bazaltos összetételű **magmás közettörmelékek** több típusát különítettük el:

Hólyagüreges, üveges bazalt – A sok, általában 20-50 µm átmérőjű hólyagüreget tartalmazó kőzet alapanyaga sötétbarna-vörösarna kőzetüvegből áll, amiben 200-500 µm-es rezorpciós klinopiroxén, illetve teljesen átalakult olivin fenokristályok fordulnak elől (**14. ábra**).

Üveges bazalt – Erősen átalakult közettörmelék. Nagy mennyiségű halványbarna üveges mátrixban kisméretű (50-100 µm), üde klinopiroxén, általában teljesen agyagásványosodott, esetenként üde olivin és elvétve amfibol fenokristályok, illetve igen apró (10-20 µm) hólyagüreges fordulnak elő (**15. ábra**).

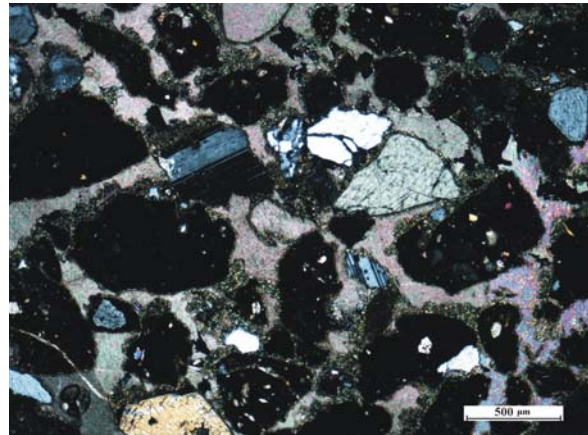
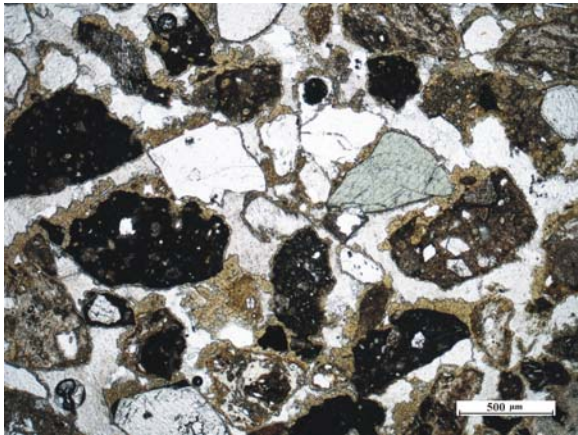
Intersertális bazalt – Uralkodóan sok, apró, tús, közel párhuzamosan elhelyezkedő plagioklászokból, és közöttük kevés kőzetüvegből álló törmelék (**16. ábra**).

Intergranuláris bazalt – Teljesen kristályos, finomszemcsés, uralkodóan apró plagioklász lécekből, és azok között opakásványokból, illetve valamivel durvább szemcsés klinopiroxénből vagy olivin utáni pseudomorfózákban álló közettörmelék.

Karbonátosodott bazalt – A fent felsoroltakhoz hasonló megjelenésű közettörmelék, azzal a különbséggel, hogy a plagioklász tük és az alapanyag is erősen karbonátosodott.

Kőzetüveg törmelék – Sötét szürkésbarna, zavaros megjelenésű kőzetüvegből álló törmelékek.

A **magmás eredetű ásványtörmelékek** közül uralkodó mennyiségben fordul elő a zömök oszlopos megjelenésű, viszonylag nagyméretű, akár 400-500 µm-es *augit*. Az *olivin* viszonylag kevés, nagyrészt üde, de esetenként teljesen karbonátosodott pseudomorfózák formájában található. Elvétve fordul elő idiomorf, barna-sárgásbarna-zöldesbarna pleokroos, viszonylag durva szemcseméretű (200-300 µm-es) *hornblende*. A *plagioklász* kevés, általában xenomorf, az ikerlemezsége gyakran elmosódott (**17a és 17b. ábra**).

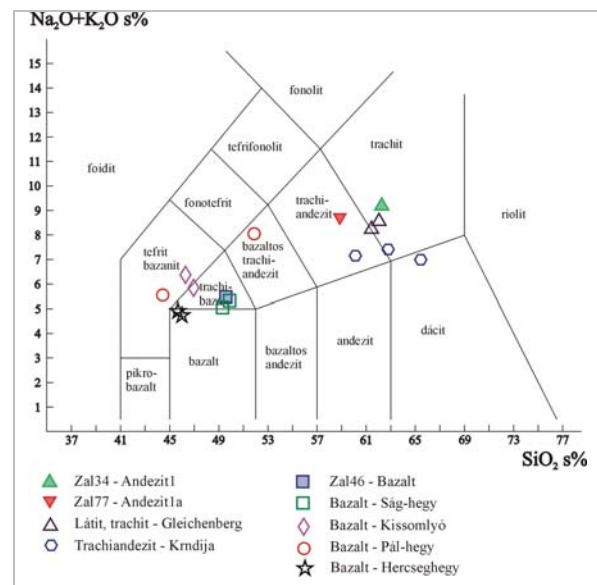


17a és 17b. ábra: Augit, plagioklász, mono- és polikristályos kvarcselemcsék, valamint különböző típusú bazalttörmelékek bazalttufában. A kötőanyag uralkodóan durvaszemcsés kalcit, a szemcsék közvetlen környezetében agyagos. 12. sz. malomkő; a) 1N, b) +N.

Figs 17a and 17b: Augite, plagioclase, monocrytallyne and polycrystalline quartz clasts moreover different types of basalt fragments in basaltic tuff. Cement is predominantly coarse grained calcite moreover there is clayish around the clasts. Sample 12, a) 1N, b) +N..

A robbanás során *felszakított* vagy *utólagosan hozzákeveredett ásvány- és közettörmelékek* közül viszonylag gyakori az erősen hullámos kioltású, koptatatlan, szilánkos *monokristályos kvarc* (17a és 17b ábra). Kis mennyiségben fordul elő a szintén koptatatlan *polikristályos kvarc*, benne erősen hullámos kioltású durvaszemcsés kvarcselemcsékkel, amelyek hullámosan vagy szutúrásan érintkeznek egymással (17a és 17b ábra). A *kvarcit kavicsok* erősen koptatott, irányított kvarcselemcsékből vagy szalagos kvarcselemcsékből állnak, gyakran apró muszkovittal. Elvéve fordul elő gömbölyded, szálal *kalcedonból* álló törmelék. A *homokkő vagy aleurolit* apró (50-100 μm), uralkodóan kvarc selemcsékből álló, ritka közettörmelék. Csillámok közül mind törmelékes eredetű opacitot biotit, mind muszkovit elvéve, de előfordul. A *meszes átítatású és bekérgezéses porózus szövetű kavics* feltehetően édesvízi mészkő eredetű.

A kőzet porózus, viszonylag kevés *kötőanyagot* tartalmaz, amely elsősorban sárga-okkersárga színű, gyakran gömbölyded, ritmusos kiválású vasas-karbonátos (szideromelán), részben agyagos (feltehetően montmorillonitos). Sok helyen foltokban durvaszemcsés pátos kalcit egykristályok alakultak ki a szemcsék között, vagyis a kőzet poikilotópos szövetű (16. ábra). A szemcsék körül gyakran agyagos-karbonátos mállási szegély is kialakult, ami részben hozzájárul a cementációhoz. Helyenként limonitos-hematitos átítatás szintén megfigyelhető.



18. ábra: A vizsgált malomkő minták elhelyezkedése a TAS diagramon (telt jelek). A diagramon összehasonlításképpen néhány Gleichenbergből, illetve a Kisalföldről származó terepi minta (üres jelek) adatait is feltüntettük (utóbbi adatok: Harangi et al. 1995a, 1995b, Pamić et al. 1995).

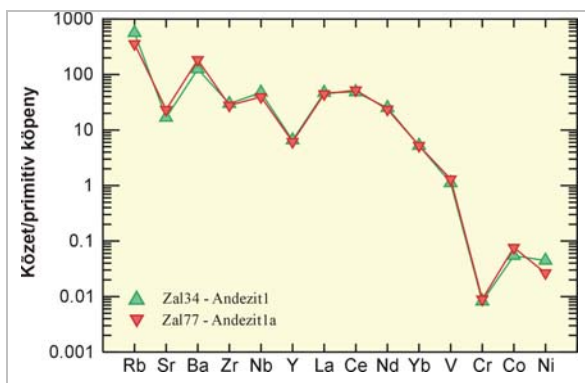
Fig. 18: TAS diagram of analysed millstone samples (full symbols) and some geological samples from Gleichenberg and Little Hungarian Plain (open symbols) (latter data from Harangi et al. 1995a, 1995b, Pamić et al. 1995).

Kémiai elemzések

A petrográfiai leírás során meghatározott három vulkanit csoport (andezit 1, andezit 1a, bazalt) egy-egy reprezentatív képviselőjéből végzett kémiai elemzés eredményeit az **1. táblázat** mutatja.

A kémiai elemzési adatokat a TAS diagramba (Le Bas et al. 1986) behelyezve a petrográfiailag láttnak meghatározott Zal34 minta a trachit, a petrográfiailag piroxén-biotitandezitnek leírt Zal77 pedig a trachandezit mezőbe, de egymáshoz nagyon közel esik (**18. ábra**). A kémiai elemzési adatok azt mutatják, hogy mindkét kőzetre jellemző a jelentős K_2O -tartalom, amely csaknem eléri vagy meg is haladja az 5%-ot, emellett a K_2O/Na_2O arány 1 és 2 közé esik. Ez alapján a kőzetek a káli kőzetek csoportjába tartoznak (Foley et al. 1987). A két minta kémiai összetételbeli hasonlóságát a primitív köpenyre normált sokelemes diagram is jól mutatja. A görbék lefutása teljesen párhuzamos, és az értékek is - a Ni kivételével - szinte azonosak. Jellemző az inkompatibilis elemek (Rb, Sr, Ba, Zr, Nb, Y) és a ritkaföldfémek pozitív és az erősen kompatibilis elemek (Cr, Co, Ni) jelentős negatív anomáliája. (**19. ábra**)

Hólyagüreges bazalt anyagú malomkőből egy kémiai elemzés készült (Zal46 minta). A TAS diagramról leolvasható, hogy a kőzet a kémiai összetétele alapján trachibazalt (**18. ábra**). A primitív köpenyre normált sokelemes diagram alapján (**24. ábra**) a kőzet viszonylag gazdag inkompatibilis elemekben (Rb, Sr, Ba, Zr, Nb, Y és a ritkaföldfémek), továbbá negatív anomáliát tapasztalunk az erősen kompatibilis (Cr, Co, Ni) elemek esetében. Érdemes megemlíteni a viszonylagos Zr és Y szegényedést. A minta kémiai összetételéből számolt mg-érték viszonylag magas, közel 58 %, a K_2O/Na_2O arány 0,57, a szilícium telítettségi index viszonylag kicsi, -0,75.



19. ábra: Az andezit1 és andezit1a minták primitív köpenyre (McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normált sokelemes diagramja.

Fig. 19: Primitive mantle (McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normalised spider diagram of andesit1 and andesit1a millstone types.

1. táblázat: A zalalövői római kori malomkövek típusainak kémiai összetétele (főelemek: %, nyomelemek ppm).

Megjegyzés: a szilícium telítettségi index (S.I.) számolásánál $Fe_2O_3/FeO = 0,15$ arányt számoltunk; szilícium telítettségi index (S.I.) Fitton et al. 1991 alapján; mg-szám:

$mg\# = Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$ mólarányal számolva.

Table 1: Chemical composition of the types of Roman age millstones (major elements in %, trace elements in ppm).

Remarks: we used $Fe_2O_3/FeO = 0,15$ for the calculation of saturation index (S.I.); saturation index (S. I.) on the base Fitton et al. 1991; mg-number: $mg\# = Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$ was calculated by mol ratio

Minta	Zal34	Zal77	Zal46
Kőzettípus	andezit1	andezit1a	bazalt
SiO ₂	62,19	57,65	49,16
TiO ₂	0,72	0,96	2,22
Al ₂ O ₃	17,54	19,57	16,39
Fe ₂ O ₃	3,84	4,17	10,43
MnO	0,06	0,10	0,17
MgO	1,83	1,65	6,39
CaO	3,93	4,36	8,12
Na ₂ O	3,68	3,71	3,44
K ₂ O	5,46	4,80	1,97
P ₂ O ₅	0,58	0,95	0,90
LOI	0,91	2,06	0,85
Sum	100,76	99,98	100,05
Rb	338	214	47
Sr	335	467	799
Ba	827	1213	695
Zr	313	293	250
Nb	31	26	55
Y	28	26	32
La	31	29	40
Ce	81	88	91
Nd	31	30	41
Sm	5,7	4,1	5,7
Eu	0,9	1,2	2,2
Yb	2,3	2,3	2,3
V	91	107	208
Cr	22	23	205
Co	6	8	40
Ni	87	52	190
Zn	34	56	110
K ₂ O/Na ₂ O	1,48	1,29	0,57
mg#	51,75	47,10	57,92
S.I.	16,91	11,66	-0,75

Diszkusszió, a malomkő nyersanyagok származási helye

A petrográfiai vizsgálatok és a kémiai összetételei adatok eredményeit számos, a Kárpát-Pannon Régió hasonló típusú kőzeteinek adatával vetettük össze, majd azok együttes értékelése alapján, megkíséreltük meghatározni, illetve lehatárolni a malomkövek nyersanyagának származási területét.

Trachandezit-látit és piroxén-biotitandezit

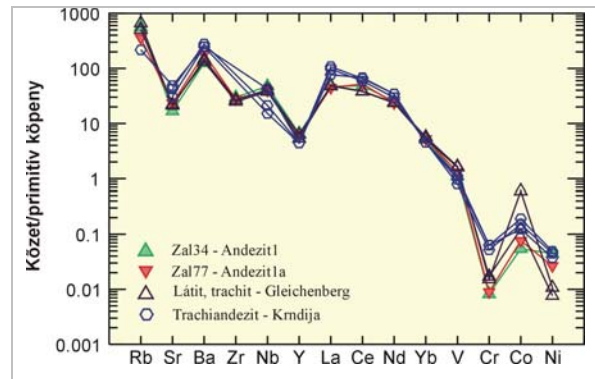
A Kárpát-Pannon térségben káli kőzetek felszínen csak elszórtan fordulnak elő. Az egyik legjelentősebb előfordulás a Stájer-medencében található, ahol miocén korú (18-13 millió éves), káli-jellegű andezitek, trachandezitek, látitok és shoshonitok találhatók a felszínen Gleichenberg és Weitendorf közelében (Scharbert et al. 1981; Krainer 1987; Harangi et al 1995a, Harangi 2002) (20. ábra). Az innen származó, korábbi gyűjtésekből származó kőzetekkel történt közvetlen összehasonlítás alapján elmondhatjuk, hogy az andezit anyagú malomkő ásványos összetétele és a kőzetszövege nagyon hasonló a Gleichenbergben előforduló trachandezit-látit kőzetváltozatokhoz.

A fenti előforduláson túlmenően káli kőzetek a Kárpát-Pannon térség déli részén, a Dráva-vonal mentén a Krndija hegységben fordulnak elő. A Kárpát-Pannon régió délkeleti részén, a Hargitában, illetve északon a Közép-Szlovákiai Vulkáni Területen Ihrac és Odan közelében fordulnak elő shoshonitos és bazaltos trachandezites kőzettípusok, a Bükkalján pedig savanyú káli-dús riolitos kőzetek bukkannak a felszínre (Harangi 2002). Ezen előfordulások kőzeteinek azonban mind a petrográfiai jellegei, mind a kémiai összetétele eltér mind a Stájer-medencebeli, mind a vizsgált malomkövek kémiai összetételétől.



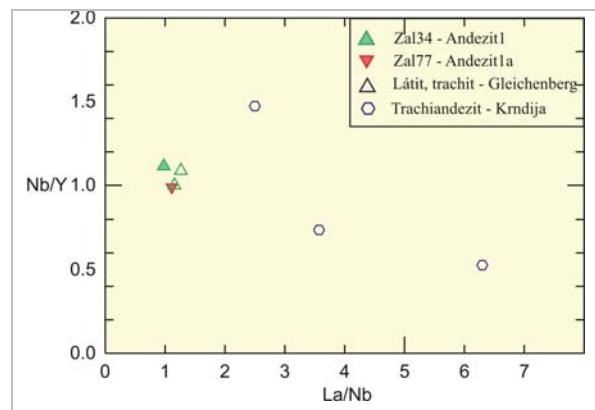
20. ábra: A malomkövek régészeti lelőhelye, továbbá a malomkövek nyersanyagának valószínűsíthető nyersanyaglelőhelyei.

Fig. 20: Locality map of studied millstones and the possible provenances of raw materials of the millstones.



21. ábra: Az andezit1 és andezit1a minták, továbbá a Gleichenbergből és a Krndija hegységből származó káli kőzetek (Harangi et al. 1995a, Pamić et al. 1995) primitív köpenyre (McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normált sokelemes diagramja

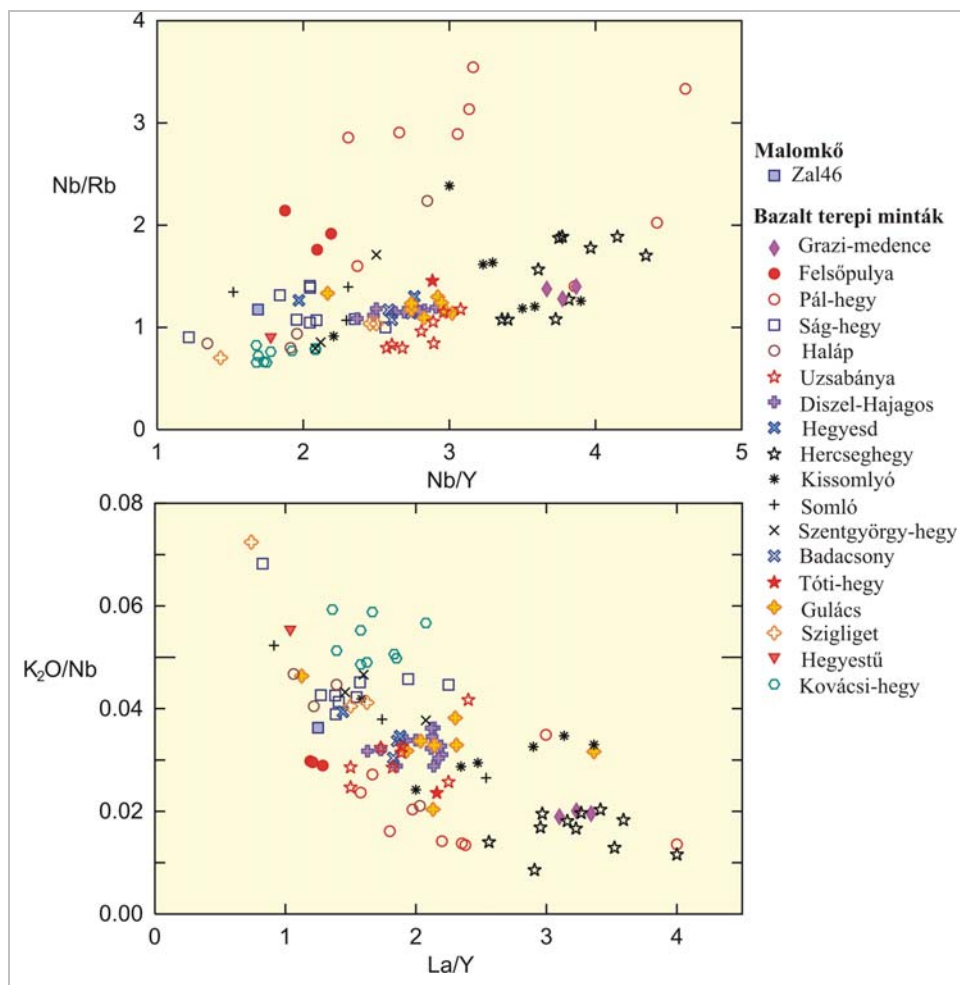
Fig. 21: Primitive mantle ((McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normalised spider diagram of andesite1 and andesite1a millstone types moreover potassic rocks from Gleichenberg and Krndija (Harangi et al. 1995a, Pamić et al. 1995).



22. ábra: Az andezit1 és andezit1a malomkő minták elhelyezkedése a La/Nb-Nb/Y valamint diagramon, összehasonlításként néhány Gleichenbergből, illetve Krndijából származó terepi minta adatait is feltüntettük (adatokat Pamić et al. 1995).

Fig. 22: La/Nb-Nb/Y bivariate diagram of analysed andesitic millstones moreover some geological samples from Gleichenberg and Krndija (data from Pamić et al. 1995).

A malomkövekből készült kémiai elemzéseket közvetlenül összevetve a gleichenbergi és a Krndija hegységbeli kőzetek kémiai összetételével (Harangi et al. 1995a, Pamić et al. 1995), a sokelemes diagramon megfigyelhető, hogy a malomkövek görbéinek lefutása egymáshoz hasonló, és kémiai összetétele gyakorlatilag megegyezik a Gleichenbergből származó kőzetek összetételével, ugyanakkor sok tekintetben eltér a Krndija hegység káli kőzeteinek kémiai összetételétől (21, 22. ábra).

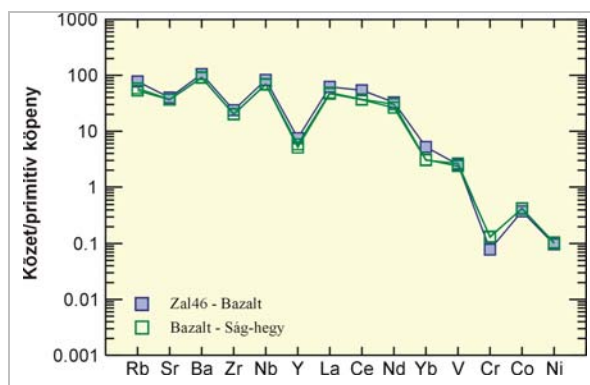


23. ábra:

A Zal46 jelű bazalt malomkő minta elhelyezkedése a Nb/Y-Nb/Rb valamint a La/Y-K₂O/Nb diagramokon, összehasonlításképpen számos, a Grazi-medencéből, Burgenlandból, Kisalföldről és a Balaton-felvidékről származó terepi minta adatait is feltüntettük (utóbbi adatok: Embey-Isztin et al. 1993, Harangi et al. 1995a, 1995b, Kóthay 2009).

Fig. 23:

Nb/Y-Nb/Rb and La/Y-K₂O/Nb bivariate diagrams of analysed basalt millstone (sample Zal46) moreover some geological samples from Graz-basin, Burgenland, Little Hungarian Plain and Balaton Highland (latter data from Embey-Isztin et al. 1993, Harangi et al. 1995a, 1995b, Kóthay 2009).



24. ábra: A vizsgált bazalt malomkő és a Ság-hegy bazaltjának (Harangi et al. 1995b) primitív köpenyre (McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normált sokelemes diagramja.

Fig. 24: Primitive mantle ((McDonough és Sun 1995, McDonough 1998) normalised spider diagram of analysed basalt millstone and basalt from Ság-hill (Harangi et al. 1995b).

A petrográfiai és a kémiai összetételbeli hasonlóság alapján tehát az ebbe a csoportba sorolt malomkő kőzeteinek nyersanyaga a Stájer-medencéből, Gleichenbergből származik.

Bazalt

A Kárpát-medencében és környezetében bazaltok jelentős mennyiségben és elterjedésben található (pl. Harangi, 1994, 2001). A petrográfiai vizsgálatok alapján meghatározott ásványos összetétel és az ásványok megjelenése alapján a malomkő kőzetanyaga a plio-pleisztocén bazaltokhoz, azon belül is elsősorban a Ság-hegy kráter faciesében előforduló bazaltjához mutatnak jelentős hasonlatosságot (Harangi Szabolcs szóbeli közlés).

A bazalt anyagú malomkő kémiai összetételét összevetettük néhány jellegzetes, a térségben előforduló (Grazi-medence, Burgenlandi területek, Kisalföld, Balaton-felvidék) bazaltvulkán mintájának kémiai összetételi adataival (Embey-Isztin et al. 1993, Harangi et al. 1995b, Kóthay et al. 2009). A TAS diagramról leolvasható, hogy a malomkő összetételéhez hasonlóan trachibazaltos, részben átmeneti bazaltos összetételű például a Ság-hegy bazaltja (ld. 18. és 20. ábra). További, jellemző elemeket tartalmazó kétváltozós diagramokon szintén megfigyelhető, hogy a bazalt anyagú malomkő kémiai összetétele, valamint az ezekből számolt paraméterek (mg-szám, szilícium telítettségi index) elsősorban a Ság-hegy

lávaközeteiből készült kémiai elemzési adatokhoz áll a legközelebb, azokhoz nagyon hasonlít. Mindemellett azonban megjegyezzük, hogy hasonló kémiai összetételű bazaltok elsősorban a kisalföldi és a Balaton-felvidéki területen máshol is előfordulnak (**23. ábra**). A Ság-hegy bazaltjának kémiai összetételével való jó egyezést mutatja az a sokelemes diagram is, amelyen a malomkő adatai mellett a Ság-hegyről származó reprezentatív minták kémiai összetételét ábrázoltuk (**24. ábra**).

Összefoglalóan a petrográfiai és a kémiai adatok arra utalnak, hogy a bazalt malomkövek nyersanyaga nagyon hasonló a kisalföldi és Balaton-felvidéki bazaltokéhoz, azon belül leginkább a Ság-hegy bazaltvulkánjának lávaközeteihez mutat hasonlatosságot.

Bazalttufa

Miután a bazalttufából kémiai elemzés nem készült, ezért a nyersanyag eredetére vonatkozóan csak a petrográfiai eredményekre támaszkodhatunk. A kőzet a nagymennyiségű üveges, valamint sok üveget tartalmazó törmelékek alapján freatomagmás kitérés eredménye lehet. Zalalövő környezetében bazalttufák a bazaltoknál említett fiatal bazaltvulkanizmushoz kapcsolódóan számos helyen is előfordulnak mind a Kisalföldön, mind a Balaton-felvidéken, mind a burgenlandi területen és a Stájer-medence keleti részén egyaránt. Ugyanakkor azonban petrográfiailag a Zall2 minta bazalttufája nem hasonlít a Kisalföldön (Ság-hegy, Kissomlyó, Egyházaskesző-Várkesző) előforduló bazalttufákra, ugyanis azok egyáltalán nem tartalmaznak amfibolt, és a bennük előforduló piroxén mérete is lényegesen kisebb (Harangi Szabolcs szóbeli közlés). Miután eddig sem a Balaton-felvidéken sem Burgenlandban és a Stájer-medencében előforduló bazaltos piroklasztitok részletes, mindenre kiterjedő petrográfiai feldolgozása nem történt meg, a bazalttufa nyersanyag-lelőhelyét egyelőre nem tudjuk pontosabban lehatárolni. A közeli bazaltos piroklasztit lelőhelyek közül a Kisalföld területét – jelen ismereteink alapján a fenti okokból kifolyólag – kizárhatjuk, a Balaton-felvidék egyes pannon aljzatán előforduló, illetve a burgenlandi vagy stájer-medencebeli területeken előforduló bazaltos piroklasztitok viszont szóba jöhetnek, mint származási hely. A Stájer-medence vagy Burgenland lelőhelyek mellett az szólhat, hogy a nagy káli tartalmú kőzetek erről a területről származnak.

Régészeti diszkusszió

A Zalalövön előkerült malomkövek kőzetanyagának statisztikai eloszlását a **2. táblázatban** foglaljuk össze.

2. táblázat: A Zalalövön előkerült malomkövek kőzetanyagának statisztikai eloszlása

Table 2: Statistical distribution of the rock types of the millstones found in Zalalövő

Kőzettípus	Darabszám	%-os arány
Andezit (1 és 1a típus)	33	30,3
Bazalt	75	68,8
Bazalttufa	1	0,9
Összesen	109	0

A táblázatból és a kőzetek nyersanyagának fent leírt származási helyéből arra lehet következtetni, hogy a malomkövek mintegy kétharmadát feltehetően a kisalföldi Ság-hegyről, fennmaradó hányadát pedig az ausztriai Gleichenbergről szerezték be a helyi kereskedelem révén – az egyetlen bazalttufából készült eszköz akár helyi kőzetből is készülhetett, de ez a darab statisztikai szempontból elhanyagolható.

Salla Pannonia egészének viszonylatában igen korán létrejött, s feltehetően Noricum provincia keleti határvidékéhez tartozhatott, mielőtt Pannonia provincia közigazgatását megszervezték. Ez felveti annak lehetőségét, hogy a malomköveket eleinte a gleichenbergi kőfejtőből szerezték be, s csak később aknázták ki a Ság-hegyen található bazaltkészleteket. Ugyanakkor keltezhető leleteink előzetes vizsgálata nem ezt látszik alátámasztani, mert időrendi szempontból mindkét lelőhely kőanyaga folyamatosságot mutat ahelyett, hogy két elkülöníthető horizont bontakozna ki. (A kronológiai vizsgálat tekintetében itt szeretnénk megköszönni Redő Ferenc szíves segítségét.)

Amennyiben a Ság-hegyről származó leletek koraiságát nem sikerül megcáfolni a későbbiekben, úgy felvetődik a kérdés, hogy vajon a készárut, vagy csupán a nyersanyagot szerezték be onnan; ugyanis Pannonia belseje a megszállás korai szakaszában ha közigazgatásilag nem is, de jellegében bizonyára barbár területnek számított. Mindez maga után vonja a lehetőségét annak, hogy Salla területén egy malomköveket faragó műhely működhetett, ahova a Ság-hegyi nyersanyag beérkezett – erre utaló régészeti nyomokra azonban mindeddig nem bukkantak az ásatásokon.

Végezetül szeretnénk megjegyezni azt a nagyon fontos tény, hogy a malomkő-kereskedelem nem köthető (legalábbis nem közvetlenül) a Borostyánkő úthoz, amely Salla életének egyik legfontosabb eleme volt.

Összefoglalás, következtetések

A Zalalövőről előkerült 109 darab római kori malomkő archeometriai (petrográfiai és kémiai elemzések) vizsgálatának eredményei azt mutatják, hogy a malomköveket kizárólag vulkanitból, illetve nagyon kis részben vulkanoklasztitból készítették. A nyersanyagok közül uralkodó a bazalt, amelynek származási helye igen nagy valószínűséggel a Ság-hegy, emellett viszonylag jelentős mennyiségben található a Gleichenberg környékéről származó káli kőzetekből készült malomkő is. Bazalttufából csak elvétve készült malomkő, ez utóbbi kőzet nyersanyaglelőhelyét egyelőre nem sikerült pontosítani. A fentiek alapján a malomkövek mintegy 50-60 km-es szállítás után kerültek felhasználási helyükre.

Köszönetnyilvánítás

A vékonyecsiszolatok elkészítését Dr. Józsa Sándornak, a kémiai elemzéseket Dr. Heinrich Taubaldnak, a szakmai konzultációt Dr. Harangi Szabolcsnak köszönjük meg. A szerzők köszönetet mondanak Redő Ferenc és Péterdi Bálint szakmai tanácsaiért.

Irodalom

- ANTONELLI, F. & LAZZARINI, L. 2010: Mediterranean trade of the most widespread Roman volcanic millstones from Italy and petrochemical markers of their raw materials. *Journal of Archaeological Science* **37**: 2081-2092.
- EMBEY-ISZTIN, A., DOBOSI, G., JAMES, D.E., DOWNES, H., POULTIDIS, Ch. & SCHARBERT, H.G. 1993: A compilation of new major, trace element and isotope geochemical analyses of the young alkali basalts from the Pannonian Basin. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica* **16**: 5-26.
- FITTON, J.G., JAMES, D. & LEEMAN, W.P. 1991: Basic Magmatism Associated With Late Cenozoic Extension in the Western United States: Compositional Variations in Space and Time. *Journal of Geophysical Research* **96** (B8): 13693-13711.
- FOLEY, S. F., VENTURELLI, G., GREEN, D. H. & TOSCANI, L. 1987: The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Science Reviews* **24**: 81-134.
- HARANGI, SZ., 1994: Geochemistry and petrogenesis of the Early Cretaceous continental rift-type volcanic rocks of the Mecsek Mountains, South Hungary. *Lithos* **33**: 303-321.
- HARANGI, SZ. 2001: Neogene to Quaternary volcanism of the Carpathian-Pannonian Region – a review. *Acta Geologica Hungarica* **44**: 223-258.
- HARANGI, SZ. 2002: Új eredmények a Kárpát-Pannon-térség neogén vulkanizmusának ismeretéhez. – MTA Doktori Értekezés, Budapest
- HARANGI, SZ., WILSON, M. & TONARINI, S. 1995a: Petrogenesis of Neogene potassic rocks in the Pannonian Basin. *Acta Vulcanologica* **7** (2): 125-134.
- HARANGI, SZ., VASELLI, O., TONARINI, S., SZABÓ, CS., HARANGI, R. & CORADOSSI, N. 1995b: Petrogenesis of Neogene extension-related alkaline volcanic rocks of the Little Hungarian Plain Volcanic Field (Western Hungary). *Acta Vulcanologica* **7** (2): 173-187.
- KÓTHAY, K. 2009: Alkáli bazaltos magma fejlődéstörténete szilikátolvadék-zárványok vizsgálata alapján a Balaton-felvidéki Hegyestű és Haláp példáján. – PhD értekezés, ELTE TTK Közettan-Geokémiai Tanszék, 119p
- KRAINER, B. 1987: Sedimentation und Shoshonit von Weitendorf, Badenian, Steirishes Becken. *Mitteilungen Österreichische Geologische Gesellschaft* **80**: 143-156.
- Le BAS, M. J., Le MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. 1986: A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology* **27**: 735-750.
- McDONOUGH, W. F. 1998: Earth's core. In: MARSHALL, C. P. & FAIRBRIDGE, R. W. (eds.): Encyclopedia of geochemistry. - Kluwer Academic Publishers; Dordrecht: 151-156.
- McDONOUGH, W. F. & SUN, S.-S. 1995: Composition of the Earth. *Chemical Geology* **120**: 223-253.
- NAGY-SZABÓ, T. 2008: A kenyérsütés emlékei Pannoniában (Zalalövői malomkövek). – Közöletlen szakdolgozat, ELTE Régészeti Intézet, Budapest
- PAMIĆ, J. J., McKEE, E. H., BULLEN, T. D. & LANPHERE, M. A. 1995: Tertiary Volcanic Rocks from the Southern Pannonian Basin, Croatia. *International Geological Review* **37**: 259-283.
- PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, GY., JUDIK, K. & DOBOSI, G. (2009): Bazaltos andezit nyersanyagú szarmata szerszámkövek közettani és geokémiai vizsgálata (Üllő 5. lelőhely). - *Archeometriai Műhely*, www.ace.hu/am **VI. 2**: 43-59.
- REDŐ, F. 2003: The Autonomous Towns of Noricum and Pannonia. *Situla* **41**: 190-235.
- SCHARBERT, H. G., POULTIDIS, C., HÖLLER, H., KOLMER, H. & WIRSCHING, U. 1981: Vulkanite in Raume Burgenland-Oststeiermark. *Fortschritte der Mineralogie* **59**: 69-88.
- Internet források
- <http://www.nydregio.hu/cgibin/kisterseg/index.cgi?view=telepules&kistersegID=18&ID=22> (Hozzáférés: 2009. 06. 15.)
- <http://www.geocaching.hu/caches.geo?id=950> (Hozzáférés: 2009. 06. 15.)

KÖZLEMÉNYEK



Beszámoló a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség „Characterisation of Cultural Heritage Objects by Using Nuclear Application Techniques” c. továbbképzéséről Ankarából

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ / IAEA) valamint Török Atomenergia Ügynökség (TAEK) által szervezett – a RER/8/015 számú, “Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region” című TC Projecthez kapcsolódó – továbbképzés (Training Course) 2011. július 11. és 15. között került megrendezésre az ankarai Sarayköy Nuclear Research and Training Center-ben

A tanfolyam témája a kulturális örökség tárgyainak – lehetőleg roncsolásmentes (non-invasive/non-destructive) – karakterizálására, illetve állagmegőrzésére alkalmazható nukleáris módszerek áttekintése volt. Az előzetesen elküldött programban a legnagyobb hangsúlyt a legtöbb felhasználó által könnyen elérhető, és egyszerűen használható, ezért nagy gyakorlati jelentőséggel bíró hordozható röntgen-fluoreszcencia analízis (XRF) berendezések, azok működési elve és alkalmazási lehetőségei kapták.

A hivatalos megnyitó után a résztvevők – fele-fele arányban természettudós, ill. humán képzettségűek – rövid bemutatkozó előadást tartottak.



Midas király sírja – halomsír (tumulus) és rekonstrukció a belső térről



A tanfolyam első két napja archeometriai alapismereteket nyújtó előadásokból állt, amelyek a kulturális örökségvédelem kutatásának alapkérdéseit, pld. a kelteztést, eredetmeghatározást, eredetiség vizsgálatot, állagmegővést tárgyalták. Az idő rövidsége miatt sajnos nem volt lehetőség az egyes témakörök részletes tárgyalására. Az előadók a kísérleti módszerek ismertetése során mindvégig hangsúlyozták a műtárgyvizsgálatok elsődleges szempontját: a roncsolásmentességet. A többségében török, valamint NAÜ-től érkezett előadók jól összeállított prezentációkkal mutatták be az analitikai módszerek előnyeit és hátrányait, alkalmazásuk korlátait.

A kurzus második része már szinte teljes egészében a röntgen-fluoreszcencia elven működő berendezésekről, magáról a módszerről, előnyeiről és korlátairól szólt. Megismerkedtünk továbbá más alapvetően működő módszerekkel (pld. molekulaspektroszkópiai módszerek: IR-, Raman-

spektroszkópia), valamint ezek együttes alkalmazásának előnyeivel is.

Lehetőségünk nyílt emellett az Intézet laboratóriumainak bejárására, valamint egyes készülékek használat közbeni megtekintésére. Az ötnapos program egyik napját teljes egészében az ankarai Anatóliai Civilizáció Múzeumában töltöttük, ahol szakmai vezetés keretében megtekintettük a kiállított egyedülálló leletanyagot, és megismerkedhettünk a restaurátor műhelyekben folyó munkával is. A következő napon egy hosszabb kirándulás alkalmával meglátogattuk az Ankarától 125 km-re fekvő többperiodusú Juliopolis feltárását célzó ásatást. A településen eddig közel 250 különböző korú sírt vagy sírkamrát tártak fel, az utolsót éppen a látogatásunkat megelőző napon. Így alkalmunk volt egy sírkamrát leleteivel együtt megtekinteni, valamint a hordozható XRF terepi alkalmazását is tanulmányozni. Szintén ezen a napon látogattuk meg a Kr. e. 7. századi Gordion város közelében emelt piramis-szerű földhalmos síremléket (tumulust), Midas király sírját.

A kurzus végén az analitikai eredmények kiértékelése, valamint statisztikai elemzési módszerek témakörében hangzott el előadás.

Összességében egy jól szervezett, átfogó elméleti és gyakorlati ismereteket nyújtó tanfolyamon vehettünk részt, ami remélhetően nagy segítséget nyújt a jövőbeli munkáinkhoz. A résztvevők között kialakult közvetlen, baráti viszony elősegítette a tapasztalatok cseréjét, esetleges jövőbeli együttműködések megalapozását.

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani az Országos Atomenergia Hivatal munkatársainak, akik hozzásegítettek minket a képzésen való részvételhez.

Budapest, 2011. július 19.

Kasztovszky Zsolt -- Mesterházy Dávid

MTA Izotópkutató Intézet

Új közép-európai interdiszciplináris folyóirat a régészetben: Interdisciplinaria archaeologica

Új interdiszciplináris régészeti folyóiratot alapítottak Olomoucban (Cseh Köztársaság) *Interdisciplinaria Archaeologica - Natural Sciences in Archaeology* (IANSa) néven. A főszerkesztő Jaromír Beneš, a nemzetközi szerkesztő bizottságban Magyarországot Szakmány György képviseli. Az első. 2010/1-2 számban főként bioarcheológiai tárgyú közlemények kaptak helyet, de a folyóirat tárgyköre kiterjed a geoarcheológiai és az archeometriai tárgyú közleményekre is.

A folyóirat nyelve angol, és a közép-európai régió interdiszciplináris régészeti kutatásainak nemzetközi fóruma kíván lenni. A szerkesztő kérésének megfelelően továbbítjuk a felhívást:

Please, if you can help us, forward this mail invitation to your colleagues, who could be interested.. Thank you very much

Jaromir Benes

A folyóirat honlapja: www.iansa.eu

The screenshot shows the website for *Interdisciplinaria Archaeologica - Natural Sciences in Archaeology*. The page layout includes a top navigation bar, a search bar, and a main content area with several sections: 'Geoarchaeology', 'Bioarchaeology', 'Archaeometry', and a 'Special issue' announcement. Below these are sections for 'All subject areas', 'Editorial', and 'Articles'. A sidebar on the right offers 'Choose subject area' options, including 'All subject areas', 'Geoarchaeology', 'Bioarchaeology', and 'Archaeometry'.

