

Archeometriai Műhely

2024.
XXI. évfolyam 2. szám

Archeometriai Műhely

elektronikus folyóirat



Kiadja a Magyar Nemzeti Múzeum

Felelős kiadó: Hammerstein Judit, mb. főigazgató

Szerkesztő: Szilágyi Veronika

A szerkesztőbizottság tagjai:

Bajnóczi Bernadett, Bartosiewicz László, Bárány Annamária, Kasztovszky Zsolt,
Kiss Viktória, Kolláth Ágnes, Kürtösi Brigitta Mária, Major István,
Mateovics-László Orsolya, Molnár Mihály, Péterdi Bálint, Sümegi Pál,
Szakmány György, Székely Balázs, Török Béla, Zöldföldi Judit

Alapító szerkesztő: T. Biró Katalin

Tiszteleti (alapító) tagok: Ilon Gábor, Járó Márta, T. Biró Katalin

Örökös alapító tag: Svingor Éva (1948-2020)

ISSN: HU ISSN 1786-271X

URN: urn:nbn:hu-4106

Tartalom / Contents

Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop No. 2024/1-2.

Tanulmányok Szakmány György tiszteletére / Studies in honour of György Szakmány

A kötet szerkesztői / eds.: Ilon Gábor, Szilágyi Veronika, T. Biró Katalin

2. szám / Issue 2

Cikkek / Articles

- KASZTOVSZKY, Zolt : [Neutronokkal bombázott kőbalták: a Budapesti Kutatóreaktor hozzájárulása a kőeszközök nyersanyag eredetének kutatásához / Stone axes bombarded with neutrons: the contribution of the Budapest Research Reactor to the provenance research of stone tools](#) **71-88**
- SÁGI, Tamás; JÓZSA, Sándor; JANKA, Péter; KÁPOSZTÁS, Viktória; OELBERG-PÁNCZÉL, Emese; SZENDREI, Zolt; SZÜCS, Levente Csaba & VIRÁG, Attila : [Csiszolt kőeszközök nyersanyag típusainak csoportosítása mágneses szuszceptibilitás, tömeg, térfogat, sűrűség és magasság alapján – esettanulmány Bátaszék-Alsónyékről / Classification of raw material types of polished stone tools based on magnetic susceptibility, weight, volume, density and height data – a case study from Bátaszék-Alsónyék \(Hungary\)](#) **89-100**
- MIKLÓS, Dóra Georgina & JÓZSA, Sándor : [Heavy mineral catalogue for the characterization and provenance of red sandstone macrolithic tools from Hódmezővásárhely-Gorzsa / Hódmezővásárhely-Gorzsa lelőhelyről származó vörös homokkő szerszámkövek osztályozására és proveniencia meghatározására alkalmazott nehézasvány katalógusa](#) **101-118**
- : [Appendix / Melléklet \(on-line\)](#) **pp. 1-10**
- KERESKÉNYI, Erika; KRISTÁLY, Ferenc; KASZTOVSZKY Zolt & FEHÉR, Béla : [Hyalophane- and tourmaline-bearing K-metasomatised polished stone implement from Northern Hungary / Hialofán- és turmalin tartalmú kálmetaszomatizált vulkanit nyersanyagú csiszolt kőeszköz Észak-Magyarországról](#) **119-130**
- PÉTERDI, Bálint & CZIFRA, Szabolcs : [Szolnok – Milléri-holtág part I-II. több korszakú lelőhely őrlőkő leletei archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei – új adatok a domoszlói](#) **131-148**

- [piroxénandezit nyersanyag régészeti elterjedéséhez / Preliminary results of the archaeometrical investigations of the grinding stone assemblage of the multiperiod archaeological site Szolnok – Milléri-holtág part I-II – new data on the archaeological distribution of the Domoszló-type pyroxene andesite raw material](#)
- LŐVEI, Pál; PINTÉR, Farkas; TÓTH, Mária & BAJNÓCZI, Bernadett
- JÓZSA, Sándor; PINTÉR, Farkas; TÖRÖK, Ákos & HEINRICH-TAMÁSKA, Orsolya
- GYÖRKÖS Dorottya, KÜRTHY Dóra, NOVINSZKI-GROMA Katalin, FEJÉR Eszter, SÖRÖS F. Zsófia, CZAJLIK Zoltán
- BAJNOK, Katalin; KOVÁCS, Zoltán & NAGY, Anna Andrea
- KREITER, Attila; VIKTORIK, Orsolya; MÁTÉ, László; PÉTERDI, Bálint & SZILÁGYI, Veronika
- : [Melléklet / Appendix](#) (on-line) **pp. 1-24**
- : [Tömött vörös mészkő – „vörös márvány” – emlékek művészet-történeti és archeometriai kutatási eredményei \(2001–2023\) / Results of art historical and archaeometric research of compact red limestone – “red marble” – monuments \(2001–2023\)](#) **149-160**
- : [Melléklet / Appendix](#) (on-line) **pp. 1-60**
- : [Habarcok a Keszthely-fenékpusztai késő római erődből: a petrográfiai-geokémiai és mérnökgeológiai vizsgálatok eredményei / Mortar samples from the Late Roman fortress of Keszthely-Fenékpuszta: results of petrographic-geochemical and engineering geological analyses](#) **161-182**
- : [Melléklet / Appendix](#) (on-line) **pp. 1-6**
- : [A Süttő és Neszmély közti őskori lelőhelykomplexum kerámiaanyagán végzett petrográfiai vizsgálatok eredményei / Results of the petrographic analysis on the ceramics from the prehistoric site complex between Süttő and Neszmély](#) **183-200**
- : [Melléklet / Appendix](#) (on-line) **pp. 1-10**
- : [Better late \(Roman\) than never! A possible amphora fragment from 6th century Balatonlelle, Western Hungary / Egy lehetséges amphora töredék a 6. századi Balatonlelléről](#) **201-216**
- : [Appendix / Melléklet](#) (on-line) **pp. 1-6**
- : [A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény archeometriai célú felhasználási lehetőségei / Possible archaeometric applications of the Kalecsinszky clay collection](#) **217-232**
- : [1. melléklet / Appendix 1](#) (on-line) **pp. 1-2**

: [2. melléklet / Appendix 2](#) (on-line)

pp. 1-37

*

A 2024/1-2. szám nyomtatási költségeit az NKFIH K 131814 sz. pályázat
és a szerzők hozzájárulása biztosította

NEUTRONOKKAL BOMBÁZOTT KŐBALTÁK: A BUDAPESTI KUTATÓREAKTOR HOZZÁJÁRULÁSA A KŐESZKÖZÖK NYERSANYAGEREDETÉNEK KUTATÁSÁHOZ

STONE AXES BOMBARDED WITH NEUTRONS: THE CONTRIBUTION OF THE BUDAPEST RESEARCH REACTOR TO THE PROVENANCE RESEARCH OF STONE TOOLS*

KASZTOVSZKY Zsolt 

HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

Email: kasztovszky.zsolt@ek.hun-ren.hu

Abstract

Prompt-gamma activation analysis (PGAA) is a non-destructive analytical method, applicable to quantitatively determine the bulk elemental composition of a sample, without prior compositional information. The analytical features of the method make them exclusively suitable to measure the major components and some exotic trace elements quantitatively, and thus to provide data for provenance research of archaeological stone tools. The paper summarizes the major achievements of the more than 25 years long cooperation between the Budapest Neutron Centre, the ELTE Department of Petrology and Geochemistry and the Hungarian National Museum. The author pays his homage to György Szakmány's lifetime achievements.

Kivonat

A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) elemösszetétel mennyiségi meghatározására használható roncsolásmentes nukleáris analitikai módszer, a minták összetételére vonatkozó előzetes információ nélkül. Analitikai jellemzői alkalmassá teszik különböző kőzetek fő összetevőinek és néhány különleges nyomelemnek a kimutatására, ezen keresztül kőeszközök provenienciájának kutatásában való alkalmazásra. Jelen cikk a témában több mint 25 éves, a Budapesti Neutron Centrum, a Magyar Nemzeti Múzeum és az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék közötti együttműködés főbb eredményeit mutatja be. Az írás tisztelgés Szakmány György archeometriai munkássága előtt.

KEYWORDS: POLISHED STONE TOOLS, PROVENANCE, ELEMENTAL COMPOSITION, PGAA

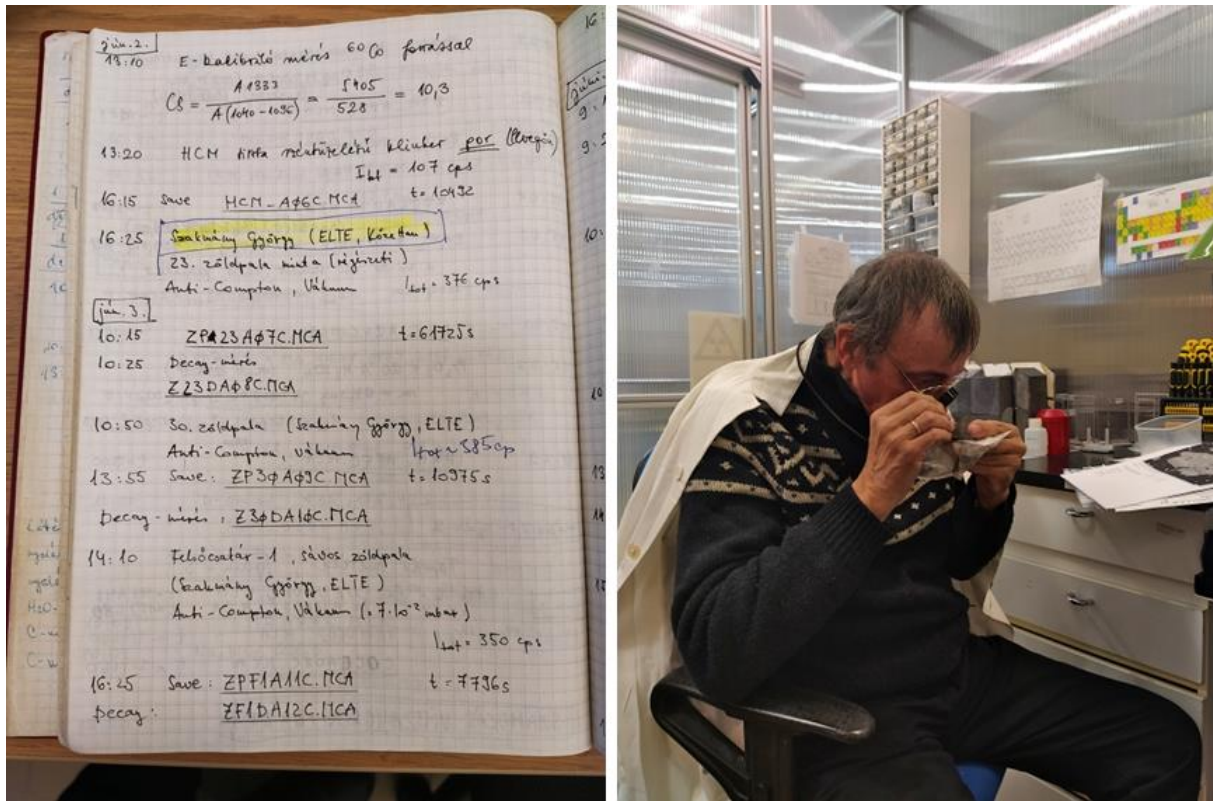
KULCSSZAVAK: CSISZOLT KŐESZKÖZ, PROVENIENCIA, ELEMÖSSZETÉTEL, PGAA

Szubjektív előszó

1996 őszén, a doktori iskolát befejezve, de a PhD. oklevél után még csak vágyakozva, fiatal kutatóként kerültem a Budapesti Kutatóreaktorhoz, az akkori MTA Izotópkutató Intézetébe, néhai Molnár Gábor osztályába. Az akkor frissen megépült prompt-gamma aktivációs analitikai (PGAA) berendezéshez kerestek kutatókat. Választhattam: műszerfejlesztéssel vagy a ritkaság-számba menő módszer alkalmazásaival szeretnék inkább foglalkozni? Érdeklődésemhez az utóbbi állt közelebb, így Révay Zsolt irányításával megkezdtük az első próbaméréseket a PGAA lehetséges alkalmazásainak felderítése céljából.

Nemzetközi példák alapján – akkor a világon csak a japán JAERI és az amerikai NIST PGAA-berendezése működött – láttuk, hogy a módszer kiválóan alkalmas geológiai minták, kőzetek, ásványok, környezeti és talajminták fő összetevőinek, és néhány, ritkán mérhető nyomelemnek (H, B, Cl, Cd, Hg, egyes ritka földfémek) a mennyiségi kimutatására. A módszer fejlesztésével párhuzamosan felvettük a kapcsolatot hazai egyetemekkel, kutatóintézetekkel, és próbaméréseket végeztünk geológiai (eredeti és porított kőzet, talaj), biológiai (száritott növény) és anyagtudományi (fémek, fémüvegek, katalizátorok) mintákon is.

* How to cite this paper: KASZTOVSZKY, Zs., (2024): Neutronokkal bombázott kőbalták: a Budapesti Kutatóreaktor hozzájárulása a kőeszközök nyersanyageredetének kutatásához / Stone axes bombarded with neutrons: The contribution of the Budapest Research Reactor to the provenance research of stone tools [In Hungarian with English Abstract], *Archeometriai Műhely* **XXI/2** 71–88.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-008](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-008)



1. ábra. (a) A PGAA mérési napló fotója az első zöldpala kőbalta méréséről, 1998. június 2. (b) Szakmány György egy köeszközt tanulmányoz nagytóval, a budapesti PGAA laborban, 2023. február 8-án.

Fig. 1. (a) Photo of the PGAA experimental logbook, about the first measurement on a greenschist axe, 2. June 1998. (b) György Szakmány is studying a polished stone tool with hand lens at the Budapest PGAA laboratory, on 8. February 2023.

Szerveztünk egy informális találkozót, ahol többek között Weiszburg Tamással (ELTE), Bartha Andrással (MÁFI) beszélgettünk a PGAA-ban rejlő lehetőségekről a geológia számára.

Ekkor, 1996-1997-ben még egyik lehetséges PGAA-alkalmazásnak sem volt kitüntetett szerepe számunkra. 1997-ben a Fizinfo-n olvastam, hogy az MTA VEAB Iparrégészeti és Archeometriai Munkabizottsága ülést szervez Veszprémben, amelynek célja, mint később megtudtam, az 1998-as budapesti Nemzetközi Archeometriai Szimpózium (ISA 1998) előkészítése. Gondoltam egy nagyot, és engedélyt kértem főnökeimtől, hogy részt vehessek a veszprémi találkozón.

Itt ismerkedtem meg T. Biró Katalinnal (Magyar Nemzeti Múzeum) valamint Vaday Andreával (MTA Régészeti Intézet), és kötetlen, baráti beszélgetést folytattunk, a mindnyájunk számára újnak számító PGAA-módszer lehetséges archeometriai alkalmazásairól. Szakmány Gyuri is minden bizonnyal jelen volt Veszprémben, de rá sajnos nem emlékszem akkorról. Néhány héttel-hónappal később azonban vele is beszélgettünk, hiszen a mérési napló tanúsága szerint 1998. június 2-án végeztük az első hazai PGAA-méréseket

Felsővadász, Bicske, Mucsfa, Györe, Endröd és Zengővárkony lelőhelyekről származó „zöldpala” (ekkor még egységesen így neveztük a kontakt metabázit nyersanyagokat) köeszközökön (1.a ábra). Így, a későrómai bronzfibulák és az obszidián pattintott köeszközök mellett a csiszolt köeszközök voltak az általunk PGAA-val elsőként vizsgált régészeti leletek.

Több okból is nagy öröm volt számomra, hogy egy új kutatási témába, új típusú együttműködésbe kapcsolódhatok. Egyik ok tagadhatatlanul az volt, hogy az archeometria, a múzeumok, műtárgyak közelsége, a régészekkel, geológusokkal folytatott beszélgetések egyfajta felüdülést jelentettek számomra a fizika „szigorúsága” mellett. Ezen felül, mind Gyuri, mind Biró Kati révén újra rendszeresen útra ejthettem a Múzeum körutat, egyetemi éveim kedves helyszínét, a megbeszélések után beugorhattam valamelyik antikváriumba, vagy lemezboltba.

Szerencsére az együttműködésünk az ELTE-vel, azaz Gyurival és a Nemzeti Múzeummal, elsősorban Biró Katival hosszú életűnek bizonyult, a mai napig tart (1.b ábra). Több közös pályázatban (OTKA, TÉT, DAAD) vettünk részt,

számokban kifejezve, 1998-tól napjainkig több mint 1300 csiszolt és ugyanennyi pattintott (pl. obszidián, silex, kvarcporfir) kőeszköz és nyersanyagai PGAA-mérését végeztük el. A számokon túl, az évek során sok-sok órát, napot töltöttünk el együtt laborokban, múzeumi raktárakban, a Múzeum kisbuszában vagy Kati autójában, terepen, konferenciákon, értekezleteken. Eközben kialakult egy nagyon hatékony és összetartó, nemzetközileg is ismert és elismert, baráti csapat, tanárok és tanítványaik együtt: Szakmány Gyuri, Józsa Sanyi, T. Biró Kati, Markó András, Péterdi Bálint, Szilágyi Vera, Bendő Zsolt, Váczi Benő, Kereskényi Erika, Szilágyi Kata, Sági Tamás, Kovács Zoltán, Miklós Dóri – egyik legfontosabb kutatási területünk a pattintott és csiszolt kőeszközök proveniencia-vizsgálata. Köszönjük, Gyuri!

Bevezetés

A csiszolt kőeszközök archeometriai kutatásának egyik fő feladata az előforduló nyersanyagok földrajzi eredetének meghatározása, vagyis a proveniencia-kutatás. A nyersanyagelőhely és a régészeti előkerülés távolsága szerint megkülönböztetünk helyi nyersanyagokat (<30 km távolságból), közeli vagy másként regionális nyersanyagokat (30–200 km távolságból), valamint távolsági import nyersanyagokat (>200 km távolságból). Az utóbbiak általában rendkívül jó minőségű nyersanyagok, ezzel magyarázható, hogy nagy távolságra eljutottak. A proveniencia vizsgálat elvi alapja, hogy a régészeti leletek anyagának különböző fizikai-kémiai tulajdonságait (a kőzetek ásványos és kémiai összetétele, mágneses szuszceptibilitása, stb. összehasonlítjuk a feltételezett nyersanyagelőhelyekről származó referenciaminták azonos tulajdonságaival.

A legtöbb esetben a vizsgálat tárgya pótolhatatlan, ezért a vizsgálati módszerek közül előnyt élveznek a roncsolást nem okozó fizikai, kémiai módszerek. A különböző neutronaktivációs módszerek az atommagok neutronbefogását követő karakterisztikus gammasugárzás detektálásán alapulnak. A hagyományos, ún. „instrumentális” neutronaktivációs analízis (INAA vagy NAA) roncsolásos, viszont igen érzékeny számos geokémiai fő-, mellék- és nyomelemre (Glascock & Neff 2003). A neutronaktiváció egy speciális változata a kivezetett neutronnyalábot alkalmazó prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA vagy PGNA), amely nem igényel mintavételt. A mérés során a mintát egy kivezetett neutronnyaládba helyezik, a besugárzás és a gammasugárzás detektálása egyidőben történik (Révay & Belgya 2004). Jelen cikk témája – a PGAA alkalmazása csiszolt kőeszközök proveniencia kutatására – az elmúlt 25 év közös munkájának rövid összefoglalása.

Bár a prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) fizikai alapját képező magreakciót, az ún. sugárzásos neutronbefogást vagy, az (n,γ) reakciót már az 1930-as években felfedezték (Lea 1934), az első elemanalitikai kísérleteket azonban csak az 1960-as évek végén, az 1970-es évek elején végezték el Saclay-ben, Grenoble-ban, illetve a Massachusetts Institute of Technology-n (Greenwood 1967; Lombard et al. 1968; Comar et al. 1969; Henkelmann & Born 1973). A PGAA-módszer alkalmas egy ismeretlen minta elemösszetételének panorámaanalízis-szerű meghatározására, azaz egyetlen spektrumból elvileg minden, a kimutatási határt meghaladó mennyiségben jelen lévő összetevő meghatározható.

Mivel a prompt-gamma aktivációs analízis során a vizsgálandó mintát egy, a neutronforrástól (kutatóreaktor, neutrongenerátor) elvezetett nyaládba helyezük, a vizsgált tárgy mérete kevésbé korlátozott, nagyobb tárgyakból sem szükséges mintát venni. A kivezetett nyalábok viszonylag kis (10^6 – 10^9 cm⁻²·s⁻¹) intenzitása miatt a mintákban nem történik sem makroszkopikusan, sem mikroszkopikusan észlelhető fizikai-kémiai változás, továbbá az indukált radioaktivitás is gyorsan lecseng (Kasztovszky et al. 2022). A fenti tulajdonságok kiválóan alkalmassá teszik a PGAA-t értékes, egyedi minták, pótolhatatlan kulturális és természeti kincseink, például régészeti leletek vizsgálatára.

Meg kell jegyezni, hogy az ún. nagyberendezésekhez (kutatóreaktorokhoz, gyorsítókhöz, szinkrotronokhoz) kapcsolódó vizsgálatok költségeit jelentősen megnöveli a nagyberendezések fenntartása. Ugyanakkor a hagyományos, kisebb költségű elemzési módszerek (pl. optikai mikroszkópia, transzmissziós- és pásztázó elektronmikroszkópia) továbbra is fontosak az archeometriában. Az általam ismertett kutatásokban – elsősorban a csiszolt kőeszközök nyersanyageredet-vizsgálatában – a mikroszkópos vizsgálatok fontos kiegészítő módszerek.

Vizsgált anyagok és vizsgálati módszerek

A csiszolt kőeszközök fő nyersanyagfajtáinak osztályozása


A csiszolt kőeszközök nyersanyagaként mindhárom fő kőzettípust: magmás, üledékes és metamorf kőzeteket is megtaláljuk (T. Biró Katalin 2008). Az előforduló kőzetek színe igen változatos, a fehértől, a világosszürkétől az egészen sötét, feketés árnyalatig változik. A kőzetek egy jelentős csoportja zöldes árnyalatú, ezeket – geológiai szempontból pontatlanul – egységesen „zöldköveknek” is nevezik.

1. táblázat. A Kárpát-medencében és környezetében előforduló fő kőszköz nyersanyag típusok, lelőhelyeik, jellegzetes baltaalakok, és néhány vonatkozó irodalom (Szakmány Gy. 2009 alapján, kiegészítve)

Table 1. The main raw material types of stone tools, their occurrences in the Carpathian Basin and surrounding areas, typical shapes and references. (According to Gy. Szakmány 2009, extended)

Kőzettípus	Előfordulás	Néhány jellegzetes kőbalta / Irodalom
<p>1. Kontakt metabázis, zöldpala-amfibolit</p>	<p>Krkonoše-Jizera Kristályos Egység (Železný Brod, Želešice); Kis-Kárpátok - Csehország; Felsőcsatár - Magyarország; Gömörikum-Veporikum – Szlovákia; Száva-Vardar Zóna (?) - Szerbia; Máramarosi Kristályos öv (?); Erdélyi khg. (?) Déli Kárpátok (?) – Románia</p>	 <p>Koller 1985; Bradák et al. 2009; Šida & Kachlík 2009; Szakmány & Kasztovszky 2004; Szakmány et al. 2011; Kereskényi et al. 2020.</p>
<p>2. Kékpala</p>	<p>Mellétei-egység: Sűgő (Šugov)-völgy, Szádelői (Zadie)-völgy, Ájfalucska (Hačava); Pieniny szirt öv (Rudnik) – Szlovákia</p>	 <p>Faryad 1997; Józsa et al. 2001; Hovorka et al. 2000; Kereskényi et al. 2018.</p>
<p>3. Nefrit</p>	<p>Jordanów – Lengyelország; Központi (Svájci)-Alpok (Oberhalbstein és környéke) – Svájc, Ausztria</p>	 <p>Péterdi et al. 2014.</p>
<p>4. Nagynyomású metamorfít / Nagynyomású metaofiolit (Napiroxenit, eklogit, jadeitit)</p>	<p>Rivanazzano (Észak-Appeninek nyugati lába); Mon Viso (Nyugati-Alpok) – Olaszország</p>	 <p>D’Amico et al. 2003; Szakmány et al. 2013; Bendő et al. 2014; Váczi et al. 2017; Bendő et al. 2019; Váczi et al. 2019.</p>

1. táblázat, folyt.**Table 1. cont.**

<p>5. Szerpentinit</p>	<p>Alsó-Szilézia – Lengyelország; Möll-völgy; Keleti-Alpok – Penninikum; Dél-Szlovákia; Vardar-öv; Nyugati-Alpok</p>	 <p>Péterdi et al. 2014</p>
<p>6. Bazalt / Dolerit-metadolerit, metagabbro / Alkáli bazalt, alkáli dolerit, alkáli mikrogabbro, tefrit, fonolit</p>	<p>Kisalföld, Balaton-felvidék, Nógrád-Gömör, Szarvaskő – Magyarország, Maros-völgy – Románia, Vardar-öv (?) – Szerbia, Keleti-Alpok (?) – Ausztria/ Mecsek – Magyarország</p>	 <p>Harangi 1994, 2001; Dobosi et al. 1995; Harangi et al. 1996, Fűri et al. 2004; Péterdi et al. 2011; Szakmány et al. 2011.</p>
<p>7. Mész-szilikát szaruszirt (hornfels)</p>	<p>Délkeleti-Kárpátok (Ruszkahavasok), Erdélyi-középhegység – Románia</p>	 <p>Hovorka et al. 2001; Szakmány et al. 2009, 2016</p>
<p>8. „Fehér-kő” (magnezites kovakő típus, finomszemcsés mészkő, diatomit, agyagos (kaolinites) agyagkő)</p>	<p>Száva-Vardar zóna – Szerbia, Szlovákia</p>	 <p>Szakmány et al. 2009; Starnini et al. 2015</p>

A kőeszközök nyersanyagaként használt fő kőzettípusok helyes azonosítása és csoportosítása nagy mértékben köszönhető annak, hogy a prompt-gamma aktivációs analízissel sikeresen meghatároztuk a kőzetek fő kémiai összetevőit (Szakmány & Kasztovszky 2004). Az **1. táblázat**-ban összefoglalom a csiszolt kőeszközök nyersanyagaként – részben a PGAA-méréseknek köszönhetően – eddig ismert fő kőzettípusokat, és

ezek ismert vagy feltételezett földrajzi lelőhelyét (Szakmány 2009), valamint megadtunk az egyes kőzettípusokra vonatkozó néhány fontosabb újabb irodalmi hivatkozást. Saját eredményeinket részletesen ismertetjük ebben a fejezetben.

A fő kőzettípusok azonosítása és elkülönítése során az alkalmazott vizsgálati módszerek általában az egyszerűbb, kevésbé költségestől a bonyolultabb,

költségesebb műszerigényük felé haladnak. A kőzetek színének, szemcseméretének, szöveti jellegének szabad szemmel vagy kézi nagyítóval történő megfigyelése, valamint a mágneses szuszeptibilitás mérése előzetes csoportosítást tesz lehetővé. Amennyiben vékonycsiszolatok készítése megengedett, polarizációs mikroszkóp és pásztázó elektronmikroszkóp segítségével további ásvány-kémiai elemzéseket végeztünk. Értékes régészeti leletek esetén kizárólag roncsolásmentes vizsgálatok engedhetők meg.

Az 1998-ban kezdődött és jelenleg is tartó kutatásaink fő célkitűzése a Kárpát-medence területén fellelt csiszolt kőeszközök nyersanyagának meghatározása, és a lehetséges nyersanyag-lelőhelyek azonosítása. Ebben a kutatásban jelentős szerepe van a prompt-gamma aktivációs analízisnek, mint abszolút roncsolásmentes módszernek.

2023-ig munkatársaimmal közösen több mint 1300 töredékes vagy ép csiszolt kőeszköz (balta, bárd, véső, őrlőkő, csiszológő), illetve potenciális nyersanyag minta PGAA-mérését végeztük el. Az utóbbi években megkezdtük a szerszámkövek (elsősorban homokkövek) vizsgálatát is. A csiszolt kőeszközök proveniencia kutatását az ELTE Kőzetan-Geokémiai Tanszékével indult kezdeti ad hoc együttműködést követően 2006–2011, 2012–2017 és 2019–2024 között három OTKA/NKFI pályázat keretében, továbbá nemzetközi együttműködő partnerek bevonásával (2008–2009 – Olasz-magyar TÉT, 2009–2014 – CHARISMA EU FP7, 2015–2019 – IPERION CH és 2020–2024 – IPERION HS EU HORIZON 2020 programok) folytattuk, és folytatjuk jelenleg is. A hazai geológus oldalról a kutatásokat Szakmány György koordinálja az ELTE Kőzetan-Geokémiai Tanszékéről, múzeumi-régészeti oldalról pedig T. Biró Katalin a Magyar Nemzeti Múzeumból.

A PGAA-mérésekben Szilágyi Veronika, Maróti Boglárka és Harsányi Ildikó működött közre. Az elektronmikroszkópos vizsgálatokban Judik Katalin (akkor MTA Geokémiai Kutatóintézet), Szakmány György, Bendő Zsolt (akkor ELTE), Váczi Benjámin (akkor ELTE), Sági Tamás (ELTE), Oláh István (akkor MNM Régészeti Intézet) Fehér Béla és Kereskényi Erika (akkor Herman Ottó Múzeum), Illés Levente, Szilágyi Veronika (EK), Kovács Zoltán (ELTE, EK) végezte. A vékonycsiszolatokat Józsa Sándor (ELTE) készítette. Röntgen diffrakciós vizsgálatokat Kristály Ferenc (Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézet) végzett. Az újabb kutatásokba bekapcsolódott régészeti oldalról Szilágyi Kata is (akkor Móra Ferenc Múzeum, Szeged).

A minták tömbi („bulk”) elemösszetételének a mérésére PGAA-t, míg a felszín közeli összetétel meghatározására az ún. „eredeti felszín” SEM-EDX-módszert alkalmaztuk. Mindkét módszer

abszolút roncsolásmentesnek tekinthető, így nélkülözhetetlen a viszonylag nagyméretű, értékes régészeti leletek vizsgálatában. A rutinmódszernek számító pásztázó elektronmikroszkóphoz kapcsolt energia diszperzív röntgen spektrometria (SEM-EDX) egy új, roncsolásmentes változatát, az ún. „eredeti felszín” (OS) SEM-EDX módszert a 2010-es évek elején dolgozták ki Bendő Zsolt és munkatársai. (Bendő et al 2013). Jelen kutatásban az ELTE Kőzetan-Geokémiai Tanszékén, valamint az Energiatudományi Kutatóközpont Mikroelektronikai Laboratóriumában végeztünk OS SEM-EDX-méréseket. A kőzetek összetétel vizsgálatát megelőző csoportosításra makroszkópos megfigyelést és a mágneses szuszeptibilitás mérését is alkalmaztuk. A roncsolásmentes vizsgálatokon túlmenően a rendelkezésre álló töredékes kőeszköz leletek lehetőséget nyújtottak roncsolással járó vizsgálatokra, pl. mintavélt igénylő neutronaktivációs analízisre, illetve vékonycsiszolatok készítésére. Jelen dolgozatban a PGAA-mérésekre, és az ezek alapján nyert eredményekre összpontosítok. Meg kell jegyezni azonban, hogy a csiszolt kőeszközök proveniencia kutatása a PGAA módszer önmagában nem minden kőzettípusnál szolgáltat döntő fontosságú eredményeket, jellemzően a fentebb ismertetett több módszer együttes alkalmazása szolgáltatja a legteljesebb körű eredményt.

A PGAA-módszer validálása csiszolt kőeszközök nyersanyagának vizsgálatára

A Budapesti Kutatóreaktornál az 1990-es évek első felében kezdődött a vízszintes neutronvezetők építése. A 1. számú neutronvezető végén az akkori MTA Izotópkutató Intézet Magfizikai Osztály munkatársai 1995–96-ban alakították ki a prompt-gamma aktivációs (PGAA) mérőhelyet, Molnár Gábor vezetésével (Molnár et al. 1997). A módszer standardizálását, a prompt γ -módszer kidolgozását, a PGAA-könyvtár adatainak mérését Révay Zsolt végezte el, lehetővé téve a kvantitatív elemzést (Révay 2009). A berendezés jelenlegi állapotát Szentmiklósi László és munkatársai írták le (Szentmiklósi et al. 2010).

Az archeometriai kutatások szempontjából a PGAA legfontosabb tulajdonsága, hogy szinte tetszőlegesen nagyméretű tárgy (10–15 cm méretű kőbalta, egyéb műtárgy vagy nyersanyagtömb) behelyezhető a kivezetett neutronnyaládba, és a kibocsátott karakterisztikus gammasugárzás detektálásával a neutronok által „bevilágított” néhány cm^3 mintatér fogat elemösszetétele meghatározható. A neutronnyalábok viszonylag kis (10^6 – $10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) intenzitása miatt a mintában nem keletkezik szabad szemmel látható vagy mikroszkópius károsodás, továbbá a csekély mértékű indukált radioaktivitás is néhány órán-napon belül

lecseng, és a vizsgált tárgy károsodás nélkül visszaadható tulajdonosának.

Az első hazai PGAA-mérések 1996 őszén kezdődtek. Ekkor a budapesti volt az egyetlen működő PGAA-berendezés Európában. Európán kívül az 1990-es években a japán JAERI (Yonezawa 1993) és az Egyesült Államok Maryland állambeli NIST (Paul & Lindstrom 2000) PGAA-laborjaiban folytak számottevő alkalmazott kutatások. A PGAA geológiai, illetve régészeti alkalmazásai céljából az 1990-es évektől a Missouri University Research Reactor (MURR), a NIST, a japán JAERI, majd a 2000-es évek elejétől – a Budapesti Neutron Centrum mellett – a németországi FRMII-ben (Kudejova et al. 2008) zajlottak kutatások. A kezdeti kísérleteket az említett laborok egyikében sem követték szisztematikus vizsgálatok, az archeometria vagy örökségtudomány nem vált a PGAA-módszer fő alkalmazási területévé. Ennek oka feltehetően az a tény, hogy a viszonylag kis intenzitású neutronnyalábokkal végzett PGAA nem alkalmas több száz mintából álló sokaság gyors elemzésére, így a gyors, ugyanakkor néha a kevésbé pontos (pl. hordozható XRF), esetenként a roncsolásos (pl. INAA) mérési technika előnyösebb a teljesen roncsolásmentes PGAA-val szemben. A BNC-ben 1996-ban indult budapesti PGAA-berendezésnél a lehetséges alkalmazások között az elsők között foglalkoztunk a régészeti leletek, ezen belül csiszolt kőeszközök és nyersanyagaik vizsgálatával (Szakmány & Kasztovszky 2004).

A PGAA módszer alkalmazhatóságát a csiszolt kőeszközök és nyersanyagaik elemösszetételének a mérésére bazalt és andezit nemzetközi standard referencia minták (SRM) mérésével vizsgáltuk, a PGAA-módszert a laborunkban elérhető JB-1A, JB-2 és JB-3 bazalt, valamint JA-2 és JA-3 andezit referencia minták mérésével validáltam (Kasztovszky et al. 2022).

A bazalt mintegy 44–53 m% SiO₂-tartalmú vulkanikus kőzet. A JB-1A, JB-2 és JB-3 standard mintákat a Japán Geológiai Szolgálat (Geological Survey of Japan – GSI) bocsátotta ki (Imai et al. 1995). A JB-1A ún. alkáli bazalt, a JB-2 ún. tholeiites bazalt, a JB-3 nagy alumíniumtartalmú bazalt. Az andezit mintegy 53–64 m% SiO₂-tartalmú vulkáni kőzet. A JA-2 olivin andezit, a JA-3 olivin tartalmú andezit.

A standard mintákban az összes fő- és mellékösszetevőt – SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, H₂O –, valamint a nyomelemek közül a B-t, Cl-t, Sm-t és Gd-t, esetenként Sc-t, V-t tudtuk mennyiségileg (kvantitativ), néhány % relatív pontossággal meghatározni (Szakmány et al. 2011). A szilikátos

kőzetekre érvényes közelítő kimutatási határokat korábban bemutattuk (Kasztovszky et al. 2022). A kimutatási határok természetesen függenek a mérés hosszától, a minta mennyiségétől, és a spektrumokban előforduló interferenciáktól is. A Kasztovszky et al. 2022 360. oldalán szereplő 2. táblázatban jellemző, 1 óra hosszú mérésekre és minimum 1 g mintára vonatkozó közelítő kimutatási határokat mutatunk be. Hosszabb mérések esetén a tipikus értékeknél kisebb koncentrációk is kimutathatók.

A PGAA nagy előnye, hogy a legtöbb előforduló közettípus esetén a fő geokémiai összetevők jól mérhetők. Ugyanakkor bizonyos fő- vagy mellék-elemek, pl. a Mg egyes közettípusoknál a kimutatási (kvantifikálási) határ (DL_{Mg}~1,5%) alatt lehetnek. Bár a csiszolt kőeszközök proveniencia kutatásában nincs nagy jelentősége, ismét megemlítjük, hogy a PGAA egyedülállóan érzékeny módszer a H, B és Cl mérésére.

A névleges és a mért értékek viszonyát, valamint a számított „*u-score*” értékeket a Kasztovszky et al. 2022 361. oldalán szereplő 3. táblázatban és a **3. ábrán** mutatjuk be. Az „*u-score*” definíciója a következő:

$$u = \frac{|x - X_A|}{\sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_A)^2}} \quad (1)$$

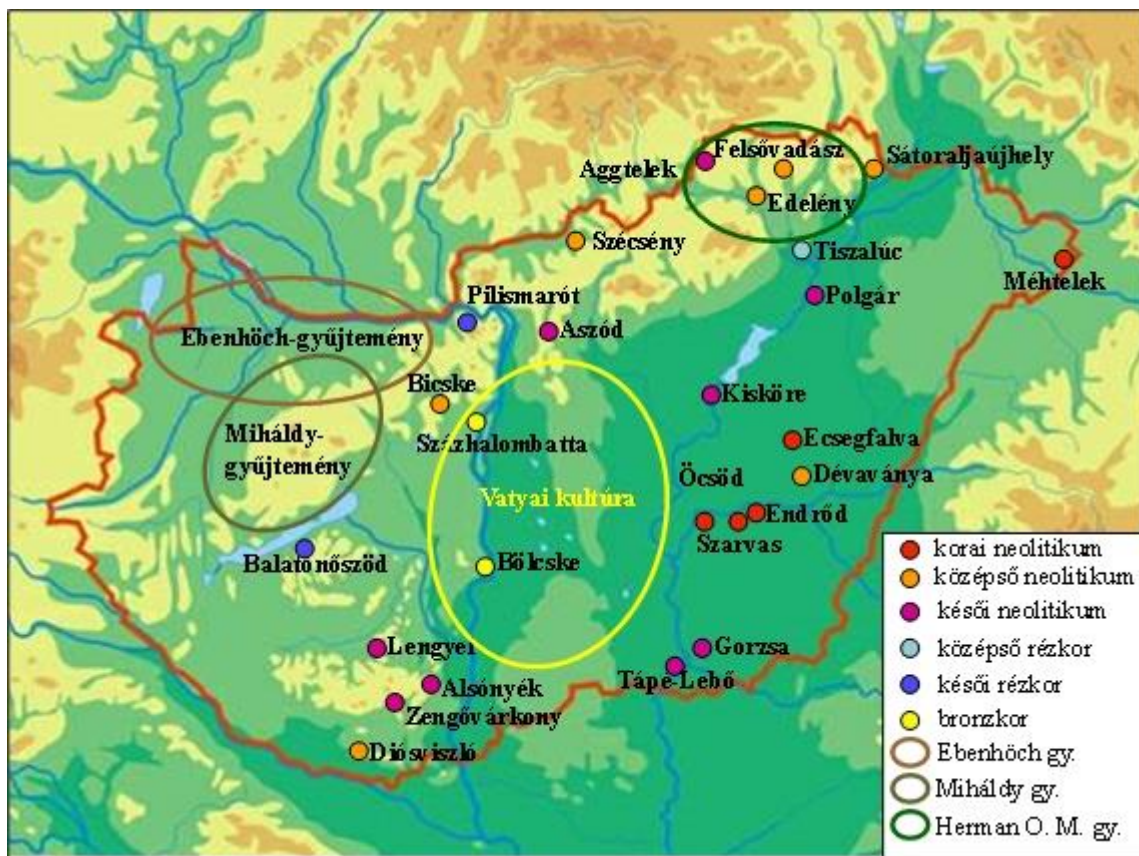
ahol x a PGAA-val mért koncentráció érték, X_A a névleges koncentráció érték, σ_x és σ_A ezek standard deviációja (szórása). Definíció szerint, ha $u \leq 1,64$ – a mért értékek nem különböznek számottevően a névleges értéktől. (IAEA 2013).

A PGAA-val mért értékeket a névleges értékekkel összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a fő összetevők koncentrációit legtöbb esetben néhány % relatív bizonytalansággal tudjuk mérni.

A Kasztovszky et al. 2022 362. oldalán szereplő 2. ábrán összehasonlítottuk a JA-1, JA-2, JB-1A, JB-2, és JB-3 standard minta, valamint több mint 670 régészeti csiszolt kőeszköz minta tipikus koncentrációtartományait a PGAA kimutatási határaival, 1 óra mérési időt feltételezve. A budapesti PGAA mérőrendszer „teljesítő-képességét” összegezve elmondhatjuk, hogy az esetek túlnyomó többségében a PGAA alkalmas a csiszolt kőeszközök kőzetei fő összetevőinek, valamint a mellék- és nyomelemek közül a H, B, Cl, Sm, Gd, esetenként a Sc, V, Nd mennyiségi kimutatására.

Célkitűzések

Kutatásunk kezdeti célja annak megállapítása volt, hogy az **1. táblázatban** felsorolt fő közettípusokat mennyire tudjuk egymástól elkülöníteni prompt-gamma aktivációs analízissel.



2. ábra: A Magyarországon fellelt és többségében PGAA-val is vizsgált csiszolt kőeszközök főbb régészeti lelőhelyei a térképen. Az összes vizsgált lelőhely: Szarvas, Endrőd (Starnini & Szakmány (1998)), Pitvaros, Ecsegfalva (Délkelet-Magyarország, Starnini et al. (2007)) – a korai neolitikumból; Bicske (Dunántúl, (Szakmány (1996)), Felsővadász (Északkelet-Magyarország) – a középső neolitikumból; Hódmezővásárhely-Gorzsa (Szakmány et al. (2009, 2011), Tápé-Lebő, Ócsöd, Dévaványa (Délkelet-Magyarország), Aszód, Borsod-Edelény, Aggtelek-Baradla, Polgár-Csőszhalom (Északkelet-Magyarország), Lengyel, Alsónyék, Zengővárkony (Dél-Magyarország, (Schléder & Biró (1999)) – a késő neolitikumból; Szegvár-Tűzköves, Ecséd-Gárdony, Tarnabod, Tiszalúc, Kisköre (Kelet-Magyarország); Balatonőszöd (Dunántúl) – a rézkorból. Szakmány 2009 alapján, kiegészítve)

Fig. 2.: Map of the major archaeological sites, from where the objects have been analyzed with PGAA. The list of all the investigated sites: Szarvas, Endrőd (Starnini & Szakmány (1998)), Pitvaros, Ecsegfalva (Southwest Hungary, Starnini et al. (2007)) – Early Neolithic; Bicske (Transdanubia, (Szakmány (1996)), Felsővadász (Northeast Hungary) – Middle Neolithic; Hódmezővásárhely-Gorzsa, Southeast Hungary (Szakmány et al. (2009, 2011), Tápé-Lebő, Ócsöd, Dévaványa (Southeast Hungary), Aszód, Borsod-Edelény, Aggtelek-Baradla, Polgár-Csőszhalom (Northeast Hungary), Lengyel, Alsónyék, Zengővárkony (South Hungary, (Schléder & Biró (1999)) – a Late Neolithic; Szegvár-Tűzköves, Ecséd-Gárdony, Tarnabod, Tiszalúc, Kisköre (East Hungary); Balatonőszöd (Transdanubia) – Copper Age (based on Szakmány 2009, extended)

További célunk volt, hogy a vizsgált különbségeket kimutassuk régészeti leleteken és a leleteket egyértelműen hozzá tudjuk rendelni a nyersanyagcsoportokhoz. A sikeres hozzárendelés alapján geológus és régész kollégák segítségével megkíséreltük rekonstruálni a Kárpát-medence fő kőeszköz-nyersanyagellátási útvonalaait.

A vizsgált minták közül mintegy 900 régészeti lelet volt, amelyek hazai múzeumok (Magyar Nemzeti Múzeum, Herman Ottó Múzeum, Laczkó Dezső Múzeum, Móra Ferenc Múzeum, Tornyai János Múzeum, Wosinszky Mór Múzeum)

gyűjteményeiből, valamint ásatásokról származnak. A főbb lelőhelyeket a **2. ábrán** mutatom be.

Az ismert régészeti kontextusból származó leletek mellett vizsgáltuk neves 19. századi gyűjtemények – a Mihály- és az Ebenhöch-gyűjtemények – darabjait is, amely darabok szórványleletek, pontos régészeti lelőhelyük nem minden esetben ismert. Az Ebenhöch-gyűjteményről ismert, hogy a darabjai a Kisalföldről, valamint a Dunántúl északnyugati részéről származnak. A Mihály-gyűjtemény darabjait feltehetően a Bakony területén gyűjtötték a 19. században (Horváth, 2001). A legnagyobb

mintaszámmal a gorzai (126), alsónyéki (100), polgári (23), lengyeli (20), öcsödi (20), aggteleki (15) és felsővadászi (11) lelőhelyek, valamint a Mihály-gyűjtemény (56) és Ebenhöch-gyűjtemény (42) kőszköz anyagát vizsgáltuk (Szakmány 2011, Friedel et al. 2008, 2011).

A régészeti ásatások leletanyagában méréseink alapján azonosított közettípusok, valamint az irodalmi geológiai adatok alapján kijelöltük a lehetséges nyersanyaglelőhelyeket. A régészeti leletek vizsgálatával párhuzamosan, terepbejárások, illetve múzeumi mintacserék révén vizsgáltuk a lehetséges nyersanyagforrások kőzetanyagát. Az egyes kőzetfajtákat, előfordulásukat és az irodalmi hivatkozásokat az **1. táblázatban** foglaltam össze. A fő nyersanyag típusok elkülönítése, és a lelőhelyek minél pontosabban azonosítása részben a kutatásaink során, a PGAA mérési eredmények értelmezésével sikerült. Kutatásaink során geológiai összehasonlító anyagként mintegy 350 feltételezett nyersanyagminta PGAA-elemzését végeztük el.

Valamennyi vizsgált régészeti leletre általánosságban igaz, hogy a Kárpát-medencében, többségében a mai Magyarország területén vagy annak közvetlen környezetéből került elő. Ugyanakkor több jelentős feltételezett nyersanyagforrás a Kárpátokon kívül helyezkedik el (Cseh-masszívum, Keleti-Alpok, Erdélyi-érchegység, Száva-Vardar zóna). Így a vizsgált leletcsoport és a problémákör ideális az őskori nyersanyag-felhasználási stratégiák, a távolsági kereskedelem, és a társadalmi interakciók szemléltetésére.

Eredmények

Csiszolt kőszközök fő nyersanyag típusainak elkülönítése PGAA-mérések segítségével

A csiszolt kőszközök provenienciája meghatározásának további pontosítása céljából, 2011-ig mintegy 189 őskori (neolitikus és rézkori csiszolt kőszköz, és 42, terepi munka során a feltételezett nyersanyagterületekről származó kőzetminták PGAA-méréseit végeztük el (Szakmány et al. 2011).

A terepen gyűjtött geológiai referenciaminták közül makroszkópos és mikroszkópos megfigyelések, valamint mágneses szuszceptibilitás mérések alapján választottuk ki a reprezentatív, további vizsgálatra szánt mintákat (Bradák et al. 2009).

Mind a geológiai referenciamintákban, mind a régészeti mintákban a fő geokémiai összetevők, valamint néhány nyomelem – B, Cl, Sm és Gd, esetenként Sc, V – mennyiségét tudtuk PGAA-val meghatározni. A mért összetevők közül az alkáliatartalom ((Na₂O+K₂O)/SiO₂ illetve Al₂O₃) és a vastartalom (Fe₂O₃/SiO₂), valamint a TiO₂ tartalom (TiO₂/Al₂O₃) bizonyult a leginkább diszkriminatívnak vizsgált fő kőzetcsoportok, bázit-

metabázit, átmeneti vulkanit, ultrabázit-metaultrabázit, szaruszirt, „fehér kő”, kvarcit-kvarc-homokkő között (Szakmány et al. 2011).

2010-ben, az addigi PGAA-mérések eredményeit összegezve, 215 db, főként bazalt, zöldpala, kékpala, metadolerit, hornfels, andezit anyagú kőszköz és nyersanyagminta összetétel adatai alapján kíséreltük meg a minták csoportosítását. A PGAA-val mért TiO₂- és alkáliatartalom alapján pl. a finomszemcsés dolerit megkülönböztethető a bazalttól, amelyeket makroszkópos (vizuális) vizsgálattal nem tudunk megkülönböztetni (Szakmány et al. 2011). A dolerit anyag típuson belül a Magyarország délkeleti, valamint az északnyugati részén előkerült régészeti leletek jól láthatóan elkülönülnek, ami különböző regionális nyersanyagforrásokat és ellátási útvonalakat feltételez. A régészeti leletek egy részéhez nem találtunk nyersanyagforrást a Kárpát-medencén belül, a régészeti minták kémiai összetétele különbözik a Szarvaskőn, illetve az Erdélyi-érchegységben található jura korú bazalttól, illetve dolerittől-metadolerittől.

2023-ban, kibővítve az újonnan vizsgált nyersanyag típusokkal (nefrit, szerpentin, homokkő, „fehér kő”, stb.) és a régészeti lelőhelyekkel (Alsónyék, Polgár-Csőszhalom, Öcsöd, Aggtelek-Baradla barlang), mintegy 870 minta PGAA-eredményeit statisztikai módszerekkel (főkomponens analízissel – PCA) elemeztem. A főkomponens analízis eredményeiből a PGAA- csiszolt kőszközök provenienciájának kutatásában való alkalmazhatóságával kapcsolatos általános következtetéseket vontam le. Meg kell jegyezni, hogy további, mintegy 400 minta PGAA-méréseinek feldolgozása folyamatban van, a közeljövőben új adatokkal fogjuk bővíteni a statisztikus elemzést.

A PGAA-mérések alapján vizsgált minták többségénél (766 esetben) sikeresen elkülönítettük a fő nyersanyag típusokat, a **2. táblázat** szerint. Néhány esetben a kőzetek jelentős mállottsága miatt módosult a PGAA-val mért átlagösszetétel, ezeket a mintákat nem használtuk fel a tipikus koncentrációtartományok meghatározásánál.

Az egyes csoportokra jellemző koncentrációtartományokból látható, hogy pl. a zöldpalák és kontakt metabázitok, amfibolitok és kékpalak fő összetevőinek mennyisége nagyon hasonló egymáshoz. Az amfibolitok kisebb TiO₂-tartalmukkal (átlagosan 1,69 m%), a kékpalak K₂O-tartalmukkal különböznek (átlagosan 2,75 m%, szemben a zöldpalák, kontakt metabázitok és amfibolitok átlagos 0,5 m% tartalmával). A nefritek összetétele is ezekhez hasonló, de MgO- és CaO-tartalmuk lényegesen nagyobb az előző típusoknál (átlagosan 19,8 m%, illetve 11,1 m%). Egyes nefritekre nagy mangántartalom (3,9–8,2 m% MnO) jellemző.

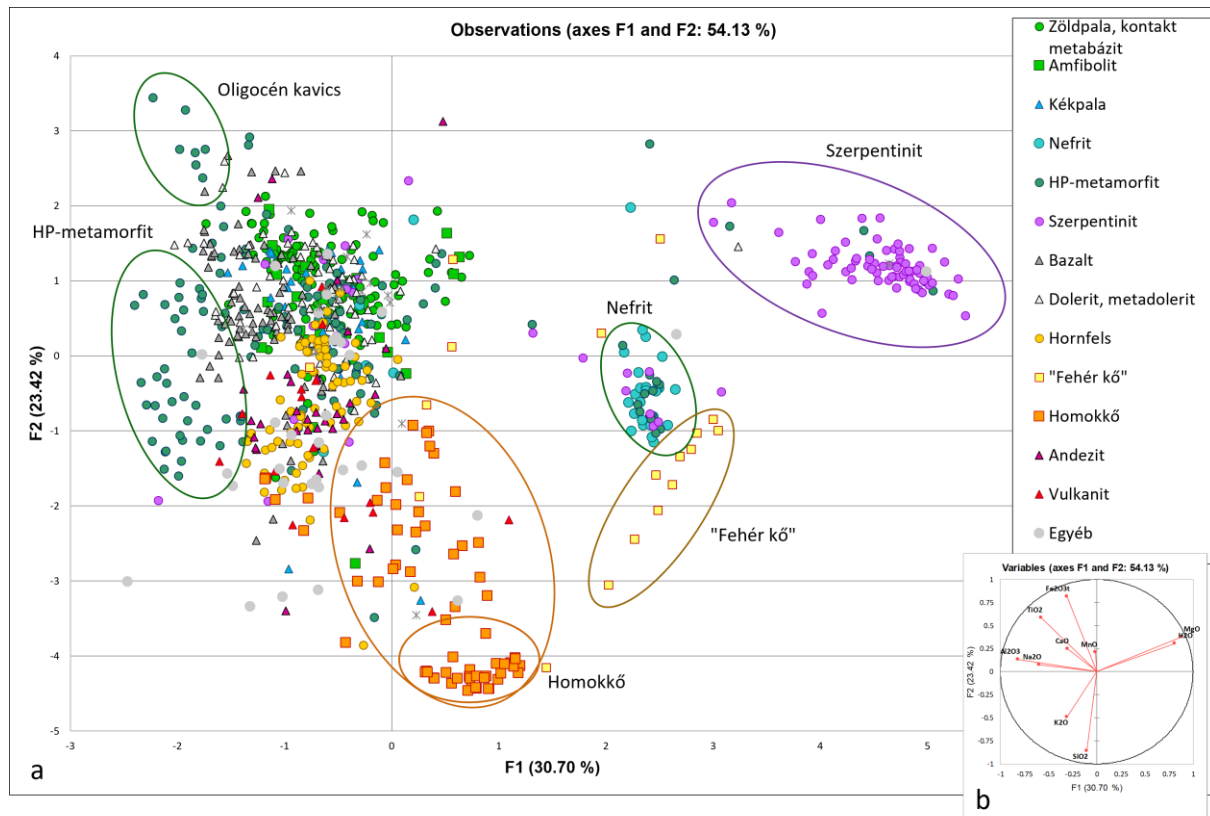
2. táblázat. A főbb kőszköz nyersanyag típusok PGAA-val mért összetétele, a főelemek minimum-maximum értékei, és átlagai m%-ban kifejezve.

Table 2. Composition of the main rock types, the minimum, maximum and average values in m%, measured with PGAA.

Kőzet	db	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Zöldpala, kontakt mb.	119	44,0- 64,7	0,45- 4,98	7,4-20,3	4,5-17,4	0,071- 0,652	2,9-16,9	1,6-15,1	<k.h.- 7,00	<k.h.- 4,02
		49,6	2,18	14,0	12,0	0,223	7,9	9,3	2,20	0,5
Amfibolit	27	37,8- 59,0	0,178- 4,50	7,5-19,1	5,4-15,6	0,090- 0,390	2,6-16,6	4,4-15,2	0,73- 5,03	0,13- 1,79
		49,1	1,69	14,1	11,2	0,193	7,8	9,9	2,28	0,53
Kékpala	32	44,0- 66,2	0,46- 3,57	11,9- 16,7	5,1-16,5	0,071- 0,933	2,0-10,4	2,6-11,6	0,66- 5,15	0,09- 5,94
		50,5	2,01	14,5	11,7	0,207	6,5	7,3	3,25	2,75
Nefrit	29	48,8- 61,5	0,017- 1,23	0,21- 16,8	0,1-10,0	0,059- 8,19	6,3-23,4	6,9-15,3	<k.h.- 4,3	0,09- 4,8
		55,7	0,173	3,7	4,88	0,688	19,8	11,1	0,61	0,32
HP- metamorfít	128	42,8- 59,5	0,046- 6,58	0,46- 22,1	0,1-19,9	0,040- 0,72	0,87- 22,2	1,85- 17,7	0,2- 14,2	0,09- 4,5
		51,7	1,57	14,9	9,5	0,194	6,2	7,3	7,20	0,48
Szerpentinít	91	33,5- 58,7	0,01-3,6	0,24- 23,2	3,2-25,0	0,037- 1,95	8,0-40,4	<k.h.- 19,4	<k.h.- 1,9	<k.h.- 0,78
		42,6	0,253	3,8	8,3	0,117	32,1	2,5	0,19	0,08
Bazalt	80	41,2- 68,2	0,558- 4,81	10,8- 18,3	6,4-16,0	0,090- 0,41	2,4-13,0	3,9-17,3	1,73- 6,36	0,09- 6,69
		47,9	2,44	15,2	11,1	0,183	7,0	8,9	3,56	2,00
Dolerit, metadolerit	65	41,0- 58,4	0,244- 5,32	5,5-19,3	5,1-16,1	0,100- 0,322	2,5-27,0	1,2-18,1	0,13- 7,10	<k.h.- 2,45
		49,3	2,05	14,3	12,0	0,192	7,2	8,3	3,58	0,60
Hornfels	70	44,5- 61,5	0,526- 1,13	12,1- 18,8	4,23- 14,5	0,035- 0,4	1,93-8,9	4,2-27,3	0,48- 3,8	<k.h.- 6,1
		51,6	0,734	15,3	6,6	0,137	5,3	15,8	1,68	1,76
„Fehér kő”	15	25,7- 78,9	<k.h.- 0,687	<k.h.- 16,5	<k.h.-6,2	<k.h.- 0,435	2,4-26,9	0,5-34,7	<k.h.- 2,68	<k.h.- 2,05
		50,4	0,076	1,8	1,0	0,100	15,9	8,5	0,43	0,21
Homokkő	66	46,4- 96,4	0,032- 1,26	1,0-20,0	0,1-6,7	<k.h.- 0,373	<k.h.-2,0	<k.h.- 24,5	<k.h.- 7,10	0,18- 5,60
		80,6	0,33	7,5	2,2	0,028	0,1	2,5	0,90	1,77
Andezit	31	42,0- 68,5	0,21- 4,09	6,9-21,3	3,3-14,1	0,021- 0,39	1,6-7,8	0,60- 14,6	0,63- 5,1	0,19- 5,9
		57,7	1,04	15,4	6,8	0,120	3,6	6,3	3,27	2,36

A nagynyomású metamorfítok összetételük szerint nem egységesek, közülük az eklogitokra nagy (1,9–6,3 m% TiO₂) titán- és (10,4–19,4 m% Fe₂O₃) vastartalom jellemző. A szerpentinitekre a kiemelkedően nagy (átlagosan 32,1 m%) MgO-tartalom és a nagy (átlagosan 8,3 m%) vastartalom jellemző. A szerpentinitek szilíciumtartalma szélesebb határok (33,5–58,7 m% SiO₂) között változik.

A bazaltokra és a dolerit-metadoleritokra egyaránt a nagyobb (átlagosan 2,4 m% TiO₂) titántartalom és átlagosan 11–12 m% vastartalom jellemző. A hornfelszekre (szaruszirtokra) szintén jellemző a kiemelkedően nagy (átlagosan 15,8, de akár 27,3 m% CaO) kalciumtartalom, és a viszonylag nagy, átlagosan 6,6 m% vastartalom. A „fehér kövek” keletkezési körülménye változatos, általánosan jellemző rájuk a nagyobb (2,4–26,9 m%) MgO-tartalom és az akár 34,7 m% CaO-tartalom. A homokkővek szilíciumtartalma széles határok között (46,4–96,4 m% SiO₂) között változhat.



3. ábra: (a) 870 db csiszolt kőeszköz, szerszámkő és nyersanyag minta csoportosítása főkomponens analízis segítségével. (b) Az egyes kémiai összetevők járuléka a főkomponensekhez.

Fig. 3.: (a) Classification of 870 stone tools and raw materials with PCA, based on their compositions, measured with PGAA (b) The weighting factors of the individual components to the major components.

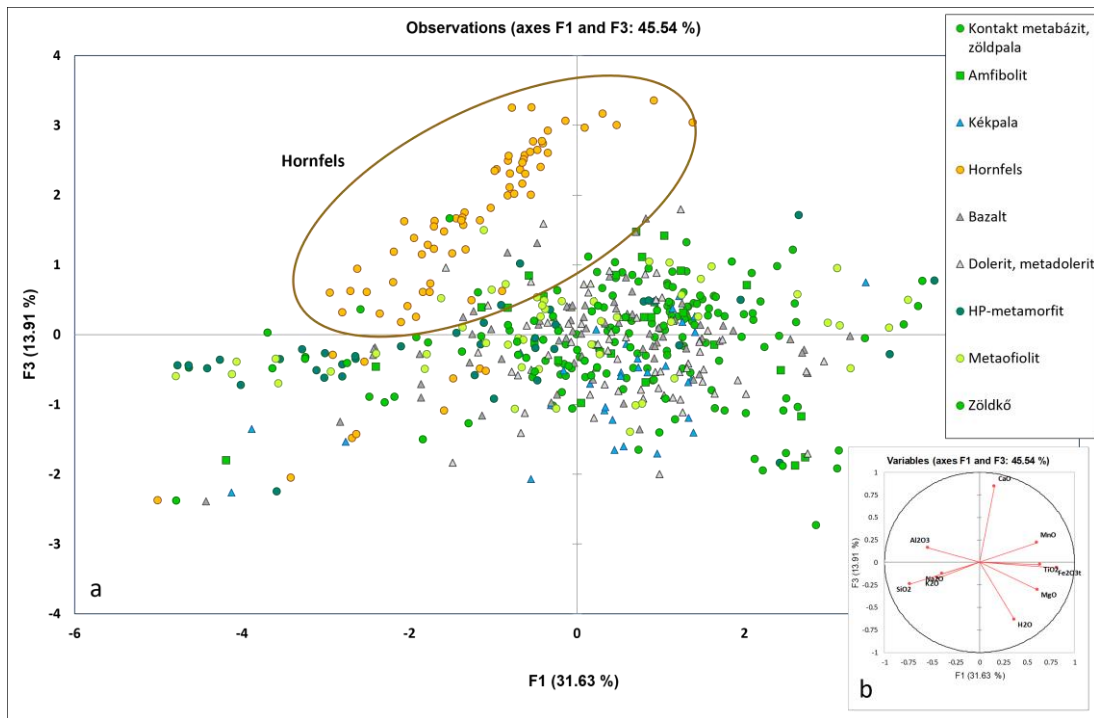
A fenti csoportosítás megerősítésére, illetve további alcsoportok elkülönítésére 870 PGAA-mérés eredményeit statisztikus vizsgálatoknak, nevezetesen főkomponens analízisnek (PCA) vetettem alá. Az eredményül kapott **3.a-b ábra** jól mutatja a PGAA-módszer erősségét és korlátait.

Elsőként az összes (870 db) mért kőeszköz és nyersanyagminta főösszetevőire – SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, H₂O –, mint változókra végeztem el a főkomponens analízist, *XLSTAT Basic 2022.5.1.* programot használva. A program lefutásához a nem mérhető, azaz kimutatási határ alatti koncentráció adatokat „0” értékkel helyettesíttem. A **3.a ábrán** a PCA számítás eredményeként az egyes mintákat az F1 és F2 főkomponens szerint ábrázoltam.

Az előzetes ismereteink szerint a következő kőzettípusok elkülöníthetőségét vizsgáltam: 1a. Zöldpala, kontakt metabázit, 1b. Amfibolit; 2. Kékpala; 3. Nefrit; 4. HP-metamorfit, HP-metaofofolit, Jadeitit, Eklogit; 5. Szerpentinit; 6a. Bazalt; 6b. Dolerit, metadolerit, 7. Hornfels (szarusirt), 8. „Fehér kő”; 9. Homokkő; 10. Andezit; 11. Egyéb vulkanitok, 12. Egyéb

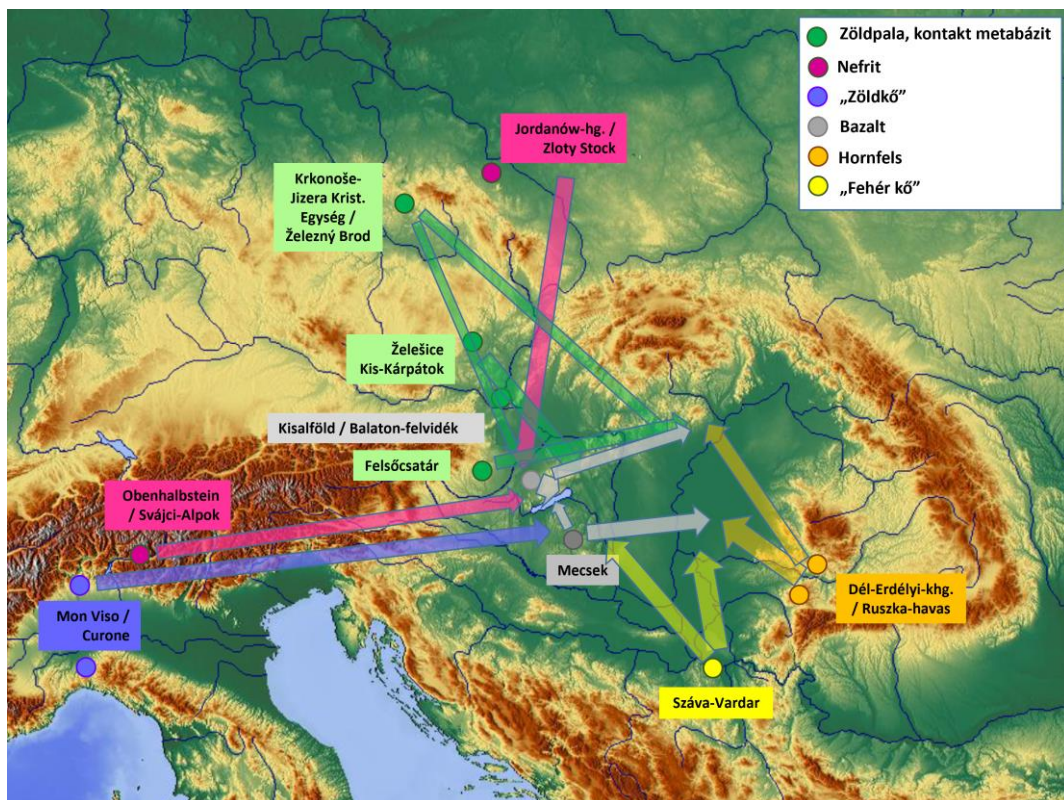
kőzetek (fonolit, metabázit, metaultrabázit, stb.); 13. Ismeretlen (nem azonosított anyagú) minták. Bár a homokkő nem a hagyományos értelemben vett csiszolt kőeszközök, hanem szerszámkövek nyersanyaga, módszertani szempontból fontos ezen anyag típus elkülönítése, ezért szerepel a statisztikailag elemzett adathalmazban.

A **3.a ábrán** jól elkülöníthető, kompakt csoportot alkotnak a szerpentinitek (3,00<F1<5,35 és 0,57<F2<1,84), a nefritek (2,17<F1<2,65 és -1,15<F2<0,34), valamint az ún. „fehér kövek” egy része, nevezetesen a nagy Mg-tartalmú ún. magnezites szilicitek (1,44<F1<3,04 és -4,15<F2<-0,84) emellett a vörös homokkövek egy része (0,31<F1<1,20 és -4,46<F2<-4,02). A zöldkövek (metaofofolitok) csoportján belül néhány, makroszkópos leírás alapján szerpentinitnek feltételezett kőeszköz a PGAA mérések alapján nefritek vagy hornfelszek csoportjába esik. A geokémiai szempontból leginkább diszkriminatív összetevők a SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃¹ és MgO (**3.b ábra**).



4. ábra: (a) Megismételt főkomponens analízis eredménye a kevésbé elkülöníthető kőzettípusokon. (b) Az egyes kémiai összetevők járuléka a főkomponensekhez.

Fig. 4.: (a) The result of the repeated PCA on a less separable subgroup of the investigated objects. (b) The weighting factors of the individual components to the major components.



5. ábra: A Kárpát-medencében fellelt csiszolt kőszerszámok fő nyersanyagtypusainak valószínűsíthető forrásai. A következtetéseket nem kizárólag, de nagymértékben a PGAA-mérések alapján vontuk le.

Fig. 5.: The most likely provenances of the polished stone tools found in the Carpathian Basin. The conclusions are drawn not exclusively but to a great extent on the basis of the PGAA data

A PGAA-módszer korlátait mutatja ugyanakkor, hogy a zöldpalák és kontakt metabázitok csupán a fő kémiai összetevőik alapján nem különíthetők el jól egymástól, a kékpálaktól, szaruszirtektől, egyéb HP-metamorfitoktól (jadeitit, eklogit), és bazalt, dolerit-metadolerit, andezit stb. kőzetektől sem. Ha a főkomponens analízist megismételjük a jól elkülönülő minták elhagyásával megmaradt mintákra, akkor azt tapasztaljuk, hogy a Kontakt metabázit – Amfibolit – Kékpala – Hornfels – Bazalt-metadolerit – HP-metamorfit – Metaofiolit – „Zöldkő” csoportosulásból csupán a hornfelsek különíthetők el több-kevesebb megbízhatósággal (4.a ábra). A leginkább diszkriminatív összetevőknek a CaO, SiO₂ és TiO₂ (és avval korrelálva a Fe₂O₃) bizonyultak (4.b ábra).

A csiszolt kőeszközök és nyersanyagok analitikai eredményére alapozva, a következő megállapításokat tehetjük bizonyos nyersanyag típusok eredetére vonatkozóan (5. ábra)

- A zöldpala és kontakt metabázit kőeszközök – elsősorban titán- és alkáliatartalmuk alapján – két fő csoportba sorolhatók. Az észak-csehországi Krkonoše-Jizera Kristályos Masszívumból származó kontakt metabázit minták jól elkülönülnek a többi nyersanyagtól. A másik fő csoport legalább három további tagból áll: 1. felsőcsatári zöldpala (az Alpok Penninikum egységének legkeletibb része); 2. a Kis-Kárpátokból származó metabázit, illetve 3. a Dél-Cseh Masszívumhoz tartozó Želešicéből származó kontakt metabázit (Szakmány et al. 2011).
- A vizsgált nefrit balták ún. S-típusú nefritként azonosíthatók, valószínűsíthető nyersanyag-lelőhelyük Jordanów környéke (Szilézia), illetve a Középső (Svájci)-Alpok (Péterdi et al. 2014).
- Az ún. „zöldkő” (nagynyomású metamorfit, metaofiolit, jadeitit, eklogit) balták anyaga jó egyezést mutat az észak-olaszországi Mon Viso térségéből és a Curone folyó völgyéből származó nyersanyagminták anyagával (Váczai et al. 2017 és 2019).
- A bazaltból készült balták Sm- és Gd-, valamint Ti- és Fe-tartalma alapján nyersanyaga jellemzően a Kisalföld, Balaton-felvidék, illetve a Medves térségéből származó fiatal bazalt, nem a mecseki idősebb (alsó kréta korú) bazalt (Péterdi et al. 2011).
- Eddigi adataink alapján a mész-szilikát szaruszirtből (hornfelsből) készült balták nyersanyaglelőhelyeként – Ca- és Si-tartalmuk alapján – az Erdélyi-középhegységet, illetve a Ruzska-havasokat tudtuk azonosítani. A két, egymástól mintegy 50 km-re lévő lelőhely

között azonban a PGAA-mérésekkel és más módszerekkel nem tudunk egyértelműen különbséget tenni (Szakmány et al. 2016).

- A nagy Mg-tartamú magnezites szilicit kőzetek forrásaként nagy valószínűséggel a Kárpát-medencétől délre fekvő Száva-Vardar zóna azonosítható, de ennek megerősítéséhez még további összetételadatokra van szükség (Szakmány et al. 2009, Starnini et al. 2015).

Összegzés

A PGAA-módszer vitathatatlan előnye, hogy a kivezetett neutronyalábokkal szinte tetszőleges méretű tárgy „tömbi” összetételét meg lehet határozni mintavétel, valamint a tárgy károsítása, mikroszkopikus vagy makroszkopikus roncsolása nélkül. A nyert összetételi adatok általában nyersanyag eredet (proveniencia) meghatározására, műhelyazonosításra, illetve hamisítványok kiszűrésére alkalmasak. Ugyanakkor a módszer hátránya, hogy néhány kivételtől (H, B, Cl, Nd, Sm, Gd) eltekintve elsősorban a geológiai főelemek mennyiségi kimutatására alkalmas, érzékenysége számos, az archeometriában fontos nyomelemnél nem éri el az NAA és LA-ICP-MS módszerek érzékenységét. A neutronok kutatóreaktorokban történő előállítása ezen felül költséges, a kísérleti berendezések helyhez kötöttek, ami megnehezítheti egyes értékes, korlátozottan szállítható műtárgyak elemzését.

Az 1998-tól napjainkig zajló, csiszolt kőeszközök proveniencia kutatásainak tapasztalatai alapján elmondhatjuk, hogy a prompt-gamma aktivációs analízis, mint a fő geokémiai összetevők tömbi mennyiségi meghatározására alkalmas roncsolásmentes módszer lehetővé teszi a mai Magyarország területén fellelt őskori (neolitikumi és rézkori) csiszolt kőeszközök fő nyersanyag típusainak jellemzését és részleges elkülönítését egymástól. Ezen túlmenően, bizonyos kőzettípusok esetén, kellő számú geológiai referenciaminta mérésével és más módszerekkel (mágneses szuszeptibilitás mérés, SEM-EDX) kiegészítve a potenciális – sok esetben a Kárpátokon túli – forrásterületekről, a régészeti leletanyaghoz nagy megbízhatósággal nyersanyaglelőhelyet is rendelhetünk.

A csiszolt kőeszközök nyersanyag eredetének meghatározásában a PGAA mérési eredmények a fentebb tárgyalt esetekben (zöldpala-kontakt metabázit, zöldkő, bazalt, hornfels, magnezites szilicit „fehér kő”) sikerrel felhasználhatók.

Eredményeink szerint a PGAA-módszer mérsékelt alkalmazható az amfibolit, illetve kékpala kőzetek eredetének a meghatározására (Kereskényi et al. 2018), mivel a mért összetevők alapján ezek a kőzetek nem különülnek el jól a zöldpálaktól és a kontakt metabázitoktól. Eddigi eredményeink alapján meg kell állapítanunk, hogy a PGAA nem

sikeres a szerpentinit nyersanyaglelőhely meghatározásában, bár a módszer a közettípust megbízhatóan azonosítja. A PGAA mellett további ujjlenyomat-szerű nyomelemek mérésére, illetve elektronmikroszkópos SEM-EDX vizsgálatok hozhatnak eredményt.

Ha a Kárpát-medencében fellelt kőeszközök anyaguk szerinti területi eloszlását tekintjük, akkor – elsősorban a PGAA-mérések alapján – a következő megállapításokat tehetjük. Az őskori csiszolt kőeszköz nyersanyaguk származási helye szerint Magyarország területén három fő régió jelölhető ki (Szakmány 2009).

- A Dunántúlon a „zöldpala” jellegű (elsősorban a kontakt metabázit, de a felsőcsatári zöldpala is viszonylag jelentős), bazaltos és a szerpentinites kőzetek dominálnak. Ezen belül az észak-dunántúli részen a Krkonoše-Jizera kontakt metabázit, a felsőcsatári zöldpala és a plio-pleisztocén bazalt az uralkodó közettípus, míg a dél-dunántúli részen az alsó kréta korú mecseki bazalt és alkáli dolerit.
- Az észak- és északkelet-magyarországi területek kőeszközeinek jellemző nyersanyaga a plio-pleisztocén bazalt, a metadolerit, és a „zöldpala” jellegű kőzetek. Elszórtan szaruszirt (hornfels), andezit és kékpala is előfordul.
- A Tiszántúlon (a Nagyalföld keleti felén) jellemzően előforduló nyersanyag típus a szaruszirt (hornfels), metadolerit és a mecseki típusú bazalt. Elsősorban a déli részeken szórványosan az ún. „fehér kő” is előfordul.

Ily módon, a roncsolásmentes prompt-gamma aktivációs analízis hasznos adatokat szolgáltat az őskor távolsági kereskedelmi viszonyainak rekonstruálására. Az elmúlt időszakban vizsgált nagyobb régészeti anyag – Alsónyék, Öcsöd, Lengyel – mérési eredményeinek feldolgozása, valamint az újabb adatok kiértékelése és értelmezése jelenleg is folyamatban van.

A cikkben ismertetett, évtizedeken átívelő kutatás kezdeményezésében, véghezvitelében, összefogásában, időnként életben tartásában pótolhatatlan és eléggé nem hangsúlyozható szerepe, jelentősége van Gyurinak. Köszönjük!

A szerző tudományos közreműködése

Kasztovszky Zsolt Eredeti és javított kézirat.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik az NKFIH-nak a K 62874, K 100385 és K 131814 sz. kutatási projektekben nyújtott támogatásért.

Irodalom

BENDŐ Zs.; OLÁH I.; PÉTERDI B.; SZAKMÁNY Gy. & HORVÁTH E. (2013): Csiszolt kőeszközök és ékkövek roncsolásmentes SEM-EDX vizsgálata: lehetőségek és korlátok. *Archeometriai Műhely* **X/1** 51–66.

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., MARÓTI, B., SZILÁGYI, Sz., SZILÁGYI, V. & BIRÓ, K.T. (2014): Results of non-destructive SEM-EDX and PGAA analyses of jade and eclogite polished stone tools in Hungary, *Archeometriai Műhely* **XI/4** 187–205.

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., BIRÓ, K. T., OLÁH, I., OSZTÁS, A., HARSÁNYI, I. & SZILÁGYI, V. (2019): High pressure metaophiolite polished stone implements found in Hungary, *Archaeological And Anthropological Sciences* **11** 1643–1667. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0618-6>

BIRÓ K.T. (2008): Kőeszköz-nyersanyagok Magyarország területén. – Raw materials for stone tools in Hungary. In: Az ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig. Bányászat Geotudományok. *A Miskolci Egyetem Közleménye* **74** Szerk. Szakáll S. Miskolc 11–38.

BRADÁK, B., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & PŘICHYSTAL, A. (2009): Application of magnetic susceptibility on polished stone tools from Western Hungary and the Eastern part of the Czech Republic (Central Europe), *Journal Archaeological Science*, **36/10** 2437–2444. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.07.001>

COMAR, D., CROUZEL, C., CHASTELAND, M., RIVIERE, R. & KELLERSHOHN, C. (1969): The Use of Neutron Capture Gamma Radiations for the Analysis of Biological Samples. In: DeVoe, J.R. (ed.) *Modern Trends in Activation Analysis* (NBS Spec. Pub. 312), vol. 1. pp. 114–127. National Bureau of Standards, Washington, DC

D'AMICO, C., STARNINI, E., GASPAROTTO, G. & GHEDINI, M. (2003): Eclogites, jades and other HP-metaophiolites employed for prehistoric polished stone implements in Italy and Europe, *Periodico di Mineralogia* **73/3** 17–42.

FARYAD, S.W. (1997): Lithology and metamorphism of the Meliata unit high-pressure rocks. In: GRECULA, P., HOVORKA, D. & PUTIŠ, M. eds., *Geological evolution of the Western Carpathians. – Mineralia Slovaca – Monograph*, Bratislava, 131–144.

- FRIEDEL, O., BRADÁK, B., SZAKMÁNY, Gy., SZILÁGYI V. & T. BIRÓ K. (2008): Az Ebenhöch csiszolt kőszköz gyűjtemény archeometriai vizsgálatának eredményei, *Archeometriai Műhely* **V/3** 1–12.
- FRIEDEL, O., BRADÁK, B., SZAKMÁNY, Gy., SZILÁGYI, V. & BIRÓ, K.T. (2011): Archaeometric Processing of Polished Stone Artefacts from the Ebenhöch Collection (Hungarian National Museum, Budapest, Hungary). In: TURBANTI-MEMMI, I., ed., *Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry*, 12–16 May 2008, Siena, Italy, 211–219. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7>
- FÜRI, J., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs. & BIRÓ, K. T. (2004): The origin of the raw material of basalt polished stone tools in Hungary, *Proceedings of 5th Workshop of the IGCP/UNESCO Project No. 442, 2002, Bratislava, Slovak Geological Magazine* **10/1-2** 97–104.
- GLASCOCK, M. D. & NEFF, H. (2003): Neutron activation analysis and provenance research in archaeology. *Measurement Science and Technology* **14** 1516–1526. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/14/9/304>
- GMÉLING, K., SIMONITS, A., SZIKLAI LÁSZLÓ, I. & PÁRKÁNYI, D. (2014): Comparative PGAA and NAA results of geological samples and standards, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **300/2** 507–516. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3032-2>
- 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., SZABÓ, Cs., JÓZSA, S., SZOLDÁN, Zs., ÁRVA-SÓS, E., BALLA, M. & KUBOVICS, I. (1996): Mesozoic igneous suites in Hungary: Implications for genesis and tectonic setting in the Northwestern part of Tethys. *International Geology Review* **38** 336–360.
- HARANGI, Sz. (2001): Neogene to quaternary volcanism of the Carpathian-Pannonian region – a review, *Acta Geologica Hungarica* **44** 223–258.
- HENKELMANN, R. & BORN, H.J. (1973): Analytical Use of Neutron-Capture Gamma- Rays. *Journal of Radioanalytical Chemistry* **16** 473–481.
- HOVORKA, D., KORIKOVSKY, S. & SOYÁK, M. (2000): Neolithic/Aeneolithic blueschist axes: Northern Slovakia, *Geologica Carpathica* **51** 345–351.
- HOVORKA, D., ILLÁŠOVÁ, L. & SPIŠIAK, J. (2001): Plagioclase-clinopyroxene hornfels: raw material of 4 Lengyel Culture axes (Svodín, Slovakia) Bratislava: Dionýz Štúr publishers, *Slovak Geological Magazine* **7/3** 303–308.
- IAEA Worldwide: Open Proficiency Test for X Ray Fluorescence Laboratories (Issue December), IAEA Laboratories, 2013 Seibersdorf, 89 p.
- IMAI, N., TERASHIMA, S., ITOH, S. & ANDO, A. (1995): 1994 compilation values for GSJ reference samples, Igneous rock series, *Geochemical Journal* **29/1** 91–95. <https://doi.org/10.2343/geochemj.29.91>
- JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., ORAVECZ, H. & CSENGERI, P. (2001): Preliminary petrographic report on blueschists, the materials of Neolithic polished stone tools from Hungary, *Slovak Geological Magazine* **7/4** 351–354.
- IONESCU, C. & HOECK, V. (2010): Mesozoic ophiolites and granitoids in the Apuseni Mts. IMA2010 Field Trip Guide RO2. *Acta Mineralogica et Petrographica (Szeged). Field Guide Series*, **20** 1–44.
- KASZTOVSZKY, Zs., MARÓTI, B., SZENTMIKLÓSI, L. & GMÉLING, K. (2022): Applicability of prompt-gamma activation analysis to determine elemental compositions of silicate-based cultural heritage objects and their raw materials, *Journal of Cultural Heritage* **55** 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.04.011>
- KERESKÉNYI E., SZAKMÁNY Gy., FEHÉR B., KASZTOVSZKY Zs., KRISTÁLY F. & RÓZSA P. (2018): New archaeometrical results related to Neolithic blueschist stone tools from Borsod-Abaúj-Zemplén County, Hungary. *Journal of Archaeological Science: Reports*, **17** 581–596. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.12.024>
- KERESKÉNYI, E., SZAKMÁNY, Gy., FEHÉR, B., HARSÁNYI, I., SZILÁGYI, V., KASZTOVSZKY, Zs. & TÓTH, M.T. (2020): Archaeometrical results related to Neolithic amphibolite stone implements from Northeast Hungary, *Journal of Archaeological Science: Reports* **32** 102437. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102437>
- KOLLER, F. (1985): Petrologie und Geochemie der Ophiolite des Penninikums am Alpenstrand. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Wien*, **128** 83–150.
- KUDĚJOVA, P., MEIERHOFER, G., ZEITELHACK, K., JOLIE, J., SCHULZE, R., TÜRLER, A. & MATERNA T. (2008): The new PGAA and PGAI facility at the research reactor FRM II in Garching near Munich, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **278/3** 691–695. <https://doi.org/10.1007/s10967-008-1506-9>
- LEA, D.E. (1934): Combination of Proton and Neutron. *Nature* **133** 24.

- LOMBARD, S.M. & ISENHOUR, T.L. (1968): Neutron Capture Gamma-Ray Activation Analysis Using Lithium Drifted Germanium Semiconductor Detectors. *Analytical Chemistry* **40** 1990–1994.
- MOLNÁR, G., BELGYA, T., DABOLCZI, L., FAZEKAS, B., RÉVAY, Zs., VERES, Á., BIKIT, I., KIS, Z. & ÖSTÖR, J. (1997): The new prompt gamma-activation analysis facility at Budapest, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **215** 111–115. <https://doi.org/10.1007/BF02109886>
- PAUL, R.L. & LINDSTROM, R.M. (2000): Prompt gamma-ray activation analysis: Fundamentals and applications, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **243** 181–189. <https://doi.org/10.1023/A:1006796003933>
- PÉTERDI B., SZAKMÁNY G., JUDIK K., DOBOSI G., KOVÁCS J., KASZTOVSZKY Zs. & SZILÁGYI V. (2011): Bazalt anyagú csiszolt kőeszközök közzétani és geokémiai vizsgálata (Balatonöszöd - Temetői dűlő lelőhely), *Archeometriai Műhely* **VIII/1** 33–68.
- PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, Gy., BENDŐ, Zs., KASZTOVSZKY, Zs., BIRÓ, K. T., GIL, G., HARSÁNYI, I., MILE, V. & SZILÁGYI, Sz. (2014): Possible provenances of nephrite artefacts found on Hungarian archaeological sites (preliminary results), *Archeometriai Műhely*, **XI/4** 207–222.
- RÉVAY, Zs. & BELGYA, T. (2004): Principles of PGAA method, in: Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams, (G.L. Molnár ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/New York, pp.1–30.
- RÉVAY, Zs. (2009): Determining elemental composition using prompt γ activation analysis, *Analytical Chemistry* **81** 6851–6859. <https://doi.org/10.1021/ac9011705>
- SCHLÉDER, Zs. & BIRÓ, K.T. (1999): Petroarchaeological studies on polished stone artifacts from Baranya county, Hungary, *Janus Pannonius Múzeum Évkönyve*, Pécs, **43** 75–101.
- ŠÍDA, P. & KACHLÍK, V. (2009): Geological setting, petrology and mineralogy of metabasites in a thermal aureole of Tanvald granite (northern Bohemia) used for the manufacture of Neolithic tools, *Journal of Geosciences* **54** 269–287. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.042>
- STARNINI, E. & SZAKMÁNY, Gy. (1998): The lithic industry of the Neolithic sites of Szarvas and Endrőd (South-Eastern Hungary): technotypological and archaeometrical aspects, *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **50** 279–342.
- STARNINI, E., SZAKMÁNY, Gy. & WHITTLE, A. (2007): Polished, ground and other stone artefacts. In: WHITTLE, A., ed., The Early Neolithic on the Great Hungarian Plain. Investigation of the Körös culture site of Ecesfalva 23, County Békés. – *Varia Archaeologica Hungarica* **XXI** Budapest, 667–676.
- STARNINI, E., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, V., MARÓTI, B., VOYTEK, B. & HORVÁTH, F. (2015): Lithics from the Tell Site Hódmezővásárhely-Gorzsa (Southeast Hungary): typology, technology, use and raw material strategies during the Late Neolithic (Tisza Culture). In: Hansen S, Raczky P, Anders A, Reinburger A (eds) Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea: chronologies and technologies from the 6th to the 4th millennium BCE, *Archäologie in Eurasien* **31** 105–128.
- SZAKMÁNY, Gy. (1996): Results of the petrographical analysis of some samples of the ground and polished stone assemblage. In: MAKKAY, J., STARNINI, E. & TULOK, M., eds., Excavations at Bicske Galagonyás (part III). The Notenkopf and SopotBicske cultural phases. - *Società per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli-Venezia Giulia*, Quaderno **6** Trieste, 224–241.
- SZAKMÁNY, Gy. & KASZTOVSZKY, Zs. (2004): Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA), a new method in the archaeological study of polished stone tools and their raw materials, *European Journal of Mineralogy* **16/2** 285–295. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0285>
- SZAKMÁNY Gy. (2009): Magyarországi csiszolt kőeszközök nyersanyag típusai az eddigi archeometriai kutatások eredményei alapján, *Archeometriai Műhely*, **VI/1** 11–29.
- SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, V., STARNINI, E., FRIEDEL, O. & BIRÓ, K.T. (2011): Discrimination of prehistoric polished stone tools from Hungary with non-destructive chemical Prompt Gamma Activation Analyses (PGAA), *European Journal of Mineralogy* **23** 883–893. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2011/0023-2148>
- SZAKMÁNY Gy., T. BIRÓ K., KRISTÁLY F., BENDŐ Zs., KASZTOVSZKY Zs. & ZAJZON N. (2013): Távolsági import csiszolt kőeszközök nagynyomású metamorfítokból Magyarországon, *Archeometriai Műhely* **X/1** 83–92.
- SZAKMÁNY Gy., JÓZSA S., BENDŐ Zs., KASZTOVSZKY Zs. & HORVÁTH F. (2016): Magyarországon előkerült hornfels (mész-szilikát szaruszirt) anyagú csiszolt kőeszközök nyersanyaglelőhelyének felkutatása, *Archeometriai Műhely* **XIII/1** 43–54.

SZENTMIKLÓSI, L., BELGYA, T., RÉVAY, Zs. & KIS, Z. (2010): Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest Research Reactor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **286** 501–505.

<https://doi.org/10.1007/s10967-010-0765-4>

VÁCZI B., SZAKMÁNY Gy., KASZTOVSZKY Zs., STARNINI E. & NEBIACOLOMBO F. (2017): Előzetes eredmények a magyarországi nagy nyomású metaofiolit anyagú csiszolt kőeszközök származási helyének pontosításához, *Archeometriai Műhely* **XIV/2** 69–84.




VÁCZI, B., SZAKMÁNY, Gy., STARNINI, E., KASZTOVSZKY, Zs., BENDŐ, Zs., NEBIACOLOMBO, F. A., GIUSTETTO, R. & COMPAGNONI, R. (2019): High-pressure meta-ophiolite boulders and cobbles from northern Italy as possible raw-material sources for “greenstone” prehistoric tools: petrography and archaeological assessment, *European Journal of Mineralogy* **31/ 5-6** 905–917.

<https://doi.org/10.1127/ejm/2019/0031-2859>

YONEZAWA, C. (1993): Prompt γ -Ray Analysis of Elements Using Cold and Thermal Reactor Guided Neutron Beams, *Analytical Sciences* **9** 185–193. <https://doi.org/10.1007/BF02784228>

CSISZOLT KŐESZKÖZÖK NYERSANYAGTÍPUSAINAK CSOPORTOSÍTÁSA MÁGNESES SZUSZCEPTIBILITÁS, TÖMEG, TÉRFOGAT, SÚRÚSÉG ÉS MAGASSÁG ALAPJÁN – ESETTANULMÁNY BÁTASZÉK-ALSÓNYÉKRŐL

CLASSIFICATION OF RAW MATERIAL TYPES OF POLISHED STONE TOOLS
BASED ON MAGNETIC SUSCEPTIBILITY, WEIGHT, VOLUME, DENSITY AND
HEIGHT DATA – A CASE STUDY FROM BÁTASZÉK-ALSÓNYÉK (HUNGARY)*

SÁGI, Tamás¹; JÓZSA, Sándor¹; JANKA, Péter¹; KÁPOSZTÁS, Viktória¹; OELBERG-
PÁNCZÉL, Emese¹; SZENDREI, Zsolt¹; SZÜCS, Levente Csaba^{1,2} & VIRÁG, Attila^{1,3}

¹ELTE TTK, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Közettan-Geokémiai Tanszék,
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

²Magyar Természettudományi Múzeum, 1083 Budapest, Ludovika tér 2-6.

³Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet,
Asvány- és Földtani Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

E-mail: sagi.tamas@ttk.elte.hu

*Jelen tanulmány nem születhetett volna meg
Szakmány György iránymutatása és munkássága nélkül*

Abstract

Many methods are used to determine the raw material of the polished stone tools, from fundamental macroscopic petrological analysis to state-of-the-art instrumental studies. The selection of representative specimens of certain types of raw materials for instrumental analysis from a found assemblage – which often represents a large number of stone tools – is a major challenge for geologists. This research attempts to identify differences between the raw material types of polished stone tools based on easily measurable characteristics (mass, volume, density, magnetic susceptibility, and thickness, Figs. 2 and 4) using standardized principal component analysis (PCA). For this we used altogether 467 artefacts originating from the Late Neolithic (ca. 5800–4500 cal BC, Lengyel culture) Alsónyék-Bátaszék site (South Hungary). By excluding a few small tools with imprecise density measurements, we reduced the sample to 411 specimens (Fig. 1). The artefacts were categorized preliminary into 18 main rock types (aleurolite, amphibolite, andesite, basaltic andesite, basalt/basaltoids, chert, eclogite, hornfels, limestone, marl, (contact) metabasite, metavolcanite, microgranite, nephrite, sandstone, serpentinite, spiculite, whitestone) based on their macroscopic characteristics and using only simple equipment (hand lens with 10× magnification, a neodymium magnet, 10 wt% acetic acid, distilled water). This grouping was validated by the produced PCA ordination (Fig. 5), although there were noticeable overlaps between some clusters. The resulting morphospace helped us in the further subdivision of macroscopically inseparable rock types (such as whitestones). It also aided the identification of specimens with visually and/or parametrically transitional features (e.g., dolerite and microgabbro in between alkali basalt and phonolite/microfoyaite). Although some of the stone tools had seemingly identical appearance with the members

* How to cite this paper: SÁGI, T.; JÓZSA, S.; JANKA, P.; KÁPOSZTÁS, V.; OELBERG-PÁNCZÉL, E.; SZENDREI, Zs.; SZÜCS, L.Cs. & VIRÁG, A. (2024): Csiszolt kőeszközök nyersanyag típusainak csoportosítása mágneses szuszceptibilitás, tömeg, térfogat, sűrűség és magasság alapján – esettanulmány Bátaszék-Alsónyékről / Classification of raw material types of polished stone tools based on magnetic susceptibility, weight, volume, density and height data - a case study from Bátaszék-Alsónyék (Hungary) [In Hungarian with English abstract, *Archeometriai Műhely* XXI/2 89–100.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-009](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-009)

of a specific rock type, the ordination proved to be useful in revealing such misinterpretations by drawing our attention to their outlying parametric values.

Kivonat

A csiszolt kőeszközök nyersanyagának pontos meghatározására az egyszerű makroszkópos közethatározástól kezdve a legkorszerűbb műszeres vizsgálatokig számos módszert alkalmaznak. A gyakran nagyszámú kőeszközből álló leletegyüttesek egyes nyersanyag típusainak reprezentatív, nagyműszeres vizsgálatra szánt példányainak kiválasztása jelentős kihívás a geológusok számára. Jelen kutatás célja, hogy kísérletet tegyünk csiszolt kőeszközök nyersanyag típusai közötti különbségek meghatározására egyszerűen mérhető jellemzőik (tömeg, térfogat, sűrűség, mágneses szuszceptibilitás és vastagság) standardizált főkomponens elemzése alapján.

KEYWORDS: POLISHED STONE TOOL, MAGNETIC SUSCEPTIBILITY, ROCKS DENSITY, CORRELATION HEATMAP, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

KULCSSZAVAK: CSISZOLT KŐESZKÖZ, MÁGNESES SZUSZCEPTIBILITÁS, KÖZETSÚRÚSÉG, KORRELÁCIÓS HŐTÉRKÉP, FŐKOMPONENS ELEMZÉS

Előszó

Szakmány György az archeometria nemzetközi szinten ismert és elismert művelője, az ELTE-s közzetani archeometriai iskola megeremtője. Közhelyesnek hat, hogy Nélküle ez a cikk nem készülhetett volna el, pedig ez többszörösen igaz! Egyrészt geológusok generációinak petrográfiai, közzetani tudását alapozta meg - mint ahogy jelen cikk szerzőinek többségét is tanította. Nem csupán rendkívüli szakmai felkészültség volt e munka mögött, de egy olyan emberséges, minden szigorúsága mellett szelíd és jóindulatú oktató-hallgató viszony, ami sajnos kifejezetten ritka. Másrészt a tanulmányban bemutatott eredmények nagyon fontos része a Bátaszék-alsónyéki leletegyüttes közzetani meghatározása, amiben Gyuri oroszán részt vállalt. Emiatt ott lenne a helye a szerzők között, mivel azonban ez egy köszöntő- és meglepetés-kötet, aminek megírásáról remélhetőleg Gyurinak semmilyen információja nem volt, így nem tudtuk őt bevonni az írásba. Itt emeljük hát ki, hogy természetesen Szakmány György munkája, szaktudása, iskolateremtő szellemisége tükröződik vissza tanulmányunkban!

Személyes előszó

Mint első szerző, szeretnék megosztani néhány további gondolatot. Gyuritól tanultam a makro- és mikroszkópos közzetant szintűt, mint e szakterületek oktatását is. Mind szaktudása, mind emberséges és egyenes hozzáállása, oktatási módszerei kapcsán büszkén tekintem Őt példaképemnek és nagy örömmel, barátomnak is. Amikor – kezdetben még nagyon óvatosan – igyekeztem bevonni az archeometria világába, még nem igazán tudtam, szeretnék-e érdemben ilyen kutatásokkal foglalkozni. Először 2013-ban vehettem részt helyette egy cseh-lengyel közzetani expedíción, aminek a célja feltételezett kőeszköz-nyersanyagok begyűjtése volt. Amellett, hogy közzetani szempontból nagyon jó élmény volt, megmutatta, milyen

változatos feladatokat jelent az archeometriának akár csak egy kis szelete is. Őt éve egy bolíviai pattintott kőeszközökről szóló cikkhez felkérték közzetani szakértőnek, Ő azonban nem tudta elvállalni, de megkérdezte, szeretnék-e helyette „beugrani”. Elsőre igent mondtam, büszkeséggel töltött el, hogy megkért a feladatra. Aztán lassanként újabb és újabb archeometriai munkába vont be, ami révén mostanra egyik fő kutatási területem lett a közzetani archeometria.

Gyuri nemrég nyugdíjba vonult. Az archeometria oktatásában így keletkező űrt nyilvánvalóan nem tudom betölteni, de büszkén vállalom, hogy amennyire erőmből telik, viszem tovább a lángot! E cikk is már ennek szellemében, geológus hallgatók archeometriai kurzusa kapcsán végzett labormunka révén született. Gyuri, köszönöm a rengeteg segítséget, emberséget, szaktudást és nem utolsósorban, hogy bevontál az archeometria világába!

Bevezetés

A csiszolt kőeszközök anyagának meghatározására a legkorszerűbb műszeres vizsgálati módszerek (pl. PGAA - prompt-gamma aktivációs analízis, NAA – neutron aktivációs analízis, EPMA – elektron mikroszkop) is rendelkezésre állnak. Egy-egy leletegyüttes azonban több száz kőeszközt is jelenthet, ilyen nagyságrendben viszont a meglehetősen drága műszeres vizsgálatok alkalmazása nemcsak kivitelezhetetlen, hanem indokolatlan is. Mindenképpen szükséges az eszközök egyszerű, komoly műszeres mérés nélküli előszűrése, tipizálása. Ezt követően lehet az egyes típusokból példányokat kiválasztani részletes elemzésre. Az előszűrés során használt két gyakori módszer a mágneses szuszceptibilitás (MS) mérés, valamint a kőeszköz makroszkópos (kézi nagyító) közzetani leírása, meghatározása. Előbbi vizsgálat esetében a mérés technikai kivitelezéséhez nincs szükség különösebb tapasztalatra, utóbbi viszont jelentősebb petrográfiai előképzettséget igényel. A mágneses

szuszceptibilitás minden kőeszköz esetében egy objektív, diszkrét érték, ami több mérés esetében is kis változékonyságot mutat. A makroszkópos kőzetnevdás viszont mindenképpen hordoz magában némi szubjektivitást, nagyban függ a leíró tapasztalatától, képzettségétől és a kőzettípustól. A makroszkópos kőzethatározáshoz ráadásul általában egyszeri vizsgálat nem elegendő, a leletanyag teljes felmérését követően a kialakított kőzetcsoportok részletes újrvizsgálata elengedhetetlen.

Felmerülhet a kérdés, hogy az egy vagy több szakértő által adott makroszkópos kőzetnevek, illetve a tipizálás, csoportosítás mennyire megbízható, a részletes vizsgálatára így kiválasztott minták mennyire tükrözik a leletegyüttes tényleges kőzetani változatosságát? Van-e még olyan, könnyen meghatározható, ugyanakkor legalább kőzetcsoport szinten elkülönülő tulajdonság, amit csiszolt kőeszközök vizsgálatára alkalmazhatunk? A kérdés megválaszolására egy egyszerű kísérletet végeztünk, amelyben nagyszámú, egy lelőhelyről előke-rült csiszolt kőeszköz MS értékeit és sűrűségét mértük meg, majd a kapott értékeket összevetettük a leletanyag előzetes részletes makroszkópos kőzethatározás során kialakított nyersanyagtípus szerinti csoportjaival.

A vizsgálatra választott leletegyüttes

Bátaszék és Alsónyék határában az M6-os autópálya építése kapcsán tárták fel egy késő neolitikus település (kb. 5800–4500 cal BC, lengyeli kultúra) egy részét, mely az egyik legjelentősebb ilyen lelőhely Magyarországon (Osztas et al. 2012). A településről és temetkezéseiből 668 db csiszolt kőeszközt (nyéllyukas baltát, kőfejszét, lapos baltát (laposvésőt), kaptafa alakú baltát és buzogányt) gyűjtötték be. A kőeszközök makroszkópos vizsgálatok alapján rendkívül változatos anyagúak, mélységi magmás, vulkáni, metamorf és üledékes kőzetek is nagy számmal fordulnak elő közöttük. Eddig részletes leírást, meghatározást és proveniencia vizsgálatokat csak a leletegyüttes nagyon kis részét kitevő, a Nyugati-Alpokból származó nagy nyomású metaofiolitokról (eklogit, Na-piroxenit, jadeitit) készítettek (Bendő et al. 2019). A makroszkópos vizsgálatok során számos fő kőzettípust (pl. mecseki típusú bazaltos kőzetek) és egyes kőzetek esetében akár altípusokat (pl. porfirmentes, ritkaporfíros és sokporfíros alkáli bazalt) is sikerült meghatározni. E tanulmányhoz nem a teljes leletanyagot használtuk fel, mivel a kőeszközök egy része jelenleg kiállítási tárgy és így nem vizsgálható. Mindezek mellett a vizsgálatok alól kivontuk azokat a kőeszközöket, amik nagyon töredékesek voltak, vagy bizonyos okokból (pl. erős mállottság, túl nagy porozitás, túl vastag utólagos bevonat) nem lehetett megmérni a térfogatukat. Az így szűkített mintahalmaz 467 db kőeszközt tartalmaz.

A 467 csiszolt kőeszköz közül több esetében (leginkább egyes, utólagos bevonattal rendelkező mintáknál, illetve a nagyon kis térfogatúaknál) a térfogat – és így a sűrűség – mérésének pontatlansága számottevő volt. Az ebből adódó nagyon kis sűrűség-adatokat ($< 2,3 \text{ g/cm}^3$) nem vettük figyelembe. Néhány esetben – feltételezhetően a kőzet repedéseibe beszivárgó víz révén – irreálisan kis térfogatot és nagy sűrűséget kaptunk. Az így nyert adatok ($> 3,2 \text{ g/cm}^3$) további felhasználásától szintén eltekintettünk. Az így szűrt, végleges mintahalmaz 411 eszközt tartalmaz.

Vizsgálati módszerek, eszközök

A kőzetek makroszkópos jellemzésénél, meghatározásánál a következő eszközöket, anyagokat használtuk: 10-szeres nagyítású lupe (kézi nagyító) a részletesebb szöveti-ásványtani vizsgálatokhoz, Nd-mágnes a kőzet ferromágneses ásványtartalmának kvalitatív meghatározására, sósav (10 m/m%) a karbonát tartalom kimutatására, desztillált víz a porozitás kvalitatív vizsgálatára.

A κ mágneses szuszceptibilitás (MS) méréseket a Satisgeo® Kappameter KM-7™ típusú készülékével végeztük, egy mintán három ismétléssel. A műszer érzékenysége 1×10^{-6} SI egység, méréstartomány $\pm 999 \times 10^{-3}$ SI egység, mérési frekvenciája 10 kHz, hőmérséklet szerinti mérési tartománya -20 – $+60^\circ\text{C}$. A méréseket megközelítőleg szobahőmérsékleten végeztük.

A kőeszközök tömegének meghatározásához 0,1 gramm érzékenységű labormérleget használtunk.

A minták térfogatának meghatározására a vízkiszorításos módszert alkalmaztuk. A vizsgált mintát hajszálvékony rézdróttal egy mérlegen álló, 15°C -os desztillált vízzel töltött edénybe lógattuk úgy, hogy sem a drót, sem a minta nem ért az edény falához. Amint a minta mozdulatlan volt, a mérleg által jelzett tömeget leolvastva megkaptuk a kőzet által kiszorított víz tömegét, amiből a víz sűrűsége alapján kiszámítható a kőeszköz térfogata.

A kőeszközök sűrűségét a térfogat és tömeg adatok hányadosaként származtattuk.

Az eredeti mért változók (mágneses szuszceptibilitás, tömeg, térfogat, sűrűség és magasság) összefüggéseit korrelációs hőtérkép segítségével jelenítettük meg. Az azok lineáris kapcsolatát leíró Pearson-féle korrelációs együttható (r) értékét, a kapcsolat monotonitását jellemző Spearman-féle korrelációs együtthatót (ρ) és az ezek szignifikanciáját megadó p értéket (Rodgers & Nicewander 1988, Schober et al. 2018), az R programkörnyezet (v. 4.3.1.) $\text{cor}()$ és $\text{cor.test}()$ függvényei segítségével határoztuk meg. Egy lineáris kapcsolatot az r érték függvényében $-0,3$ – $0,3$ között elhanyagolhatónak, $\pm 0,3$ – $0,5$ között gyengének, $\pm 0,5$ – $0,7$ között méréseltnek, $\pm 0,7$ – $0,9$ között erősnek,

$\pm 0,9-1$ között pedig nagyon erősnek értékelhetünk. Egy 0,05 alatti p érték 95%-os, míg egy 0,01 alatti p érték 99%-os megbízhatóságot jelez. Egy 0,05 fölötti p érték esetében 95%-os konfidencia szinten nem tudjuk elvetni azt a nullhipotézist, hogy a két változó kapcsolatát jellemző korrelációs együttható 0-val egyezik.

Az egyes közettípusok előbbi változók szerinti elkülöníthetőségének lehetőségét doboz- és bajuszdiagramok (McGill et al. 1978) alapján vizsgáltuk, melyeket a boxplot() függvénnyel készítettünk el. Kiugró értékek a dobozhatároktól (alsó és felső kvartilisek, Q_1 és Q_3) másfélszeres interkvartilis terjedelemnek megfelelő ráhagyáson kívül eső adatpontokat tekintjük. A bajszok az ezen belül található legutolsó valódi adatponthoz kerülnek. Az ábrákon a mediánt (Q_2) a dobozokon belüli vastag vonal jelöli. A doboz segítségével könnyen leolvashatjuk egy-egy adatsor esetében a legjellemzőbb értéket, a teljes és a nyesett terjedelmet (utóbbiban található az adatok középső 50%-a), valamint gyorsan eldönthetjük, hogy egy eloszlás szimmetrikus-e. A kiugró értékek jelenléte csak akkor ad okot további gondolkodásra, ha az adatainktól elvárható, hogy normális eloszlást kövessenek.

Az öt felsorolt változó alkotta többdimenziós tér ordinációját standardizált főkomponens elemzés révén állítottuk elő (Podani 1997, 2000, Joliffe 2002), melyhez az R prcomp() függvényét használtuk. Az így kapott, csökkentett dimenziószámú és mértékegység nélküli dimenziókkal rendelkező morfortér első három komponense (PC1-PC3) már az összvariancia 94%-át magyarázta, így ezekre vetítettük a különböző közettípusba tartozó kőbalták konvex burkológörbéit és az eredeti változókat reprezentáló vektorok végpontjait. A diagram segítségével feltárható az eredeti változók kapcsolata, valamint a különböző csoportok közötti különbségek mibenléte.

Eredmények

A kőszközöket előzetes vizsgálatok alapján (Szakmány et al. 2021, Sági et al. 2022a, 2022b, Sági 2023) 18 fő közettípusba soroltuk (aleurolit, amfibolit, andezit, bazaltos andezit, bazalt/bazaltoid, eklogit, fehérkő, homokkő, hornfels, kovakőzet, márga, mészkő, (kontakt) metabázis, metavulkanit, mikrogránit, nefrit, szerpentinit, szpikulit), melyek közül a legnépesebb csoportot, a bazaltok és bazaltoidok (s.l.) 8 nagyobb altípust fednek le (mecseki típusú alkáli kőzetek: bazalt/dolerit, fonolit1, fonolit2; mikrofoyait, Balaton-felvidéki típusú alkáli kőzetek: bazalt, dolerit; egyéb bazaltoidok: metadolerit, metagabbro).

Az egyes közettípusok megoszlását az **1. ábra** mutatja. Szembetűnő, hogy leginkább a fehérkő és a nefrit+eklogit esetében „vesztettünk” nagy arányban (40, illetve 50%) mintát a pontatlan térfogatmérés miatt. Ennek elsődleges oka, hogy az ezekből a kőzetekből készült kőszközök általában nagyon kis méretűek, ami megnöveli a térfogatmérés pontatlanságát. Más közettípusok esetében is ki kellett zárunk példányokat, de ez a „minta-vesztesség” nem jelentős mértékű.

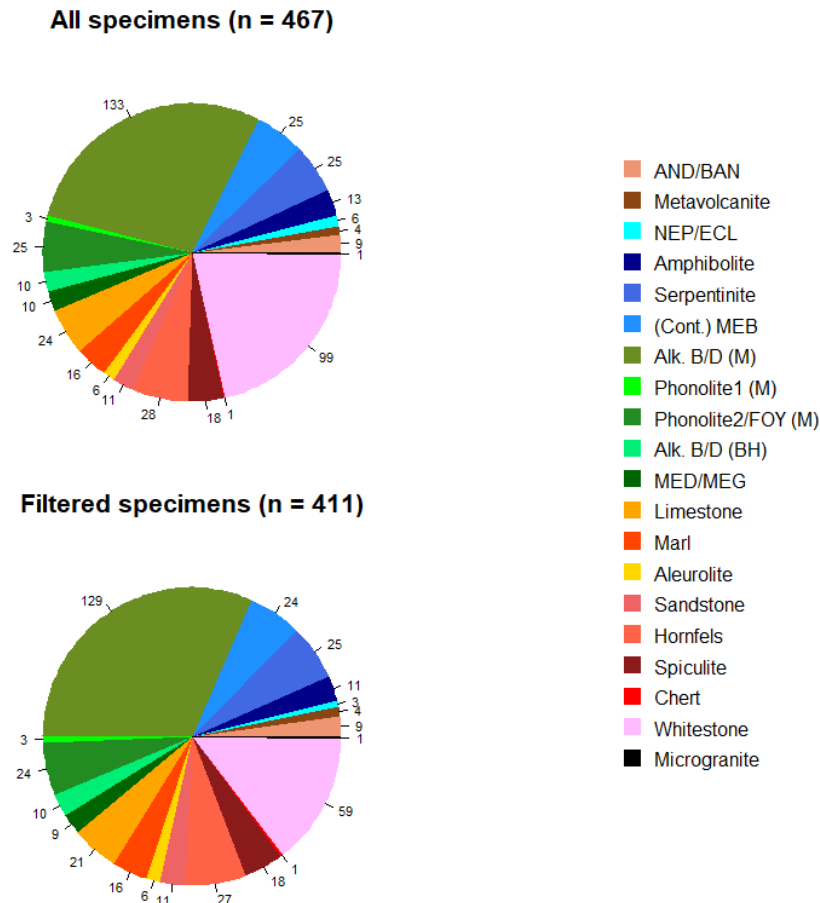
Az amfibolit esetében 15%-nak, a mészkő esetében pedig 12%-nak adódott, ugyanakkor a legtöbb esetben a térfogatmérés pontossága teljesen megbízhatónak bizonyult (pl. márga, szerpentinit, szpikulit). A kőszközökön mért paramétereket (mágneses szuszceptibilitás, tömeg, térfogat, sűrűség, valamint a minták magassága) a **2-4. ábra** foglalja össze.

Mágneses szuszceptibilitás (MS): Alig érzékelhető pozitív vagy negatív érték jellemzi a kőszközök legtöbb csoportját (13 típust). Kis és kis-közepes ($1-10$, illetve $1-50 \times 10^{-3}$ SI egység) értéket képvisel két-két kőzetcsoporthoz (nefrit-eklogit és metagabbro, metadolerit, valamint andezit/bazaltos andezit és Balaton-felvidéki bazaltok). Kis-közepes ($10-130 \times 10^{-3}$ SI egység) szintén kettő (mecseki alkáli bazaltok, doleritek, valamint a mikrofoyaitok és velük rokon fonolitok). A többi mintához képest feltűnően nagy értékkel ($30-460 \times 10^{-3}$ SI egység) egyetlen csoport, a szerpentinitek rendelkeznek.

Tömeg és térfogat: e két paraméter között nagyon erős pozitív lineáris kapcsolat áll fent ($r = 0,996$, $p < 0,01$). A közettípusok tömeg alapján való csoportosítása/elkülönülése így gyakorlatilag megegyezik a térfogat alapján létrehozhatóval. Dominánsan nagyon kis tömegűek ($1-50$ g) a mikrogránit, a kovakőzet, a fehérkő. Dominánsan kis tömegűek ($10-130$ g) az aleurolit, hornfels, szpikulit és a kőves-tetői fonolit (fonolit1). Közepes tömegűek (dominánsan $100-200$ g) az andezit, bazaltos andezit, nefrit, eklogit, mészkő, márga, valamint homokkő.

Nagy tömegűek (dominánsan $130-300$ g) a szerpentinit, a mecseki típusú alkáli bazalt/dolerit, valamint a mikrofoyaitok és velük rokon fonolitok. Kifejezetten tág tartományban ($10-300$ g) mozog a metavulkanit, amfibolit és metagabbro/metadolerit anyagú kőszközök tömege.

Sűrűség: kis sűrűségűek (dominánsan $2,4-2,6$ g/cm³) a mecseki kőves tetői fonolit és a feltehetően szintén mecseki eredetű mikrogránit.



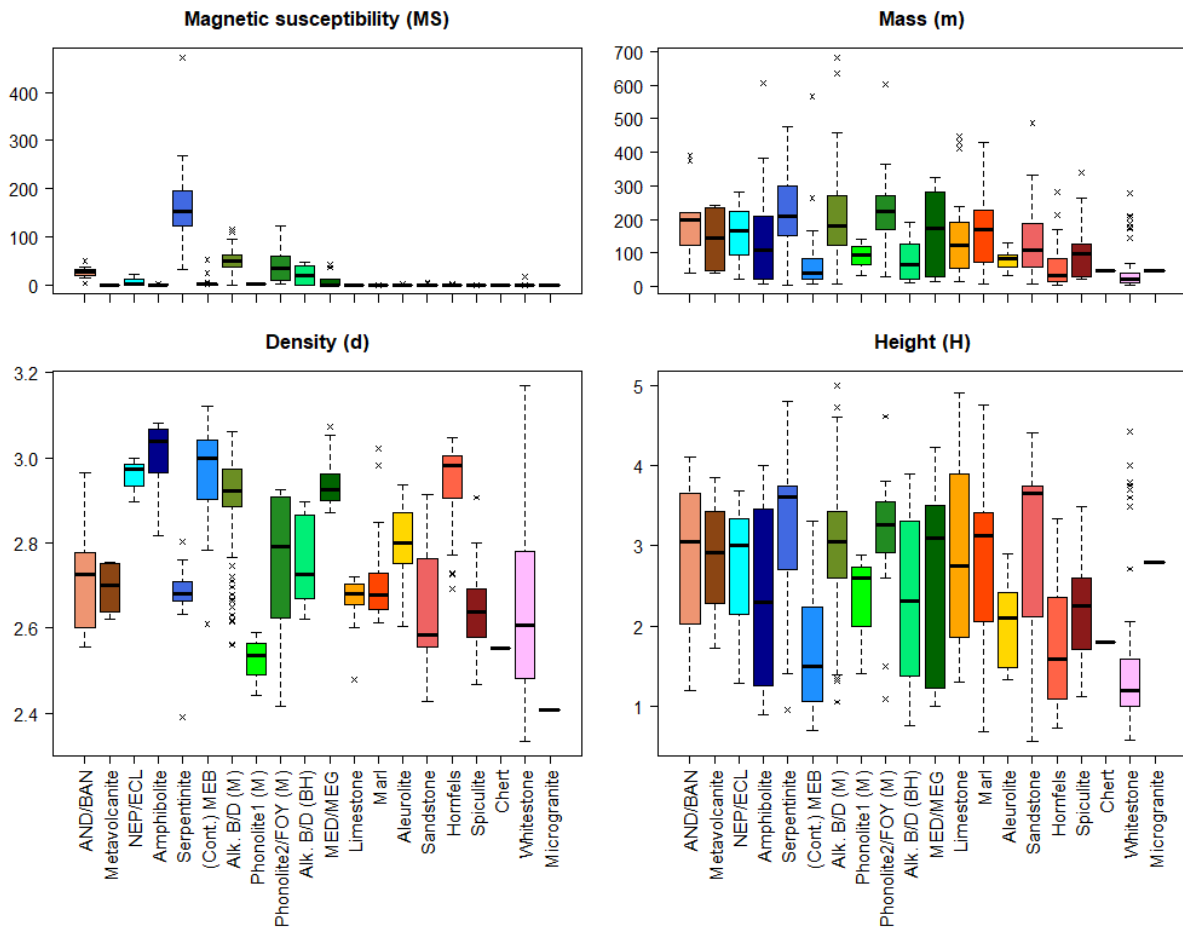
1. ábra: A felső tortadiagram a kőzettípusok megoszlását mutatja be a vizsgált mintában. Az alsó ábrán már csak azok a 2,3 és 3,2 g/cm³ közötti sűrűségű példányok szerepelnek, amiket felhasználtunk a főkomponens analízis során. Az adott csoportokba tartozó kőbalták pontos darabszámát az egyes szeletek peremén tüntettük fel. A körcikkek sorrendje a további ábrákon szereplő csoportosítás logikáját követi. Rövidítések: Alk.: alkáli; AND: andezit; B: bazalt/bazaltoid; BAN: bazaltos andezit; BH: Balaton-felvidék; Cont.: kontakt; D: dolerit; ECL: eklogit; FOY: mikrofoyait; M: Mecsek; MEB: metabázit; MED: metadolerit; MEG: metagabbro; NEP: nefrit.

Fig. 1.: Pie chart depicting the distribution of rock types in the studied sample (above). Only specimens with a density between 2.3 and 3.2 g/cm³ (below) were used later in the principal component analysis. The exact number of artefacts within a group is indicated at the edge of each slice. The order of the circular sectors follows the grouping used on the rest of the figures. Abbreviations: Alk.: alkaline; AND: andesite; B: basalt/basaltoids; BAN: basaltic andesite; BH: Balaton Highlands; Cont.: contact; D: dolerite; ECL: eclogite; FOY: microfoyaite; M: Mecsek Mountains; MEB: metabasite; MED: metadolerite; MEG: metagabbro; NEP: nephrite.

Közepes sűrűség-tartományba (dominánsan 2,6–2,9 g/cm³) esik a legtöbb kőzettípus: andezit, bazaltos andezit, metavulkanit, serpentinit, számár-hegyi fonolit (fonolit2) és mikrofoyait, Balaton-felvidéki alkáli bazalt és dolerit, mészkő, márga, aleurolit, szpikulit. Nagy sűrűségűek (dominánsan 2,9–3,1 g/cm³) a nefrit, eklogit, amfibolit, (kontakt) metabázit, mecseki típusú alkáli bazalt/dolerit, metadolerit/metagabbro és a hornfels. A fehérkő tág sűrűség-tartományt fed le. A minták középső 50%-a kis-közepes sűrűségű (2,5–2,8 g/cm³), de ebbe a csoportba tartozik a teljes

mintát tekintve legkisebb és legnagyobb sűrűséggel jellemezhető kőbalt is.

Magasság: kis magasságúak (1–2 cm) a kova-kőzetből és a fehérkőből készült kőeszközök, kis-közepes magasságúak (1–2,5 cm) a (kontakt) metabázitból, hornfelsből, aleurolitból és szpikulitból készültek. Nagy magasságú (2–4 cm) az eszközök többsége (10 típus). Nagyon tág határok közötti (1–4 cm) az amfibolit, Balaton-felvidéki alkáli bazalt és dolerit, valamint metadolerit, metagabbro anyagú kőeszközök magassága.



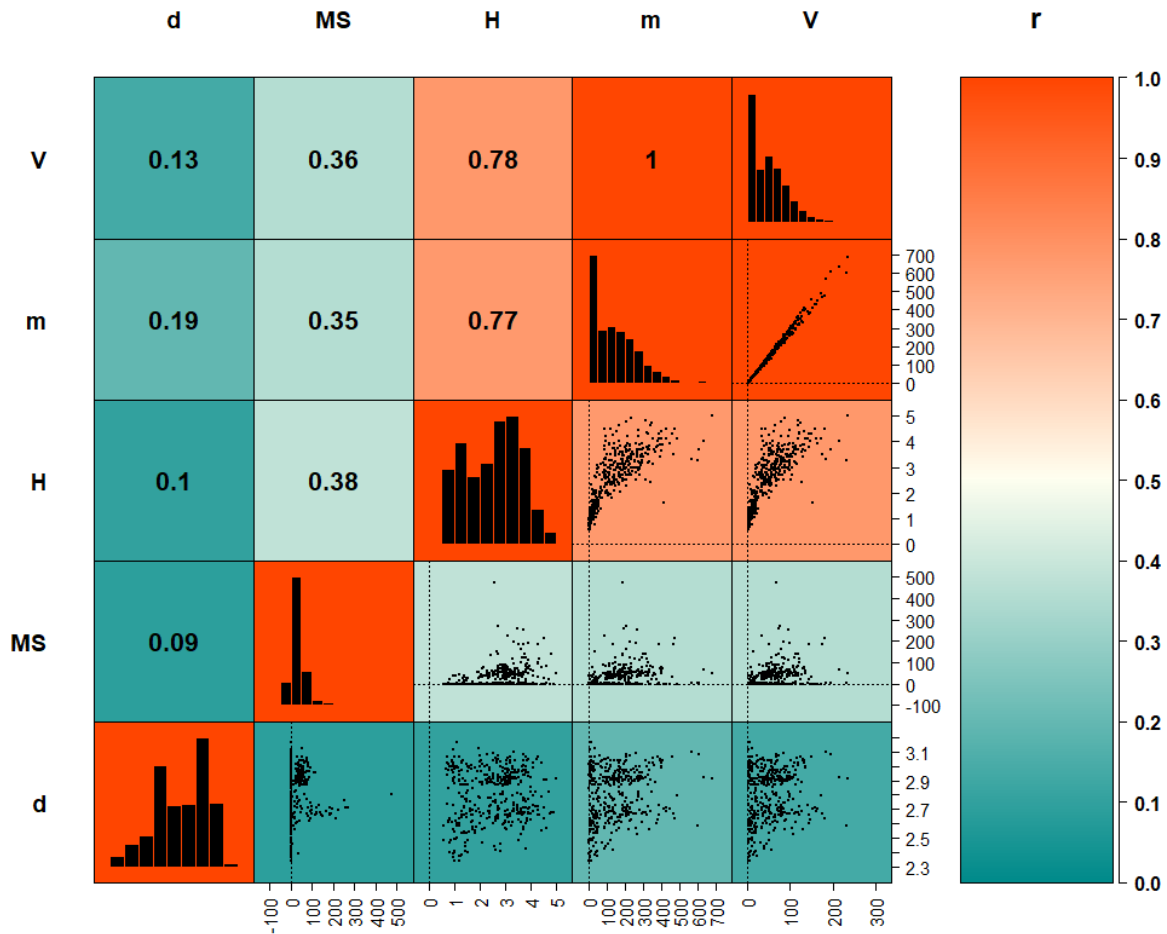
2. ábra: A kőbalták mágneses szuszceptibilitásának (10^{-3} SI egység), tömegének (g), sűrűségének (g/cm^3) és magasságának (cm) köztípusonkénti dobozdiagramjai. A térfogatot, mivel az erős pozitív lineáris korrelációban van a tömeggel, itt nem ábrázoltuk külön. Rövidítések: Alk.: alkáli; AND: andezit; B: bazalt/bazaltoid; BAN: bazaltos andezit; BH: Balaton-felvidék; Cont.: kontakt; D: dolerit; ECL: eklogit; FOY: mikrofoyait; M: Mecsek; MEB: metabázit; MED: metadolerit; MEG: metagabbro; NEP: nefrit.

Fig. 2.: Box and whiskers plots of the magnetic susceptibility (10^{-3} SI unit), mass (g), density (g/cm^3) and height (cm) of the artefacts by rock types. Volume is not depicted here due to its strong positive linear correlation with mass. Abbreviations: Alk.: alkaline; AND: andesite; B: basalt/basaltoids; BAN: basaltic andesite; BH: Balaton Highlands; Cont.: contact; D: dolerite; ECL: eclogite; FOY: microfoyaite; M: Mecsek Mountains; MEB: metasite; MED: metadolerite; MEG: metagabbro; NEP: nephrite.

A csiszolt kőeszközök egyszerű műszerrel mérhető paramétereik közül a tömeg és a térfogat nagyon erős ($r = 0,996$, $p < 0,01$), a magasság és térfogat ($r = 0,775$, $p < 0,01$), valamint a magasság és tömeg ($r = 0,768$, $p < 0,01$) erős pozitív lineáris korrelációt mutat. Ugyanakkor utóbbi két esetben a Spearman-féle korrelációs együtthatók némileg magasabb értékei ($\rho = 0,845$, $p < 0,01$, illetve $\rho = 0,850$, $p < 0,01$) jelzik, hogy köztük monoton, de nem feltétlen lineáris kapcsolat áll fenn. Ez érthető, hiszen egy méretdimenzióhoz képest a térfogat köbösen változik, a tömeg pedig, mint azt az imént láttuk, itt utóbbival hasonlóan viselkedik.

Az összes többi lehetséges paraméterpárosítás esetében gyenge ($r = 0,3-0,4$) vagy elhanyagolható ($r = 0-0,3$) lineáris kapcsolatot mutató Pearson-féle együtthatót kaptunk (**3. ábra**).

A mért változók eloszlása gyakran multimodális (lásd pl. sűrűség és magasság; **3. ábra**), de ez nem meglepő, hiszen több különböző csoportból (tárgy-típus, köztípus, lelőhely) a megtalálási valószínűségük szerint kerültek a mintába példányok, vagyis a teljes minta egyben kezelve inhomogén. A többszűcsűség kiküszöbölhető, ha a mintát csoportokra bontva kezeljük. Ekkor általában jobbra ferde eloszlásokat kapunk, de ez már néhány eredeti változó (mint a mágneses szuszceptibilitás, a tömeg és a térfogat) esetében eleve szembevetendő (**3. ábra**).

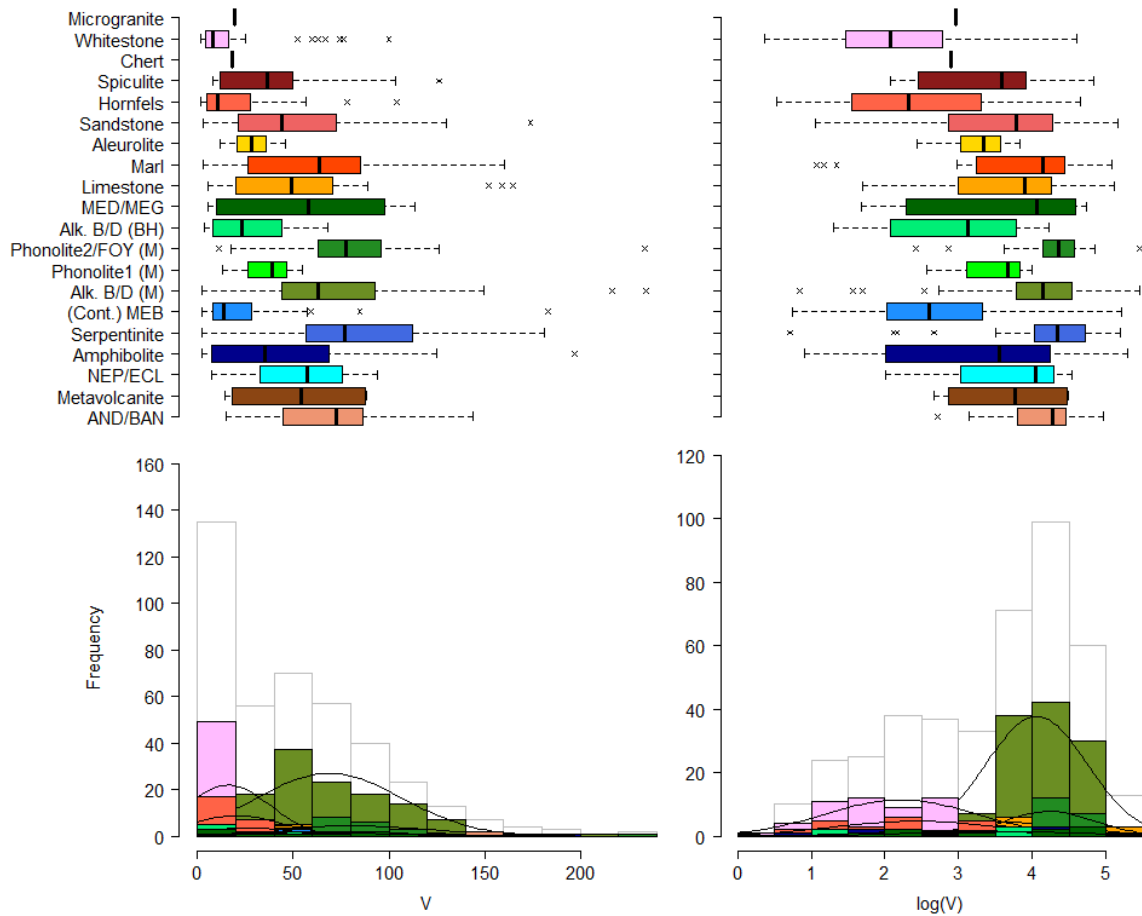


3. ábra: A mért változók korrelációs hő térképe. A lineárisan korrelálatlan változókat kék, míg az erős pozitív korrelációt piros szín jelöli. Az egyes változópárok kapcsolatát leíró Pearson-féle korrelációs együtthatók a bal felső térfélen, míg azok pontfelhődiagramjai a jobb alsó térfélen kerültek elhelyezésre. A változók eloszlását jellemző histogramok az átlóban láthatók. Rövidítések: d: sűrűség (g/cm^3); H: magasság (cm); MS: mágneses szuszceptibilitás (10^{-3} SI egység); m: tömeg (g); r: Pearson-féle korrelációs együttható; V: térfogat (cm^3).

Fig. 3.: Correlation heatmap of the measured variables. The lack of a linear correlation is indicated by blue, while a strong positive correlation is indicated by red colour. Pearson correlation coefficients of specific variable pairs are given in the upper left half and their corresponding scatterplots are depicted in the lower right half. Histograms of the variables are shown in the diagonal. Abbreviations: d: density (g/cm^3); H: height (cm); MS: magnetic susceptibility (10^{-3} SI unit); m: mass (g); r: Pearson correlation coefficient; V: volume (cm^3).

Ez sem szokatlan, hiszen a természetben a független additív hatásokra igen gyakran normális eloszlás jön létre, míg multiplikatív hatások következtében a jobbra ferde, lognormális eloszlások sem ritkák (Gaddum 1945, Koch 1966, 1969, Limpert et al. 2001, Grönholm & Annila 2007). Hasonló eloszlásokat eredményez az is, ha egy változó lehetséges értékei balról korlátosak (például tömegük és térfogatuk nem lehet kisebb, mint 0), de jobbról nem, hiszen elméletben egyes változók bármilyen nagy értéket felvehetnek. Hozzáteve, hogy a lehetséges maximumot a gyakorlatban számos tényező (praktikus megfontolások és a nyersanyagként szolgáló közettöredékek mérete) korlátozza, így a nagyobb méretű példányok

értelemszerűen egyre ritkábbak lesznek. A ferdeség többé-kevésbé kiküszöbölhető, ha a kérdéses változókat logaritmusos skálán jelenítjük meg. Ekkor minden egyes csoport esetében unimodális, a normálhoz jóval közelebb álló eloszlásokat kapunk (lásd a térfogat példáján a **4. ábrán**). Így egyrészt igazolható az eredeti eloszlások lognormalitása, hiszen a transzformáció utáni értékek már alávethetők normalitás-vizsgálatnak (akár parametrikusan, akár pedig vizuálisan, egy egyszerű kvantilis-kvantilis ábra segítségével). Másrészt számos statisztikai vizsgálat eleve megköveteli a bemenő adatok normalitását, ami a transzformáció révén közelíthető, amennyiben szükséges.

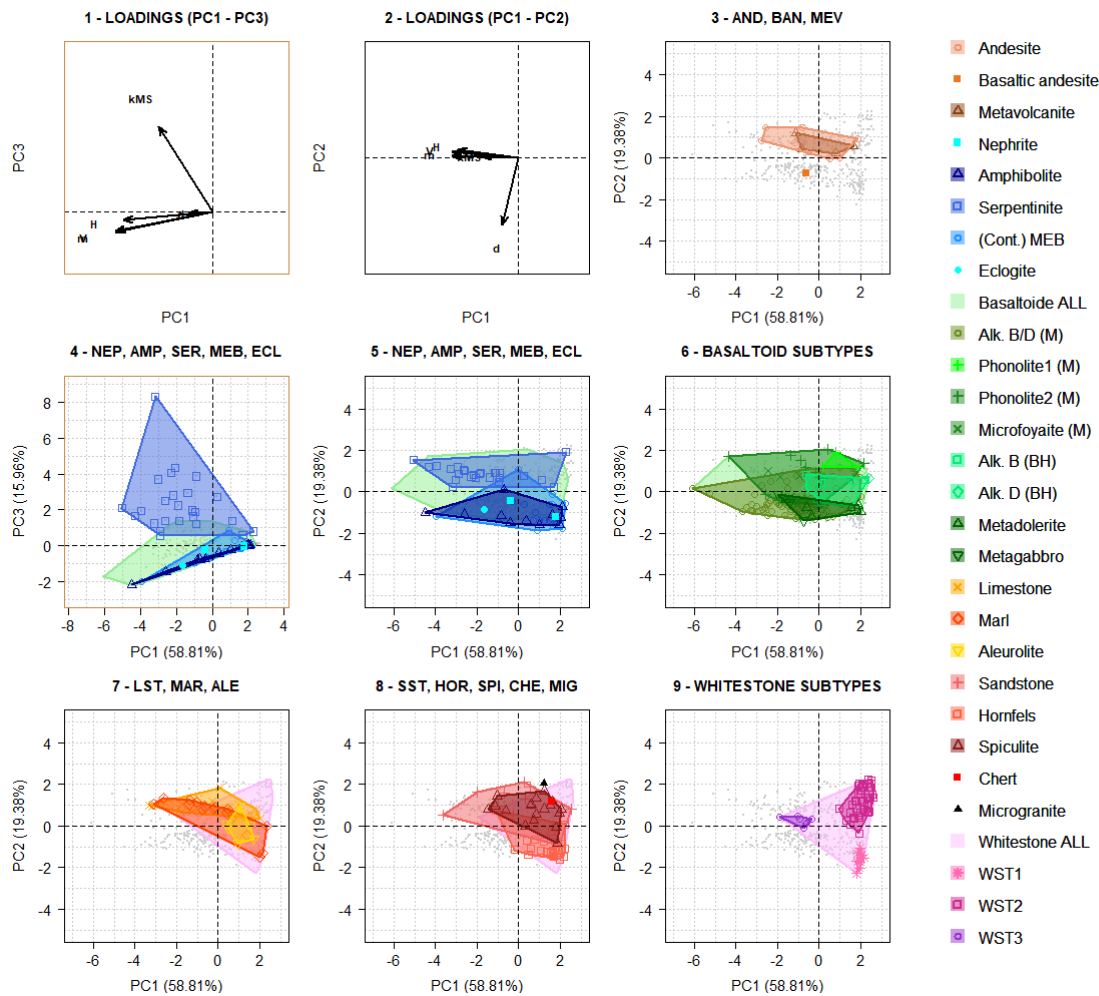


4. ábra: A kőbalták térfogatának (cm³) dobozdiagramja és tapasztalati sűrűségfüggvénye csoportonkénti bontásban (balra) és ugyanez logaritmusos transzformáció után (jobbra).

Fig. 4.: Box and whiskers plots and histograms of the volume (cm³) of the artefacts by rock type (left) and the same based on log-transformed data (right).

A 2. és 4. ábrán látható, hogy az egyes paramétereket tekintve a dobozdiagramok jelentősen átfednek egymással, így nem lehet egyértelműen kőzetcsoportokat elkülöníteni. Ennek ellenére a magasság és tömeg, valamint a magasság és térfogat pontfelhő diagramok (3. ábra) alapján feltételezhető, hogy a kőeszközök tömegének és térfogatának nagyobb magasság felé történő szétseprűződése különböző nyersanyag típusokra jellemző, egymástól némileg eltérő exponenciális trendek jelenlétére vezethető vissza. Megállapítható továbbá, hogy a kis mágneses szuszeptibilitású kőbalták (MS < 20 × 10⁻³ SI egység) sűrűsége igen széles skálán mozog, míg a nagyobb MS értékekkel rendelkező kőbalták sűrűség szerint két (2,7, illetve 3,0 g/cm³ körüli átlagú) fő csoportra oszthatók. Ez utóbbi csoportok azonban nem minden esetben mutatnak jó egyezést az egyes kőzet típusokra illeszthető konvex burkológörbékkel.

A mért változók (tömeg, térfogat, sűrűség, magasság, mágneses szuszeptibilitás) által képzett többdimenziós teret főkomponens analízis (PCA) segítségével két érdemi változóra redukáltuk. Az így kapott főtengek az eredeti változók lineáris rekombinációjaként értelmezhetők (mértékegységük nincsen) és csökkenő mértékben felelnek az adatfelhőben rejlő változékonyságért. A kapott főtengek közül az első (PC1) a teljes variancia közel 59%-át, a második (PC2) 19%-át míg a harmadik (PC3) 16%-át magyarázza. Ha az eredeti változókat bevetítjük az új főtengek által képzett síkokba, akkor leolvashatjuk, mi okozza az adatpontok elkülönülését és szétterjedését egy adott tengely mentén. Így hoztuk létre az 5. ábra első sorában található 1)-es és 2)-es diagramot is. Minél hosszabb és minél kisebb szöget zár be egy adott vetületi vektor az adott tengellyel, annál fontosabb szerepet játszik az adott tengely létrehozásában. Az eredeti változó értéke a nyíl irányában növekszik, ellentétes irányban pedig csökken.



5. ábra: A mért változók főkomponens elemzése révén készített ordinációjának eredményei a változók vektorainak PC1-PC2, valamint PC1-PC3 síkokra eső vetületeinek feltüntetésével. A különböző színű sokszögek az egyes közettípusok konvex burkológörbéinek felelnek meg. Rövidítések: ALE: aleurolit; Alk.: alkáli; AMP: amfibolit; AND: andezit; B: bazalt/bazaltoid; BAND: bazaltos andezit; BH: Balaton-felvidék; CHE: kova; Cont.: kontakt; D: dolerit; ECL: eklogit; FOY: mikrofoyaite; HOR: hornfels; LST: mészkő; M: Mecsek; MAR: márga; MEB: metabázit; MED: metadolerit; MEG: metagabbro; MEV: metavulkanit; MIG: mikrogránit; NEP: nefrit; SER: szerpentin; SPI: szpikulit; SST: homokkő; WST: fehérkő.

Fig. 5.: Ordination made by principal component analysis (PCA) of the measured variables. Loading plots are given for PC1-PC2 and PC1-PC3. Shaded polygons represent the convex hulls of different rock types. Abbreviations: ALE: aleurolite; Alk.: alkaline; AMP: amphibolite; AND: andesite; B: basalt/basaltoids; BAND: basaltic andesite; BH: Balaton Highlands; CHE: chert; Cont.: contact; D: dolerite; ECL: eclogite; FOY: microfoyaite; HOR: hornfels; LST: limestone; M: Mecsek Mountains; MAR: marl; MEB: metabasite; MED: metadolerite; MEG: metagabbro; MEV: metavolcanite; MIG: microgranite; NEP: nephrite; SER: serpentinite; SPI: spiculite; SST: sandstone; WST: whitestone.

Az **5. ábráról** leolvasható, hogy az eredeti változók közül a magasság, a térfogat és a tömeg nagyjából az első főtengety, a sűrűség pedig a második főtengety negatív irányában növekszik. A harmadik főtengety menti variancia kialakulásáért legnagyobb mértékben a mágneses szuszceptibilitás tehető felelőssé, ami ennek pozitív irányba felé növekszik. Ugyanakkor már jelentősebb szögeltérése van a PC3-as tengelytől, így kisebb részben a PC1 negatív irányához is hozzáad.

A **5. ábrán** az egyes közettípusokat kémiai és modális összetételük különbségei alapján tüntettük fel. A diagramok a bal felső saroktól soronként jobbra haladva az alábbiak: 3) andezit, bazaltos andezit, metavulkanit; 4-6) bazaltoidok, metabázitok, metaultrabázitok; 7) mészkő, márga, aleurolit; 8) homokkő, hornfels, kovakőzet, szpikulit, mikrogránit, 9) fehérkő. Az összes mintapontot minden előbbi ábra háttérben halványzürkével tüntettük fel.

A PC3-as tengely kiemelten hasznosnak bizonyul, ha a nagy mágneseles szuszceptibilitás értékekkel rendelkező szerpentinitet szeretnénk elkülöníteni (a többi metabázittól-metaultrabázittól és a bazaltoidoktól (**5. ábra, 4. diagram**)). Szintén többé-kevésbé jól elkülönülő csoportokat kapunk, amennyiben a bazaltoidokat (s.l.) külön altípusok szerint ábrázoljuk (**5. ábra, 6. diagram**). A mecseki típusú bazaltok és doleritek többnyire nagyobb sűrűségűek, mint a számár-hegyi fonolitok és az összes mecseki mikrofoyait, így utóbbiaktól a PC2-es tengely mentén viszonylag jól, kis átfedéssel különülnek el. A mecseki, köves-tetői fonolit-típusba tartozó minták főként kisebb méretűek miatt a PC1-es tengelyen a pozitív irányba tolnak a számár-hegyi típusú mintákhoz képest. A Balaton-felvidéki bazaltok, doleritek nagyjából azonos értékeket vesznek fel a PC1-es tengely mentén, mint a köves-tetői fonolit csoportba tartozó kőbalták, utóbbiaknál alacsonyabb sűrűségük miatt azonban a PC2-es tengely negatív irány felé tolnak. Velük összevetve a mecseki bazaltok, doleritek gyakran nagyobbak és nehezebbek, ezáltal pedig a PC1-es tengely mentén nagyobb a csoport varianciája is.

A mészkövek, márgák és aleuritok között túl nagy az átfedés (**5. ábra, 7. diagram**), így azokat nem lehet egymástól jól elkülöníteni a vizsgált paraméterek segítségével. Ez természetesen következik abból, hogy mind sűrűség, mind mágnesezhető ásványtartalom alapján nagyon hasonló kőzetekről van szó. A leghomogénebb csoportot az aleuritok képezik, hozzátéve, hogy igen kis mintaméretűről van szó. A mészkő a márgához képest némileg kisebb sűrűsége miatt a PC1-es tengely pozitív irányba felé tolik. A fehérekő anyagú balták (részletezve lásd az **5. ábra 9. diagramján**) nagyméretű, közepes sűrűségű 3-as alcsoportja jelentős átfedést mutat a márgával, ugyanakkor nagy sűrűségű 1-es és kis sűrűségű 2-es alcsoportja mindhárom itt tárgyalt kőzettípustól eltér. Ezeket az altípusokat azonban a többi tárgyalt csoporttól eltérően nem könnyen megfigyelhető kőzettani jellegeik alapján, hanem a kapott PCA ordináció tengelyei menti koordinátaik hierarchikus klaszterelemzése (Podani 1997, 2000) révén kaptuk. Az R programkörnyezet hclust() függvénye segítségével kapott fát a cutree() parancs segítségével 3 csoportra vágtuk. Ezt a lépést fehérekővek burkológörbéjében belüli, szemmel látható adatsűrűsödések tették szükségessé.

A szpikulitok és a homokkővek (**5. ábra, 8. diagram**) csoportja átfedésben van, ami a nagyméretű modális és kémiai összetételbeli hasonlóságuknak tudható be. A hornfels anyagú kőszközök döntő többsége élesen elkülönül. Kisebb átfedést mutat a fehérekővek nagyobb sűrűségű csoportjaival. A mikrogránit és a kovakőzet egy-egy mintát jelent, így róluk érdemi

következtetést nem lehet levonni. A két meglévő minta a homokkővek területére esik, ami összhangban van a modális és ásványos összetételükkel.

Következtetések

Csiszolt kőszközök egyszerű műszerrel mérhető paraméterei (sűrűség, mágneseles szuszceptibilitás) alapján egyedi kőzettípusok elkülönítése csak limitáltan lehetséges. Ennek oka, hogy az egyes kőzettípusok között sűrűség és mágneseles szuszceptibilitás szerint nem csak az azonos kőzetcsaládba (pl. bazaltoidok) tartozó minták esetében fordul elő folyamatos átmenet. Az MS és sűrűség értékeik szerint vizuálisan elkülönülő csoportok nem feltétlenül fednek át a valós kőzettani csoportokkal. Az egyetlen biztos kivételt a szerpentinitek jelentik, amelyeket a nagyobb MS értékük alapján jól el lehet különíteni a többi kőzettől (**5. ábra, 4. diagram**). Habár makroszkóposan a legtöbb szerpentinit könnyen felismerhető, a mágneseles szuszceptibilitás bizonyos esetekben döntő tényező lehet a határozásuk során. Ezen felül az általunk készített PCA ordináció a szerpentinitek jól elkülöníthetők a többi metabázittól és metaultrabázittól (**5. ábra, 5. diagram**) is.

A leggyakoribb nyersanyagok a bazaltos (s.l.) kőzetek, azaz az alkáli bazalt, dolerit, metadolerit, gabbró, valamint a fonolit és a mikrofoyait is. Ezek több kisebb, részben átfedő halmaza egy nagy csoportta olvad össze a morfotérben. Külön ábrázolás azonban segíthet a makroszkópos kőzet-határozás során felmerülő bizonytalanságok tisztázásában. A különböző vulkáni területekre jellemző bazaltok (pl. Mecsek – Balaton-felvidék) egymástól kis átfedéstől eltekintve jól elkülönülnek a PC1-es tengely mentén. Egy adott vulkáni terület folyamatos sorozatot képező kőzetei (pl. mecseki bazaltok és fonolitok/mikrofoyaitok) mérsékelt átfedés mellett átmenetet mutatnak a PC2-es tengely mentén (**5. ábra, 6. diagram**). Utóbbi esetben az átmeneti részbe eső kőzetek a makroszkópos határozás alapján doleritek/mikrogabbrók, valamint telérkőzetek, amelyek gyakran geokémiai és modális összetételük szerint valóban átmeneti típust képeznek a jól megkülönböztethető bazaltok és fonolitok között.

A törmelékeny üledékes és kontakt metamorf kőzetek nagy átfedése a morfotérben (**5. ábra, 7-8. diagram**) megerősíti a makroszkópos kőzet-határozást, mivel ezeknek eleve hasonló a modális és kémiai összetételük.

A második leggyakoribb nyersanyag, a változatos eredetű és összetételű fehérekő esetében különösen hasznosnak bizonyult a mért paraméterek szerinti vizsgálat. Ezek a PC1-PC2 síkban három jól elkülönülő klasztert képeznek (**5. ábra, 9. diagram**). Ezek közül az első egy kis méretű (tömegű, térfogatú és magasságú), nagy sűrűségű csoport (a), a második egy kis méretű kis sűrűségű

együttes (b), míg a harmadik egy nagy méretű, közepes sűrűségű alminta (c).

4a. A nagy sűrűségű fehérekővek makroszkópos kőzetleírása során gyakran alkalmaztuk a „tisza fehér”, „sima”, „tömör” jelzőket. Anyaguk – sűrűségük alapján – legvalószínűbben kis kovartartalmú, magnezit-gazdag kőzetek.

4b. A kis sűrűségű fehérekő eszközök leírásakor a „tufitos jellegű”, „porózus” „sárgás-fehér” jelzők fordulnak elő leggyakrabban. Az ebbe a csoportba tartozó kőbalták valószínűleg kovás összetételűek vagy tufitos eredetűek, származási területük feltehetően az előbbi klasztertől eltérő.

4c. A fehérekővek között a legnagyobb (6×10^3 SI egység feletti) mágneses szuszceptibilitású kőeszköz egykori szerpentinít magnetit/krómspinell zárványait tartalmazza, ami megmagyarázza a csoporton belül kiugrónak számító MS értéket. Feltehetően a vele egy klasztert alkotó, viszonylag nagy MS értékkel rendelkező kőeszközök is hasonló anyagúak, csak a felszínükön nem észrevehető az opak ásványok, mert nagyon kicsik és valószínűleg kisebb mennyiségben vannak jelen. Közös eredetük azonban feltételezhető.

Összegzés

A csiszolt kőeszközök egyszerű mérési módszerekkel meghatározható paramétereink (tömeg, térfogat, sűrűség, mágneses szuszceptibilitás, magasság vagy valamilyen más méret-dimenzio) alapuló főkomponens analízist már a mérsékelt petrográfiai ismeretekkel rendelkező kutatók is alkalmazhatják az újonnan előkerült kőbalták nyersanyagának csoportosításához és azonosításához.

A módszer segítségével validálni lehetett az előzetesen (némi szubjektivitással terhelt) makroszkópos kőzetleírás révén azonosított nyersanyagcsoportokat. A főkomponens alapú ordináció további jelentősége, hogy lehetővé teszi a makroszkóposan egy nagy kőzetcsaládba eső minták (lásd pl. fehérekővek) további felosztását. Emellett segíthet a látszólag átmeneti jellegekkel rendelkező kőzetek csoportokba sorolásában. Egy adott kőzettípushoz makroszkóposan hasonló, de néhány szempont alapján kiugró értéket mutató minták esetében pedig felhívhatja a figyelmet az előzetes határozás bizonytalanságaira.

A módszer legnagyobb gyengeségének a kisméretű kőeszközök esetében a térfogat (és sűrűség) mérésének pontatlansága bizonyult. Precízebb térfogatméréssel ez a hiba kiszűrhető, ugyanakkor sajnos bizonyos (nagyon porózus, mállékony, repezett) kőzetek alkalmazatlanok a tanulmányban leírt térfogatmérésre, továbbá a kőeszközökön lévő felszíni bevonat is torzíthat az eredményeken.

Szerzők tudományos közreműködése

Sági Tamás Eredeti tudományos koncepció, Kutatásvezetés, Értelmezés, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Mérések irányítása. **Józsa Sándor** Makroszkópos kőzethatározás, Javított kézirat. **Janka Péter** Kőeszközök tömeg és térfogatmérése. **Káposztás Viktória** Adatbázis építés. **Oelberg-Pánczél Emese** Kőeszközök méret-paramétereinek és mágneses szuszceptibilitásának meghatározása. **Szendrei Zsolt** Kőeszközök méret-paramétereinek és mágneses szuszceptibilitásának meghatározása. **Szücs Levente Csaba** Kőeszközök mágneses szuszceptibilitásának meghatározása. **Virág Attila** Adatelemzés, Vizualizáció, Értelmezés, Eredeti kézirat, Javított kézirat.

Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretnénk köszönetünket kifejezni Szakmány Györgynek, akinek a munkája nélkül a cikk nem készült volna el. Köszönjük a segítséget a kőeszközök közzétani meghatározásánál Fehér Kristófnak, Oláh Istvánnak, Szilágyi Veronikának. A mintákhoz való hozzáférést és a vizsgálatokhoz szükséges labort Osztás Anett és Marton Tibor biztosította. A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott K-131814 számú pályázat (tv. Kasztovszky Zsolt), illetve az ÚNKP-22-4-II-ELTE-491 pályázat (tv. Sági Tamás) támogatásával készült. Köszönjük két bírálónk, T. Biró Katalin és Bradák Balázs hasznos észrevételeit. Végül, de nem utolsó sorban pedig köszönjük a kötet szerkesztői, Ilon Gábor, T. Biró Katalin és Szilágyi Veronika munkáját, a határidők terén mutatott rugalmasságát és természetesen a lehetőséget, hogy csatlakozhattunk az Archeometriai Műhely e különleges számának szerzőihez.

Irodalom

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., T. BIRÓ, K., OLÁH, I., OSZTÁS, A., HARSÁNYI, I. & SZILÁGYI, V. (2019): High pressure metaophiolite polished stone implements found in Hungary. *Documenta Praehistorica* **39** 377–396.

<https://doi.org/10.1007/s12520-018-0618-6>

GADDUM, J.H. (1945): Lognormal distributions. *Nature* **156** 463–466.

<https://doi.org/10.1038/156463a0>

GRÖNHOLM, T. & ANNILA, A. (2001): Natural distribution. *Mathematical Biosciences* **210** 659–667. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2007.07.004>



JOLIFFE, I.T. (2002): Principal Component Analysis. (Second Edition) *Springer Series in Statistics, Springer New York*, p. 488.

<https://doi.org/10.1007/b98835>

- KOCH, A.L. (1966): The logarithm in biology. 1. Mechanisms generating the log-normal distribution exactly. *Journal of Theoretical Biology* **12** 276–290. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90119-6](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90119-6)
- KOCH, A.L. (1969): The logarithm in biology. 2. Distributions simulating the log-normal. *Journal of Theoretical Biology* **23** 251–268. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(69\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0022-5193(69)90040-X)
- LIMPERT, E., STAHEL, W.A. & ABBT, M. (2001): Log-normal distributions across the sciences: keys and clues. *BioScience* **51/5** 341–352. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0341:LNDATS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0341:LNDATS]2.0.CO;2)
- MCGILL, R., TUKEY, J.W. & LARSEN, W.A. (1978): Variations of Box Plots. *The American Statistician* **32/1** 12–16. <https://doi.org/10.2307/2683468>
- OSZTÁS, A., ZALAI-GAÁL, I. & BÁNFFY, E. (2012): Alsónyék-Bátaszék: a new chapter in the research of Lengyel culture. *Archaeological and Anthropological Sciences* **11** 1643–1667. <https://doi.org/10.4312/dp.39.27>
- PODANI, J. (1997): *Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe*. Scientia Kiadó, Budapest, p. 412. ISBN 963-8326-06-9
- PODANI, J. (2000): *Introduction to the Exploration of Multivariate Biological Data*. Backhuys Publishers, Leiden, p. 407. ISBN 90-5782-067-6
- RODGERS, J.L. & NICEWANDER, W.A. (1988): Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician* **42/1** 59–66. <https://doi.org/10.1080/00031305.1988.10475524>
- SÁGI, T. (2023): A Bátaszék-Alsónyék késő neolitikus településről származó csiszolt kőeszközök nyersanyagának provenienciavizsgálata. In: *ELTE Intézményi ÚNKP konferencia Absztrakt kötet*. Budapest, p. 276.
- SÁGI, T., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., SZILÁGYI, V., FEHÉR, K., OLÁH, I. & OSZTÁS, A. (2022a): Mecseki eredetű csiszolt kőeszközök a Bátaszék-Alsónyék késő neolitikus településről. In: Király, Attila (szerk.) *12. Kőkor Kerekasztal. Programfüzet*. Budapest, 20–21.
- SÁGI, T., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., SZILÁGYI, V., FEHÉR, K., OLÁH, I. & OSZTÁS, A. (2022b): Polished stone tools from the Bátaszék-Alsónyék Neolithic settlement (Hungary). In: MILOGLAV, Ina szerk., *10. Conference on Methodology and Archaeometry. Book of Abstracts. Zagreb*, p. 44. ISBN 978-953-379-040-4
- SCHOBER, P., BOER, C. & SCHWARTE, L.A. (2018): Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia* **126/5** pp. 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- SZAKMÁNY, Gy., SÁGI, T., JÓZSA, S., SZILÁGYI, V., OLÁH, I., SZILÁGYI, K. & OSZTÁS, A. (2021): Előzetes eredmények Alsónyék neolitikus csiszolt kőeszközeinek nyersanyagairól. In: MESTER, Zs.; KIRÁLY, A. & LENGYEL, Gy. szerk., *11. Kőkor Kerekasztal. Programfüzet*. Budapest, 19–20.

HEAVY MINERAL CATALOGUE FOR THE CHARACTERIZATION AND PROVENANCE OF RED SANDSTONE MACROLITHIC TOOLS FROM HÓDMEZŐVÁSÁRHELY-GORZSA

HÓDMEZŐVÁSÁRHELY-GORZSA LELŐHELYRŐL SZÁRMAZÓ VÖRÖS HOMOKKŐ SZERSZÁMKÖVEK OSZTÁLYOZÁSÁRA ÉS PROVENIENCIA MEGHATÁROZÁSÁRA ALKALMAZOTT NEHÉZÁSVÁNY KATALÓGUSA •

MIKLÓS, Dóra Georgina^{1,2*}  & JÓZSA, Sándor² 

¹Hungarian National Museum, National Institute of Archaeology, Archaeometry Laboratory, Budapest H-1113 Daróczi út 3.

²Eötvös Loránd University, Department of Petrology and Geochemistry, Budapest H-1117 Pázmány Péter sétány 1/c.

*E-mail: miklosdoragina94@gmail.com

Jelen tanulmány nem születhetett volna meg Szakmány György iránymutatása és munkássága nélkül

Abstract

Although ground stone tools (GSTs) are among the most abundant stone tools in archaeological sites, they are rarely investigated both from the archaeological and the geological point of view. There are many pieces made of siliciclastic sedimentary raw material. Their fragmentary condition makes it possible to examine them by slightly destructive methods, such as HMA (heavy mineral analysis), which was developed primarily for siliciclastic rocks. Until now, 'sensu stricto' (s.str) heavy mineral analysis has not yet been carried out for ground stone tools, neither at the national nor at the international level. By comparing the heavy mineral compositions of the stone tools and their potential raw materials with the help of a newly developed HM descriptive system (including rutile, zircon, tourmaline, apatite and titanite), it is possible to determine the provenance of these archaeological materials.

From the Neolithic tell of Gorzsa, 109 red sandstone macrolithic stone tools are known. These were separated into four, different types ('Red-1' – 'Red-4'), based on the macroscopic and microscopic analysis. 11 fragments were chosen for HMA analysis. In addition, red-coloured sandstones from different geological occurrences of the Carpathian-Pannonian Basin (22 pieces) were also investigated. Based on the heavy mineral analysis, all raw material types of the stone tools could be originated from the Maros River and the Apuseni Mountains (Transylvania). However, the previously determined potential sources (Permotriassic and Miocene sequences from the Mecsek Mountains, Balaton Highlands, pebbles from the Danube River, and Papuk Mountains) cannot be excluded with absolute certainty from the possible raw materials.

Kivonat

A szerszámkövek az ásatások alkalmával feltárt kőzet anyagú régészeti leletek tetemes hányadát teszik ki. Mindezek ellenére ezen lelettípusok régészeti, valamint természettudományos vizsgálata eddig háttérbe szorult. Nyersanyagukat tekintve jelentős többletet képviselnek a törmelékes üledékes eredetű változatok, amelyek gyakori töredékes megjelenése akár a roncsolásos vizsgálatok, mint például a nehézasvány analízis, alkalmazását is lehetővé teszik. Szerszámkövek esetében a hagyományos értelemben vett, azaz dúsítós eljárás eddig mind hazai, mind pedig nemzetközi szinten is kiaknázatlan maradt. Célunk a régészeti, valamint a lehetséges nyersanyagok nehézasvány összetételének összevetésével meghatározni azok provenienciáját, egy erre

• How to cite this paper: MIKLÓS, D.G. & JÓZSA, S., (2024): Heavy mineral catalogue for the characterization and provenance of red sandstone macrolithic tools from Hódmezővásárhely-Gorzsa / Hódmezővásárhely-Gorzsa lelőhelyről származó vörös homokkő szerszámkövek osztályozására és proveniencia meghatározására alkalmazott nehézasvány katalógusa, *Archeometriai Műhely* XXI/2 101–118.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-010](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-010)

a célra, valamint a vörös homokkő nyersanyagokra kifejlesztett leíró rendszer (rutil, cirkon, turmalin, apatit és titanit) segítségével.

A neolitikus korú gorszai tell településről 109 vörös homokkő anyagi szerszámkő ismert, amelyeket a makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatok alapján négy különböző típusba (vörös-1 – vörös-4) soroltunk. 11 szerszámkő töredéket, továbbá 22 vörös homokkő anyagi összehasonlító geológiai mintát választottunk ki nehézasvány vizsgálatra. A nehézasvány eredmények alapján a homokkő anyagi szerszámkövek feltehetően a Maros folyó hordalékanyagából, illetve az Erdélyi-középhegységből származhatnak. Az eddigi eredményeink alapján több, korábban potenciálisnak tekinthető nyersanyagforrás (permotriász és miocén mecseki homokkövek, Balaton-felvidék, a dunai kavicsok, valamint a Papuk-hegységből származó homokkövek) anyagát nem tudjuk teljes mértékben kizárni a lehetséges nyersanyag források közül.

KEYWORDS: HEAVY MINERAL, PROVENANCE, RAW MATERIAL, NEOLITHIC MACROLITHIC TOOLS, RED SANDSTONE

KULCSSZAVAK: NEHÉZÁSVÁNY, PROVENIENCIA, FORRÁSKÖZET, NEOLITIKUS SZERSZÁMKÖVEK, VÖRÖS HOMOKKÖVEK

Introduction

Examination of the pebbles and cobbles of alluvial sediments and tracing suitable raw materials were important activities for prehistoric communities. Their tools were made of 'quality' stones of physically and chemically resistant materials. Finding the origin of the potential raw materials, provides information for understanding past societies and human behaviour and interaction with their environment. For this, the comparison of the different raw materials – archaeological finds and potential geological samples ('sources') – is necessary. The potential sources of the various rock types can be distinguished with different efficiency. For crystalline rocks (e.g. andesite, mica schist, eclogite) it can be easy, because they are commonly composed of, so-called rock-forming (e.g. amphiboles, pyroxenes, olivine) minerals. Based on this, they can be differentiated. In the case of sedimentary rocks (e.g. sandstone), that are stones formed during the sedimentary cycle, they are also influenced by processes acting on the surface (weathering – transport – deposition – diagenesis). Sandstone is a siliciclastic sedimentary rock, its grain size is between 0.063–2 millimetres. Four components are to be considered, namely grains, matrix, cement and pores. The first can have multiple geneses of which detrital ones are classified into two main categories: main components (i.e. 'light minerals', e.g. quartz, feldspar, micas, that have very similar composition, so they can be hardly differentiated) and heavy minerals. Heavy mineral analysis deals with the determination of accessory minerals, with high density but occurring in small quantity (that rarely makes up more than one percent of the whole rock/sediment) and size. Accessories ('heavy minerals'), are zircon, apatite, tourmaline, garnet, rutile etc. The modern geological research on sources of sedimentary rocks started in the 19th century (Ludwig 1874; Meunier 1877; Michel Lévy 1878; Thürach 1884; Dick 1887; Artini 1898). All these works were based on the heavy mineral

analysis (HMA or micromineralogy). Heavy minerals can be studied via two main methods: 1) thin section analysis and 2) 'HMA s.str.' (see 'Materials and methods').

Each heavy mineral (HM) grain carries information about the genetics and lithology of its source rock. Composition of sandstones is determined by the composition of the source rocks and by additional factors (e.g. weathering, mechanical abrasion, hydraulic behaviour, and burial diagenesis) that operate during the sedimentation cycle. Identification and discrimination of provenance is based on the determination of provenance-sensitive features. Mechanical abrasion causes roundness and breakage of minerals, but does not identify the provenance signal, meanwhile weathering and especially burial diagenesis may cause HM loss due to dissolution. For example, the least stable phase under acidic weathering is apatite, whose absence may be the main proxy for acidic weathering. Burial diagenesis causes dissolution, but this depends on many factors, such as mineral stability, pore fluid temperature and composition. Consequently, the heavy mineral diversity decreases with increasing burial depth. HMA is a widely applied, high-resolution approach in provenance studies (Morton 1985, 1991; Morton & Hallsworth 1994, 1999; Lihou & Mange-Rajetzky 1996; Mange & Wright 2007). One of the main advantages of using HMA is that there is a wide variety of detrital heavy minerals in sandstones. For example, over fifty translucent detrital minerals were described by Mange & Maurer (1992). In addition, there are several opaque species as well.

In Hungary, traditional HMA research started in the early 20th century, when Aladár Vendl separated heavy minerals from sand by dense liquid and magnetic separator and examined them by optical microscope (Vendl 1910). Heavy mineral analysis, however, was only used by a few researchers (Sztrókay 1935; Miháltz 1937). Interest increased from the 1950s; the first results were qualitative (e.g. Hermann 1954; Molnár 1964, 1965; Csánk

1969; Gedeon-Rajetzky 1971, 1973). With the spread of grain counting techniques, quantitative, percentage-based compositional data were generated (data collected by Sallay 1984). Modern scientific research on sands and sandstones is still ongoing in present days (Thamóné Bozsó 1991, 1993, 2000; B. Árgyelán & Császár 1998; B. Árgyelán & Horváth 2002; Thamó-Bozsó et al. 2006, 2007, 2014; Obbágy 2017; Pozsgai et al. 2017, Józsa et al. 2020).

Heavy mineral analysis in petro-archaeological studies

The discipline of archaeometry evolved as a result of the interweaving of archaeology and natural sciences. One of the most commonly applied disciplines is petrography, as raw materials of archaeological artefacts are different types of stones or clays. Furthermore, other inorganic, artificial materials, such as ceramics, daub, plaster etc. are also predominantly of geological origin, so they can be best analysed by techniques used in geological and other natural science laboratories.

Pottery sherds are very abundant artefacts at archaeological sites, and they appear in large quantities mostly fragmented. During clay manufacturing, other compounds, mostly sand (as 'non-plastic component' or 'temper') were added to the 'raw material'. Heavy minerals of the non-plastic components provide information about the provenance of the raw material, and manufacturing practices/processes. Archaeometric studies of potteries from different sites may provide information about trade and transport routes in ancient times (Mange & Bezeczky 2006, 2007; Dickinson 2007; Obbágy et al. 2014; Obbágy 2015; Józsa et al. 2016a,b; Szakmány et al. 2017). In most cases these minerals were analysed in thin sections (Kürthy et al. 2015, 2018).

For polished stone tools that are made of mostly crystalline rocks, HMA is not considered as a widespread technique. The 'HMA' method was developed primarily for siliciclastic rocks.

In contrast, the ground stone tools (GSTs) that are more abundant finds in archaeological sites, have less frequently been investigated both from the archaeological and the geological point of view. Most of them were made of siliciclastic sedimentary raw material. Their fragmentary appearance, together with their large amount within the finds, makes it possible to examine them with the help of slightly destructive methods/examinations. Although archaeometric research on ground stone tools has been conducted before, detailed s.str heavy mineral analysis has not yet been carried out, neither at national nor at international level.

The stone tool assemblage of Gorzsa

Hódmezővásárhely-Gorzsa is one of the largest excavated tell site of the Late Neolithic Tisza culture in Hungary. Following some small-scale surveys, a systematic excavation was begun in 1978 until 1996 (Horváth 1987, 2005), where 1061 pieces of macrolithic finds were collected. In the site Bronze, Iron and Sarmatian Age finds were also found. A quarter of the macrolithic finds represents polished tools (i.e. axes, adzes and chisels) and three quarters of them are GSTs (e.g. grinding stones, abraders, whetstones, etc). Ground stone tools of Gorzsa tell were prepared mainly from sandstones (50%), andesite (7%), granitoid-metagranitoid (13%), micaschist-micaceous quartzite (9%), quartzite (10%), limestone and marl (2%) (Starnini et al. 2015; Szakmány et al. 2019; Miklós et al. 2021).

Piros (2010) was the only one, who distinguished the potential raw materials of the red-coloured ground stone tools. Two main types were identified, the 'Red-1' was originated from the Mecsek Mountains (Jakabhegy Sandstone Formation) and the 'Red-2' was from Transylvania (Krassó-Szörény Mts.; Piros 2010, after T. Roth 1888, 1889 and Pálffy 1897), Mecsek Mountains (Jakabhegy Sandstone and the pebbles from the Miocene sequence), Papuk Mountain and pebbles from the drainage of the Danube. In our previous research (Miklós et al. 2021) four different, red-coloured sandstone types ('Red-1', 'Red-2', 'Red-3' and 'Red-4') were identified. We also found that the determination of the potential source of the raw material was made only in the case of Gorzsa type 'Red-3' that was originated from the drainage of the Maros River. The origin of the other three types ('Red-1', 'Red-2' and 'Red-4') having great uncertainties, either the Mecsek Permian series, pebbles from the Danube River, or the Apuseni Mountains (Transylvania) can be considered as potential sources (Miklós et al. 2021).

This paper presents the heavy mineral analysis of some red sandstone fragments of grinding stones performed with the aim of identify their geological source. Our research is based on a previous petrographic analysis (see in Miklós et al. 2021). In addition, we also examined potential raw materials (geological samples), from red sandstone occurrences in Hungary and some territories beyond the border (see latter, '*Heavy mineral content of the examined red sandstones*').

Our goal is to establish a petrological methodology based on sandstone ground stone tools, in which heavy minerals play a key role. Moreover, we have developed a descriptive system that can be used during heavy mineral analysis. It can be applied to different heavy mineral species, such as tourmaline, rutile, zircon, apatite, or titanite, and with the help

of it, HM variants can be separated and characterized within each mineral species. Statistical data on the quantitative determinations can also be gained.

Materials and methods

Sampling strategy

The red sandstone tools, represent the 27% (109 pieces) among the GSTs made of sandstone. The

raw material of the lithic finds from Hódmezővásárhely-Gorzsa was classified on the basis of macroscopic and microscopic characteristics. With the help of thin sections, in total, 11 fragments of representative ground stone tools were chosen from the red sandstone types ('Red-1' – 'Red-4') for heavy mineral analysis (Table 1.). Another 22 geological samples (Table 1.) from different locations of the Pannonian Basin and its surrounding were also investigated.

Table 1.: The sandstone samples of different origin (tools and geological samples) examined by thin section and heavy mineral analysis

1. táblázat: A mikroszkópos petrográfiai és nehézasvány analízis módszerekkel vizsgált, különböző lelőhelyekről származó homokkövek (régészeti és geológiai minták) listája

Sample	Material	Type	Location
GOR-133	Ground stone tool	Type 'Red-1'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-374	Ground stone tool	Type 'Red-1'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-592	Ground stone tool	Type 'Red-1'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-9	Ground stone tool	Type 'Red-2'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-112	Ground stone tool	Type 'Red-2'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-271	Ground stone tool	Type 'Red-2'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-90	Ground stone tool	Type 'Red-3'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-531	Ground stone tool	Type 'Red-3'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-762	Ground stone tool	Type 'Red-3'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-349	Ground stone tool	Type 'Red-4'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
GOR-673	Ground stone tool	Type 'Red-4'	Hódmezővásárhely-Gorzsa
Codru-01	Geological	Cod	Codru-Moma Mts.
DVVH/1	Geological	Dan	Danube River (pebble)
DVVH/2	Geological	Dan	Danube River (pebble)
P02 18/a	Geological	Pap	Papuk Mts.
P02 19/b	Geological	Pap	Papuk Mts.
M-1/14	Geological	Mar	Maros River
M-1/18	Geological	Mar	Maros River
M-1/19	Geological	Mar	Maros River
Ba-KFhBaT	Geological	Mecs-Köv	Kővágószőlős F. (Mecsek Mts.)
Ja-JFhJS	Geological	Mecs-Jak	Jakabhegy F. (Mecsek Mts.)
Cs-JFh	Geological	Mecs-Jak	Jakabhegy F. (Mecsek Mts.)
Cs-JFhk	Geological	Mecs-Jak	Jakabhegy F. (Mecsek Mts.)
Kötő-6	Geological	Bal-Hgh	Balaton Highlands
P-1	Geological	Bal-Hgh	Balaton Highlands
P-3	Geological	Bal-Hgh	Balaton Highlands
IHCs	Geological	Mecs-PebI	Mecsek Miocene pebble
HH 98/6	Geological	Mecs-PebI	Mecsek Miocene pebble
LK007A/1	Geological	Mecs-PebII	Mecsek Miocene pebble
PF/1	Geological	Mecs-PebII	Mecsek Miocene pebble
HH 98/4	Geological	Mecs-PebIII	Mecsek Miocene pebble
HH98/5	Geological	Mecs-PebIII	Mecsek Miocene pebble
PF/3	Geological	Mecs-PebIII	Mecsek Miocene pebble

Detailed descriptions about the examined sandstone occurrences can be read in Miklós et al. (2021). Each selected archaeological sample has a representative composition within its sandstone type, the same applies to possible raw materials. For each geological occurrence (potential raw material), materials with a homogeneous composition were selected.

The result and the benefit of heavy mineral analysis depend on the accuracy of sampling; therefore, it should be consequently and thoroughly planned. It is very important to collect fresh (not altered) samples that exhibit fine-to-medium grain size. After Morton & Hallsworth (1994) in most of the cases, the very fine-grained sand fraction (63–125 µm) of the samples was used for the provenance analysis. This fraction is finer than the maximum size of the heavy minerals, so the samples are comparable with each other. The previously mentioned two procedures can be used for heavy mineral testing 1) thin section and/or 2) the 'HMA s.str.'. The most important difference between the two methods is the amount of the examination volume:

1) In the case of thin sections, we only get information from a relatively small surface and the heavy minerals might only appear in small amounts. They most often occur scattered, and they can also be absent. Therefore, in this case we do not get a representative result for the entire sample. Before applying the second method, it is important to prepare a thin section as it can be used to preselect the most suitable samples for the mineral enrichment, based on density rates.

2) For the HMA s.str., heavy minerals need to be separated from non-heavy minerals, using dense liquids (e.g. bromoform: 2.89, tetrabromoethane: 2.96, sodium-polytungstate: ca. 2.89–2.97 g/cm³). The last one is a non-toxic compound with adjustable density. Mineral grains with high-density sink down in these liquids, which permits their complete segregation from the less dense framework components (e.g. quartz, feldspar, carbonate and/or micas) (Mange & Maurer 1992). We can obtain representative information about the heavy mineral composition from a larger, homogenous volume for the entire sample. HMA s.str. were carried out using the technique described by Petelin (1961) as 'immersion method', which was described in detail by Mange & Maurer (1992) and Józsa et al. (2016b). After the sample preparation (Józsa et al. 2016b) about 300 transparent, randomly selected heavy mineral grains ('THM') were counted (ribbon counting) from heavy mineral mounts per sample. Identification was made based on the optical properties of each mineral type described by Mange & Maurer (1992).

For the heavy mineral analysis, we used a Leica DM 2700P polarizing microscope with attached Leica K5C camera and a Nikon Optiphot2-pol microscope with a Nikon CoolPixDS-Fil camera.

Results

Heavy mineral content of the examined red sandstones

Ground stone tools from Gorzsa

Samples of the type 'Red-1' contain a low amount (<0.5%) of heavy minerals, among which a large quantity of opaque minerals were detected. Transparent heavy mineral grains are zircon, rutile, apatite, tourmaline, titanite and a few amphibole and kyanite. Type 'Red-2' samples also contain low amounts, but higher than in the previous group (>1.5%) that are made of lots of opaque and some 'THM'-type (transparent heavy minerals) grains, such as tourmaline, rutile, titanite, zircon, apatite and a few amphibole and garnet. Samples of the type 'Red-3' contain small amounts of heavy minerals (>0.5%); among them there are zircon, tourmaline, rutile, titanite, amphibole and a few apatite, olivine, staurolite and epidote-zoisite/clinozoisite. Type 'Red-4' contains low amounts of heavy minerals (1<red-4<1.5%), out of which garnet, apatite, rutile, zircon, tourmaline, epidote-zoisite/clinozoisite, titanite and a few amphibole and kyanite are present.

Potential raw materials

Out of the many sandstone types present in the Carpathian-Pannonian Region, red is one of the most typical ones. They can originate from different geological localities, such as from primary outcrops: Permian successions of the Mecsek Mountains (Kővágószőlős and Jakabhegy Formations, SW Hungary), the Balaton Highlands (Balatonfelvidék Formation, NW Hungary), the Permian series from the Papuk Mountain (NW Croatia) and the Permian sandstone from the Codru-Moma Mts. (SW Carpathians, Romania).

Secondary sources (e.g. river drainages, terraces) were also studied during the investigation: pebbles from the recent debris of Maros valley (E Hungary, W Romania), from the Miocene siliciclastic sediments in Western Mecsek Mts. (Szászvár Formation, SW Hungary) and from the Pleistocene terraces of the Danube in Dunavarsány, previously belonging to Délpest Pebble Formation (NW Hungary).

Jakabhegy Formation (Mecsek Mts., 'Mecs-Jak') contains lower amounts (0.87%) of heavy minerals; among the transparent heavy minerals there are apatite, zircon/monazite, titanite, rutile and a few amphiboles and pyroxene. Samples from the Kővágószőlős Formation (Mecsek Mts., 'Mecs-Köv') contains relative higher amounts (1%) of

heavy minerals, where among the transparent heavy minerals, rutile, tourmaline, apatite, zircon/monazite, titanite and a few amphiboles were observed. Balaton Highlands ('Bal-Hgh') sandstones contain higher (1.88%) amount of heavy minerals, among which a large quantity of opaque minerals was detected. Transparent heavy mineral grains are zircon/monazite, tourmaline, rutile, titanite and a few amphiboles and garnet. Samples from the Papuk Mts. ('Pap') contain a low amount (0.07%) of heavy minerals. Among the transparent heavy minerals there are zircon/monazite, tourmaline, rutile, titanite and a few amphiboles. Codru-Moma Mts. ('Cod') contain a low amount of heavy minerals; among the transparent heavy minerals there are zircon/monazite, rutile, tourmaline, titanite and a few amphiboles and staurolite.

Pebbles from the Maros River ('Mar') contain high amount (1.55%) of heavy minerals, among the transparent heavy minerals there are zircon/monazite, tourmaline, rutile, titanite and a few apatite, garnet and epidote-zoisite/clinozoisite. Pebbles from the Danube River ('Dan') contain lower amounts (0.52%) of heavy minerals. Among the transparent heavy minerals there are zircon/monazite, tourmaline, and rutile and a few titanite, apatite and garnet. Pebbles from the Miocene siliciclastic sequence of the Mecsek Mts. contain a lot of heavy minerals. Group 'Red-I' ('Mecs-PeBI') contains high amounts (2.13%) of transparent mineral. These are tourmaline, rutile, zircon/monazite, apatite, titanite and a few staurolite, kyanite, garnet and epidote-zoisite/clinozoisite. Group 'Red-II' ('Mecs-PeBII') contains lower amounts (0.48%) of transparent mineral, such as apatite, rutile, tourmaline, titanite, zircon/monazite and a few garnet, epidote-zoisite/clinozoisite and staurolite. Group 'Red-III' ('Mecs-PeBIII') contains the highest amount (1.70%) of transparent minerals. These are apatite, zircon/monazite, rutile, tourmaline and a few titanite, epidote-zoisite/clinozoisite, pyroxene and garnet.

The descriptive system of heavy minerals

Previous investigations dealing with heavy mineral analysis, mainly identify the mineral species, their relative abundance and detect the characteristic mineral associations. Based on them, different types of potential raw materials can be determined/classified, and the provenance of the examined materials can also be identified.

Trough the detailed description of the heavy minerals, not only the mineral species can be separated, but different subtypes for each type of mineral can also be defined. These variants may

have different origins and they can arrive from various sources/regions. They are suitable for the characterization and differentiation of the potential raw materials. Therefore, a new methodology was developed for the heavy mineral variants identified in our red sandstone samples:

The descriptive system was created for each mineral species that occurs in higher amounts in the examined sandstones, being either an archaeological or a geological sample. During the previous HMA examination, five main mineral phases were selected: rutile, zircon, tourmaline, apatite and titanite (see above in '*Heavy mineral content of the examined red sandstones*'). Different features were identified in each mineral group, and with their help, different variants could be determined (see below). Each raw material (both for archaeological tools and geological samples) is characterized not only quantitatively, but also qualitatively, so that the gained data sets are also suitable for statistical analysis. The heavy mineral variants of the archaeological and the potential raw materials will also be comparable on a quantitative basis.

Several characteristics formed the basis of the classification for each mineral species, such as colour and/or pleochroism, roundness, the mineral/crystal form and habit, shape, appearance of weathering, alteration, and zoning, etc.

In the case of rutile, the primary classification was based on the mineral's colour and roundness parameters: rutile1 are yellowish-brown coloured, well-, or medium-rounded and rutile2 are also yellowish-brown coloured, but medium-, or poorly rounded types. Rutile3 are reddish brown and rutile4 is dark brown (maybe reddish-brown). The differentiation of the subtypes was aided by the observation of mineral form and shape (**Fig. 1.a-b**).

Zircon: the initial classification was based on the roundness variations: zircon1 is well-, zircon2 is medium- and zircon3 is poorly rounded. Subtypes were defined on the base of the mineral form and shape (**Fig. 2.a-b**).

In the case of tourmaline, the colour and the pleochroism were the defining parameters and the basis for differentiation. Seven different variants were identified within this mineral type (**Fig. 3.a-b**).

Apatite and titanite are less common phases in most of the sandstone samples. The main factor of their classification was roundness and weathering/transformation. Three variants were distinguished for apatite and two for titanite grains (**Fig. 4.a-b** and **Fig. 5.a-b**).

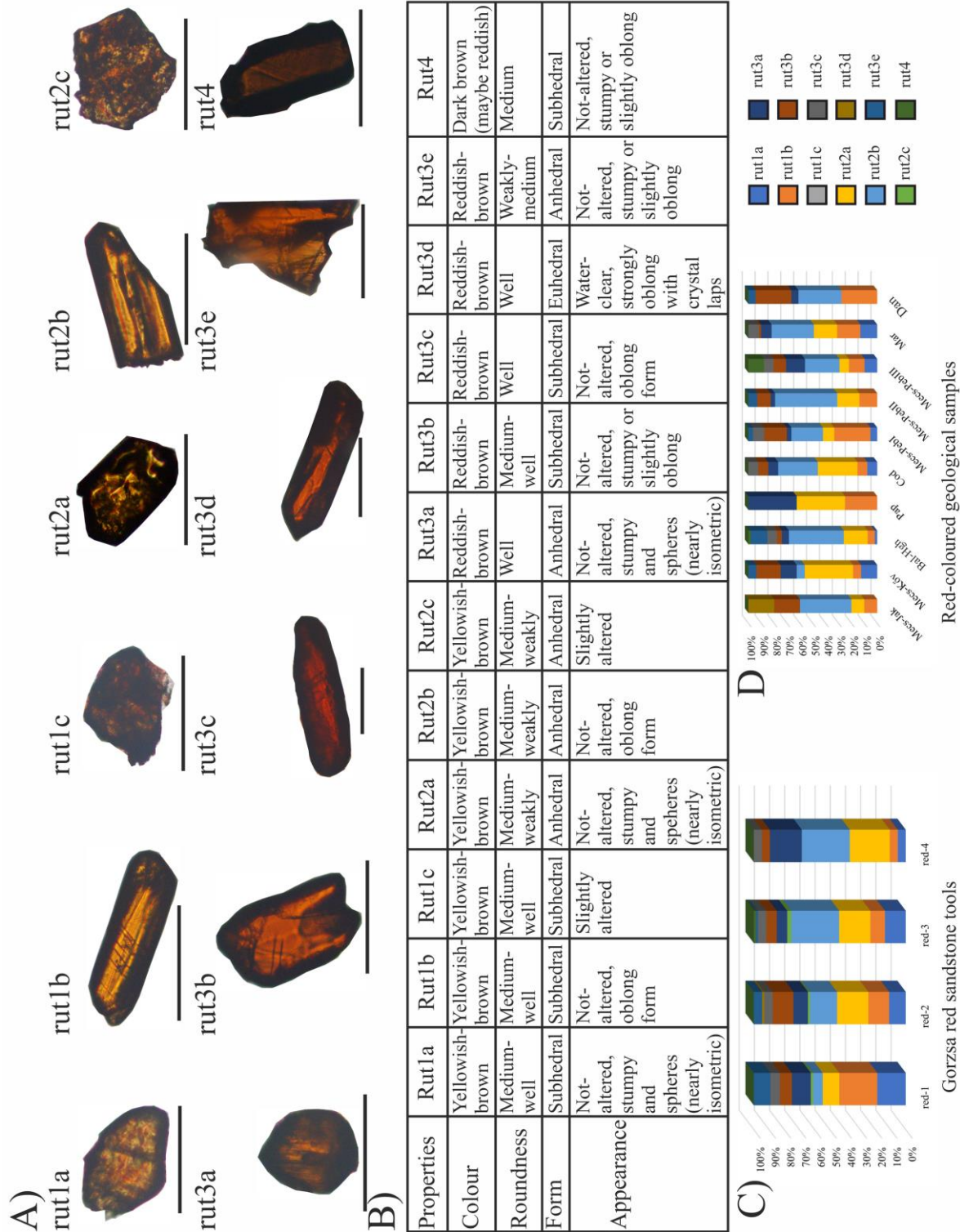


Fig. 1.: Rutile variants. (a) Scales are 100 µm. Rut1a = IHCs ('Mecs-Pebl'); rut1b = GOR-531 ('Red-3' tool type); rut1c = GOR-271 ('Red-2' tool type); rut2a = M-1/14 ('Mar'); rut2b = GOR-762 ('Red-3' tool type); rut2c = HH98/5 ('Mecs-Pebl'); rut3a = PF/1 ('Mecs-PeblII'); rut3b = PF/2 ('Mecs-PeblIII'); rut3c = GOR-90 ('Red-3' tool type); rut3d = GOR-133 ('Red-1' tool type); rut3e = Ja-KFhCseT ('Mecs-Jak'); rut4 = P-3 ('Bal-Hgh'). (b) System showing the rutile variants. (c-d) Column diagrams on quantitative distribution of the rutile variants relative to each other, in the case of Gorzsa and the potential geological samples.

1. ábra: Rutil változatok. (a) A skála minden esetben 100 µm. Rut1a = IHCs ('Mecs-Pebl'); rut1b = GOR-531 ('Red-3' eszköz típus); rut1c = GOR-271 ('Red-2' eszköz típus); rut2a = M-1/14 ('Mar'); rut2b = GOR-762 ('Red-3' eszköz típus); rut2c = HH98/5 ('Mecs-Pebl'); rut3a = PF/1 ('Mecs-PeblII'); rut3b = PF/2 ('Mecs-PeblIII'); rut3c = GOR-90 ('Red-3' eszköz típus); rut3d = GOR-133 ('Red-1' eszköz típus); rut3e = Ja-KFhCseT ('Mecs-Jak'); rut4 = P-3 ('Bal-Hgh'). (b) A rutil változatokat bemutató rendszer. (c-d) A rutil változatok egymáshoz viszonyított mennyiségi eloszlását bemutató oszlop diagramok.

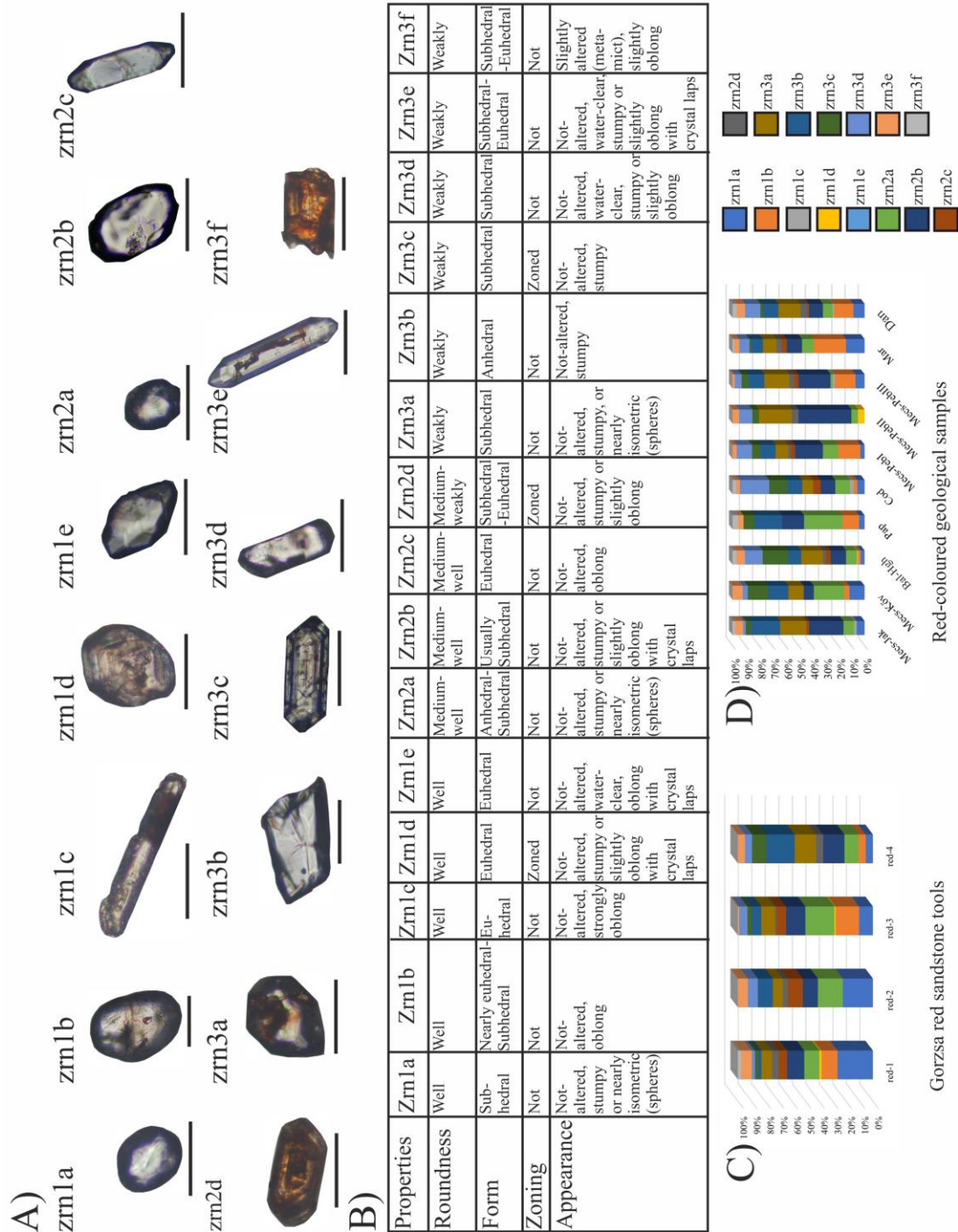


Fig. 2.: Zircon variants. (a) Scales are 100 µm. Zm1a = GOR-592 ('Red-1' tool type); zm1b = GOR-531 ('Red-3' tool type); zm1c = HCs/40 ('Mecs-PebIII'); zm1d = IIHCs ('Mecs-PebI'); zm1e = DVVH/1 ('Dan'); zm2a = P-1 ('Bal-Hgh'); zm2b = Codru-01 ('Cod'); zm2c = DVVH/1 ('Dan'); zm2d = GOR-90 ('Red-3' tool type); zm3a = GOR-133 ('Red-1' tool type); zm3b = Káfü-1 ('Bal-Hgh'); zm3c = P-3 ('Bal-Hgh'); zm3d = GOR-531 ('Red-3' tool type); zm3e = IHCs ('Mecs-PebI'); zm3f = GOR-374 ('Red-1' tool type). (b) System showing the zircon variants. (c-d) Column diagrams on quantitative distribution of the zircon variants relative to each other, in the case of Gorzsa and the potential geological samples.

2. ábra: Cirkon változatok. (a) A skála minden esetben 100 µm. Zm1a = GOR-592 ('Red-1' eszköz típus); zm1b = GOR-531 ('Red-3' eszköz típus); zm1c = HCs/40 ('Mecs-PebIII'); zm1d = IIHCs ('Mecs-PebI'); zm1e = DVVH/1 ('Dan'); zm2a = P-1 ('Bal-Hgh'); zm2b = Codru-01 ('Cod'); zm2c = DVVH/1 ('Dan'); zm2d = GOR-90 ('Red-3' eszköz típus); zm3a = GOR-133 ('Red-1' eszköz típus); zm3b = Káfü-1 ('Bal-Hgh'); zm3c = P-3 ('Bal-Hgh'); zm3d = GOR-531 ('Red-3' eszköz típus); zm3e = IHCs ('Mecs-PebI'); zm3f = GOR-374 ('Red-1' eszköz típus). B) A cirkon változatokat bemutató rendszer. C-D) A cirkon változatok egymáshoz viszonyított mennyiségi eloszlását bemutató oszlop diagramok.

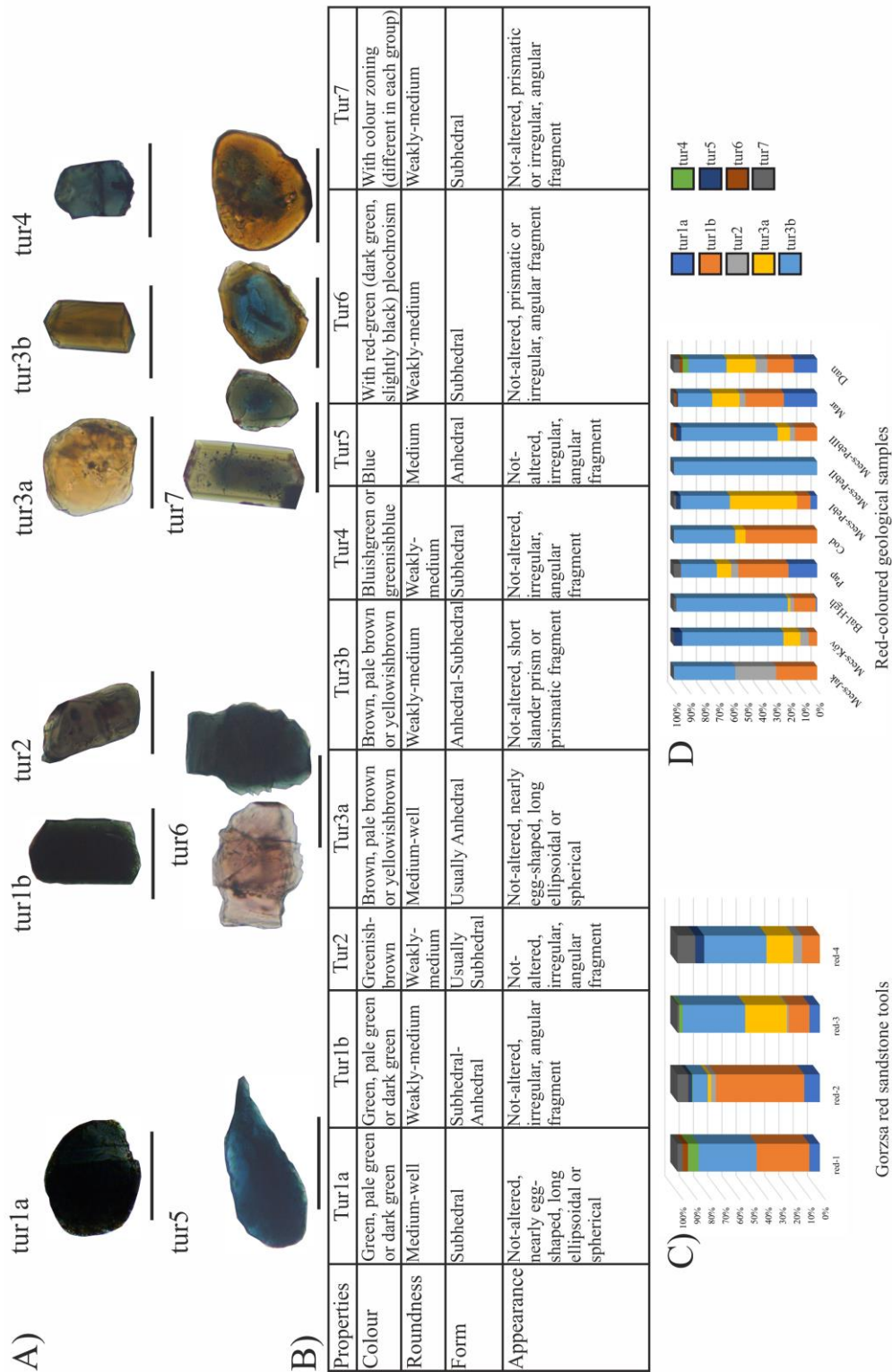


Fig. 3.: Tourmaline variants. (a) Scales are 100 µm. Tur1a = M-1/14 ('Mar'); tur1b = HH98/4 ('Mecs-PebIII'); tur2 = PF/2 ('Mecs-PebIII'); tur3a = PF/3 ('Mecs-PebIII'); tur3b = Alö-5 ('Bal-Hgh'); tur4 = Bare-1 ('Bal-Hgh'); tur5 = IHCs ('Mecs-Pebi'); tur6 = Ba-KFhBaT ('Mecs-Köv'); tur7 = HH98/5 ('Mecs-Pebi), GOR-112 ('Red-2' tool type), GOR-349 ('Red-4' tool type) and GOR-531 ('Red-3' tool type). (b) System showing the tourmaline variants. (c-d) Column diagrams on quantitative distribution of the tourmaline variants relative to each other, in the case of Gorzsa and the potential geological samples.

3. ábra: Turmalin változatok. (a) A skála minden esetben 100 µm. Tur1a = M-1/14 ('Mar'); tur1b = HH98/4 ('Mecs-PebIII'); tur2 = PF/2 ('Mecs-PebIII'); tur3a = PF/3 ('Mecs-PebIII'); tur3b = Alö-5 ('Bal-Hgh'); tur4 = Bare-1 ('Bal-Hgh'); tur5 = IHCs ('Mecs-Pebi'); tur6 = Ba-KFhBaT ('Mecs-Köv'); tur7 = HH98/5 ('Mecs-Pebi), GOR-112 ('Red-2' eszköz típus), GOR-349 ('Red-4' eszköz típus) and GOR-531 ('Red-3' eszköz típus). (b) A turmalin változatokat bemutató rendszer. (c-d) A turmalin változatok egymáshoz viszonyított mennyiségi eloszlását bemutató oszlop diagramok.

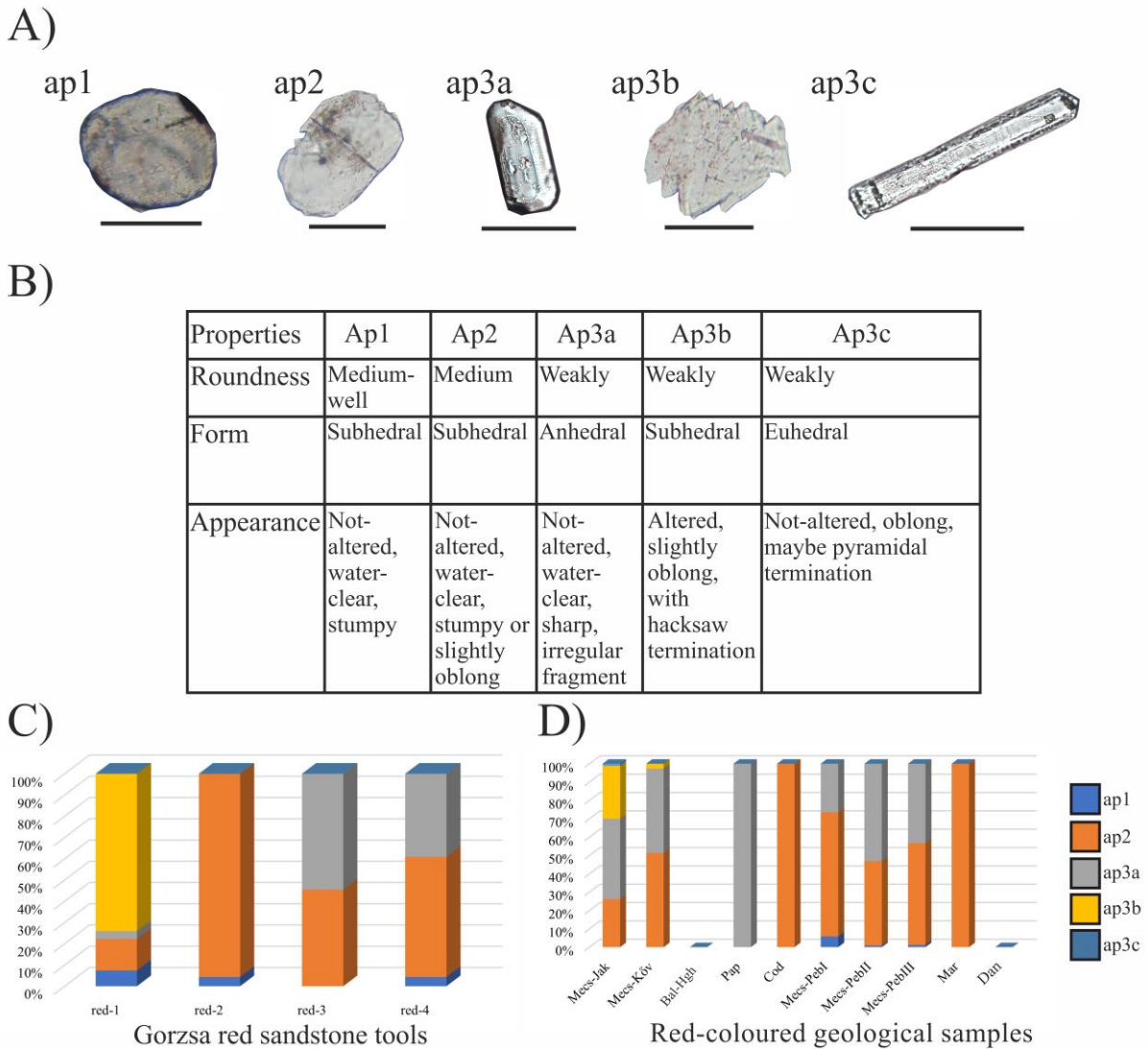


Fig. 4.: Apatite variants. (a) Scales are 100 µm. Ap1 = Ja-JFh_JS (‘Mecs-Jak’); ap2 = GOR-592 (‘Red-1’ tool type); ap3a = IHCs (‘Mecs-PebI’); ap3b = GOR-592 (‘Red-1’ tool type); ap3c = Ja-JFh_JS (‘Mecs-Jak’). (b) Table showing the apatite variants. (c-d) Column diagrams on quantitative distribution of the apatite variants relative to each other, in the case of Gorzsa and the potential geological samples.

4. ábra: Apatit változatok. (a) A skála minden esetben 100 µm. Ap1 = Ja-JFh_JS (‘Mecs-Jak’); ap2 = GOR-592 (‘Red-1’ eszköz típus); ap3a = IHCs (‘Mecs-PebI’); ap3b = GOR-592 (‘Red-1’ eszköz típus); ap3c = Ja-JFh_JS (‘Mecs-Jak’). (b) Az apatit változatokat bemutató táblázat. (c-d) Az apatit változatok egymáshoz viszonyított mennyiségi eloszlását bemutató oszlop diagramok.

Abundance of heavy mineral variants in the examined red sandstone samples

Ground stone tools from Gorzsa

In the case of the ground stone tools from Gorzsa, yellowish brown coloured, well-, or medium rounded rutile is the most common heavy mineral type. Different variants may be distinguished in each red sandstone tool type (Appendix – Table 1.). Three of four types of tool samples contain well-, or medium-rounded zircon grains. The type

‘Red-4’, contains the highest amount of poorly rounded, almost euhedral crystals (Appendix – Table 2.).

Tourmalines have brown colour in most of the samples, but green and other types also appear (Appendix – Table 3.).

Apatite grains are mainly medium-, or poorly rounded, but in type ‘Red-1’ there is a special variant with ‘hacksaw’ terminations (Appendix – Table 4.).

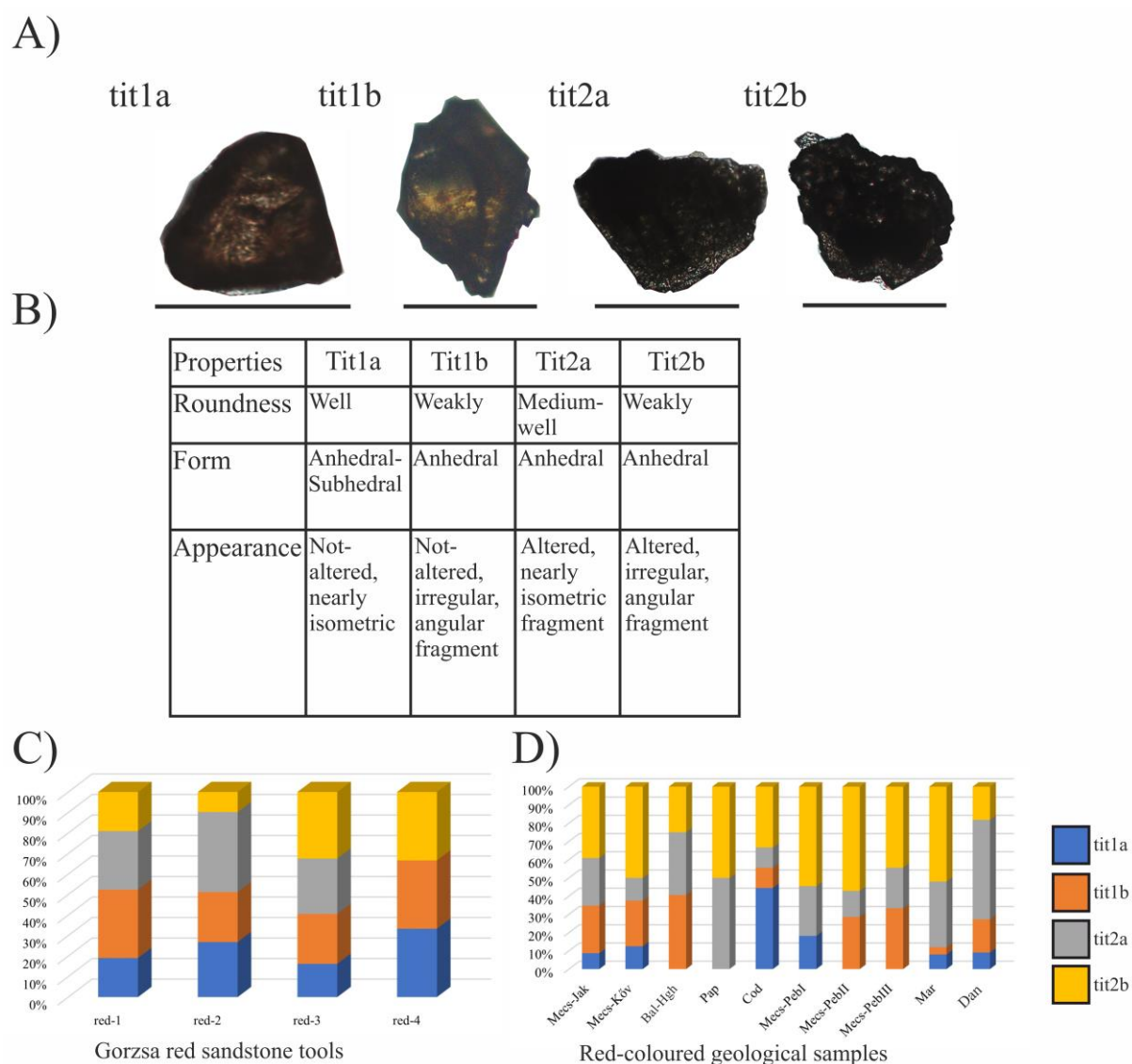


Fig. 5.: Titanite variants. (a) Scales are 100 µm. Tit1a = Codru-01 ('Cod'); tit1b = Káfű-1 ('Bal-Hgh'); tit2a = M-1/19 ('Mar'); tit2b = Ja-JFh_JS ('Mecs-Jak'). (b) Table showing the titanite variants. (c-d) Column diagrams on quantitative distribution of the titanite variants relative to each other, in the case of Gorzsa and the potential geological samples.

5. ábra: Titanit változatok. (a) A skála minden esetben 100 µm. Tit1a = Codru-01 ('Cod'); tit1b = Káfű-1 ('Bal-Hgh'); tit2a = M-1/19 ('Mar'); tit2b = Ja-JFh_JS ('Mecs-Jak'). (b) A titanit változatokat bemutató táblázat. (c-d) A titanit változatok egymáshoz viszonyított mennyiségi eloszlását bemutató oszlop diagramok.

Titanite grains occur in altered and fresh (not altered) forms. 'Red-1' and 'Red-2' contain them in the same amount, but 'Red-3' and 'Red-4' are different from them (**Appendix – Table 5**).

Potential raw materials

Rutile

In the samples from the Permian-Triassic sequence in the Mecsek Mountains (Jakabhegy Sandstone = 'Mecs-Jak' and Kővágószőlős Sandstone = 'Mecs-Köv'), yellowish-brown coloured, medium-, or poorly rounded rutile appear with the highest

amount. They make up more than 50% of the rutile grains. Reddish-brown versions also appear in smaller quantities. Pebbles from the Miocene sequence from the Mecsek Mts. contain higher amounts (more than 60%) of yellowish-brown coloured rutile, than the Permian-Triassic sandstones. Reddish brown coloured ones usually occurred in smaller amounts (less than 30%) (**Appendix – Table 6**).

Balaton Highlands ('Bal-Hgh') samples contain yellowish-brown coloured, medium-, or poorly rounded rutile and a few reddish-brown variants. Maros River ('Mar') samples have a lot of

yellowish brown, medium-, or poorly rounded rutile and a few reddish-brown coloured grains. Pebbles from the Danube River ('Dan') exhibit a lot of well- and medium rounded, yellowish-brown rutile and a small amount of reddish-brown coloured ones are also present. In the Papuk samples, yellowish-, and reddish-brown coloured grains appear in high quantities. In the Codru ('Cod') samples, there are lots of medium-, or poorly rounded, yellowish-brown coloured grains (more than 70%) and there is also a small amount of reddish-brown rutile (**Appendix – Table 6.**)

Zircon

Samples of the 'Mecs–Jak' and 'Mecs–Köv' contain poorly rounded, nearly isometric (stumpy) or isometric zircon grains. Pebbles from the Miocene sequence of the Mecsek Mts. ('Mecs–PebI – III') contain a lot of medium and poorly rounded grains that are stumpy, or nearly isometric. Among them there are zircons, which have oblong forms and some of them show zonation (**Appendix – Table 7.**)

Zircon grains from the 'Bal–Hgh' samples are poorly rounded crystals; they can be isometric or have oblong form. They are present in similar amount. Grains with zoning are also a common type. The 'Mar' samples contain a lot of well and poorly rounded types. These are stumpy and isometric in most of the cases. Pebbles from the Danube River contain a lot of poorly- and well-, or medium rounded grains. These can be isometric or stumpy and there are crystals with zoning as well. In the Papuk samples, there are medium-, or poorly rounded grains, with nearly isometric, stumpy forms and a few grains with zoning also appear. In the Codru samples, there are lots of poorly-, or medium rounded, oblong or nearly isometric grains and a few crystals with zoning are also present (**Appendix – Table 7.**)

Tourmaline

Samples of the 'Mecs–Jak' and 'Mecs–Köv' contain brown, greenish-brown and some green-coloured tourmalines. Tourmaline grains that come from the pebbles of the Miocene sequence of the Mecsek Mts. are brown and green coloured ones (**Appendix – Table 8.**)

Tourmaline grains from the 'Bal–Hgh' samples are mainly brown- and sometimes green-coloured ones. The 'Mar' samples contain brown and green ones with a similar amount. Pebbles from the Danube River contain brown- and green-coloured tourmalines (similar amounts). In the Papuk samples, there are green- and brown-coloured tourmalines, where the green ones are more common types. In the Codru samples, there are green and brown grains, with similar distributions (**Appendix – Table 8.**)

Apatite

Samples of the 'Mecs–Jak' contain poorly-rounded apatite grains that in some of the cases have 'hacksaw' terminations. There are also a few strongly oblong ones. The 'Mecs–Köv' samples contain medium- and poorly-rounded grains in similar amounts. Apatite grains come from the pebbles of the Miocene sequence of the Mecsek Mts. They are medium or poorly-rounded (**Appendix – Table 9.**)

From the Balaton Highlands and the Danube River samples, apatite is missing. In the 'Mar' and 'Cod' samples, apatite grains are medium-rounded, meanwhile in the 'Pap' samples they are poorly-rounded (**Appendix – Table 9.**)

Titanite

In the 'Mecs–Jak' and 'Mecs–Köv' samples, titanite grains occur dominantly in weathered forms. Those coming from the pebbles of Miocene sequences of the Mecsek Mts. occur in both altered and fresh forms (**Appendix – Table 10.**)

In the Balaton Highlands samples, altered and fresh variants occur with an equal amount. Titanite grains of the Danube River and Papuk samples are mostly weathered. In the Codru sandstones, titanite grains occur in both forms with the same amounts (**Appendix – Table 10.**)

Discussion

Heavy mineral composition of the red-coloured ground stone tools

Ground stone tool types, 'Red–1', 'Red–2' and 'Red–3' have similar heavy mineral composition, but the relative abundance of each HM phase is different. Type 'Red–4' has a special HM composition, with lots of garnet and a smaller amount of apatite, epidote, zircon, rutile and tourmaline.

Heavy mineral variants distributions per mineral species

Rutile

Yellowish-brown coloured, well-, or medium-rounded ones are the most common types, in the archaeological samples from Gorzsa tell. The different rutile variants show a slightly different distribution. The most common phases are rutile1b, 2b, 2a and 1a (**Appendix – Table 1.; Fig. 1.c.**)

Types 'Red–1' and 'Red–3' from Gorzsa show similar composition to 'Mecs–PebI', Codru and Maros. Type 'Red–2' shows the most similar composition to 'Mecs–Köv', 'Bal–Hgh', Codru and Maros. 'Red–4' shows similarities to 'Mar', 'Mecs–PebIII', 'Bal–Hgh' and 'Cod'. There are geological samples, which can certainly be excluded from the

possible source rocks, such as Papuk, Jakabhegy Sandstone and 'Mecs-PebII'. On the other hand, samples from the Balaton Highlands and Mecs-PebI cannot be excluded with absolute certainty (**Fig. 1.d**).

Zircon

Type 'Red-1' from Gorzsa mainly includes well-, or medium-, types 'Red-2' and 'Red-3' medium-, or well-rounded zircon grains. Type 'Red-4' from Gorzsa contains the highest amount of poorly rounded, slightly euhedral crystals. Most of the grains have isometric shape/appearance, but the 'Red-4' ones are more oblong and among them crystals with zoning are more common than in the other types (**Appendix – Table 2.; Fig. 2.c**).

Type 'Red-1' and 'Red-3' from Gorzsa show similar composition as than samples from the Maros River and 'Mecs-PebI'. Tool type 'Red-2' is not similar to any of the geological samples. Type 'Red-4' from Gorzsa is similar to 'Bal-Hgh' and 'Cod'. There are geological samples, which ones can certainly be excluded from the possible source rocks, such as Papuk, Jakabhegy and Kővágószőlős Sandstones, and pebbles from the Miocene sequence from the Mecsek Mountains ('Mecs-PebII and III'). Samples from the group 'Mecs-PebI' cannot be excluded from the possible raw materials with absolute certainty (**Fig. 2.d**).

Tourmaline

Type 'Red-1' from Gorzsa contains brown- and green-coloured tourmalines in similar amounts. Tool type 'Red-3' contains the highest number of brown-variants. Tourmalines of the 'Red-4' tool type are mostly brown but show high variation. 'Red-2' exhibits the highest number of green-coloured tourmalines. Type 'Tur-7' grains show colour zoning; they are common phases in Gorzsa type 'Red-4' and 'Red-2' (**Appendix – Table 3.; Fig. 3.c**).

Gorzsa types 'Red-1' and 'Red-2' are not similar to any of the examined geological samples. Type 'Red-3' from Gorzsa shows similar composition to the samples from the Maros and Danube rivers, and also to the Papuk Mountains. Tool type 'Red-4' is similar to 'Mecs-Köv' and 'Mecs-PebIII'. There are geological samples, which can certainly be excluded from the possible source rocks, such as Jakabhegy Sandstone, Codru, and 'Mecs-PebII'. Samples from the 'Mecs-PebI and III' groups, Kővágószőlős Sandstone and Balaton Highlands cannot be excluded with absolute certainty from the possible raw materials (**Fig. 3.d**).

Apatite

Apatite grains in type 'Red-1' from Gorzsa are poorly rounded crystals with 'hacksaw' terminations. In tool type 'Red-2' they are medium-rounded, while in 'Red-3' type from Gorzsa they are medium-, or poorly-rounded with similar frequency. In 'Red-4' tool type there are medium, and some poorly rounded grains (**Appendix – Table 4.; Fig. 4.c**).

'Red-1' and 'Red-2' types from Gorzsa are not similar to any of the geological samples. Type 'Red-3' from Gorzsa show similar composition to pebbles from the Miocene sequence of the Mecsek Mountains ('Mecs-PebII and III') and Kővágószőlős Sandstone. 'Red-4' tool type is similar to 'Mecs-PebI'. There are geological samples, which can certainly be excluded from the possible source rocks, such as Jakabhegy Sandstone, Codru, Papuk and Maros River. Samples from the 'Mecs-PebI' group cannot be excluded with absolute certainty from the possible raw materials (**Fig. 4.d**).

Titanite

Titanite grains in 'Red-1' and 'Red-2' types from Gorzsa have similar appearance. In 'Red-3' tool type grains are weathered in most of the cases. In type 'Red-4' from Gorzsa, not-altered grains are the most dominant variants (**Appendix – Table 5.; Fig. 5.c**).

'Red-1' and 'Red-4' are not similar to any of the examined geological samples. 'Red-2' is similar to 'Dan'. Type 'Red-3' from Gorzsa shows similar composition to Jakabhegy Sandstone. There are geological samples, which can certainly be excluded from the possible source rocks, such as Papuk, Kővágószőlős Sandstone, Balaton Highlands, Codru, and Maros River (**Fig. 5.d**).

Heavy mineral variants distributions per ground stone tool types

Type 'Red-1'

Based on the HM observations and counting, rutile and zircon grains from the 'Red-1' type were useful for the identification of its provenance. Rutile grains of 'Red-1' tools show similarities with those of 'Red-I' pebbles from the Mecsek ('Mecs-PebI'), Maros River pebbles ('Mar') and sandstone from the Codru-Moma Mts. ('Cod'). Zircon variants match with Maros and 'Mecs-PebI' grains. Tourmaline, apatite and titanite turned out to be less useful in the provenance analysis (**Figs. 1–5.c-d**).

Type 'Red-2'

Only two minerals showed similarities with some of the potential sources, these were rutile and titanite. The other three phases – zircon, tourmaline and apatite – were less useful in our research. Rutile

grains were similar to grains from Codru, Maros, Balaton Highlands ('Bal-Hgh') and Kővágószőlős Sandstone ('Mecs-Köv'). Titanite grains were similar to Danube samples ('Dan') (Figs. 1–5.c-d).

Type 'Red-3'

In the case of type 'Red-3', all five mineral phases proved to be suitable for the source identification. Rutile grains show similarities with 'Mecs-PebI', 'Cod' and 'Mar'; zircon variants with 'Mecs-PebI' and 'Mar'; tourmalines with 'Mar', 'Dan' and 'Pap'; apatites with 'Mecs-PebII and III' and 'Mecs-Köv' and titanites with 'Mecs-Jak' samples (Figs. 1–5.c-d).

Type 'Red-4'

Almost all types of mineral species are suitable for provenance analysis, except for titanite. Rutile grains are similar to 'Mecs-PebIII', 'Cod', 'Mar' and 'Bal-Hgh'; zircon to 'Bal-Hgh' and 'Cod'; tourmaline to 'Mecs-Köv' and 'Mecs-PebIII' and apatite to 'Mecs-PebI' (Figs. 1–5.c-d).

Conclusions

Based on the HM observations, ground stone tool types 'Red-1' – 'Red-4' could be distinguished. 'Red-1', 'Red-2' and 'Red-3' show similarities in their heavy mineral composition, their main components are zircon, tourmaline, rutile, titanite and maybe apatite. But the relative abundance of each heavy mineral phase is different. Type 'Red-4' from Gorzsa has a special heavy mineral composition, with lots of garnet and a lower amount of apatite, epidote, zircon, rutile and tourmaline. For the most common mineral phases, rutile, zircon, tourmaline, apatite and titanite a descriptive system was developed, where different variants were identified for each mineral species.

Rutile, zircon and tourmaline grains were the most suitable mineral phases, apatite and titanite turned out to be less indicative as provenance markers. The main results are summarized across the ground stone tool types:

-Type 'Red-1' from Gorzsa shows similar heavy mineral composition (zircon and rutile) to pebbles of the Maros River and of the Mecsek Mts. (Type-I, 'Mecs-PebI').

- Type 'Red-2' has a very uncertain raw material source; pebbles from the Maros River have the nearest/ most similar composition, this result was determined by the variants of rutile grains.

-Type 'Red-3' has a similar composition – referring to zircon, rutile and tourmaline grains – to pebbles, group 'Red-1', of the Mecsek Mountains ('Mecs-PebI') and pebbles of the Maros River ('Mar').

-Type 'Red-4' is similar to pebbles, group 'Red-III' from the Mecsek ('Mecs-PebIII'), Balaton Highlands ('Bal-Hgh') and possibly to samples from the Codru-Moma Mountains ('Cod').

There are raw materials, which were excluded from the potential sources, based on their heavy mineral and mineral variants compositions, such as Papuk ('Pap'), Jakabhegy Sandstone of the Mecsek ('Mecs-Jak') and pebble group 'Red-II' ('Mecs-PebII'). The latest result is in contrast with the statement of Piros (2010), who originated the Gorzsa type 'Red-1' from the Jakabhegy Sandstone from the Permian sequence of the Mecsek Mountains and tool type 'Red-2' from the Papuk and pebbles from the Mecsek.

Based on the previous petrographic (see in Miklós et al. 2021) and current heavy mineral examinations, ground stone tools can be originated from the Maros River and the Apuseni Mountains (Transylvania). Samples from the Mecsek Miocene, ('Mecs-PebI and III' groups), Kővágószőlős Sandstone ('Mecs-Köv'), Balaton Highlands ('Bal-Hgh') and pebbles from the drainage of the Danube River ('Dan') cannot be excluded with absolute certainty from the possible raw materials. However, according to the previous results of the petrographic examination (Miklós et al. 2021), in the choice of raw materials the above mentioned, four or five sources might have been of less significance than the Transylvanian ones.

In the future, in order to clarify the results, additional possible sources of Transylvanian origin must be involved in our research.

Contribution of authors

Miklós Dóra Georgina Methodology, Writing – Original draft. Józsa Sándor Writing – Original draft.

Acknowledgements

This research was part of project No. 131814 that has been implemented with the support provided by the National Research (OTKA), Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the K_19 funding scheme. The authors gratefully thank György Falus, Ildikó Bátor, Edit Thamóné-Bozsó (supervisory Authority of Regulatory Affairs, Hungary) for the heavy mineral preparation. We would also thank you for Gabriella Kovács (Hungarian National Museum National Institute of Archaeology) for proofreading.

References

ARTINI, E. (1898): Intorno alla composizione mineralogica delle sabbie di alcuni fiumi del Veneto, con applicazione ai terreni di trasporto. *Rivista di Mineralogia e Cristallografia Italiana* **19** 33–94.

- B. ÁRGYELÁN, G. & CSÁSZÁR, G. (1998): Törmelékes krómspinellek a gerecsei jura képződményekben. *Földtani Közöny* **128/2-3** 321–360.
- B. ÁRGYELÁN, G. & HORVÁTH, P. (2002): Heavy mineral assemblages of Senonian formations in the Transdanubian Range. *Acta Geologica Hungarica* **45/4** 319–339.
- CSÁNK, E. (1969): A Dorogi-medence oligocén képződményeinek ásvány-kőzettani vizsgálata. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1967-ből*, 83–133.
- DICK, A.B. (1887): On zircon and other minerals contained in sand. *Nature* **36** 1–92.
- DICKINSON, W.R. (2007): Discriminating among Volcanic Temper Sands in Prehistoric Potsherds of Pacific Oceania using Heavy Minerals. In: MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. eds., *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology* **58**, 985–1007.
- GEDEON-RAJETZKY, M. (1971): A Badacsony–Szigliget közti terület pannon utáni fejlődéstörténete mikromineralógiai vizsgálatok alapján. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1969-ből*, 353–371.
- GEDEON-RAJETZKY, M. (1973): Fosszilis folyóvízi üledékek mikromineralógiai spektrumának értelmezése recens hordalék-vizsgálatok alapján. *Földtani Közöny* **103/3-4** 285–293.
- HERMANN, M. (1954): Bükkalji pannóniai homokvizsgálatok. *Földtani Közöny* **84/4** 338–348.
- HORVÁTH, F. (1987): Hódmezővásárhely-Gorzsa, A settlement of the Tisza culture. *The Late Neolithic of the Tisza region*. Budapest-Szolnok, 31–46.
- HORVÁTH, F. (2005): Gorzsa. Előzetes eredmények az újkőkori tell 1978 és 1996 közötti feltárásából. *Hétköznapi Vénuszai*, Hódmezővásárhely, 51–83.
- JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., OBBÁGY, G., BENDŐ, Zs. & TAUBALD, H. (2016a): A Fažanai (Iztria, Horvátország), Laecanius amphorák archeometriája. *Archeometriai Műhely* **13/2** 95–130.
- JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., OBBÁGY, G. & KÜRTHY, D. (2016b): Régészeti mikroásványtan - mikroásványok a régészeti kerámiákban, a módszer lehetőségei és korlátai. *Archeometriai Műhely* **13/3** 173–190.
- JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., MIKLÓS, D. G. & VARGA, A. (2020): A törmelékes üledékek és kőzetek petrográfiai vizsgálati eredményei a Kárpát-Pannon térség kutatásában: a magyar kutatók hozzájárulása az elmúlt 150 évben. *Földtani Közöny* **150/2** 291–314.
- KÜRTHY, D., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & SZABÓ, G. (2015): A regölyi vaskori sírhalom kerámiáinak előzetes archeometriai vizsgálati eredményei. *Archeometriai Műhely* **12/3** 163–176.
- KÜRTHY, D., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., FEKETE, M. & SZABÓ, G. (2018): A regölyi vaskori kerámiatöredékek archeometriai vizsgálatának új eredményei. *Archeometriai Műhely* **15/1** 1–12.
- LIHOU, J.C. & MANGE-RAJETZKY, M.A. (1996): Provenance of the Sardona flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. *Sedimentary Geology* **105** 141–157. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00147-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00147-6)
- LUDWIG, R. (1874): Geologische Bilder aus Italien. *Bulletin de la Société impériale des naturalistes de Moscou* **48** 42–131.
- MANGE, M.A. & BEZECZKY, T. (2006): Petrography and Provenance of Laecanius Amphorae from Istria, Northern Adriatic Region, Croatia. *Geoarchaeology: An International Journal* **21/5** 429–460.
- MANGE, M.A. & BEZECZKY, T. (2007): The Provenance of Paste and Temper in Roman Amphorae from the Istrian Peninsula, Croatia. In: MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. eds., *Heavy minerals in use. Developments in Sedimentology* **58** 1007–1037.
- MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. (1992): *Heavy Minerals in Colour*. Chapman and Hall, London. pp?
- MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. (2007): Heavy Minerals in use. Elsevier, Amsterdam, 1283 p. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58051-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58051-9)
- MEUNIER, S. (1877): Composition et origine du sable diamantifère de Du Toit's Pan (Afrique australe). *Comptes Rendus hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences* **84** 250–252.
- MICHEL LÉVY, A. (1878): Note sur quelques minéraux contenus dans les sables du Mesvrin, près Autun. *Bulletin de la Société minéralogique* **1/3** 39–41.
- MIHÁLTZ, I. (1937): Különböző fajsúlyú ásványokból álló kőzetek izapolásáról / Die schlammanalyse von aus verschieden schweren Mineralien bestehenden Sedimenten. *Földtani Közöny* **67/10-12** 257–270.
- MIKLÓS, D.G., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., STARNINI, E. & HORVÁTH, F. (2021): Vörös homokkő nyersanyagú szerszámkövek Hódmezővásárhely-Gorzsa késő neolitik (Tisza

kultúra) tell település leletanyagában. *Archeometriai Műhely* **18/3** 209–238.

MOLNÁR, B. (1964): A magyarországi folyók homoküledékeinek nehézsó-összetételi vizsgálata. *Hidrologiai Közöny* **44** 347–355.

MOLNÁR, B. (1971): A mikromineralógiai vizsgálatok alkalmazása a földtani kutatásban. In: *Az üledékes petrológia újabb eredményei*. Az 1971. évi szegedi tanfolyam előadásai. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 123–176.

MORTON, A.C. (1985): Heavy minerals in provenance studies. In: ZUFFA, G.G., ed., *Provenance of arenites*, D. Reidel Publishing Company, 249–277.

MORTON, A.C. (1991): Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research. In: MORTON, A.C., KRONZ, A. & HAUGHTON, P.D.W., eds., *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Geological Society of London, Special Publications, **57** 31–45.
<https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1991.057.01.04>

MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C.R. (1994): Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology* **90/3-4** 241–256.
[https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90041-8)

MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C.R. (1999): Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology* **124/1-4** 3–29.
[https://doi.org/10.1016/s0037-0738\(98\)00118-3](https://doi.org/10.1016/s0037-0738(98)00118-3)

OBBÁGY, G. (2015): Isztriai amforák és nyersanyagaik nehézsó-összetételei. *Ingenia Hungarica* **1** 79–118.

OBBÁGY, G. (2017): Provenance analysis of the Paleogene siliciclastic sequences of the Transylvanian basin. *Manuscript, Master Thesis*, Eötvös Loránd University, Department of Petrology and Geochemistry, Budapest, 123 p.

OBBÁGY, G., JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., BENDŐ, Zs. & BEZECZKY, T. (2014): Isztriai amforák nyersanyagainak nehézsó-összetételei. *Gesta* **13** 39–58.

PÁLFY, M. (1897): A Gyalui-havasok nyugati részének geológiai viszonyai. – *Magyar Királyi Földtani Intézet Évi jelentése az 1897. évről*, 52–62.

PETELIN, V.P. (1961): About choice of a method of the mineralogical analysis for sandy-silt fractions of bottom sediments. Proceedings of the Oceanological Institute of the USSR Academy of Sciences **50**, 170–173.

PIROS, L. (2010): Homokkö nyersanyagú kőszámkövek archeometriai

vizsgálata Gorzsa (DK–Magyarország). *Diplomamunka*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Közetan-Geokémiai Tanszék, 89 p.

POZSGAI, E., JÓZSA, S., DUNKL, I., SEBE, K., THAMÓ-BOZSÓ, E., SAJÓ, I., DEZSŐ, J. & VON EYNATTEN, H. (2017): Provenance of the Upper Triassic siliciclastics of the Mecsek Mountains and Villány Hills (Pannonian Basin, Hungary): constraints to the Early Mesozoic paleogeography of the Tisza Megaunit. *International Journal of Earth Sciences* **106** 2005–2024.

SALLAY, M. (1984): A magyarországi harmad- és negyedidőszaki üledékes képződmények mikromineralógiai adatai. *Manuscript, Magyar Geológiai Szolgálat Adattára*, Budapest, 1153 p.

STARNINI, E., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, V., MARÓTI, B., VOYTEK, B. & HORVÁTH, F. (2015): Lithics from the Tell Site Hódmezővásárhely–Gorzsa (Southeast Hungary): Typology, Technology, Use and Raw Material Strategies during the Late Neolithic (Tisza Culture), In: HANSEN, S. ed., *Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea*. Archäologie in Eurasien **31**, Berlin, 105–128.

SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & BEZECZKY, T. (2017): New data on provenance and technology of Fažana Amphora Workshop a case study of Laecanii and Imperial amphorae. In: LIPOVAC VRKLJAN, G., ŠILJEG, B., OŽANIĆ ROGULJIĆ, I. & KONESTRA, A., eds., *Roman Pottery and Glass Manufactures; Production and trade in the Adriatic region*, *Proceedings of the 3rd International Archaeological Colloquium*, 28-29 October 2014, Crikvenica (Croatia), of Archaeology, Zagreb, 145–157.

SZAKMÁNY, Gy., VANICSEK, K., BENDŐ, Zs., KREITER, A., PETŐ, Á., LISZTES-SZABÓ, Zs. & HORVÁTH, F. (2019): Petrological Analysis of Late Neolithic Ceramics from the Tell Settlement of Gorzsa (South-East Hungary). In: AMICONE, S., QUINN, P. S., MARIĆ, M., MIRKOVIĆ-MARIĆ, N. & RADIVOJEVIĆ, M., eds., *Tracing Pottery-Making recipes in the Prehistoric Balkans 6th-4th Millenia BC*, Archaeopress Publishing Ltd, Oxford, UK, 156–171.

SZTRÓKAY, K. (1935): Zalavölgyi pontusi homok szedimentpetrográfiai vizsgálata. *Földtani Közöny* **65/10-12** 281–291.

THAMÓ-BOZSÓ, E. (1991): The heavy mineral content and mineralogical maturity of Cenozoic psammites in Hungary. *Acta Geologica Hungarica: A Quarterly of the Hungarian Academy of Sciences* **34/1-2** 127–132.

THAMÓNÉ BOZSÓ, E. (1993): A petrographic classification of Cenozoic sands and sandstones in Hungary. *Magyar Állami Földtani Intézeti Évi jelentése* **1991** 275–288.

THAMÓNÉ BOZSÓ, E. (2000): A comparison of the mineral composition of Cenozoic sands and sandstones of Hungary using mathematical methods. *Magyar Állami Földtani Intézeti Évi jelentése* **1994-1995, I-II**, 211–216.

THAMÓ-BOZSÓ, E., JUHÁSZ, Gy., Ó. & KOVÁCS, L. (2006): Az alföldi pannóniai s.l. képződmények ásványi összetétele I. A pannóniai s.l. homokok és homokkövek jellemzői és eredete. *Földtani Közöny* **136/3** 407–429.

THAMÓ-BOZSÓ, E. MURRAY, A.S., NÁDOR, A., MAGYARI, Á. & BABINSZKI, E. (2007): Investigation of river network evolution using luminescence dating and heavy mineral analysis of Late-Quaternary fluvial sands from the Great Hungarian Plain. *Quaternary Geochronology* **2** 168–173.

THAMÓ-BOZSÓ, E. Ó., KOVÁCS, L., MAGYARI, Á. & MARSI, I. (2014): Tracing the origin of loess in Hungary with the help of heavy mineral composition data. *Quaternary International* **319** 11–21.

THÜRACH, H. (1884): Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. – Verh. Phys. Med. Ges., Würzburg, **18** 203–284.

T. ROTH, L. (1888): A Krassó-Szörényi-hegység Ny-i széle Illadia, Csiklova és Oravicza környékén. *Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése az 1888. évről*, 75–94.

T. ROTH, L. (1889): A Krassó-Szörényi-hegység Ny-i része Majdán, Lisava és Stájerlak környékén. *Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése az 1889. évről*, 86–107.

VENDL, A. (1910): Adatok a Duna homokjának ásványtani ismeretéhez. *Manuscript, Magyar Geológiai Szolgálat Adattára*, Budapest, 30 p.

HYALOPHANE- AND TOURMALINE-BEARING K-METASOMATISED POLISHED STONE IMPLEMENT FROM NORTHERN HUNGARY

HIALOFÁN- ÉS TURMALIN TARTALMÚ KÁLIMETASZOMATISZÁLT VULKANIT NYERSANYAGÚ CSISZOLT KŐESZKÖZ ÉSZAK-MAGYARORSZÁGRÓL*

KERESKÉNYI, Erika¹; KRISTÁLY, Ferenc²; KASZTOVSZKY Zsolt³

& FEHÉR, Béla⁴

¹ Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, 3304 Eger, Sánc utca 6.

² Miskolc University, Institute of Exploration Geosciences

³Centre for Energy Research

⁴ Herman Ottó Museum, Department of Mineralogy

E-mail: kereskenyerika@yahoo.com

*A 65 éves Szakmány György tiszteletére,
a hazai archeometriai kutatásokban végzett
kiemelkedő munkásságáért,
aki nélkül ez a cikk sem születhetett volna meg.*

Abstract

A late Neolithic flat adze, originated from Szerencs-Taktaföldvár locality, North Hungary, was studied from archaeometric aspect. The adze suffered an alkali metasomatism which was revealed by the strikingly high alkali content and a large amount of potassic feldspars. Ba-rich and Ba-free potassic feldspars, and tourmaline, as characteristic minerals, were recorded from the adze. Despite of the several unique features, the precise provenance cannot be established. According to the mineral assemblage, one of the most possible provenances of raw material is Slovak Ore Mountains, near Tisovec; but due to the archaeological background of the Tiszaculture, the regions south of the Carpathian basin (Balkan, Banat) should be considered as well.

Kivonat

Szerencs-Taktaföldvár régészeti lelőhelyről származó késő neolitik csiszolt kőeszköz archeometriai vizsgálatát végeztük el. A kőeszközt kálimetaszomatózis érte, melyet alátámaszt a nagyon magas alkália-tartalom és a nagyméretű káliföldpátok jelenléte. A káliföldpátok között Ba-dús és Ba-mentes változatok is kimutatásra kerültek, ezen kívül turmalint is tartalmaz a kőbalta. A számos egyedi jegy ellenére, a nyersanyag származási helye nem állapítható meg biztosan. Az ásványi összetevők alapján a Szepes-Gömöri-érchegység Tiszolc melletti területe tekinthető a legvalószínűbbnek. Ugyanakkor a Tisza kultúra régészeti hátterét tekintve, a Kárpát-medencétől délre eső vidékek (Balkán, Bánság) is megfontolandók.

KEYWORDS: POLISHED STONE IMPLEMENT, PROVENANCE, K-METASOMATISED VOLCANITE, HYALOPHANE, TOURMALINE, SZERENCSTAKTAFÖLDVÁR

KULCSSZAVAK: CSISZOLT KŐESZKÖZ, FORRÁSTERÜLET, KÁLIMETASZOMATISZÁLT VULKANIT, HIALOFÁN, TURMALIN, SZERENCSTAKTAFÖLDVÁR

Abbreviations: Ap: apatite; Bt: biotite; Chl: chlorite; Ep: epidote; Ep-REE: epidote with rare earth element content; En: enstatite; Kfs: potassic feldspar; Kfs-Ba: Ba-rich potassic feldspar; Mgt: magnetite; Olg: oligoclase; Ph: phengite; Ti-mgt: titanomagnetite; Tur: tourmaline

* How to cite this paper: KERESKÉNYI, E.; KRISTÁLY, F.; KASZTOVSZKY Zs. & FEHÉR, B., (2024): Hyalophane- and tourmaline-bearing K-metasomatised polished stone implement from Northern Hungary / Hialofán- és turmalin tartalmú kálimetaszomatizált vulkanit nyersanyagú csiszolt kőeszköz Észak-Magyarországról, *Archeometriai Műhely* XXI/2 119–130.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-011](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-011)

Introduction

The largest archaeological collection of Northern Hungary can be found in the Herman Ottó Museum, Miskolc, which contains cc. 500 polished stone tools including metabasites in high proportion. A detailed archaeometric research was performed on them, resulting in a doctoral thesis, also (Kereskényi 2021).

Szerencs-Taktaföldvár is a well-known late Neolithic, Tisza culture related archaeological site (Selján 2005) from which 12 polished stone implements were excavated in a particular position (Hellebrandt 1979). Several pieces of them were examined in petrological and mineralogical aspect but the stone implement No. 74.44. was significantly different from the other polished stone tools in terms of all characteristics.

In this study our aim is the archaeometric investigation of the tool and detecting its possible provenances.

Methods

As the implement is intact, only non-destructive mineralogical and petrological analytical methods were allowed to carry out.

Macroscopical description took place and magnetic susceptibility was measured with KT-5 Kappameter, applying thickness correction (Bradák et al. 2009).

The chemical analyses (EDS-SEM) were performed by a JEOL JXA 8600 Superprobe electron-microprobe with backscattered image recording and energy-dispersive X-ray spectrometry, using the original surface method (Bendő et al. 2013). The accelerating voltage was set to 20 kV and the beam current was 20 nA.

Non-destructive X-ray diffraction (XRD) analysis was accomplished with a Bruker D8 Advance X-ray diffractometer with CuK α source, 40 kV and 20 mA generator settings, parallel beam geometry (Göbel-mirror), Vantec1 position detector (1° window opening degree), 0.1 mm air-scatter collimator.

A 10x5 mm slice of aluminium foil (Al), 0.05 mm thick, was placed on the area to be measured to detect and correct for possible sample plane errors. The absorption of the aluminium foil and the sensitivity of the sample centering to sample plane position were tested by Kristály (2014) using NIST 1976a corundum standard.

After the measurement, the crystallographic phase identification was performed with Bruker DiffracPlus EVA software based on ICDD PDF2 and COD (Crystallography Open Database) database, using Search/Match algorithm (Kristály & Kereskényi 2016).

EDS-SEM and XRD measurements were carried out at the Institute of Exploration Geosciences, University of Miskolc.

The bulk elemental composition of the polished stone tool has been determined by prompt-gamma activation analysis (PGAA) at the Budapest Neutron Centre. The Budapest PGAA facility was described by Szentmiklósi et al. (2010). The method is applicable to determine the major geochemical components (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O), some specific trace elements and water phase with relatively high neutron absorption cross-sections (B, Cl, Sc, V, Cr, Ni, Sm and Gd).

The adze No. 74.44.5 was placed in an external horizontal cold neutron beam, which was guided away from the Budapest Research Reactor. The $7.7 \cdot 10^7$ n/cm²·s thermal equivalent intensity beam was collimated to 24 mm² cross-section to achieve the optimal count-rate. The acquisition time was chosen to 2000 s. The prompt-gamma spectrum was collected in parallel with the irradiation. The composition was calculated using the prompt-k₀ method (Révay 2009).

Archaeological background, previous research

In 1974, during a road construction, ruins of a Neolithic house and fishnet weights came to surface at Szerencs-Taktaföldvár. 152 cm far from these findings, in a broken vessel, 12 polished stone implements were excavated (Hellebrandt 1979). Previous archaeometric studies were performed on 11 tools; five of them were identified as metabasite (Kereskényi et al. 2020, Kereskényi 2021), and there were five more volcanites, one sandstone and one white stone (kaolin?) rock-typed adzes.

The archaeological context of the adzes, whereby being hidden in a vessel, may also be related to the folk belief that the adzes have magical powers to ward off evil and trouble (Hellebrandt 1979). According to their archaeological typology most of them are flat adzes and three of them are broken implement-pieces.

Results

Macroscopic description and magnetic susceptibility

The colour of the flat polished stone implement is black (**Fig. 1.**) with red patches on its surface, observable by naked eye. White narrow bands can be observed on the lateral surface, which might be originated from the soil interaction, carbonate precipitation during the burial process. The size of the implement is 12.5 x 6.8 x 2.4 cm and the weight of the tool is strikingly heavy. The magnetic susceptibility is extremely high 76.57×10^{-3} SI.



Fig. 1.: Archaeological site of the polished stone implement No. 74.44.5 and its macroscopic image

1. ábra: A 74.44.5 leltári számú kőeszköz régészeti lelőhelye és makroszkópos felvétele

Bulk chemistry

Non-destructive PGAA analysis was applied for the determination of the bulk chemistry. According to the SiO_2 -content, the studied implement has a composition typical of intermediate volcanic rocks. The total alkali oxide content is exceedingly high, 11.10 wt%, and the Al_2O_3 content is also elevated (23.20 wt%), while the CaO-content is very low (0.60 wt%). Based on the high alkalis, the rock was affected by alkali metasomatism. Focusing on the trace elements, enrichment of boron, vanadium and chromium can be recognized (**Table 1**).

Table 1: PGAA results of the polished stone implement No. 74.44.5. The major components are given in wt%, the trace elements are in ppm. The amount of oxides is calculated from the elemental concentration, based on the oxidation numbers. The number of digits indicates the uncertainties of concentration values. “<D.L.” stands for “less than the Detection Limit”.

1. táblázat: A 74.44.5 leltári számú kőeszköz PGAA eredményei. A főelemek tömeg%-ban, a nyomelemek ppm-ben vannak megadva. (Rövidítés: <D.L.: detektálási határ alatt.).

Oxide/Element	Concentration
SiO_2	52.20
TiO_2	0.78
Al_2O_3	23.20
Fe_2O_3^*	9.94
MnO	<D.L
MgO	<D.L
CaO	0.60
Na_2O	3.67
K_2O	7.43
H_2O	1.94
Total	99.76
B	178
Cl	39
V	158
Cr	515
Nd	41
Sm	6
Gd	6

* Total Fe as Fe_2O_3 .

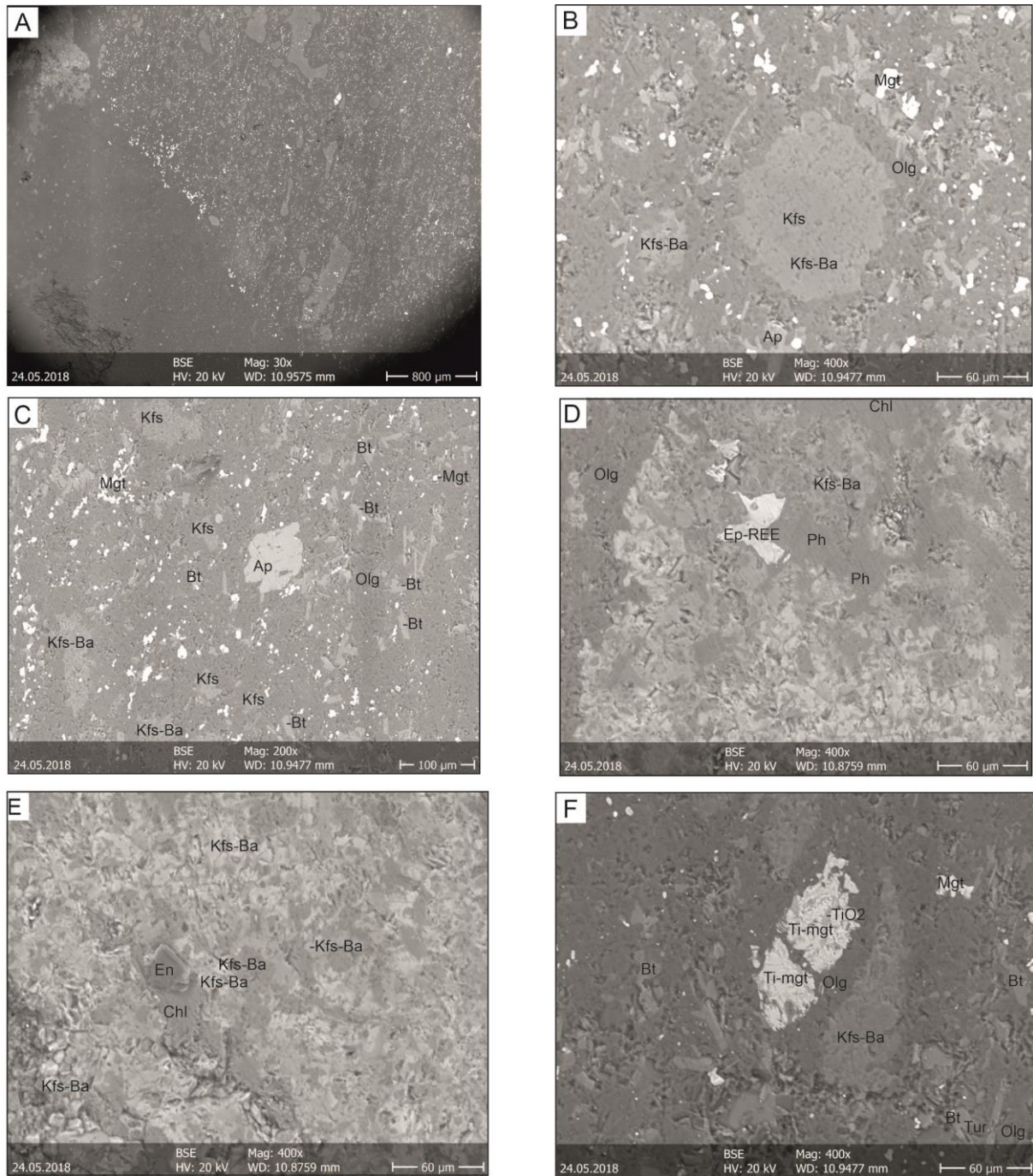


Fig. 2.: BSE images of polished stone implement No. 74.44.5. (a) Dual texture of the tool: porphyritic inequigranular and fine-grained (in small magnification). (b) Large potassic feldspar grains, the Ba-content increases from core to rim., (c) Ba-rich and Ba-free potassic feldspars are often appear in the sample. (d) REE-rich epidote. (e) Small relict enstatite grain next to Ba-rich potassic feldspar. (f) Ti-magnetite with TiO_2 inclusion and small tourmaline (dravite) grain can be observed in the sample.

2. ábra: A 74.44.5 leltári számú kőszköz BSE felvételei. (a) A kőszköz kettős szöveti képe: porfiros inekvigranuláris és finom szemcsés (kis nagyításban). (b) Nagyméretű káliföldpátok, melyekben a bárium-tartalom a magtól a szegély felé növekszik. (c) Báriumos és báriummentes káliföldpátok rendre jelen vannak a mintában. (d) Ritkaföldfém-tartalmú epidot. (e) Bárium-tartalmú káliföldpát (hialofán) mellett relict enstatit szemcse mutatkozik. (f) Ti-magnetit TiO_2 -zárványokat tartalmaz és egy turmalin szemcse (drávit) is megfigyelhető.

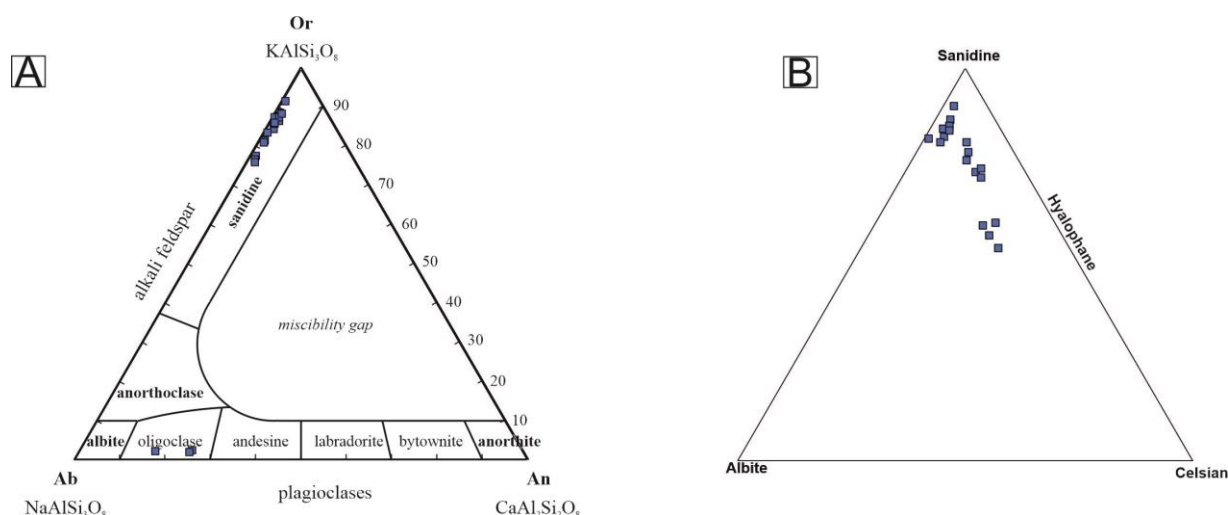


Fig. 3: Mineral chemistry data on polished stone implement No. 74.44.5 by SEM-EDS. (a) Feldspars in the Ab-An-Or diagram. (b) Ba-rich feldspars (hyalophane) plotted in the Albite-Celsian-Sanidine diagram

3. ábra: A 74.44.5 leltári számú kőeszköz SEM-EDS-sel mért ásványkémiai adatai. (a) Földpátok az Ab-An-Or diagramban ábrázolva. (b) Bárium-dús káliciföldpátok (hialofán) az Albit-Celsián-Szanidin diagramban bemutatva.

Mineral chemistry

Studying the BSE image of the polished stone implement, the duality of the texture is striking. One half of the studied surface is in equigranular and porphyritic with large potassium feldspar crystals, while the other half of the section is fine-grained (Fig. 2.a).

The size of the *potassium feldspar* is over 1 mm (Fig. 2.a). Its composition varies, the Ba-content increases from core to rim (0.03 to 0.10 apfu) but this trend does not appear in each crystal. So, the rock includes Ba-rich (hyalophane) and almost Ba-free potassium feldspars, as well (Fig. 2.c, Table 2.), with the associated Na-content plotting in the high-temperature sanidine zone of the feldspar compositional plot (Fig. 3.a-b). The observed plagioclase in the implement is *oligoclase* (An₁₇₋₂₅) (Table 2.).

A cc. 20 µm *enstatite* grain in relict position was detected next to Ba-rich potassic feldspar and clinocllore (Fig. 2.e).

Epidote (Fig. 2.d) contains rare-earth elements: Ce = 0.18–0.27; La = 0.06–0.07; Nd = 0.08–0.12; Sm = 0.01–0.02; Gd = 0.01 apfu.

The size of the *biotite*-lamellae is 50 µm (Figs. 2.c-f) and the Fe/(Fe+Mg) ratio is in a narrow range, 0.35–0.42. The Al content, both in the octahedral and tetrahedral sites, is relatively high (Al_{tot} = 1.78–1.88 apfu) (Table 3.), so the composition of the mineral shifts towards eastonite.

Among white micas, *phengite* was also observed with cc. 50 µm next to epidote (Fig. 2.d, Table 4.).

Chlorite was detected in large amount in the polished stone tool (Figs. 2.d-e), its composition reveals to be clinocllore (Table 5.).

From the implement a 10–20 µm-sized dravitic *tourmaline* grain was also perceived (Table 6., Fig. 2.f).

Magnetite and *titanomagnetite* are in even distribution and in large amount (Fig. 2.). The largest magnetite/titanomagnetite grain reaches 100 µm but the average size is 5–20 µm, respectively. TiO₂ phase as inclusions (Fig. 2.f) can be observed.

Table 2: Chemical composition of feldspars in wt%. (Stone adze, HOM, Inv. nr: 74.44.5)**2. táblázat:** Földpátok kémiai összetétele tömeg%-ban megadva. (74.44.5 leltári számú köeszköz, HOM).

	Olg	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)
SiO ₂	63.48	62.13	62.03	63.76	58.53	57.21
Al ₂ O ₃	23.96	19.66	19.53	19.78	20.83	21.00
FeO*	0.26	0.35	0.49	0.24	0.19	0.17
CaO	3.16	0.15	0.13	0.20	0.12	0.15
Na ₂ O	8.50	1.04	1.15	1.80	1.21	1.14
K ₂ O	0.34	14.07	13.90	13.13	12.39	11.83
BaO	0.00	1.67	2.04	0.41	6.23	8.05
Total	99.70	99.07	99.27	99.32	99.50	99.55
Cation numbers based on 8 oxygens						
Si	2.80	2.92	2.92	2.95	2.83	2.80
Al	1.25	1.09	1.08	1.08	1.19	1.21
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Ca	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.73	0.09	0.10	0.16	0.11	0.11
K	0.02	0.84	0.83	0.77	0.76	0.74
Ba	0.00	0.03	0.04	0.01	0.12	0.15
Total	4.95	5.00	5.01	4.98	5.02	5.02
Feldspars molecule in mol%.						
An	16.68	0.80	0.69	1.05	0.70	0.92
Ab	81.18	9.78	10.74	17.11	11.39	10.80
Or	2.14	87.05	85.41	82.11	76.75	73.77
Ce	0.00	3.17	3.85	0.79	11.86	15.42

	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)	Kfs (Ba)
SiO ₂	56.69	52.85	54.39	52.99	59.60	56.66	51.81
Al ₂ O ₃	21.05	22.26	22.46	22.32	20.44	21.46	22.52
FeO*	0.19	0.19	0.12	0.17	0.27	0.29	0.15
CaO	0.16	0.13	0.13	0.18	0.19	0.13	0.19
Na ₂ O	0.99	1.34	1.60	1.65	0.94	1.05	1.59
K ₂ O	12.08	9.49	9.04	8.92	12.83	11.10	8.36
BaO	8.48	13.39	11.69	13.38	4.97	8.68	15.11
Total	99.64	99.65	99.43	99.61	99.24	99.37	99.73
Cation numbers based on 8 oxygens							
Si	2.78	2.68	2.71	2.68	2.86	2.78	2.65
Al	1.22	1.33	1.32	1.33	1.16	1.24	1.36
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.09	0.13	0.15	0.16	0.09	0.10	0.16
K	0.76	0.61	0.57	0.58	0.78	0.69	0.54
Ba	0.16	0.27	0.23	0.26	0.09	0.17	0.30
Total	5.03	5.03	5.00	5.03	5.00	5.00	5.03
Feldspars molecule in mol%							
An	0.98	0.94	0.94	1.31	1.11	0.85	1.46
Ab	9.29	13.02	16.14	16.14	9.05	10.39	15.67
Or	74.62	60.68	60.02	57.41	81.28	72.26	54.22
Ce	16.09	26.30	23.84	26.45	9.67	17.36	30.10

* Total iron was measured as FeO.

Table 3.: Chemical composition of biotite in wt%. (Stone adze, HOM, Inv. nr. 74.44.5)**3. táblázat:** Biotitok kémiai összetétele tömeg%-ban megadva. (74.44.5 leltári számú kőeszköz, HOM).

SiO ₂	35.77	36.41	36.32	36.23	37.69	35.77
TiO ₂	2.68	2.75	2.43	2.66	2.51	2.68
Al ₂ O ₃	21.03	21.28	21.43	21.35	21.93	21.03
FeO*	15.14	13.83	13.57	13.58	12.29	15.14
MnO	0.18	0.20	0.08	0.12	0.20	0.18
MgO	11.56	11.64	12.62	12.47	10.87	11.56
CaO	0.00	0.10	0.00	0.00	0.12	0.00
Na ₂ O	0.20	0.21	0.38	0.38	0.36	0.20
K ₂ O	9.39	9.49	9.07	9.12	9.89	9.39
H ₂ O**	4.06	4.09	4.10	4.10	4.13	4.06
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cation numbers based on 11 oxygens						
Si	2.64	2.67	2.90	2.65	2.74	2.64
Al	1.36	1.33	1.10	1.35	1.26	1.36
ΣT	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Al	0.47	0.51	0.33	0.50	0.62	0.47
Ti	0.15	0.15	0.08	0.13	0.14	0.15
Fe ²⁺	0.93	0.85	0.81	0.83	0.75	0.93
Mn	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Mg	1.27	1.27	1.77	1.37	1.18	1.27
ΣM	2.84	2.79	3.00	2.84	2.69	2.84
Ca	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Na	0.03	0.03	0.00	0.05	0.05	0.03
K	0.88	0.89	0.89	0.85	0.92	0.88
ΣI	0.91	0.92	0.90	0.90	0.98	0.91

* Total Fe was measured as FeO.

** H₂O based on stoichiometry: OH = 2 *apfu*.**XRD analysis**

Non-destructive XRD analysis was carried out on the implement and confirmed the presence of sanidine, plagioclase, enstatite, titanomagnetite and magnetite (Fig. 4.). The presence of quartz is the result of soil-originated contamination on the surface. Even if the measured surface was selected to avoid the carbonate precipitation (macroscopic white spots), microscopic soil grains were attached into the pores. As anatase was detected, part of the TiO₂-content is present in this form, a usual product

of metasomatic processes, however it does not mean that other TiO₂ species, or other Ti-bearing phases are not present. This agrees with the observation of titanomagnetite (in which case the chemical formula in Fig. 4. is not relevant, only indicates deviation from regular composition) structures, corroborated with the titanomagnetite identified by the EDS-SEM.

Table 4.: Chemical composition of white micas in wt% in the stone implement No. 74.44.5

4. táblázat: Fehér csillámok kémiai összetétele tömeg%-ban megadva. (74.44.5 leltári számú kőeszköz, HOM).

SiO ₂	45.97	48.01
TiO ₂	0.53	0.24
Al ₂ O ₃	31.98	30.62
FeO*	3.34	3.51
MnO	0.11	0.08
MgO	3.39	2.77
CaO	0.12	0.10
Na ₂ O	0.43	0.21
K ₂ O	9.66	9.98
H ₂ O**	4.47	4.48
Total	100.00	100.00
Ion numbers based on 24 (O, OH)		
Si	6.17	6.43
Al ^{IV}	1.83	1.57
ΣT	8.00	8.00
Al ^{VI}	3.23	3.26
Ti	0.05	0.02
Fe	0.38	0.39
Mn	0.01	0.01
Mg	0.68	0.55
ΣO	4.35	4.24
Ca	0.02	0.01
Na	0.11	0.05
K	1.65	1.70
ΣI	1.78	1.77
OH	4.00	4.00

* Total Fe was measured as FeO.

** H₂O based on stoichiometry: OH = 2 *apfu*.

Discussion – Possible provenance

The flat adze was studied from archaeometrical aspect, detailed petrological, mineralogical analyses were performed in order to define the rock-type and the provenance.

According to the high alkali content and the observed potassic feldspar crystals in large amount, an intermediate volcanic rock was affected by potassic metasomatism. Ba-rich and Ba-free potassic feldspars were recorded in the adze (Fig. 2.). In the early phase of crystallization of potassic feldspars Ba²⁺ can be captured in the feldspar having the same ion radius as K⁺ (von

Table 5: Chemical composition of chlorite in wt% in the stone implement No. 74.44.5

5. táblázat: Kloritok kémiai összetétele tömeg%-ban megadva. (74.44.5 leltári számú kőeszköz, HOM).

SiO ₂	28.71	28.50	28.00	28.33
TiO ₂	0.13	0.00	0.04	0.05
Al ₂ O ₃	21.19	21.86	21.12	21.09
FeO*	18.23	16.74	19.01	18.61
MnO	0.35	0.33	0.41	0.41
MgO	18.92	20.35	19.31	19.42
CaO	0.18	0.04	0.02	0.04
Na ₂ O	0.19	0.08	0.11	0.06
K ₂ O	0.16	0.07	0.10	0.07
H ₂ O**	11.93	12.03	11.88	11.91
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Ion numbers based on 18 (O,OH) anions.				
Si	2.88	2.84	2.83	2.85
Al ^{IV}	1.12	1.16	1.17	1.15
Al ^{VI}	1.39	1.41	1.34	1.36
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	1.53	1.40	1.61	1.57
Mn	0.03	0.03	0.04	0.04
Mg	2.84	3.02	2.91	2.92
Ca	0.02	0.00	0.00	0.00
Na	0.04	0.02	0.02	0.01
K	0.02	0.01	0.01	0.01
sum X	5.88	5.89	5.93	5.90
O	10.00	10.00	10.00	10.00
OH	8.00	8.00	8.00	8.00
Fe/(Fe+Mg)	0.35	0.32	0.36	0.35

* Total Fe was measured as FeO.

** H₂O based on stoichiometry: OH = 8 *apfu*.

Engelhardt 1936, Oftedal 1961, Heier 1962). In the studied adze Ba-content increases from core to rim (Fig. 2.) but this geochemical process can take place reversely (Němec 1975) as well.

Boron and chromium contents of the adze are showing elevated values. Enrichment of volatile (B) and metallic (Ba, Cr) component may be related to postmagmatic, metasomatic event (Pirajno 2013) which is confirmed by the presence of the significant amount of potassic feldspars.

A late magnetite-forming process took place which resulted the presence of large amount of magnetite and Ti-magnetite (Figs. 2.b-c) producing the high magnetic susceptibility value.

Table 6.: Chemical composition of tourmaline in wt%. (Stone adze, HOM, Inv. nr: 74.44.5)

6. táblázat: Turmalinok kémiai összetétele tömeg%-ban megadva. (74.44.5 leltári számú kőszeköz, HOM).

SiO ₂	35.74	35.26
TiO ₂	0.24	0.37
B ₂ O ₃ *	10.59	12.38
Al ₂ O ₃	32.80	39.90
FeO**	6.68	7.63
MnO	0.00	0.00
MgO	7.45	7.74
CaO	0.52	0.49
Na ₂ O	2.18	2.65
K ₂ O	0.15	0.03
H ₂ O***	3.65	4.27
Total	100.00	100.00
Based on 31 (O, OH) anions		
Si	5.87	5.78
Al	0.13	0.22
ΣT	6.00	6.00
B	3.00	3.00
ΣB	3.00	3.00
Al	6.00	6.00
ΣZ	6.00	6.00
Al	0.21	0.38
Ti	0.03	0.05
Mg	1.82	1.62
Mn	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.92	0.90
ΣY	2.98	2.94
Ca	0.09	0.07
Na	0.69	0.72
K	0.03	0.01
□	0.18	0.20
ΣX	1.00	1.00
OH	4.00	4.00

* B₂O₃ calculated from the stoichiometry: B = 3 apfu.

**Total Fe was measured as FeO.

***Based on the stoichiometry: OH = 4 apfu.

In the Carpathian Basin or its surroundings, similar rocks with SiO₂ content cc. 50 wt%, affected by alkali metasomatism, are known as potassic-trachyte from Mátra Mountains, Telkibánya, both in Hungary and Baia Mare (Nagybánya), Romania (Kubovics, 1966). However, they can be excluded as source areas, because of the much higher iron content of the stone tool.

In the Veporicum and the Gemericum (Slovakia), alkali metasomatism took place, but more acidic rocks, mainly dacite, were affected by the process (Šimurková et al. 2016), therefore these two units can be excluded as source areas.

Hyalophane-bearing, magnetite rich rocks were described from the Slovak Ore Mountains, near Tisovec (Tiszolc) (Hurai & Huraiová 2011),

furthermore dravite-bearing rock is mentioned from this area, too (Bačík et al. 2015). It can be a good match for provenance but differences occur in the described ore minerals, additionally the bulk chemistry data of these lithotypes were not published therefore no basis for comparison.

From Szerencs-Taktaföldvár the previously studied polished implements were amphibolite, contact metabasite, volcanites, sandstone and white stone (kaolin). The provenance of the amphibolite was Klátov, Gemericum (Slovakia) (Kereskényi et al. 2020) while the contact metabasite derived from the Czech Massif (Kereskényi 2021). Detailed mineralogical analysis were not performed on the other lithotypes, therefore provenance cannot be established.

Knowing the fact that the polished stone implement belongs to the Tisza culture, it is imaginable that the raw material came from southern areas (e.g. Balkan or Banat regions) to Szerencs-Taktaföldvár archaeological site (**Fig. 5.**). It is due to the fact that the Tisza culture spread over a wide area, covering the Danube-Tisza interfluve and Transtisza (Tiszántúl) areas, either (Kreiter et al. 2017). Furthermore, the Tisza culture appeared in the Banat region (Romania), too and showing many analogies with the Vinča culture, which spread in North Serbia (Raczky 1992).

Despite of the numerous unique signatures, the exact provenance field cannot be determined, and because of the special rock-type, remote source areas cannot be excluded either.

Conclusions

Considering the mineralogical assemblage, and the bulk chemistry of the stone adze, the implement suffered an alkali metasomatism. Despite of the characteristic, index minerals e.g. hyalophane (Ba-rich potassium feldspar) and dravite (tourmaline) and the extreme alkali content of the bulk chemistry, the provenance of the adze cannot be identified from these data for sure.

Gemicum and Veporicum as possible provenances can be excluded except the outcrops near Tisovec in the Slovak Ore Mountains where partly similar mineral assemblage (Hurai & Huraiová 2011, Bačík et al. 2015) was recorded. South of the Carpathian Basin, e.g. Banat or Balkan outline (**Fig. 5.**) as possible provenances which can be justified by archaeological point of view even (Raczky 1992, Kreiter et al. 2017).

Concluding, hyalophane- and tourmaline-bearing alkali metasomatised volcanite as lithic raw material has not been mentioned from the earlier studied polished stone tools yet, therefore it can be handled as a unique lithotype with accurately not assured provenance.

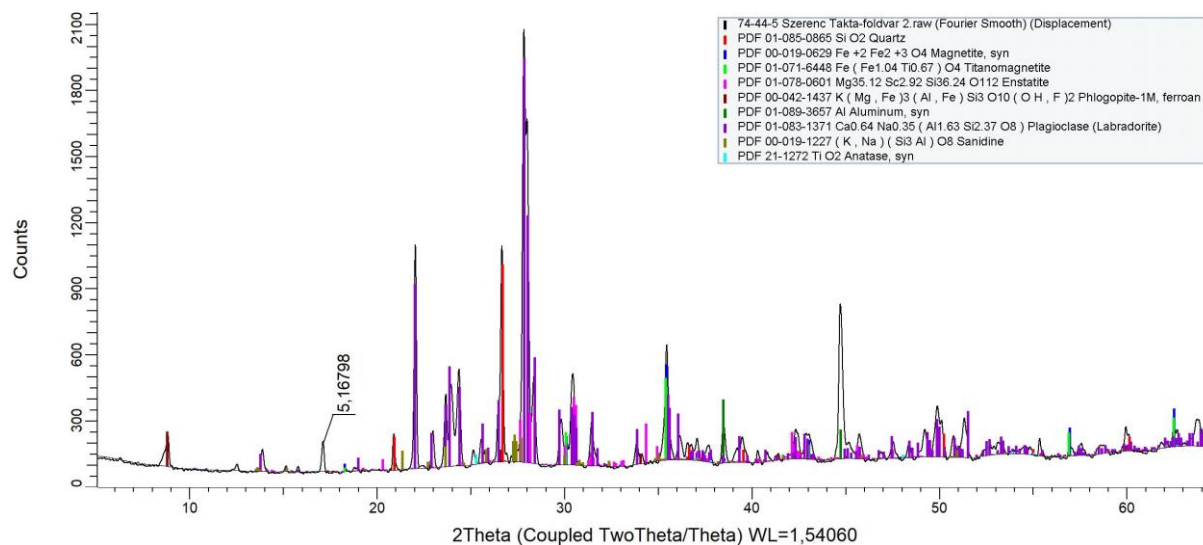


Fig. 4.: XRD pattern of stone tool No. 74.44.5

4. ábra: A 74.44.5 leltári számú kőeszköz XRD felvétele

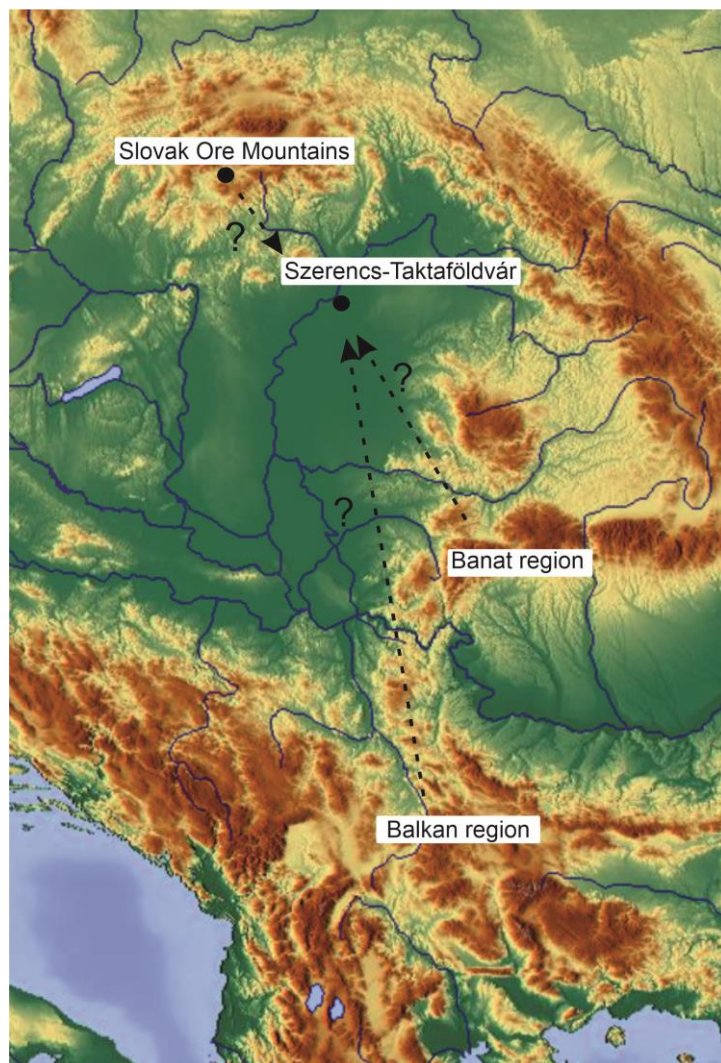


Fig. 5.: Possible provenances of the flat adze No. 74.44.5.

5. ábra: A 74.44.5 leltári számú kőeszköz lehetséges forrásterületei.

Contribution of authors

Kereskényi Erika Conceptualization, Methodology, Investigation, Data Curation, Writing – Original draft, Writing – Review & Editing, Visualization. **Kristály Ferenc** Methodology, Investigation, Data Curation, Writing – Original draft, Visualization. **Kasztovszky Zsolt** Methodology, Investigation, Data Curation, Writing – Original draft, Funding acquisition. **Fehér Béla** Conceptualization, Methodology, Investigation, Data Curation, Writing – Original draft, Supervision.

Acknowledgements

First of all, we are obligated to the associates of the Department of Archaeology of the Herman Ottó Museum. We are grateful to Sándor Józsa for the inspiring consultation. The research was funded by the project NKFIH-OTKA K 131814.

References

- BAČÍK, P., ERTL, A., ŠTEVKO, M., GIESTER, G. & SEČKÁR, P. (2015): Acicular zoned tourmaline (magnesian-foitite to foitite) from a quartz vein near Tisovec, Slovakia: The relationship between crystal chemistry and acicular habit. *The Canadian Mineralogist* **53** 221–234.
- BENDŐ, Zs., OLÁH, I., PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, Gy. & HORVÁTH, E. (2013): Csiszolt kőszközök és ékkövek roncsolásmentes SEM-EDX vizsgálata: lehetőségek és korlátok. *Archeometriai Műhely* **10/1** 51–66.
- BRADÁK, B., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & PŘICHYSTAL, A. (2009): Application of magnetic susceptibility on polished stone tools from Western Hungary and the Eastern part of Czech Republic (Central Europe). *Journal of Archaeological Science* **36** 2437–2444. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.07.001>
- ENGELHARDT, W. von (1936): Die Geochemie des Bariums. *Chemie der Erde* **10** 187–246.
- HEIER, K., S. (1962): Trace elements in feldspars – a review. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **42/2** 415–454.
- HELLEBRANDT, M. (1979): A szerencs-taktaföldvári kőbalta lelet. In: SZABADFALVI, J., szerk., *A Herman Ottó Múzeum Évkönyve XVII–XVIII* Miskolc, 7–25.
- HURAI, V. & HURAIÓVÁ, M. (2011): Origin of ferroan alabandite and manganoan sphalerite from the Tisovec skarn, Slovakia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* **188/2** 119–134.
- KERESKÉNYI, E., SZAKMÁNY, Gy., FEHÉR, B., HARSÁNYI, I., SZILÁGYI, V., KASZTOVSZKY, Zs. & M. TÓTH, T. (2020): Archaeometrical results related to Neolithic stone implements from Northeast Hungary. *Journal of Archaeological Science: Reports* **32** 102437 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102437>
- KERESKÉNYI E. (2021): *A Herman Ottó Múzeum neolitik csiszolt kőszközeinek vizsgálata, különös tekintettel a metabázitokra*. Doktori dolgozat, Debreceni Egyetem, 220 p.
- KREITER, A., KALICZ, N., KOVÁCS, K., SIKLÓSI, Zs. & VIKTORIK, O. (2017): Entangled traditions: Lengyel and Tisza ceramic technology in a Late Neolithic settlement in northern Hungary. *Journal of Archaeological Science: Reports* **16** 589–603. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.03.021>
- KRISTÁLY, F. (2014): Rapid non-destructive X-ray diffraction investigation of polished greenstone tools. *Archeometriai Műhely* **11/4** 223–242.
- KRISTÁLY, F. & KERESKÉNYI, E. (2016): Non-destructive X-ray diffraction investigation of amphibole-rich stone implements: What precision should we expect for glaucophane-identification? *Archeometriai Műhely* **13/3** 191–202.
- KUBOVICS, I. (1966): A kálimetasomatózis szerepe a nyugat-mátrai kőzetképződésben. *Földtani Közlemény* **96/1** 13–26.
- NĚMEC, D. (1975): Barium in K-feldspar Megacrysts from granitic and syenitic rocks of the Bohemian Massif. *Tschermaks Mineralogische und petrographische Mitteilungen* **22** 109–116.
- OFTEDAL, I. (1961): Remarks on the variable contents of Ba and Sr in microdiorite from a single pegmatite body. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **41** 271–277.
- PIRAJNO, F. (2013): Effects of metasomatism on mineral systems and their host rocks: Alkali metasomatism, skarns, greisens, tourmalinites, rodingites, black-wall alteration and listvenites. In: HARLOV, D.E. & AUSTRHEIM, H., eds., *Metasomatism and the chemical transformation of rock*. Springer, Springer Nature, Berlin, Heidelberg, 203–251.
- RACZKY, P. (1992): The Neolithic of the Great Hungarian Plain and the Vinča Complex (New archaeological evidences for the relations). In: SAMARDŽIĆ, R., ed., *Hommage à Nikola Tasić à l'occasion des ses soixante ans, Balcanica* **23** Beograd, 147–165.
- RÉVAY, Zs. (2009): Determining elemental composition using prompt γ activation analysis, *Analytical Chemistry* **81** 6851–6859.
- SELJÁN É. (2005): *A Tiszai kultúra települése Szerencs-Taktaföldváron a késő neolitikum időszakában*. Diplomadolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 105 p.

ŠIMURKOVÁ, M., IVAN, P. & GARGULÁK, M. (2016): Subsolidus alkali metasomatism in the metamorphosed Ordovician acid volcanics and volcanoclastics of the Gelnica Group (Gemic Superunit, Western Carpathians). *Acta Geologica Slovaca* **8/1** 87–98.

SZENTMIKLÓSI, L., BELGYA, T., RÉVAY, Zs. & KIS, Z. (2010): Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest Research Reactor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **286** 501–505.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10967-010-0765-4>

**SZOLNOK – MILLÉRI-HOLTÁG PART I-II. TÖBB KORSZAKÚ
LELŐHELY ŐRLŐKŐ LELETEI ARCHEOMETRIAI
VIZSGÁLATÁNAK ELŐZETES EREDMÉNYEI –
ÚJ ADATOK A DOMOSZLÓI PIROXÉNANDEZIT NYERSANYAG
RÉGÉSZETI ELTERJEDÉSÉHEZ**

**PRELIMINARY RESULTS OF THE ARCHAOMETRICAL INVESTIGATIONS OF
THE GRINDING STONE ASSEMBLAGE OF THE MULTIPERIOD
ARCHAEOLOGICAL SITE SZOLNOK – MILLÉRI-HOLTÁG PART I-II –
NEW DATA ON THE ARCHAEOLOGICAL DISTRIBUTION OF THE DOMOSZLÓ-
TYPE PYROXENE ANDESITE RAW MATERIAL***

PÉTERDI, Bálint¹  & CZIFRA, Szabolcs² 

¹Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Budapest
e-mail: peterdi.balint@gmail.com

²Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Régészeti Intézet, Budapest
e-mail: czifra.szabolcs@mnm.hu

Abstract

The multi-period archaeological site Szolnok – Milléri-holtág part I-II is located in the north-eastern vicinity of Szolnok, approximately 5 km from the town, on the high bank of the Milléri-holtág. The total excavated area is almost 27 000 m². The preventive excavation was performed by the staff of the Hungarian National Museum in two campaigns (in 2014 and 2015) connected with the M4 motorway constructions. Most excavated settlement features belonged to a Middle Iron Age (Scythian Period) and a Late Iron Age (Celtic Period) rural settlement with scattered structures. Besides these, other settlement features were found from the Neolithic, Late Bronze Age and Medieval Period (Árpád Period). It has to be mentioned that in the excavated part of the Scythian Period settlement, only circular and oval structures were found. The rectangular features – typical for other settlements of the period – were absent in Milléri-Holtág part I-II. However, the archaeological finds were typical: ceramic assemblages were characterised by long-lasting forms (pots, bowls) of the Iron Age household ceramics. The assemblages of the Late Iron Age features were very similar to the vessel types of the earlier period. The partition of the artefacts can only be made with the help of some characteristic forms and ornamentations that appeared in a close unit. The ground stone assemblage of the site (primarily fragments of grinding stones) was analysed with petrographic and geochemical methods. Based on these investigations, the finds' most frequent raw material type could be identified with the Domoszló-type pyroxene andesite from the Mátra Mountains, studied intensively in the past few years. Other types of andesite were present in the ground stone assemblage in smaller amounts. The identification of the source areas of these different andesite raw material types needs more exploration, not just in the territory of Hungary, but also in some areas beyond the borders, e.g. Subcarpathia (Zakarpatska Oblast, Ukraine), Eastern-Slovakia, Transylvania (Romania).

Kivonat

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. több korszakú lelőhely Szolnok északkeleti határában, a várostól mintegy 5 km-re, a Milléri-holtág magaspártján található. A közel 27 000 m² nagyságú lelőhely teljes felületű megelőző feltárását a Magyar Nemzeti Múzeum munkatársai két ütemben, 2014-ben és 2015-ben végezték el, az M4-es autópálya építéséhez kapcsolódóan.

A feltárt objektumok többsége egy középsővaskori (szkíta), illetve egy késő vaskori (kelta), szórt szerkezetű, falusias jellegű településrészlethez tartozott. Ezek mellett újkőkori, késő bronzkori és középkori (Árpád-kori) objektumok is napvilágra kerültek.

* How to cite this paper: PÉTERDI, B. & CZIFRA, Sz., (2024): Szolnok – Milléri-holtág part I-II. több korszakú lelőhely őrlőkő leletei archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei – új adatok a domoszlói piroxénandezit nyersanyag régészeti elterjedéséhez / Preliminary results of the archaeometrical investigations of the grinding stone assemblage of the multiperiod archaeological site Szolnok – Milléri-holtág part I-II. – new data on the archaeological distribution of the Domoszló-type pyroxene andesite raw material. [In Hungarian with English abstract], *Archeometriai Műhely* XXI/2 131–148.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-012](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-012)

Érdemes megjegyezni, hogy a szkíta kori Vekerzug-kultúra itt feltárt településrészletén kizárólag kör vagy ovális alaprajzú struktúrák rajzolódtak ki, hiányoznak a korszak más településeit jellemző négyszögletes alaprajzú épületek.

A régészeti leletanyag azonban teljesen szokványos jellegű: a kerámiaanyag gerincét a vaskori házi kerámia hosszú életű, általános típusai (fazekak, tálak) alkotják. A késő vaskori objektumok emlékényaga csak nagyon kevésbé tér el a korábbi időszak edénytípusaitól, a leletanyag szétválasztása lényegében csak a zárt egységben feltűnő egy-egy jellegzetes forma és díszítés alapján lehetséges.

A lelőhelyen feltárt kőzetanyagú szerszámkövek (elsősorban őrlőkövek) részletes kőzettani és geokémiai vizsgálata alapján a leggyakoribb nyersanyag típus azonosítható az utóbbi években intenzíven kutatott domoszlói (Mátra hegység) piroxénandezit nyersanyaggal, de kisebb számban ettől eltérő andezitek is előfordulnak a leletanyagban. Ez utóbbiak forrásterületének meghatározása további kutatásokat igényel, amelyekbe be kell vonni határon túli területeket (Kárpátalja, Kelet-Szlovákia, Erdély) is.

KEYWORDS: GRINDING STONE, ANDESITE, MIDDLE IRON AGE, TISZA REGION, SZOLNOK, DOMOSZLÓ (HUNGARY)

KULCSSZAVAK: ŐRLŐKŐ, ANDEZIT, KÖZÉPSŐ VASKOR, TISZA-VIDÉK, SZOLNOK, DOMOSZLÓ

Abbreviations of the mineral names on the figures: **bio**: biotite; **cpx**: clinopyroxene; **hem**: limonite-hematite aggregate; **incl**: inclusion; **ol**: olivine; **opx**: orthopyroxene; **pl**: plagioclase; **pl-cp**: plagioclase cumulo porphyry; **pl-px-cp**: plagioclase-pyroxene cumulo porphyry; **ps(ol)**: pseudomorph after olivine; **px**: pyroxene; **px-cp**: pyroxene cumulo porphyry; **px-pl-cp**: pyroxene-plagioclase cumulo porphyry; **ves**: vesicle

Ásványnevek rövidítései az ábrákon: **bio**: biotit; **cpx**: klinopiroxén; **hem**: limonit-hematit aggregátum; **incl**: zárvány; **ol**: olivin; **opx**: ortopiroxén; **pl**: plagioklász; **pl-cp**: plagioklász kumuloporfir; **pl-px-cp**: plagioklász-piroxén kumuloporfir; **ps(ol)**: olivin utáni pszeudomorfóza; **px**: piroxén; **px-cp**: piroxén kumuloporfir; **px-pl-cp**: piroxén-plagioklász kumuloporfir; **ves**: hólyagüreg

Bevezetés

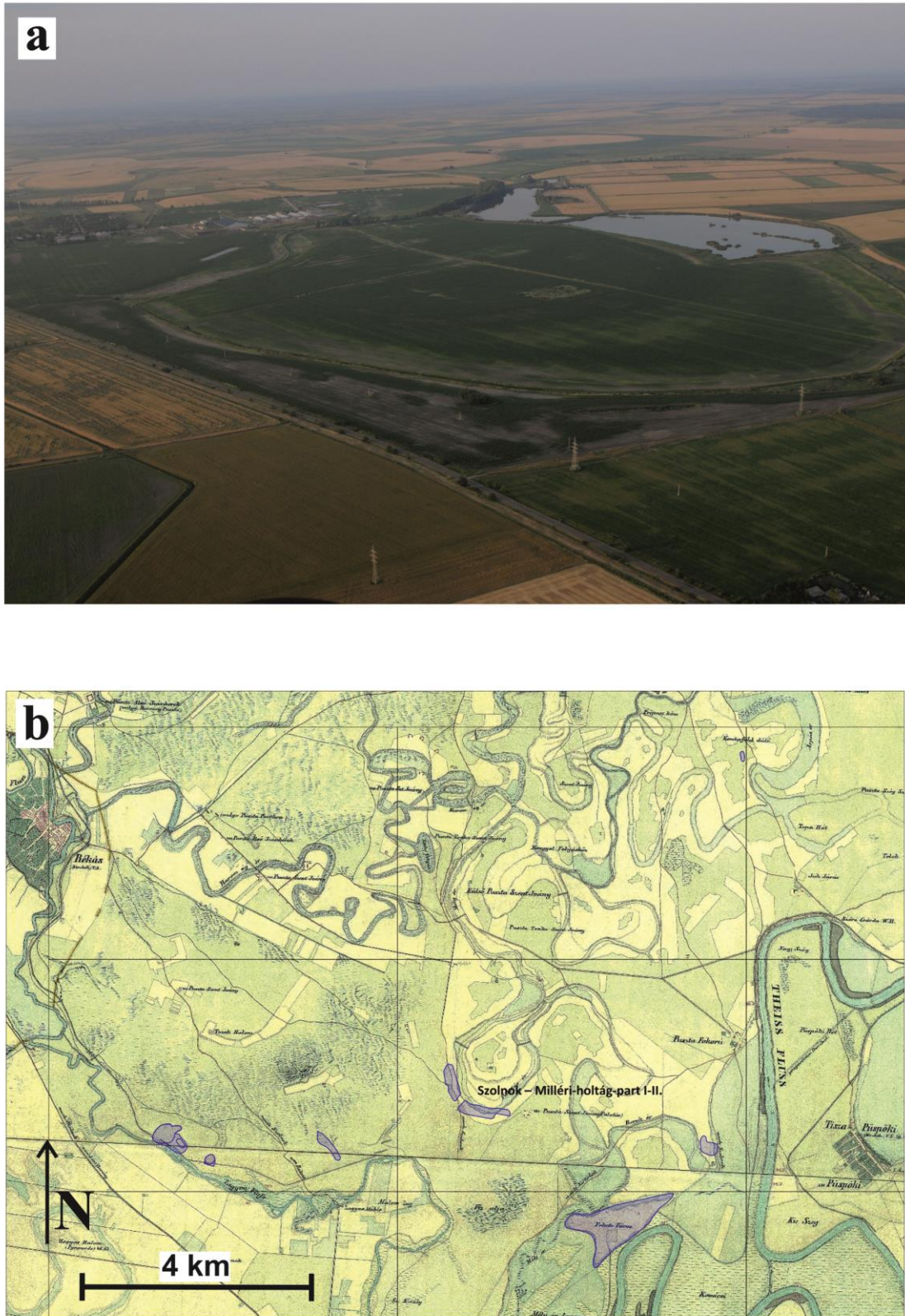
A vaskori kő nyersanyagú eszközök rendszerint marginális helyet foglalnak el a hazai régészeti tanulmányokban és még az őrlés folyamatában technikai innovációt jelentő malomkövek sem kapnak oly figyelmet, mint másutt Európában. Pedig joggal feltételezhetjük, hogy a növényi eredetű alapanyagok őrlése (azaz zúzása és/vagy porítása), mint az étel-előkészítés egyik fontos fázisa, az őskori háztartások mindennapjainak szerves része lehetett. Emiatt nem meglepő, hogy számos középső vaskori településünkről említenek őrlőkövet: például Szolnok – Zagyvapart (Cseh 1990); Besenyszög – Szóropusza (Cseh 2005), Csécs (Čečejevce, Szlovákia, Miroššayová 1994), Jászfelsőszentgyörgy (Cseh 2008), továbbá a kelta kor falusias jellegű településeinek, illetve oppidumainak háztartásaiból még több adatunk van őrlőlaponokra és malomkövekre (lásd Czajlik et al. 2007). De az őrlőkövek szerepköre túlmutat a profán szférán. Már a neolitikumtól kimutatható, hogy az ételkészítés fontos eszközeit, az őrlőköveket is kitüntetett figyelem övezte az őskorban, több esetben emberi maradványokat is tartalmazó településekbe helyezték ezeket (Ilon 2020). Még egyértelműbb a kapcsolat az őrlőkövek sírba helyezésének szokásánál. A különös temetkezési rítus az Alföld vaskori temetkezéseinél is kimutatható; a kora vaskori Mezőcsát-csoport női temetke-

zéseinek egyik jellemző melléklete az őrlőkő (D. Matuz 2000; 2001) és a rítus középső vaskori (szkíta kori) továbbélése bőséggel adatható (Kemenczei 2009). A Hallstatt-kultúra dunántúli emlékényagában inkább a településekhez köthető strukturált depozitumok kísérője az őrlőkő és a késő vaskori temetkezési szokásokra sem jellemző, még a számos szkíta hagyományt őrző alföldi leletanyagból (Maráz 1982; Szabó 2007a) is teljes mértékben kizorul az őrlőkövek sírba helyezésének szokása. Ugyanakkor az egykorú településeken egyre gyakrabban tűnnek fel votív leletgyűjtésekben az őrlőkövek (Szabó et al. 2003; Szabó 2007b; Ilon 2004; 2020).

Mindezek után azt várhatnánk, hogy a középső vaskori települések leletanyagában bőséggel találkozzunk őrlőkövekkel, s esetleg más kőzetanyagú tárgyakkal. De ez koránt sincs így, sőt! Dolgozatunk megírását alapvetően motiválta, hogy kiderítsük, milyen forrásokból próbálta beszerezni az ételkészítésnél nélkülözhetetlen őrlőköveket egy Közép-Tisza vidéki falusias jellegű közösség.

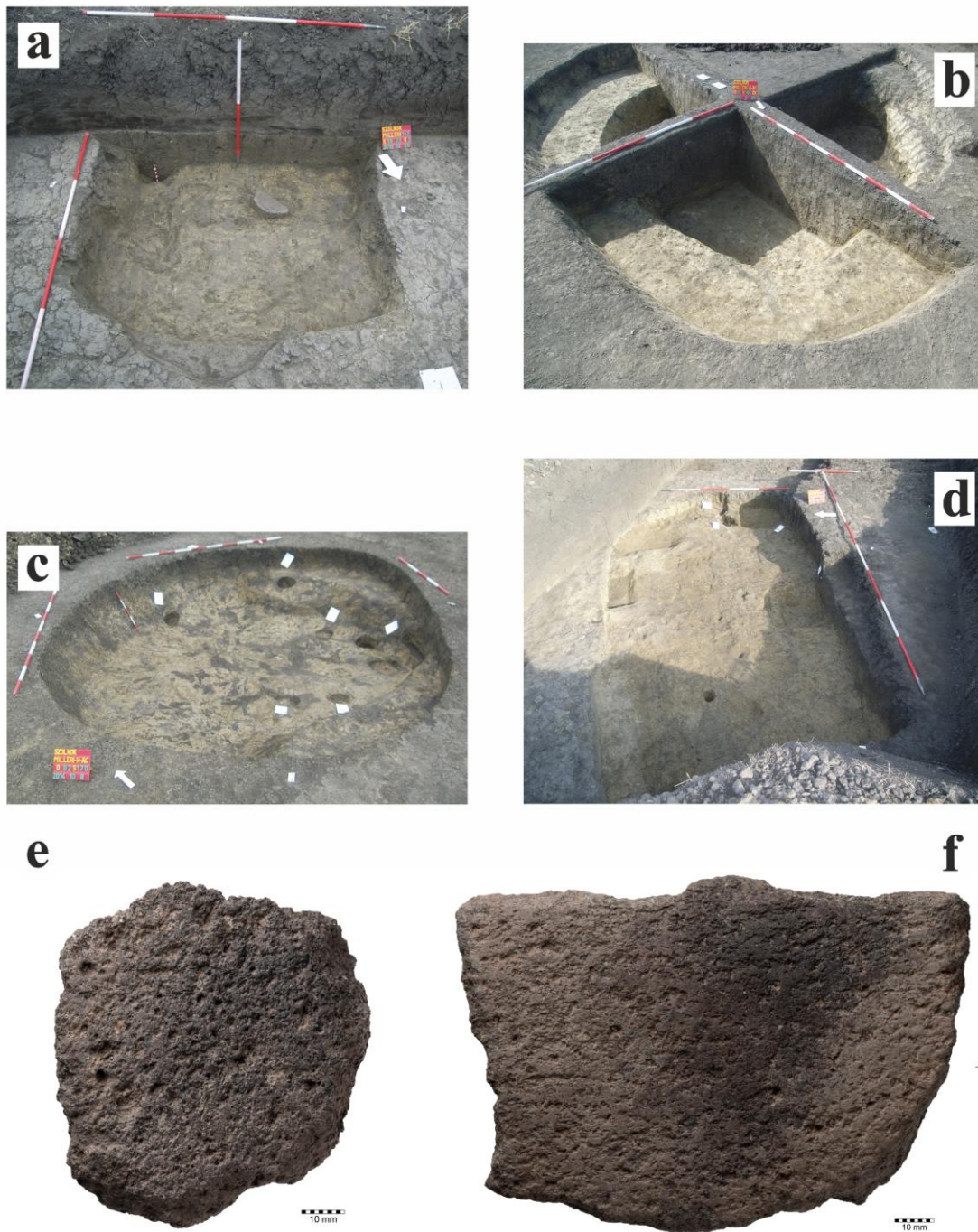
Régészeti háttér

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely Szolnok északkeleti határában, a várostól mintegy 5 km-re, a Tisza jobb oldaláról lefűződött Milléri-holtág magaspartján található, a Zagyva folyótól keleti irányban hozzávetőlegesen 3 km-re. (1. ábra)



1. ábra: A lelőhely, Milléri-holtág (a) légifotón, és (b) a Habsburg Birodalom 2. katonai felmérési (1819-1869) térképén.

Fig. 1: (a) Aerial photo of the archaeological site (Milléri-holtág). (b) It is on the map of the second military survey of the Habsburg Empire (1819-1869)



2. ábra: Félig földbe ásott alapú vaskori épületek és malomkövek a lelőhelyről. (a) szkíta kori épület (O:3 S:19) őrlőkővel; (b) kör alaprajzú szkíta kori épület (O:96 S:184); (c) kör alaprajzú szkíta kori épület (O:82 S:170); (d) téglalap alaprajzú kelta kori épület (O:4 S:20) részlete; (e) malomkőtöredék (leletazonosító: 65446/212, méretarány: 10 mm); (f) malomkő-töredék (leletazonosító: 65446/350, méretarány: 10 mm)

Fig. 2.: Sunken featured Iron Age constructions from the site. (a) Scythian Age sunken featured construction (O:3 S:19) with grinding stone; (b) Scythian Age construction with a circular ground plan (O:96 S:184); (c) sunken featured construction with a circular ground plan (O:82 S:170); (d) Rectangular sunken featured construction from the Celtic Period (O:4 S:20); (e) quernstone fragment (artefact identifier 65446/212, scale: 10 mm); **f:** quernstone fragment (artefact identifier 65446/350, scale: 10 mm)

A többféle módszerrel (geofizikai felméréssel, fémkeresős vizsgálattal, próbafeltárással) kutatott lelőhely teljes felületű megelőző feltárását az M4 autópálya építéséhez kapcsolódó örökségvédelmi munkálatok keretében a Magyar Nemzeti Múzeum (MNM) munkatársai két ásatási évadban, 2014-ben és 2015-ben végezték el. A leletanyagot a tudományos feldolgozás alatt a MNM Daróczi úti raktárbázisán őrzik és egyelőre leltározatlan, ennek megfelelően jelen dolgozatban csak a kövek elemzését és értékelését segítő leletazonosítók szerepelnek. A tudományos feldolgozást követően a leletanyag a szolnoki Damjanich János Múzeum gyűjteményébe kerül végleges elhelyezésre.

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhelyen feltárt objektumok többsége egy középső vaskori (szkíta), illetve egy késő vaskori (kelta) szórt szerkezetű, falusias jellegű településrészlethez tartozott. Am a legkorábbra keltezhető régészeti objektum egy újkőkori gödör volt. Ezen kívül a késő bronzkor első fázisába (Halomsíros-kultúra) tartozó három temetkezés és egy, a korszak második fázisához (Gáva-kultúra) köthető gödör került napvilágra ugyanitt. Míg a legfiatalabb jelenségek egy szórt szerkezetű Árpád-kori településrészlet egymástól nagy távolságra elhelyezkedő telepobjektumai (veremházak, gödrök, karámok) voltak.

A szkíta kori Vekerzug-kultúra településrészletén a korszak háztartási egységeinek központi elemének tartott négyszögletes alaprajzú veremházak (Czifra 2006) helyett szinte kizárólag kör vagy ovális alaprajzú struktúrák kerültek napvilágra (**2.a-d ábra**). Bár a középső vaskorból már több hasonló alaprajzú településrészlet ismert (Czifra 2018), egyelőre – a kevés közölt szkítakori település miatt – a nagyméretű kör alaprajzú struktúrák megjelenése mégsem tekinthető általános tendenciának és a hasonló jellegű Közép-Tisza-vidéki településrészletek látszólagos sűrűsödéséből – amire a hivatkozás szintjén ismert Tiszapüspöki – Karancs-Háromág (Csányi et al. 2002) és Törökszentmiklós – Kenderpart (Cseh 2001), valamint a még közöletlen Besenyszög – Besenyszögi út, illetve más aspektusa kapcsán most tárgyalt Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhelyek földrajzi eloszlása utal – még korainak tűnik általános következtetéseket levonni. Különösképpen amiatt, mert a kör vagy ovális alaprajzú szerkezetek dominanciáját nagy felületen Szolnok–Milléri-holtág part I-II. lelőhelyen kívül eddig csak két településen, Nyírparasznya – III. fordulón (Czifra 2016), és az M30-as autópálya építését megelőző régészeti terepmunkálatok során – Nicklas Larsson és Líbor Csilla által – feltárt és még közöletlen Méra – Méra I. lelőhelyen figyelték meg (Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Adatbázis). Talán a Dunavecse határában feltárt vaskori lelőhely egyszer majd közelebb visz bennünket a jelenség megértéséhez, mivel itt a klasszikus négyszögletes

veremházak mellett számos kerek és ovális alaprajzú, földbe ástott alapú épület nyomai is előkerültek (Lantos 2011). Részletes bemutatásuk, térbeli eloszlásuk és kronológiai helyzetük ismerete nélkül azonban egyelőre nem tudjuk eldönteni, hogy miként viszonyultak az ugyanott feltárt négyszögletes alaprajzú épületekhez. Mindazonáltal úgy tűnik, hogy a középső vaskori települések vonatkozásában számolnunk kell a korábnál lényegesen változatosabb, több kulturális-építészeti hagyományt tükröző egykorú építmények létevel, ami egész jól összeegyeztethető a Vekerzug-kultúra tárgyi emlékéanyagában felfedezhető sokféle tradícióval (összefoglalóan lásd Kemenczei 2009).

Szolnoki településünkhöz köthető leletanyag – szemben az objektumok korántsem szokványos jellegével – teljesen átlagos: zömmel a vaskori házi kerámia hosszú életű, általános típusai (fazekak, tálak, bögrék és korsók) alkotják, amelyek formai analógiái az egykorú temetkezésekben is megtalálhatók. A leletanyag feldolgozása folyamatban van, de már most jól látható, hogy míg a fazekak szinte kivétel nélkül kézzel formált edények, a bögrék és korsók között korongolt (pontosabban lassúkorong alkalmazásával kombinált technikával készült) darabokat is találunk. A késő vaskori tanyaszerű településrészlet objektumai között már megjelennek a kelta korra jellemző négyszögletes alaprajzú veremházak, amelyek formára és méretben is összevethetők a másutt feltárt La Tène kori épületekkel (Timár 2011; F. Kovács 2019). A kerámia anyag csak nagyon kevéssé tér el a korábbi időszak edénytípusaitól, a leletanyag szétválasztása lényegében csak az asztali étkészlet zárt egységben feltűnő jellegzetes laténeoid formái és díszítései alapján lehetséges.

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhelyen összesen 106 db kőzet anyagú leletet gyűjtöttünk össze, ami legfeljebb 90 tárgyhoz tartozott. Ebből 76 tétel (91 db) középső vaskori (Vekerzug-kultúra), 8 késő vaskori (kelta), 1 pontosabban be nem sorolható vaskori, 1 középkori és 5 korszakhoz nem köthető szórvány. Összességében a vaskori leletanyag kicsiny hányadát alkotják a kőzet anyagú tárgyak (örlőlapok, marokkövek, zúzó- és ütőkövek, pattintott kőeszközök). Az összegyűjtött anyagban számos olyan kő is van, amelynek anyaga hasonló ugyan az örlőkövekéhez, de munkafelület nem azonosítható rajtuk. A szkíta kori kőeszközök túlnyomó többsége töredékes, mindössze 12 tárgy ép: egyetlen örlőlapot, s egy-egy magkövet és pattintott pengét leszámítva ezek marokkövek (6 db) és kavicseszközök (3 db). Míg a 6 La Tène-kori kőeszköz kivétel nélkül töredékes. Ez a fragmentáltság egyrészt jelentősen megnehezíti a leletanyag kategorizálását, másrészt egy apró, ám igen fontos adalékkal szolgál a tárgyak életciklusához. A kisebb-nagyobb szilánkok, morzsák a használat vagy a karbantartás során is leválhattak a

köeszközökről, azonban a leletanyag ökolnyvi méretű töredékei inkább szándékos rongálást jelezhetnek. Az őrlőkövek oldala – amennyire meg lehet állapítani – elnagyolt, durván megmunkált; a leletanyagból pedig hiányoznak a szilánkok és a más, megmunkálás nélküli töredékek. Ez arra utal, hogy az őrlőkövek kialakítása nem helyben történt. Nem tudjuk, hogy a masszív köeszközök miképpen sérültek meg, de a hozzávetőlegesen 8–10 cm nagyságú, legalább egyik oldalukon lekoptatott munkafelülettel bíró töredékek önmagukban is alkalmasak voltak marokkóként tovább szolgálni. Néhány esetben feltételelesen égésnyomként azonosított foltokat fedeztünk fel a töredékeken, ami alapján feltételezhető, hogy a köveket a tűzrakó helyek kijelöléséhez, megerősítéséhez vagy az edények főzés közbeni megtámasztására is felhasználhatták. Egyébiránt a tárgyak töredezettsége jól összevethető más Tisza-vidéki szkíta kori lelőhelyekről ismert őrlőkő anyaggal. Jászfelsőszentgyörgyről 6 darab, 7x10 cm nagyságú töredéket említenek (Cseh 2008), Besenyszög – Szóropusztáról két darab, 5–8 x 4–6 cm nagyságú őrlőkő darabot adtak közre (Cseh 2005), míg Tiszaszőlős – Csontospart 2. lelőhelyről 2 marokkó fragmentumát közölték (Cseh 2006).

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely kora és késő vaskori őrlőköveinek meghatározásánál és leírásánál – amennyire a leletanyag töredezettsége megengedte – Wright (1992) módszertanát követtük. De hangsúlyoznunk kell, hogy a jelen dolgozat pusztán előzetes eredményeket ismertet és inkább az általános tendenciák bemutatására, semmint az egyes eszköztípusok speciális ismertetőjegyeinek részletes kifejtésére törekszik. Általánosságban kijelenthető, hogy lelőhelyünk köeszköz típus-spektruma – még erősen töredezett állapotában is – egész jól összevethető a késő bronzkori őrlőkövek ismert formai variánsaival: vékony és vastag őrlőlapon mellett gömbszelet alakú őrlőkövek alkotják a főbb kategóriákat. Ugyanakkor az őrlés technikájában a vaskorban bekövetkező változás (Wefers 2011) lokális adaptációja sem a szkíta kori, sem pedig a kelta kori anyagban nem mutatható ki Szolnok–Milléri holtág part I-II. lelőhelyen. Pedig a kézimalom korai megjelenése a Kárpát-medencében már a középső vaskorban igazolható: mind a Vekezug-kultúra (Cseh 2001), mind pedig a Hallstatt-kultúra (Stegmann-Rajtár 1996) Ha D időszak végére (Kr.e. 6. század második fele – Kr.e. 5. század közepe) keltezhető településeiről hírt adtak már egy-egy kézimalomról. Az elszigetelt kora vaskori példák után bár igazolható a malomkövek állandó jelenléte a kelta korban, de nagyobb mértékű elterjedésük csak a késő La Tène korra tehető (Czajlik et al. 2007). Mindazonáltal úgy tűnik, hogy még a LT D időszakban (Kr.e. 2–1. század) sem szorítják ki az új típusú őrlőeszközök a korábbi tradíciókat követő egyszerű őrlőlapon használatát.

A nagyjából téglalap keresztmetszetű vastag vagy vékony őrlőlaponok mind a szkíta, mind a kelta kor lelőhelyein megtalálhatók. Eddigi vizsgálataink alapján a vékonyabb őrlőlaponok között vannak biztosan két munkafelületű eszközök, amelyek mind az elő-, mind a hátlapjukon közel hasonló mintázatot mutató kopásnyomokat őriznek. Több esetben megfigyelhető, hogy a munkafelületek szemcsézettsége, kopottsága és a használati nyomok ugyanazon eszközön belül is eltérnek. A vastag őrlőlaponokra szinte egyáltalán nem jellemző ez a duális munkafelület, de mindkét típusnál az eszköz középső része van legjobban kikopva. A nem azonos mértékben és módon kopott munkafelületek alapján úgy tűnik, hogy nem ugyanolyan intenzitással vagy ideig használták a munkafelületeket, illetve nem ugyanazon erő hatott rájuk. Mivel az őrlőkövek alapanyagának típusa és szemcsézettsége, továbbá a munkafelületek finomsága jelentős mértékben képes befolyásolni az őrlés minőségét (finomságát), az is megkockáztatható, hogy a későbbiekben használati-nyom elemzéssel sikerül felfedni az őrlőkövek típusa és az őrlés minősége közötti összefüggéseket. A lelőhely gömbszelet vagy cipő alakú őrlőköveinek (7 példány) mindkét felülete kopott, s rendszerint jól megfigyelhető, hogy a horizontális felület határozottan nagyobb igénybevételnek volt kitéve, mint a konvex felület. Ennek magyarázata elég egyértelmű: a lapos felületet használták őrlésre, míg a konvex felület hivatott megtámasztani az eszközt, emiatt felülete az erős kopásnyomok ellenére is megmaradt egyenetlennek. Úgy tűnik, hogy marokkóként részben különböző méretű, legalább egyik oldalukon lapos kavicsokat, esetleg görgeteg köveket használtak lelőhelyünk szkíta és kelta időszakában. Az őrlés következtében a marokkó sikk felülete tovább kopott. Ugyanakkor az eszközök egyik vagy mindkét végén azonosítható kopásnyomok és lepattogzások alapján megkockáztatjuk, a marokkó jelentős részét zúzásra és porításra egyaránt használták.

Célok, korábbi kutatások

Munkánk célja a Szolnok – Milléri-holtág part I-II több korszakú lelőhelyről előkerült őrlőkő leletek közzétani és geokémiai vizsgálata és a nyersanyagok származási helyére vonatkozó következtetések levonása.

Az elmúlt néhány évben egyre több publikáció foglalkozik a magyarországi szerszámkövek, ezen belül az őrlő- és malomkövek nyersanyagerevének kutatásával (például: Szakmány 1996, Szakmány & Nagy 2005; Szakmány et al. 2008; 2009; 2011; Piros 2010; Péterdi 2011; 2012; Horváth & Péterdi 2012; Péterdi & Horváth 2014; Starnini et al. 2015; Péterdi et al. 2009; 2011; 2014; 2016; 2017; 2018; Miklós et al. 2021), elsősorban azonban a neolitikumtól a középső bronzkorig terjedő időszak vonatkozásában. Ugyanakkor a

legutóbbi időkig az őskor későbbi periódusainak vizsgálatába csak ritkán kerültek be. A Domoszló község (Mátra) határában található nyersanyag-kitermelő, őrlő- és malomkőkészítő műhelyek piroxénandezit nyersanyagának régészeti elterjedése is intenzíven kutatott terület (T. Bíró & Péterdi 2011; Péterdi et al. 2016; 2017; 2018). Szolnok csak néhány napi járóföldre (mintegy 70 km-re) található Domoszlótól, ezért kézenfekvőnek találtuk a leletanyagban fellelt vulkanit nyersanyagok összehasonlítását a Domoszlóról már ismert nyersanyag típusokkal.

Vizsgált leletek, vizsgálati módszerek

A lelőhely – főként szkíta kori – őrlőkőtöredékeinek archeometriai feldolgozása során 53 őrlőkőtöredéket, 44 egyéb vulkanit nyersanyagú, bizonytalan régészeti besorolású leletet, valamint 9 egyéb (kvarcit, homokkő, mészkő) nyersanyagú leletet vizsgáltunk meg. Az egy objektumból előkerült, egyértelműen összeálló töredékeket egynek számolva a vizsgált őrlő-, illetve malomkőtöredékek száma 42-re redukálódik. Az őrlőkőtöredékek mellett főként marokköveket, zúzóköveket és kevés csiszolókövet találunk a leletek között, amelyek jelentős részének nyersanyaga kavicseredetű.

A leletek makroszkópos – azaz szabad szemmel és kézi nagyító segítségével – elvégzett csoportosítása után a kialakított csoportok kiválasztott példányain **(2.e-f ábra, Melléklet – 1-6. ábra)** részletes kőzet-tani és geokémiai vizsgálatokat végeztünk. Meg kell jegyeznünk, hogy az őrlőkőtöredékek mintegy ötödrészt előrehaladott mállásuk miatt nem sikerült a kialakított nyersanyagcsoportokba besorolni. A vizsgált mintákról és az elvégzett vizsgálatokról az **1. táblázat** tájékoztat.

A kőzettani (polarizációs) mikroszkóppal vizsgált vékonycsiszolatok a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH, korábban: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat) Földtani és Laboratóriumi Osztályán készültek. A mikroszkópos vizsgálatok eredményét (ásványos összetétel, kőzetszövet) geokémiai vizsgálatokkal (teljes kőzet kémiai elemzésekkel) egészítettük ki, amelyek az SZTFH (korábban MBFSZ) Földtani és Laboratóriumi Osztályán készültek, Jobin Yvon ULTIMA 2C típusú ICP-OES (főelemek) és ELAN DRC II típusú ICP-MS (nyomelemek és ritkaföldfémek) segítségével (feltárás: porított átlagminta LiBO₂-ömllesztéssel).

A kapott adatokat a szakirodalomban közölt elemzések adataival vetettük össze.

1. táblázat: Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely kora és késő vaskori őrlőköveinek mintadarabjai és az elvégzett vizsgálatok.

Table 1.: The investigated samples and the performed analyses of Early and Late Bronze Age grinding stones from Szolnok – Milléri-holtág part I-II site.

Leletazonosító / Artefact identifier	Nyersanyag / Raw material	Vékonycsiszolat / Thin section	ICP-OES, ICP-MS	Makroszkópos fotók / Macroscopic photos	Mikroszkópos fotók / Photomicrographs
65446/11	piroxénandezit (1. típus)	+	+	Melléklet – 1. ábra	3.b-f ábra, Melléklet – 7., 9–10., 13–14. ábra
65446/151	piroxénandezit (1. típus)	+		Melléklet – 2. ábra	3.a ábra, Melléklet – 7–10., 12. ábra
65446/212	piroxénandezit (1. típus)	+		2.e ábra, Melléklet – 3. ábra	3.g ábra, Melléklet – 9–11., 13–14. ábra
65446/623	piroxénandezit (2. típus)	+	+	Melléklet – 4. ábra	3.h ábra, Melléklet – 15–16. ábra
65446/36	piroxénandezit (3. típus)	+		Melléklet – 5. ábra	Melléklet – 17–19. ábra
65446/350	olivintartalmú piroxénandezit (4. típus)	+	+	2.f ábra, Melléklet – 6. ábra	4. ábra, Melléklet – 20–24. ábra

Makroszkópos csoportok

Az 53 db vizsgált őrlőkötoredék legnagyobb része (21 db) üde, szürke, sötétszürke színű, közepeszemcsés piroxénandezit, plagioklász- és piroxén fenokristályokkal. A plagioklász fenokristályok átlagos mérete 1–3 mm, a piroxén fenokristályok átlagos mérete 1–2 mm (1. típus).

Néhány őrlőkötoredék felülete jellegzetes lilás-szürke, barna/vörösbarna mállási elváltozást mutat, de a piroxén- és plagioklász fenokristályok ezek esetében is felismerhetőek (2. típus, 3 db).

További 7 db őrlőkötoredék felületén az 1. és 2. típus közötti, változó mértékű, de a 2. típusra hasonlító mállás figyelhető meg (1–2. átmeneti típus).

4 db őrlőkötoredék esetében (3. típus) a szabad szemmel látható fenokristályok között az 1. típushoz képest kevesebb plagioklász található és a piroxének mérete nagyobb (1–4 mm).

A 4. típusba tartozó 7 őrlőkötoredéket makroszkóposan bazaltnak határoztuk (ez a meghatározás azonban hibásnak bizonyult, lásd a mikroszkópos vizsgálatok eredményeit): fekete színű, a többi típusnál finomabb szemcsés vulkanitok, amelyek 0,5–2 mm közötti nagyságú plagioklász- és piroxén fenokristályok mellett olivint is tartalmaznak.

Az őrlőkötoredékek mintegy ötödrészét előrehaladott mállásuk miatt nem sikerült a kialakított nyersanyagcsoportokba besorolni (11 db).

A fenti típusokba besorolható anyagú megmunkált és megmunkálatlan kavicsok, kavicsötoredékek is találhatóak a leletanyagban.

Mikroszkópos vizsgálatok

1. típus („üde” piroxénandezit):

A részletesen vizsgált leletek közül ebbe a típusba tartozik a 65446/11 (**Melléklet – 1. ábra**), a 65446/151 (**Melléklet – 2. ábra**) és a 65446/212 leletazonosítójú (**Melléklet – 3. ábra**) lelet.

Porfíros, kumuloporfíros pilotaxitos-hialopilités szövetű, a fenokristályok mérete 0,5–2,5 mm között van, a kumuloporfírok között nagyobbak (3–4 mm nagyságúak) is vannak. A fenokristályok mennyisége meghaladja az alapanyag mennyiségét. A fenokristályok között plagioklászok, orto- és klinopiroxének találhatóak. A plagioklász fenokristályok mennyisége mintegy nyolcszor-tízszer nagyobb a piroxén fenokristályok mennyiségénél (becsült adat). Az alapanyagban közetüveg mellett főként plagioklász, klinopiroxén és opak ásványok találhatóak (**Melléklet – 7. ábra**).

Az idiomorf-hipidiomorf plagioklász fenokristályokra jellemző a poliszintetikus ikresedés, de megfigyelhető kettős és átnövési ikresedés is. Nagy részükben apró közetüveg- és hematit zárványok találhatóak, a zónásság is jellemző. (**3.a ábra, Melléklet – 8. ábra**).

A piroxén fenokristályok hipidiomorfak, táblás vagy oszlopos természetűek, a nagyobb példányok gyakran opak zárványosak (**Melléklet – 9.a-b ábra**). Néhány klinopiroxén fenokristály poliszintetikus ikres (**3.b ábra, Melléklet – 9.c-d ábra**). Az ortopiroxén fenokristályokon több esetben klinopiroxén továbbnövekedés figyelhető meg (**3.c-d ábra, Melléklet – 9.e-f ábra**).

A kumuloporfírok között csak plagioklászokból (**Melléklet – 10.a-d ábra**), csak piroxénekből (**Melléklet – 10.c-d és 11. ábra**), illetve plagioklászokból és piroxénekből állók is vannak (**3.e ábra, Melléklet – 12–13. ábra**).

A nyersanyagban nagyon kis mennyiségben (néhány szemcse) limonit-hematit aggregátumok (olivin utáni pszeudomorfózák) is előfordulnak (**3.f ábra, Melléklet – 14.a-b ábra**).

Az ebbe a típusba sorolt példányok között hólyagüregesek is találhatóak (**3.g ábra, Melléklet – 11. és 14.c-d ábra**).

2. típus (mállott piroxénandezit):

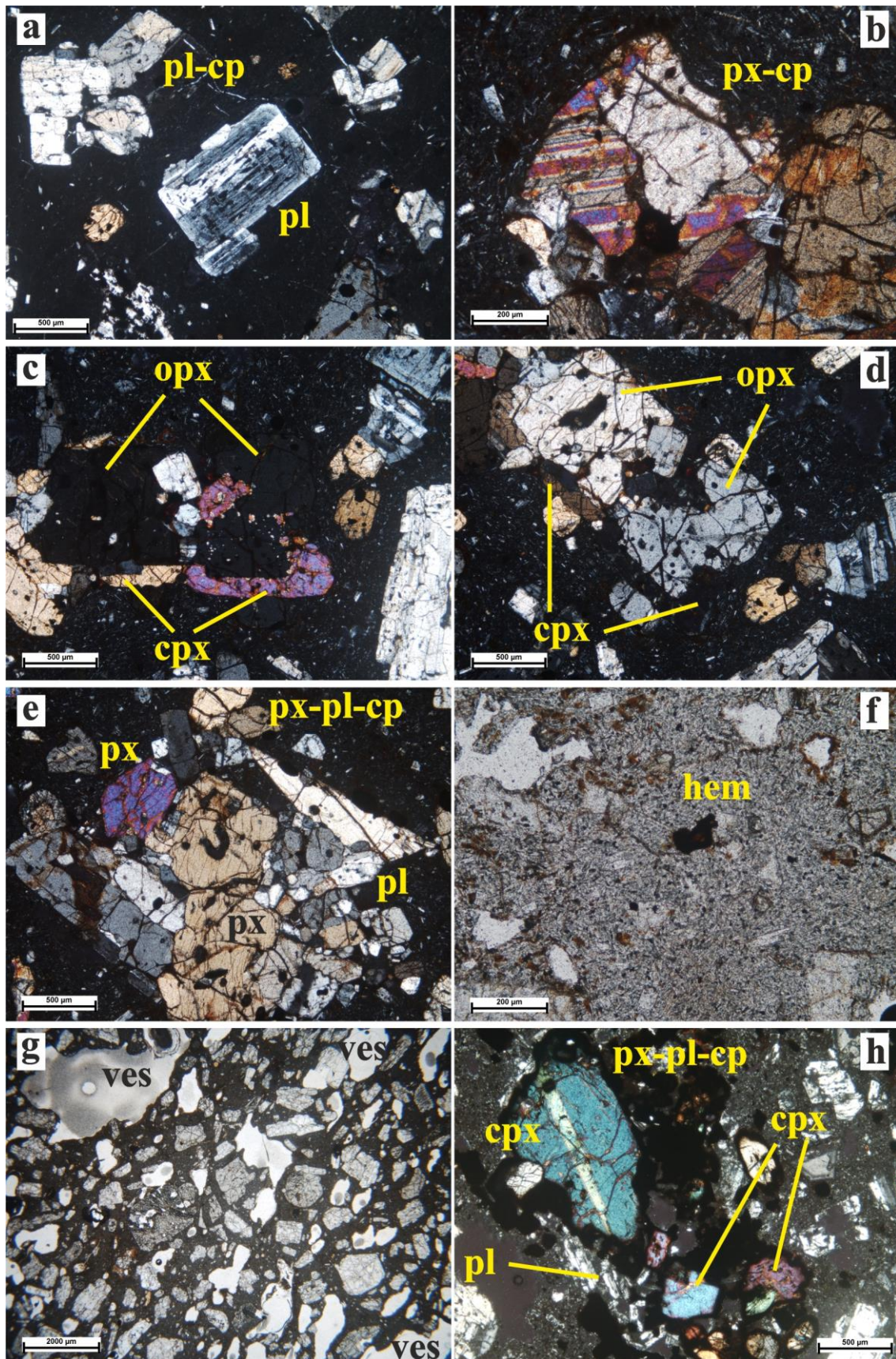
A részletesen vizsgált leletek közül ebbe a típusba tartozik a 65446/623 leletazonosítójú (**Melléklet – 4. ábra**) lelet.

Ásványos összetételét és szövetét tekintve is gyakorlatilag megegyezik az 1. típusal (**Melléklet – 15–16. ábra**): porfíros, kumuloporfíros pilotaxitos szövet, 0,5–2 mm-es nagyságú plagioklász és orto- és klinopiroxén fenokristályok, illetve kumuloporfírok; az alapanyagot plagioklász, klinopiroxén és opak ásványok mellett közetüveg alkotja; a fenokristályok mennyisége meghaladja az alapanyag mennyiségét; a plagioklász fenokristályok mennyisége mintegy tízszer nagyobb a piroxén fenokristályok mennyiségénél (becsült adat).

Legfontosabb eltérés az előrehaladott mállás, ami leginkább a piroxén fenokristályok opacitosodott szegélyében érhető tetten (**3.h ábra**).

3. típus (piroxénandezit nagyobb mennyiségű piroxén fenokristállal):

A részletesen vizsgált leletek közül ebbe a típusba tartozik a 65446/36 leletazonosítójú (**Melléklet – 5. ábra**) lelet.



3. ábra: - Ábraalírások a következő oldalon

Fig. 3.: - Captions on next page

3. ábra: A piroxénandezit változatok mikroszkópos felvételei: (a) zónás, poliszintetikus ikres plagioklász fenokristály zárványos maggal, plagioklász kumuloporfir (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/151) (keresztezett nikolok, méretarány: 500 µm); (b) poliszintetikus ikresedett klinopiroxén fenokristály piroxén kumuloporfirban (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/11) (keresztezett nikolok, méretarány: 200 µm); (c) ortopiroxén fenokristály, klinopiroxén továbbnövekedéssel: az ortopiroxén fenokristály kioltási helyzetben van (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/11) (keresztezett nikolok, méretarány: 500 µm); (d) ortopiroxén fenokristály, klinopiroxén továbbnövekedéssel (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/11) (keresztezett nikolok, méretarány: 500 µm); (e) piroxén-plagioklász kumuloporfir (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/11) (keresztezett nikolok, méretarány: 500 µm); (f) limonit-hematit aggregátum (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/11) (1 nikol, méretarány: 200 µm); (g) szöveti kép, hólyagüregek (piroxénandezit, 1. típus, régészeti lelet: 65446/212) (1 nikol, méretarány: 2000 µm); (h) opacitos szegélyű klinopiroxén fenokristályok és poliszintetikus ikres klinopiroxén fenokristály piroxén-plagioklász kumuloporfirban (mállott piroxénandezit, 2. típus, régészeti lelet: 65446/623) (keresztezett nikolok, méretarány: 500 µm)

Fig. 3: Photomicrographs of pyroxene andesite varieties: (a) zoned plagioclase phenocryst with polysynthetic twinning and inclusions in the core, plagioclase cumuloporphy (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/151) (cross-polarized light, scale: 500 µm); (b) clinopyroxene phenocryst with polysynthetic twinning in a pyroxene cumuloporphy (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/11) (cross-polarized light, scale: 200 µm); (c) orthopyroxene phenocryst with a clinopyroxene overgrowth, the orthopyroxene phenocryst is in extinction (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/11) (cross-polarized light, scale: 500 µm); (d) orthopyroxene phenocryst with a clinopyroxene overgrowth (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/11) (cross-polarized light, scale: 500 µm); (e) pyroxene-plagioclase cumuloporphy (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/11) (cross-polarized light, scale: 500 µm); (f) limonite-hematite aggregate (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/11) (plane-polarized light, scale: 200 µm); (g) rock texture, vesicles (type 1 pyroxene andesite, artefact 65446/212) (plane-polarized light, scale: 2000 µm); (h) clinopyroxene phenocrysts with opacitic rim and a clinopyroxene phenocryst with polysynthetic twinning in a pyroxene-plagioclase cumuloporphy (type 2 weathered pyroxene andesite, artefact 65446/623) (cross-polarized light, scale: 500 µm)

Ásványos összetételét és szövetét tekintve is gyakorlatilag megegyezik az 1. típusal (**Melléklet – 17–19. ábra**): porfíros, kumuloporfíros pilotaxitos szövet, 0,5–3 mm-es nagyságú plagioklász és orto- és klinopiroxén fenokristályok, illetve kumuloporfírok; az alapanyagban plagioklász, klinopiroxén és opak ásványok mellett közetüveg található; a fenokristályok mennyisége meghaladja az alapanyag mennyiségét.

Apróbb eltérés a piroxén fenokristályok nagyobb átlagos méretében (1–3 mm) és valamivel nagyobb mennyiség-arányában mutatkozik (bár ebben a típusban szintén a plagioklász fenokristályok vannak túlsúlyban): az arány ebben a típusban körülbelül egy a négyhez (becsült adat).

4. típus (piroxénandezit üde olivinnel és biotittal):

A részletesen vizsgált leletek közül ebbe a típusba tartozik a 65446/350 leletazonosítójú (**Melléklet – 6. ábra**) lelet.

Makroszkóposan bazaltnak határozott, porfíros, kumuloporfíros pilotaxitos piroxénandezit. A fenokristályok átlagos mérete 0,5–1,5 mm, a kumuloporfírok mérete eléri a 3–3,5 mm-t is. A fenokristályok mennyisége meghaladja az alapanyag mennyiségét. A plagioklász fenokristályok mennyisége mintegy háromszor-öttször nagyobb a piroxén fenokristályok mennyiségénél (becsült adat). Az alapanyagban közetüveg mellett főként plagioklász, opak ásványok és olivin utáni limonitos-hematitos pszeudomorfózák találhatók (**Melléklet – 20. ábra**).

Az általában idiomorf, hipidiomorf plagioklász fenokristályokra jellemző a poliszintetikus, illetve kettős ikresedés. A nagyobb plagioklász kristályok között visszaoldódott szegélyű, illetve extrém sok zárványt (közetüveg- és hematit zárványt) tartalmazó maggal és zárványmentes továbbnövekedett szegéllyel rendelkező példányok is megtalálhatók (**4.b ábra; Melléklet – 21.a-b ábra**).

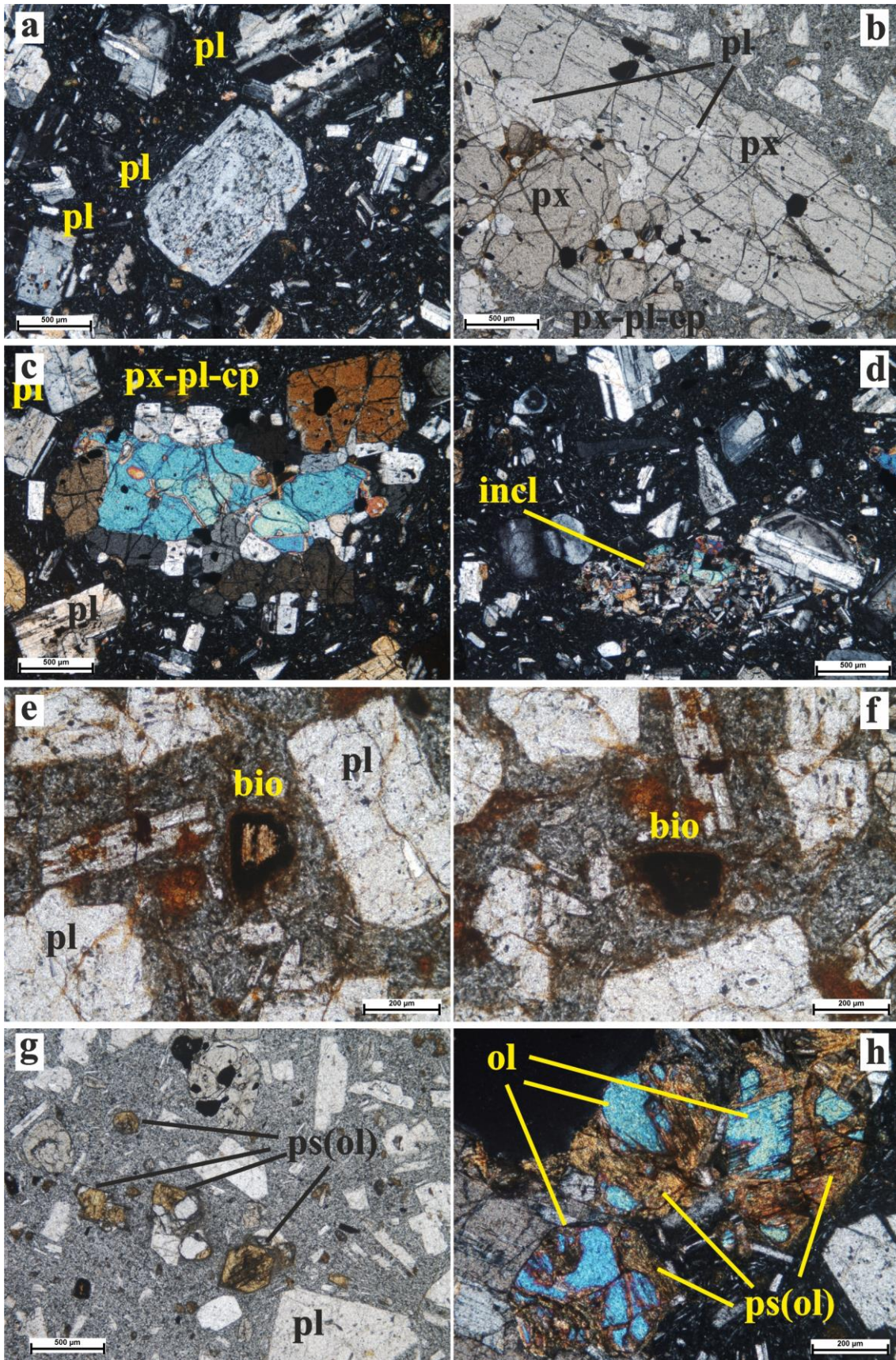
A nagyobb piroxén fenokristályok között opak zárványok mellett földpátzárványokat tartalmazók is vannak (**4.b ábra; Melléklet – 21.c ábra**). A hipidiomorf, táblás vagy oszlopos termetű piroxén fenokristályok között poliszintetikus ikres példányok is megtalálhatóak (**Melléklet – 21.d ábra**).

A többi típusra jellemző összetett kumuloporfírok is megtalálhatók a nyersanyagban (**4.c ábra; Melléklet – 22.ábra**).

Több finomszemcsés zárvány is található a közetben, ezeket olivin, klinopiroxén, plagioklász és közetüveg alkotja (**4.d ábra, Melléklet – 24.e-f ábra**).

A biotit apró (200 µm alatti méretű), opacitos, gyakran rezorbeált szegélyű szemcsék formájában figyelhető meg (**4.e-f ábra; Melléklet – 23. ábra**).

Az olivin utáni limonitos-hematitos pszeudomorfózák száma feltűnően nagy, a nagyobb pszeudomorfózák magjában üde olivin is megtalálható (**4.g-h ábra; Melléklet – 24.a-d ábra**).

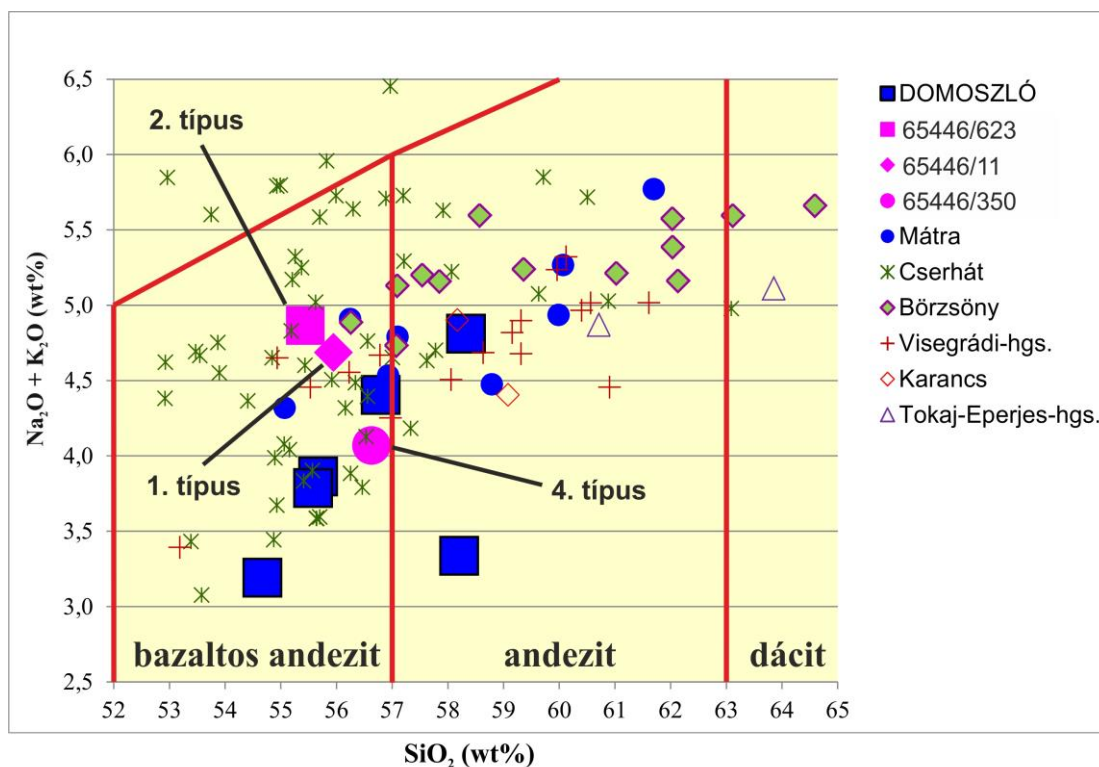


4. ábra: - Ábraalírások a következő oldalon

Fig. 4.: - Captions on next page

4. ábra: Olivintartalmú piroxénandezit, 4. típus (leletazonosító: 65446/350) mikroszkópos felvételei: (a) zónás plagioklász fenokristály zárványos maggal (keresztezett nikolok, méretarány: 500 μm); (b) opakásvány és plagioklász zárványokat tartalmazó piroxén fenokristály, piroxén-plagioklász kumuloporfirban (1 nikol, méretarány: 500 μm); (c) piroxén-plagioklász kumuloporfir (keresztezett nikolok, méretarány: 500 μm); (d) finomszemcsés zárvány (keresztezett nikolok, méretarány: 500 μm); (e) opacitos szegélyű biotit (1 nikol, méretarány: 200 μm); (f) opacitos szegélyű biotit (1 nikol, méretarány: 200 μm); (g) olivin utáni pszeudomorfózák (1 nikol, méretarány: 500 μm); (h) üde olivin, olivin utáni pszeudomorfózák magjában (keresztezett nikolok, méretarány: 200 μm)

Fig. 4.: Photomicrographs of type 4 olivine-bearing pyroxene andesite (artefact identifier 65446/350): (a) zoned plagioclase phenocryst with inclusions in the core (cross-polarized light, scale: 500 μm); (b) pyroxene-plagioclase cumulo porphy with a pyroxene phenocryst with plagioclase inclusions (plane-polarized light, scale: 500 μm); (c) pyroxene-plagioclase cumulo porphy (cross-polarized light, scale: 500 μm); (d) fine-grained inclusion (cross-polarized light, scale: 500 μm); (e) biotite with opacitic rim (plane-polarized light, scale: 200 μm); (f) biotite with opacitic rim (plane-polarized light, scale: 200 μm); (g) pseudomorphs after olivine (plane-polarized light, scale: 500 μm); (h) fresh olivine in the core of pseudomorphs after olivine (cross-polarized light, scale: 200 μm)



5. ábra: Teljes kőzet kémiai összetétel / TAS (total alkali silica-) diagram (Le Bas et al. 1986.): domoszlói nyersanyag-minták; leletazonosítók (1., 2. és 4. típus); geológiai minták a közeli andezites vulkáni hegységekből (irodalmi mérési eredmények: Korpás, 1998; Karátson et al. 2000, 2007; Póka et al., 2004; Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009)

Fig. 5.: Bulk rock chemistry / TAS (total alkali silica-) diagram (Le Bas et al. 1986.): Domoszló andesites; archaeological finds (types 1, 2 and 4); geological samples from the nearby andesitic volcanic mountains (data from literature: Korpás, 1998; Karátson et al. 2000, 2007; Póka et al., 2004; Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009)

Teljes kőzet kémiai vizsgálatok (ICP-OES, ICP-MS)

Teljes kőzet kémiai vizsgálatokat 3 kiválasztott lelet anyagán végeztünk, amelyekből régészeti információ megsemmisítése nélkül lehetőség volt a vékonycsiszolatok elkészítéséhez szükséges mennyiségnél több mintát venni. A kiválasztott leletek a következők voltak: az 1. típusból (üde piroxénandezit) a 65446/11; a 2. típusból (mállott

piroxénandezit) a 65446/623; a 4. típusból (olivin tartalmú piroxénandezit) a 65446/350 leletazonosítójú lelet.

A vizsgálatok eredményeit a **Melléklet – 1. táblázat** tartalmazza. Mindhárom tárgy nyersanyaga a TAS (total alkali silica-) diagramon (Le Bas et al. 1986) a bazaltos andezit tartományban helyezkedik el (**5. ábra**).

A 2. típus összetételében is tetten érhető az előrehaladott mállás: ebben a típusban a vas-tartalom főként oxidált (Fe^{3+}) állapotban van jelen, míg a másik két vizsgált típusban inkább redukált (Fe^{2+}) formában.

Diszkusszió: potenciális nyersanyagforrások

Az 1. és 3. típusba sorolt üde piroxénandezitek nagyon sok hasonlóságot mutatnak a korábban (T. Biró & Péterdi 2011; Péterdi et al. 2016; 2017) részletesen bemutatott domoszlói piroxénandezit nyersanyag típusokkal. A kőzetek ásványos összetétele gyakorlatilag megegyezik, szövetük is nagyon hasonló. A régészeti leletek nyersanyagában is jelen vannak a csak plagioklászokból (**Melléklet – 25.a ábra**), csak piroxénből (**Melléklet – 25.b ábra**), valamint plagioklászokból és piroxénből álló kumuloporfirok (**Melléklet – 25.c ábra**), a polisintetikus ikres klinopiroxén fenokristályok (**Melléklet – 25.d ábra**), valamint a jellegzetes ortopiroxén-klinopiroxén összenövésék (**Melléklet – 26.a-b ábra**). A domoszlói 1. nyersanyag típusra jellemző olivin utáni pszeuomorfózákat (**Melléklet – 26.c-d ábra**) kis mennyiségben ugyan, de megfigyelhetők a régészeti leletek nyersanyagában is. Hólyagüreges változatok is elfordulnak a domoszlói 2. nyersanyag típusban.

A régészeti leletek 2. (mállott piroxénandezit) típusához hasonló mértékben mállott nyersanyagot Domoszlón nem mintáztunk, mert a geológiai lelőhelyen csak nagyon alárendelt mennyiségben található meg, de a mállottságot leszámítva ezen típus mikroszkópos tulajdonságai is jól egyeznek a domoszlói nyersanyagokkal.

A Milléri-holtág partján előkerült leletek nyersanyagának teljes kőzet kémiai összetétele is jól illeszkedik a domoszlói nyersanyagok teljes kőzet kémiai összetételéhez (**5. ábra**). Ezen hasonlóság alapján azonban csak az állítható biztonsággal, hogy kőzetkémiai alapon Domoszló nem zárható ki a lehetséges nyersanyagforrások közül, mivel irodalmi adatok és saját korábbi kutatásaink alapján a magyarországi hegységek andezitjeinek, bazaltos andezitjeinek összetételi tartományai jelentős mértékben átfednek egymással (Korpás, 1998.; Karátson et al., 2000; 2007; Póka et al., 2004; Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009; 2016; 2018).

A Mátra hegységben található Domoszló környéki hegyoldalokban részletesen dokumentált őrlő- és malomkő-kitermelőhely és műhely által szolgáltatott nyersanyag régészeti elterjedésének vizsgálata során a nyersanyag felhasználása a középső bronzkortól a kora újkorig követhető nyomon (Péterdi et al. 2016; 2018): Füzesabony, Öregdomb (középső bronzkor – Füzesabony-kultúra); Tápiószele (középső vaskor – Vekerzug-kultúra);

Hajdúnánás, Mácsi-dűlő és Fekete-halom lelőhelyek (Avar kor); Mátraszőlős (kora középkor) és Szendrő (kora újkor).

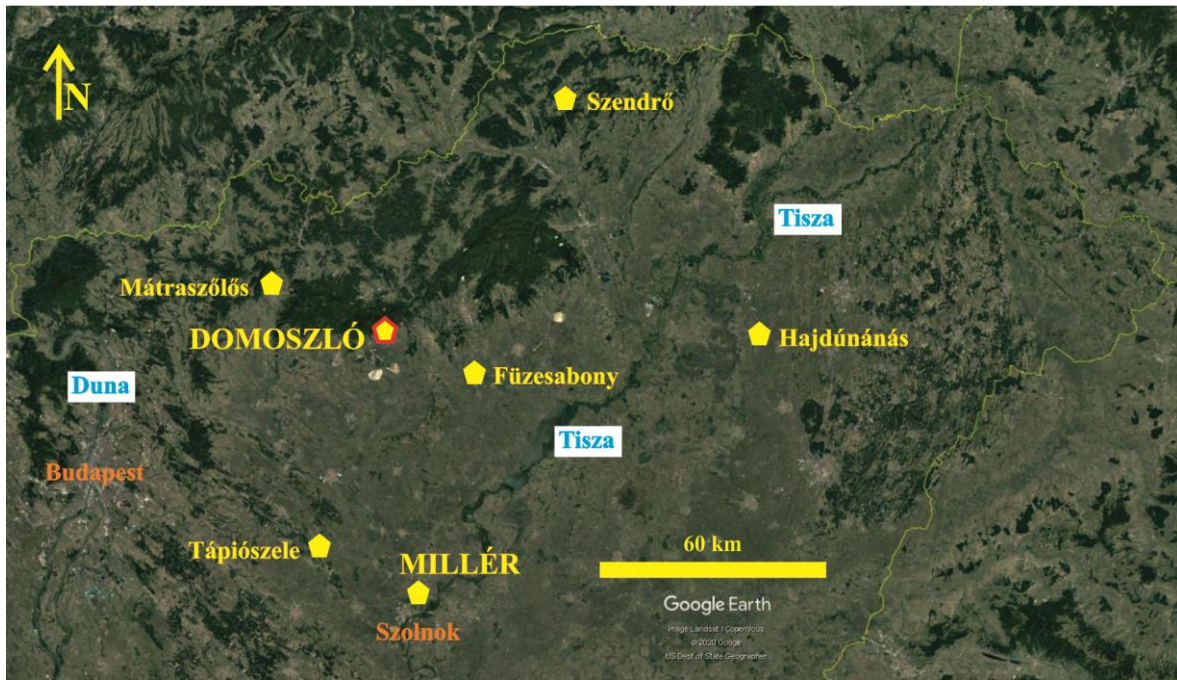
Szolnok, Milléri-holtág part I-II. lelőhely távolsága a feltételezett nyersanyagforrástól (Domoszlótól) légvonalban mintegy 70 km, azaz belül van az eddig Domoszlóhoz kapcsolt régészeti lelőhelyek (**6. ábra**) által kijelölt nyersanyag-elterjedési távolságon (mintegy 100 km-en) és tiszta időben a lelőhelyről szabad szemmel is látszik a horizonton a hegy jellegzetes alakja. A nyersanyag szállítását megkönnyíthette, hogy az Alföld folyószabályozás előtti vízjárta területei a Mátrához jóval közelebb terjedtek.

A 4. típus (biotitot és üde olivint is tartalmazó piroxénandezit) nyersanyagának forrása kérdéses. A kőzet különleges ásványos összetételét magyarázhatja a kitörés előtt a magmakamrában történt magmakeveredés. A biotitok egy korábban a magmakamrában elhelyezkedő magasabb szilícium-tartalmú magmára utaló reliktumok lehetnek, rezorbeált és opacitosodott szegélyük komoly újrafűtést jelezhet. A nagy mennyiségű olivin utáni pszeuomorfóza (a nagyobbak magjában üde olivinnel) és a finomszemcsés, bazaltos ásványos összetételű (olivin, klinopiroxén, plagioklász, kőzetüveg) zárványok bázisos (alacsony szilícium-tartalmú) magmára utalnak. Hasonló összetételű kőzetek elterjedéséről ismereteink hiányosak.

Olivint is tartalmazó piroxén andeziteket az Eperjes-Tokaji-hegységből ismerünk. Erdőbényén, a Szokolya-hegy és Párkány-hegy piroxénandezitjében átlagosan 2% üde olivin található, amely egyes mintákban elérte az 5%-ot is. A kőzet ásványos összetétele – plagioklász, klinopiroxén (augit), ortopiroxén („hipersztén”), olivin (és átalakulási termékei: „iddingzit”, antigorit), magnetit, elvéve kromit – alapján hasonlít a 4. típusra, de nem tartalmaz biotitot (Gyarmati 1977).

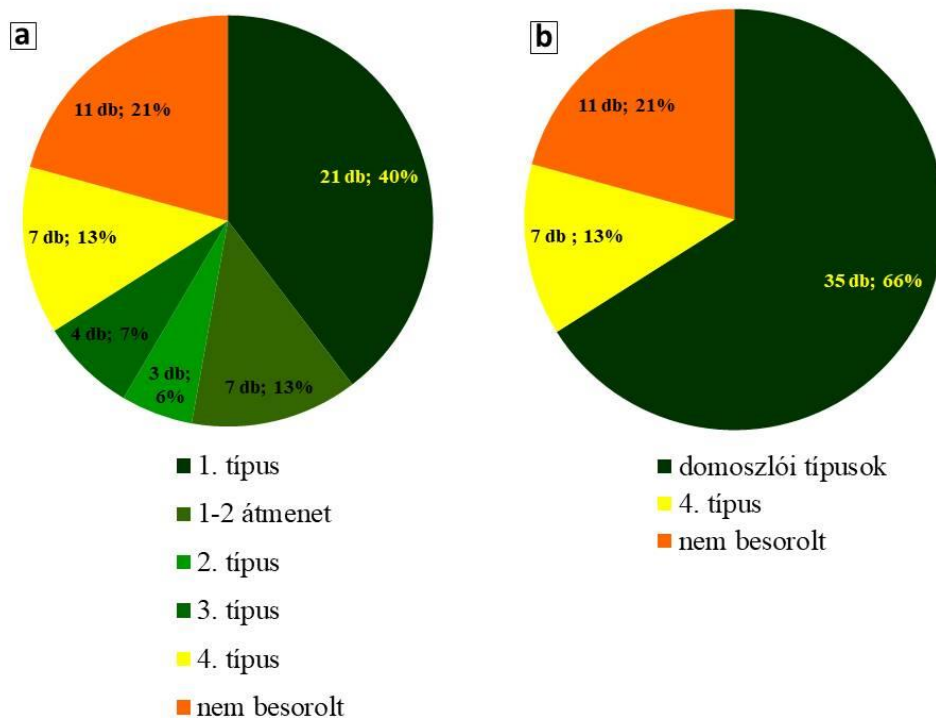
A tályjai Kopasz-hegy andezit bányája által feltárt olivin tartalmú piroxénandezit szintén tartalmaz orto- és klinopiroxén fenokristályokat („hipersztént” és augitot), többgenerációs (köztük nagyméretű, zárványos, visszaoldódott szegélyű) plagioklászokat, valamint piroxén-plagioklász kumuloporfirokat is, de nem tartalmaz biotitot (Jugovics 1959; Zelenka & Kertész 2015).

A 4. típus nyersanyaga forrásterületének meghatározása további kutatást igényel, amelybe be kell vonni határon túli területeket (Kárpátalja, Kelet-Szlovákia, Erdély) is, annál is inkább mivel Kelet-Szlovákia egyes területei – elsősorban a Hernád felső folyásvidéke, Kassa környéke és a környező hegyek – kulturálisan az alföldi szkíta csoporthoz köthetők, és a Vekerzug-kultúra népességének igazolható a kapcsolata a mai Kárpátalja és Erdély területén élő csoportokkal is (Kemenczei 2009).



6. ábra: Északkelet-Magyarország a nyersanyag-kitermelőhellyel (Domoszló) és a kapcsolódó régészeti lelőhelyekkel (Budapest és Szolnok a tájékozódás megkönnyítése végett szerepelnek.)

Fig. 6.: Map of NE Hungary, with the production center (Domoszló) and the related archaeological sites. (Budapest and Szolnok are included to facilitate orientation.)



7. ábra: Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely kora és késő vaskori őrlőköveinek nyersanyagmegoszlása (a) az egyértelműen összeillő töredékeket külön-külön számolva; (b) az 1–3. típus (Domoszlói típusok) összevonásával

Fig. 7a: Raw material distribution (a) with unambiguously assorted pieces counted separately; (b) with types 1–3 (Domoszló types) contracted of Early and Late Bronze Age grinding stones from Szolnok – Milléri-holtág part I-II site

Nyersanyag-megoszlás

Az 1., 2. és 3. típusú piroxénandezitek mikroszkópos jellegeik alapján a mintegy 70 km-re található Domoszló (Mátra) környéki nyersanyagokhoz köthetők (35 db, a vizsgált őrlőkötőredékek 66%-a). A 4. típus (biotitot és üde olivint is tartalmazó piroxénandezit) nyersanyaga forrásterületének megállapítása további kutatást igényel, de nagy valószínűséggel nagyobb távolságra keresendő, mint a többi típusé (7 db, a vizsgált őrlőkötőredékek 13%-a). Az őrlőkötőredékek mintegy ötödrészét előrehaladott mállásuk miatt nem sikerült a kialakított nyersanyagcsoportokba besorolni (11 db, a vizsgált őrlőkötőredékek 21%-a) (7. ábra).

Az arányok az egyértelműen összeálló töredékeket egynek számolva sem változnak lényegesen (Melléklet – 27. ábra).

A lelőhelyen feltárt több kronológiai fázis őrlő- és malomköveinek nyersanyagpektruma alapján nem vonhatók le messzemenő következtetések, a szkíta, illetve pontosabban be nem sorolt vaskori leletek túlsúlya miatt.

A nyolc kelta lelet között egy őrlőkötőredék 1. típusú nyersanyagból, három őrlőkötőredék 3. típusú nyersanyagból, három őrlőkötőredék pedig 4. típusú nyersanyagból készült, míg egy andezit nyersanyagú kavicsötredék egyik típusba sem volt besorolható. Az egyetlen Árpád-kori őrlőkötőredék 1. típusú nyersanyagból készült.

További kutatási lehetőségek

A határon túli potenciális nyersanyaglelőhelyek mintázása, részletes mikroszkópos és geokémiai, illetve ásványkémiai vizsgálata eredményre vezethet a 4. típus nyersanyagforrásának meghatározásában. Az őrlőkötőredék használatának, illetve használatukban beállt esetleges változások követésének eszköze lehet a használat által okozott kopásnyomok, illetve esetleges örleménymaradékok vizsgálata, amely kutatások hazánkban még szintén újszerűek, bár voltak már sikeres projektek is (pl. Persaits et al. 2010).

Összefoglalás

A Középső-Tisza-vidéken található Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhelyen több korszak emlékei is napvilágra kerültek. Újkőkori, késő bronzkori és Árpád-kori objektumok mellett a feltárt objektumok többsége egy középső vaskori (szkíta kor, Vekezug-kultúra), illetve egy késő vaskori (kelta), szórt szerkezetű, falusias jellegű településrészlethez tartozott. A szkíta kori településrészlet szerkezete különleges, mivel kizárólag kör vagy ovális alaprajzú struktúrákat tártak fel a korszakban általánosnak vélt négyszögletes alaprajzú, félig földbe ásott alapú veremházak helyett. Viszont a leletanyag mindenben megfelel a másutt megismert vaskori emlékműveknek: a kerámia

anyagot zömmel a házi kerámia hosszú életű, általános típusainak (fazekak, tálak) lehet megfeleltetni és nem hiányoznak az egyéb háztartási hulladékok, mint az állatcsontok, némi patics-törmelék és kőanyag sem. A késő vaskori (kelta) emlékművek csak nagyon kevésbé tér el a középső vaskori edénytípusoktól, elkülönítésük csak a zárt egységben megjelenő jellegzetes formájú, illetve díszítésű leletek alapján lehetséges.

Egyáltalán nem mellékes az a körülmény, hogy a vaskori leletanyagokban megjelenő szerszámkövek archeometriai vizsgálata még viszonylag új keletű a hazai régészeti kutatásban, mindazonáltal értékes információkat szolgáltat a környékben kimondottan szegény Közép-Tisza-vidék vaskori közösségeinek nyersanyagbeszerzési stratégiájáról.

A Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhelyen előkerült kőzetanyagú őrlőkötőredék nyersanyagának részletes közettani (petrográfiai mikroszkópos) és geokémiai (teljes kőzet kémiai összetétel) vizsgálatának segítségével több nyersanyagtypust sikerült azonosítanunk, bár a részletesen vizsgált leletek mintegy ötödrészét előrehaladott mállásuk miatt sajnos nem sikerült a kialakított nyersanyagcsoportokba besorolni.

A leggyakoribb, az őrlőkötő leletek mintegy kétharmadának nyersanyagát adó piroxénandezit változat a régészeti lelőhelytől mintegy 70 km-re található Domoszló környéki (Mátra hegység) kitermelő és megmunkáló helyeken termelt nyersanyaggal azonosítható. Ezen nyersanyag eddig feltárt régészeti elterjedésébe mind térben, mind időben jól illeszkedik Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely, ahonnan tiszta időben szabad szemmel is kivehető a Mátra távoli sziluettje.

Egy különleges, biotitot és üde olivint is tartalmazó piroxénandezit változatot is azonosítottunk a leletek nyersanyagában, ennek forrásterülete azonban egyelőre nem ismert, és lehatárolásához a további kutatások során érdemes bevonni határon túli területeket (Kárpátalja, Kelet-Szlovákia, Erdély) is.

Szolnok – Milléri-holtág part I-II. lelőhely kőeszközeinek vizsgálata alapján kijelenthetjük, hogy a korábban feltételezettnél lényegesen összetettebb kőeszköz használattal kell számolnunk a vaskorban. Az alapos régészeti tipológiai munka mellett a természettudományos, jelen esetben közettani és geokémiai vizsgálatok alkalmazása új megvilágításba helyezi az egykor itt élt népek nyersanyagbeszerzési stratégiáit, kapcsolattrendszerét.

A szerzők tudományos közreműködése

Péterdi Bálint Kutatásvezetés, Módszertan, Formai elemzés, Kísérletvezetés, Kísérleti munkák, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció. **Czifra Szabolcs** Kutatásvezetés, Formai elemzés,

Adatkezelés, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Szakmány Györgynek és Józsa Sándornak az értékes konzultációs lehetőségeikért, Viktorik Orsolyának a vékonycsiszolat-készítéshez használt közetszeletek levágásáért, Kereskényi Erikának és Ilon Gábornak az alapos és a közlemény szövegének minőségét emelő bírálatokért, valamint köszönjük a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága és a K-131814 számú NKFIH (OTKA) projekteknek a vizsgálatok elvégzéséhez nyújtott segítségét.

Irodalom

CSÁNYI, M., CSEH, J. & TÁRNOKI, J. (2002): Tiszapüspöki, Karancs, Háromág-dűlő: kora bronzkori áldozati gödör és vaskori épület. In: MARTON, E. & KISFALUDI, J., szerk., *Régészeti kutatások Magyarországon* 1999. Kulturális Örökségvédelmi Hivatal – Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 47–62.

CSEH, J. (1990): Egy szkíta ház Szolnok–Zagyvarpartról. *Múzeumi Levelek* **63-64** 3–18.

CSEH, J. (2001): Szkíta földművelők-állattartók településeinek régészeti nyomai a Zagyva mentén. (Településtörténeti kutatások Szolnok határában 1986-1990 között). In: HAVASSY, P., szerk., *Hatalmasok viadalokban. Az Alföld szkíta kora (Sie sind in Kämpfen siegreich. Das Zeitalter der Skythen in der Tiefebene)*. Gyulai katalógusok **10**, Gyula 2001, 79–95.

CSEH, J. (2005): Szkíta telepobjektum Besenyszög – Szórápusztán. *Múzeumi Levelek* **80-81** 5–23.

CSEH, J. (2006): Archaeologia Scythica. Adalékok a Közép-Tisza mente vaskori történetéhez. *Tisicum* **15** 13–42.

CSEH, J. (2008): Jászfelsőszentgyörgy – Túróczi-tanya. Településnyomok a rézkortól a népvándorlás korig – Csalog Zsolt 1961. évi ásatása. *Tisicum* **17** 83–118.

CZAJLIK, Z., MOHAI, R. & MOLNÁR, F. (2007): Matériel lithique. In: SZABÓ, M., ed., *L' Habitat de l'époque de La Tène, Sajópetri – Hosszú dűlő*. L'Harmattan, Budapest, 2007, 275–284.

CZIFRA, Sz. (2006): Megjegyzések a szkíta kori Alföld-csoport veremházainak kérdéséhez. *Archaeológiai Értesítő* **131** 169–178.

CZIFRA, Sz. (2016): Szkíta kori település a Nyírségben: Nyírparasznya III. forduló (előzetes jelentés). In: KVASSAY, J., ed., *Régészeti kutatások Magyarországon 2011-2014*. Budapest: Forster Központ and Magyar Nemzeti Múzeum, 97–119.

CZIFRA, Sz. (2018): Early Iron Age circular structures in the Carpathian Basin. In: TREFNÝ, M., ed., *The Early Iron Age in Central Europe. Proceedings of the conference held on the 2nd – 4th July 2015 in Hradec Králové, Czech Republic*. Philosophical Faculty, University of Hradec Králové, Hradec Králové, 244–261.

D. MATUZ, E. (2000): A Szeged-Algyő 258. kútkörzet területén feltárt preszkíta temető. *Móra Ferenc Múzeum Évkönyve – Studia Archaeologica* **6** 139–164.

D. MATUZ, E. (2001): Két preszkíta sír Kompolt-Kígyósérről. *Ősrégészeti Levelek* **3** 43–47.

F. KOVÁCS, P. (2019): The concept of 'house' and 'settlement' in the Iron Age of the middle Tisza region. In: COWLEY, D. C., FERNÁNDEZ-GÓTZ, M., ROMANKIEWICZ, T. & WENDLING, H., eds., *Rural Settlement. Relating buildings, landscape and people in the European Iron Age*. Sidestone Press, Leiden, 2019, 143–152.

GYARMATI, P. (1977): A Tokaji-hegység intermedier vulkanizmusa. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **LVIII**, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 1977, 195 p.

HARANGI, Sz., DOWNES, H., THIRLWALL, M. & GMÉLING, K. (2007): Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian Arc, Eastern Central Europe. *Journal of Petrology* **48** 2261–2287. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm059>

HORVÁTH, T. & PÉTERDI, B. (2012): Csiszolt kőeszközök, őrlőkövek, egyéb megmunkált és megmunkálatlan kőzetanyagú leletek. In: HORVÁTH, T., szerk., *Balatonöszöd-Temetői dűlő őskori településrészei. A középső rézkori, késő rézkori és kora bronzkori települések*. MTA BTK Régészeti Intézet, Budapest, 403–526. <http://real.mtak.hu/2959>

ILON, G. (2004): Szombathely őskori településtörténetének vázlatja. Vas megyei Múzeumok Igazgatósága, Szombathely, 2004, 280 p.

ILON, G. (2020): Grindstone: Grinding... and Human Sacrifice? Why? *Dissertationes Archaeologicae Supplementum* **3** 241–258. <https://doi.org/10.17204/dissarch.suppl3.241>

JUGOVICS, L. (1959): A tállyai Kopasz-hegy piroxénandezitje. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1955-1956. évről*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 1959, 137–149.

KARÁTON, D., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., JÓZSA, S., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z., KOVÁCSVÖLGYI, S., SZAKMÁNY, Gy. & DULAI, A. (2000): Volcanic evolution and stratigraphy of the miocene Börzsöny mountains,

Hungary: an integrated study. *Geologica Carpathica* **51** 325–343.

KARÁTSÓN, D. (2007): *A Börzsönytől a Hargitáig. Vulkanológia, felszínfejlődés, ősföldrajz.* TYPOTEX, Budapest, 463 p.

KARÁTSÓN, D., OLÁH, I., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., DULAI, A., ZELENKA, T. & KÓSIK, Sz. (2007): Miocene volcanism in the Visegrád Mountains (Hungary): an integrated approach to regional volcanic stratigraphy. *Geologica Carpathica* **58** 541–563.

KEMENCZEI, T. (2009): *Studien zu den Denkmälern skythisch Geprägter Alföld Gruppe.* *Inventaria Praehistorica Hungariae* **XII**, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 414 p.

KORPÁS, L. (ed.) (1998): *Magyarázó a Börzsöny és a Visegrádi-hegység földtani térképéhez 1:50000.* Geological Institute of Hungary, Budapest, 216 p.

LANTOS, A. (2011): Szkíta kori telep Dunavecse határában. In: SOMOGYVÁRI, Á. & V. SZÉKELY, Gy., szerk., *A Barbaricum ösvényein... A 2005-ben Kecskeméten tartott tudományos konferencia előadásai.* Archaeologia Cumanica 1., Katona József Múzeum, Kecskemét, 27–48.

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** 745–750.

<https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>

Méra – Méra I. lelőhely. Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Adatbázis

<https://archeodatabase.hnm.hu/hu/node/30203>,

letöltés ideje: 2023. december 5.

MARÁZ, B. (1982): A szkítakorai őslakosság Latène-kori továbbélése Kelet-Magyarországon. (Régészeti adatok a Kárpát-medencei kelta-szkíta kapcsolatok kérdéséhez). *Janus Pannonius Múzeum Évkönyve* **1981** 97–120.

MIKLÓS, D. G., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., STARNINI, E. & HORVÁTH, F. (2021): Vörös homokkő nyersanyagú szerszámkövek Hódmezővásárhely-Gorzsa késő neolitik (Tisza kultúra) tell település leletanyagában. *Archeometriai Műhely* **XVIII/3** 209–236.

MIROŠŠAYOVÁ, E. (1994): Sídlisko z neskorej doby Halštatskej v Čečejojciach (Späthallstattzeitliche Siedlung in Čečejojce). *Slovenská archeológia* **42(1)** 37–68.

PERSAITS, G., FARKAS, Cs. & PAP, I. K. (2010): Késő vaskori (kelta), koraközépkori és kora-Árpád-kori őrlőkövek fitolitelemzése (Vas megye, Magyarország). *Archeometriai Műhely* **VII/3** 215–226.

PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, Gy., JUDIK, K. & DOBOSI, G. (2009): Bazaltos andezit nyersanyagú szarmata szerszámkövek kőzettani és geokémiai vizsgálata (Üllő 5. lelőhely). *Archeometriai Műhely* **VI/2** 43–60.

PÉTERDI, B. (2011): *Szerszámkövek és csiszolt kőeszközök archeometriai vizsgálatának eredményei (Balatonöszöd - Temetői dűlő lelőhely, késő rézkor, bádeni kultúra).* Közöletlen PhD disszertáció, ELTE TTK FFI Kőzetan-Geokémiai Tsz., 157 p.

PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, Gy., JUDIK, K., DOBOSI, G., KOVÁCS, J., KASZTOVSZKY, Zs. & SZILÁGYI, V. (2011): Bazalt anyagú csiszolt kőeszközök kőzettani és geokémiai vizsgálata (Balatonöszöd – Temetői dűlő lelőhely). *Archeometriai Műhely* **VIII/1** 33–68.

PÉTERDI, B. (2012): Balatonöszöd – Temetői dűlő rézkori lelőhely homokkő nyersanyagú kőeszközeinek kőzettani és geokémiai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* **IX/4** 265–286.

PÉTERDI, B. & HORVÁTH, T. (2014): 3.3.9. Ground stone and other unworked stone artefacts. In: HORVÁTH, T., ed., *The Prehistoric Settlement at Balatonöszöd – Temetői-dűlő. The Middle Copper Age, Late Copper Age and Early Bronze Age Occupation.* *Varia Archaeologica Hungarica* **XXIX**, Archaeolingua, Budapest, 379–403.

PÉTERDI, B., JUDIK, K., & DOBOSI, G. (2014): Bazaltos lapillitufa anyagú őrlőkövek kőzettani és geokémiai vizsgálata (Balatonöszöd – Temetői dűlő lelőhely). *Archeometriai Műhely* **XI/2** 115–126.

PÉTERDI, B., T. BIRÓ, K., TÓTH, Z., BERTALAN, É., HORVÁTH, Zs., FREILER Á., BEKE, Zs. & BUDAI, F. (2016): Domszló: őrlő-és malomkő nyersanyagkitermelőhely és műhely a Mátrában: Első régészeti elterjedés-vizsgálatok. *Archeometriai Műhely* **XIII/4** 219–236.

PÉTERDI, B., T. BIRÓ, K. & TÓTH, Z. (2017): Chapter Seven. Domszló: Grinding Stone and Millstone Production Centre in Hungary. Preliminary Results. In: PEREIRA, T., TERRADAS, X. & BICHO, N., eds., *The Exploitation of Raw Materials in Prehistory: Sourcing, Processing and Distribution.* Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, 90–97.

PÉTERDI, B., T. BIRÓ, K., TÓTH, Z., BAJKAI, R., TÓTH, I. & BENDŐ, Zs. (2018): Új gombok a domszlói andezit kabáthoz: avar kori malomkövek Hajdúnánásról. *Archeometriai Műhely* **XV/2** 135–148.

PIROS, L. (2010): *Homokkő nyersanyagú kőeszközök, szerszámkövek archeometriai vizsgálata, Gorzsa (DK-Magyarország).* Közöletlen diplomamunka. ELTE TTK FFI Kőzetan-Geokémiai Tsz., Budapest, 89 p.

- PÓKA, T., ZELENKA, T., SEGHEDI, I., PÉCSKAY, Z. & MÁRTON, E. (2004): Miocene volcanism of the Cserhát Mts (N Hungary): Integrated volcano-tectonic, geochronologic and petrochemical study. *Acta Geologica Hungarica* **47** 221–246.
<https://doi.org/10.1556/AGeol.47.2004.2-3.7>
- STARNINI, E., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, V., MARÓTI, B., VOYTEK, B. & HORVÁTH, F. (2015): Lithics from the Tell Site Hódmezővásárhely-Gorzsa (Southeast Hungary): Typology, Technology, Use and Raw Material Strategies during the Late Neolithic (Tisza Culture). In: HANSEN, S., RACZKY, P., ANDERS, A. & REINGRÜBER, A., eds., *Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea. Chronologies and technologies from the 6th to the 4th millennium BCE* (Archäologie in Eurasien Band **31**). Bonn: Habelt, 105–128.
- STEGMANN-RAJTÁR, S. (1996): Eine Siedlung der Späthallstatt-/Frühlaténezeit in Bratislava-Dúbravka (Slowakei). In: JEREM, E. & LIPPERT, A., Hrsg., *Die Osthallstattkultur. Akten des Internationalen Symposiums, Sopron, 10.-14. Mai 1994*. Archaeolingua **7**, Budapest, 455–470.
- SZABÓ, M. (2007a): Les relations celto-scythes sources archéologiques. In: SZABÓ, M., ed., *L'habitat de l'époque de La Tène à Sajópetri Hosszú-dűlő*. L'Harmattan, Budapest, 329–332.
- SZABÓ, M. (2007b): *L'habitat de l'époque de La Tène à Sajópetri Hosszú-dűlő*. L'Harmattan, Budapest, 518 p.
- SZABÓ, M., KRIVECZKY, B. & CZAJLIK, Z. (2003): Késő vaskori település Sajópetri határában (Sajópetri, Hosszú-dűlő). *Régészeti kutatások Magyarországon* **2002** 25–34.
- SZAKMÁNY, Gy. (1996): Results of the petrographical analysis of some samples of the ground and polished stone assemblage. In: MAKKAY, J., STARNINI, E. & TULOK, M., eds., *Excavations at Bicske-Galagonyás (part III). The Notenkopf and Sopot-Bicske cultural phases. Società per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli-Venezia Giulia, Quaderno* **6**, Trieste, 224–241.
- SZAKMÁNY, Gy. & NAGY, B. (2005): Balatonlelle–Felső-Gamász lelőhelyről előkerült késő rézkori vörös homokkő őrlőkövek petrográfiai vizsgálatának eredményei. *Archeometriai Műhely* **II/3** 13–21.
- SZAKMÁNY, Gy., STARNINI, E., HORVÁTH, F., SZILÁGYI, V. & KASZTOVSZKY, Zs. (2008): Gorzsa késő neolitik tell településről előkerült kőeszközök archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei (Tisza kultúra, DK Magyarország). *Archeometriai Műhely* **V/3** 13–26.
- SZAKMÁNY, Gy., STARNINI, E., HORVÁTH, F., SZILÁGYI, V. & KASZTOVSZKY, Zs. (2009): Investigating trade and exchange patterns during the Late Neolithic: first results of the archaeometric analyses of the raw materials for the polished and ground stone tools from Tell Gorzsa (Southeast Hungary). In: ILON, G., ed., *Nyersanyag és kereskedelem. Őskoros Kutatók összefüvetele VI. (Köszeg 2009)*, Szombathely, 369–383.
- SZAKMÁNY, Gy., STARNINI, E., HORVÁTH, F. & BRADÁK, B. (2011): Investigating trade and exchange patterns in Prehistory: preliminary results of the archaeometric analyses of the stone artefacts from tell Gorzsa (Southeast Hungary). In: TURBANTI-MEMMI, I., ed., *Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry, 12th-16th May 2008, Siena, Italy*, Springer, 311–319.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7_45
- T. BIRÓ, K. & PÉTERDI, B. (2011): Domoszló-Pipis: Őrlőkő és malomkő készítő műhely a Mátrában. (Domoszló-Pipis: exploitation site and workshop for the production of quernstones and millstones in the Mátra Mts.) In: TÓTH, E. & VIDA, I., szerk., *Corolla museologica Tibor Kovács dedicata*. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 523–534.
- TIMÁR, L. (2011): Késő vaskori veremházak maradványainak értelmezése. *Ősrégészeti Levelek* **13**: 291–302.
- WEFERS, S. (2011): Still using your saddle quern? A compilation of the oldest known rotary querns in western Europe. In: WILLIAMS, D. & PEACOCK, D., eds., *Bread for the People: The Archaeology of Mills and Milling*. Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome 4th-7th November 2009. *BAR International Series* **2274**, Oxford 2011, 67–76.
- WRIGHT, K. (1992): A classification system for ground stone tools from the prehistoric Levant. *Paléorient* **18** 53–81.
- ZELENKA, T. & KERTÉSZ, B. (2015): Tállya andezitbánya süllyesztői szintjén előforduló andezittípusok közettani és ásványtani jellemzése. In: PÁL-MOLNÁR, E., RAUCSIK, B. & VARGA, A., szerk., *Meddig és a takarónk? A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig. 6. Közettani és geokémiai vándorgyűlés. Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszék, Szeged*, 126.

TÖMÖTT VÖRÖS MÉSZKŐ – „VÖRÖS MÁRVÁNY” – EMLÉKEK MŰVÉSZETTÖRTÉNETI ÉS ARCHEOMETRIAI KUTATÁSI EREDMÉNYEI (2001–2023)

RESULTS OF ART HISTORICAL AND ARCHAEOMETRIC RESEARCH OF COMPACT RED LIMESTONE – “RED MARBLE” – MONUMENTS (2001–2023)*

LŐVEI, Pál*¹; PINTÉR, Farkas²; TÓTH, Mária† & BAJNÓCZI, Bernadett^{3,4}

¹ HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont Művészettörténeti Intézet, BTK Lendület Középkori Magyar Gazdaságtörténet Kutatócsoport, 1097 Budapest, Tóth Kálmán u. 4.

² Institut für Konservierung und Restaurierung, Universität für angewandte Kunst Wien, Salzgies 14, A-1010 Wien, Österreich

³ HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

⁴ HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17.

*levelező szerző: lovei.pal@abtk.hu

Abstract

Over the past two decades, research and collaboration in the field of art history and archaeometry have provided a much more detailed picture of the medieval and early Modern Age use of the Jurassic red compact limestone (“red marble”), the most important ornamental stone in the Carpathian Basin and wider Central Europe. In addition to art historical research, petrographic and stable isotope geochemical analyses were carried out on dozens of reference samples from quarries and more than 50 artefacts from Hungary and abroad. The results confirmed the historical use of Hungarian stone material quarried in the Gerecse Mountains near Buda(pest) and Esztergom, covering a significant part of the medieval territory of the Kingdom of Hungary, but also pointed out the use of similar raw materials quarried in the Adnet area near Salzburg in Austria. From an art-historical point of view, the grave slab of Bishop Lukács Szegedi (†1510) from Zagreb in Croatia and the grave stone fragments (around 1430) found in the royal castle of Bobovac near Sarajevo in Bosnia, indicated a clear connection with the tombs of Buda and the raw materials from the Gerecse Mountains. Of particular interest is the evidence of Hungarian origin in some of the stones of the Capella speciosa, built in Klosterneuburg near Vienna and consecrated in 1222. The “red marble”, quarried in the area of Óubló (Stará Lubovňa) in the north-east of the present-day Slovakia and included for the first time in our research, may have played an important role in the north-eastern part of historical Upper Hungary. The detailed archaeometric investigation of the “Lubló/Lubovňa marble” as well as that of the red limestone occurrences in the Verona area (Italy) could be the basis for future research.

The illustrations of the examined works of art and the data of our investigations can be found in the Appendix of our study.

Kivonat

Az elmúlt két évtized művészettörténeti és archeometriai célú kutatásai és együttműködései során sikerült a korábbiakhoz képest sokkal részletesebb képet alkotni a Kárpát-medence és a tágabb értelemben vett Közép-Európa legjelentősebb díszítőkövének, a jura időségi vörös tömött mészkőnek („vörös márvány”) közép- és kora újkori felhasználásáról. A művészettörténeti kutatás mellett több tucat referencia bányaminta és ötvennél több magyarországi és külföldi műtárgyból vett minta petrográfiai és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatát végeztük el. Az eredmények megerősítették a Buda(pest) és Esztergom közelében, a Gerecse hegységben bányászott magyarországi kőanyagok a középkori Magyar Királyság területét jelentős mértékben lefedő történeti felhasználását, de egyben új eredményként rámutattak a Salzburg környéki Adnetben kitermelt, hasonló

* How to cite this paper: LŐVEI, P.; PINTÉR, F.; TÓTH, M. & BAJNÓCZI, B., (2024): Tömött vörös mészkő – „vörös márvány” – emlékek művészettörténeti és archeometriai kutatási eredményei (2001–2023) / Results of art historical and archaeometric research of compact red limestone – “red marble” – monuments (2001–2023) (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* **XXI/2** 149–160.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-013](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-013)

nyersanyagok magyarországi felhasználására is. Művészettörténeti szempontból igen fontos Szegedi Lukács püspök (†1510) zágrábi sírlapjának és a boszniai Szarajevó közelében Bobovac királyi várában talált, 1430 körül faragott sírkőtöredékeknek egyértelműen gerecei és budai kapcsolódása. Különösen érdekes a Bécs közelében, Klosterneuburgban emelt, 1222-ben felszentelt Capella speciosa egyes köelemei esetében bizonyított Gerecse hegységi eredet. A magyarországi kutatások során most először figyelembe vett, a mai Szlovákia északkeleti részén, Ólubló (Stará Lubovňa) környékén bányászott „vörös márvány” kőanyag fontos szerepet játszhatott a Felvidék északkeleti részein. Használatának részletei, illetve a Verona környéki vörös mészkő előfordulások részletes archeometriai feldolgozása jelenthetik a kutatás jövőbeli folytatását.

A megvizsgált faragványok képei és vizsgálataink adatai tanulmányunk Mellékletében található.

KEYWORDS: “RED MARBLE“, ART HISTORY, PROVENANCE, PETROGRAPHY, STABLE ISOTOPE GEOCHEMISTRY, GERECSÉ MOUNTAINS

KULCSSZAVAK: „VÖRÖS MÁRVÁNY”, MŰVÉSZETTÖRTÉNET, EREDETHATÁROZÁS, PETROGRÁFIA, STABILIZOTÓP-GEOKÉMIA, GERECSÉ HEGYSÉG

Bevezetés

Magyarország középkori síremlékeinek katalogizálását Radocsay Dénes (†1974) kezdte meg, majd 1979-től kezdődően Varga Livia (†2010) és Lővei Pál folytatta (jelenleg a gyűjtést lezáró, a katalógus összeállítását és az anyag egybeszerkesztését célzó munkák zajlanak). A legfontosabb, legrepresentatívabb és legkvalitásosabb faragványok anyaga jelentős részben jura időszaki tömött vörös mészkő – a középkori, újkori, jelenlegi mindennapok szóhasználatában, de még művészet- és építészettörténeti szakkifejezésként is „vörös márvány” (Lővei 1992). Lővei Pál 1983/84-es hosszabb ausztriai, Dél-Bajorországra is kitekintő ösztöndíjas tartózkodása során vetődött fel a művészettörténeti kérdés, hogyan lehetne megkülönböztetni a magyarországi emléktanyag szempontjából alapvető gerecei, valamint az osztrák-bajor területeken meghatározó tömött vörös mészkőveket, mivel az utóbbi vidékeken az anyag zömét alkotó, az ausztriai Salzburg tartományban található, adneti vörös mészkő művészettörténeti szemmel nem nagyon különbözött a magyarországi példáktól.

1990-ben a Magyarország építészeti töredékeinek katalogizálását megcélzó műemléki *Lapidarium Hungaricum* program első eredményeiről Visegrádon rendezett, „A mérnökgeológia a műemléki, régészeti kőanyagok kutatásában” című ülészakon Lővei Pál, a középkori síremlékek „vörös márványairól” szóló előadásában (Lővei 1992), szakmai körökben először tette fel ezt, az őt akkor már jó pár éve foglalkoztató kérdést. A konferencián jelen lévő Tóth Mária évekkel később az ELTE TTK Közéttan-Geokémiai Tanszékén Szakmány György témavezetésével egy geológus hallgatónak ajánlotta diplomamunka-témaként a „vörös márványok” eredethatározásának vizsgálatát (Pintér 2001). A provenienciára meghatározására a valódi márvány műtárgyak eredethatározásánál már több évtizede sikerrel alkalmazott stabilizotóp-geokémiai elemzések, és kiegészítésként vékonycsiszolati mikroszkópos vizsgálatok történtek (Pintér 2001, Pintér et al. 2004). Az egyrészt a bányahelyeken

gyűjtött referencia mintákon, másrészt a hozzáférhető töredékekből lepattintott szilánkokon elvégzett vizsgálatokat követően a munkát siker koronázta, és a természettudományos vizsgálatok segítségével megkülönböztethetővé váltak a különböző, magyarországi és ausztriai területek „vörös márványt” tartalmazó geológiai előfordulásai (**1. ábra**). Az eljárás tudományos jelentőségét mutatja, hogy a két analitikai módszer segítségével először sikerült mészkő műtárgyakon archeometriai célú eredethatározást elvégezni. Az interdiszciplináris együttműködés máig emlékezetes momentumai Szakmány György és a szerzők közös gyűjtőútjai Esztergomban, Visegrádon, Sopronban és Vácott, illetve a Gerecse hegység történelmi köfajtáiban.

Az elkészült diplomamunka eredményeit a közreműködők – a diplomázó maga, a témavezető, a művészettörténetész konzulens és a laboratóriumi munkákban résztvevők – 2001-ben tették közzé (Pintér et al. 2001a; Pintér et al. 2001b). A publikációk eredményei és következtetései a bányákból nyert mintákon túl 27 kőfaragvány anyagvizsgálatán alapultak.

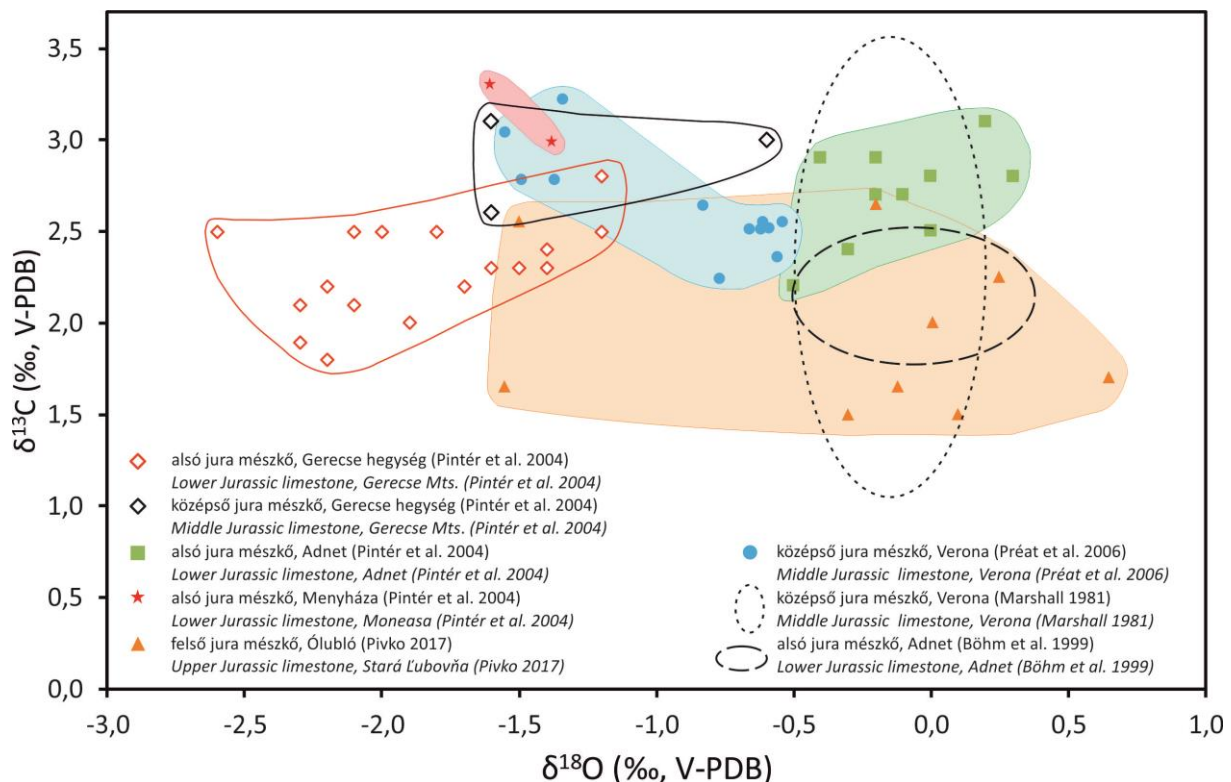
A munka azonban nem állt meg ezzel. Az utóbb, 2012-ben felszámolt Kulturális Örökségvédelmi Hivatal Horler Miklós, az utolsó ciklusban Lővei Pál vezetésével akkor már húsz éve folyó *Lapidarium Hungaricum* OTKA-programjának keretében további faragványokból nyert minták vizsgálatára is mód nyílt – ebbe a munkába Pintér Farkas és Tóth Mária már bevonta Bajnóczi Bernadettet is. A Magyar Tudományos Akadémia 2006. évi közgyűléséhez kapcsolódóan a Filozófiai és Történettudományok Osztálya és annak Művészettörténeti Tudományos Bizottsága által rendezett tudományos ülészak témája a művészettörténeti módszertan nézőponti sokszínűsége volt. Ennek keretében hangzott el közösen összeállított előadásunk, amelyik aztán a Művészettörténeti Értesítő a konferencia előadásait közreadó számában meg is jelent (Lővei et al. 2007). Az elmúlt két évtized fontosabb kutatási eredményeit a **Melléklet** tartalmazza.

Kutatási eredmények

Habár az ország középső részén, a gerecei kőbányák közelében fekvő települések feltételezhetően a közelben nyert kőanyagból készült faragványaiból vett minták alapvetően fontosak voltak a referenciaként szolgáló adatbázis kiépítésének szempontjából, különösebb meglepetést nem jelentett, hogy Esztergom és Visegrád emlékanyagának, vagy a jóval távolabbi Felsőelefánt (ma Horné Lefantovce, Szlovákia) Iohannes Fiorentinus szignálta, egyértelműen esztergomi stíluskapcsolatokat mutató sírkövének vörös mészkövét a Gerecsében bányászták (Pintér et al. 2001a; Pintér et al. 2001b – **Melléklet: ESZ-1-7, FEL-1, VIS-1-5**). A később vizsgált emlékek közül ebbe a földrajzi, illetve stílári körbe tartozik a székesfehérvári királyi bazilika padlója és egy budai sírkő, illetve a délvidéki Dombó sírkőtöredéke (**Melléklet: SZEK-1, BUD-1, DOM-1**). A nyugati határszél emlékanyagának vizsgálata ugyanakkor már kezdetben megmutatta, hogy például Sopronba (**Melléklet: SOP-1-8**) idővel „begyűrűzött” az ausztriai vörös mészkövek használata. A későbbi anyagvizsgálati eredmények, a kiterjedtebb művészettörténeti vizsgálatokkal együtt, az ország nyugati területein a két bányahely

piackörzeteinek találkozását, a középkor folyamán a két ország területén dinamikusan „hullámzó” határvonalát is körvonalazni engedték (Lővei 2019; Lővei 2021. I. 217–246.). Ezen határvonalra példaként említhetjük a zalacsányi Kanizsai-sírkő Gerecséből származó anyagát (**Melléklet: ZAL-1**) és az ausztriai Bécsújhelyben (Wiener Neustadt) található Zrínyi-sírkő (**Melléklet: BEC-1**) adneti eredetét, amely, figyelembe véve a családtörténeti kapcsolatait, egyáltalán nem meglepő eredmény.

A Gerecséből származó, középső jura kőanyagának a bányákhoz közeli, 13. század eleji használatát mutatták már egyes korábban vizsgált esztergomi mintáink (Pintér et al. 2001a – **Melléklet: ESZ-1-7**), újabban a bényi (ma Biňa, Szlovákia) rotunda timpanonlapja is ehhez a körhöz tartozónak bizonyult (Pintér & Bajnóczi 2014, 192, 1. táblázat, 4. fotótábla – **Melléklet: BEN-1**). Érdekes és fontos eredményeket hoztak a távolabbi helyszínek emlékeinek vizsgálatai is. Pécs, az alföldi Ellésmonostor és Szermonostor, Szeged, valamint Gyulafehérvár (ma Alba Iulia, Románia) (Pintér et al. 2001a – **Melléklet: PEC-1, ELL-1, SZER-1, SZEG-1, GYU-1**) a távolsági kőanyagszállítás példáiként igazolták Gerecse kőanyagának országos jelentőségét, egyben segítettek az alsó és a középső



1. ábra: A kutatás során vizsgált „vörös márvány” bányaterületek stabilizotóp-értékei (Pintér et al. 2004, Préat et al. 2006 [kivéve: szürke mészkövek] és Pivko 2017 nyomán)

Fig. 1.: Stable isotope values of “red marble” quarries investigated in our research (after Pintér et al. 2004, Préat et al. 2006 [except: grey limestones], and Pivko 2017)

jura vörös mészkövek használatának kronológiai meghatározásában, illetve az addig veronai eredetűnek tartott székesfehérvári faragványok (Konda 1988) – III. Béla király (†1196) és felesége vörös kőlapokból összeillesztett sírládái (Biczó 2017) – hazai származásának igazolásában (Pintér et al. 2001a). A középső jura gercsei „vörös márvány” távoli használatát alátámasztotta később az alföldi Dèce templomának ásatásából egy, a templom második építési periódusából (14–15. század) származó töredék (Kelemen et al. 2012, 89, 92, és 3. táblázat, 4. kép), valamint Bizere (ma Frumușeni, Románia) bencés apátságában (Bajnóczi et al. 2015, 267, 270–271) és Egres (ma Igrış, Románia) ciszterci templomában talált több töredék is (**Melléklet: DEC-1, BIZ-1, EGR-1**). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy – ellentétben az újkori és a jelenlegi helyzettel – a gercsei „vörös márvány” 12. század végi, 13. századi fejtésének idején a bányák alsó jura rétegek fölötti, középső jura időszaki kőzetrétegeiből is lehetett még felhasználható méretű és faragható lapokat nyerni. A pécsi reneszánsz sírlap alapján erre még a 16. század elején is akadt példa.

Az anyagvizsgálatok egyik legjelentősebb, alább ismertetett eredménye annak kimutatása volt, hogy a 13. században a Babenbergerek fontos alsó-ausztriai kolostorépítkezéseikhez felhasznált „vörös márványt” még a magyarországi bányákból szereztek be – nyilván a magyar király anyaghasználatának példáját követve. Az osztrák területen található zwettli, lilienfeldi és heiligenkreuzi ciszterci kolostorok kerengőiben „vörös márványból” sorozatban gyártott kis oszlopok eredeti helyzetben, nagyobb számban maradtak meg (Thome 2006), és megtalálhatók a Klosterneuburgban VI. Lipót herceg építtette Pfalz 1222-ben felszentelt *Capella speciosa*jának belső architektúrájában is, együtt a falak „vörös márvány” burkolatával (Schwarz 2013; Schwarz & Rostás 2021). Salzburg és környéke, például Bad Reichenhall korabeli emlékegye egyáltalán nem utal a falfelületek „vörös márvánnyal” történt ilyesfajta burkolására, amilyenre viszont Esztergomban és Pannonhalmán nagyon is ismertek példák, és amely semmiképpen nem illeszthető be a palotakápolna francia stílusú kapcsolati körébe, nem tartható számon a kápolna faltagolásának, díszítésmódjának franciás elemei között. Már az első anyagvizsgálati eredmények 2001-es közzétételét követően került sor a pannonhalmi bencés apátság egy íves „vörös márvány” hengertagjának és az ausztriai kápolna négy „vörös márvány” mintájának közzétételére és stabilizotóp-geokémiai módszerekkel való vizsgálatára. Ahogy azt várni lehetett, egy kőtári őrzésű pannonhalmi ívelem – Rostás Tibor három később gyűjtött, fontos faragványokból vett mintáival együtt (Pintér & Bajnóczi 2014, 192, 1. táblázat, 197, és 4. fotótábla) – gercsei eredetűnek bizonyult (**Melléklet: PAN-1, PAN-2–4**). Sokkal

meglepőbb azonban, hogy az osztrák kollégák segítségével, az alsó-ausztriai Laxenburgban gyűjtött minták (**Melléklet: KLO-1–4**) közül elemzéseink szerint csak egy származtatható Salzburg környékéről, viszont három is nagy valószínűséggel Magyarországról. A kettősségre magyarázatul szolgálhat, hogy a klosterneuburgi *Capella speciosa* elemeinek a laxenburgi kastélyba történt áthelyezése (1799) során bizonyos többé-kevésbé dokumentált pótlásokra is sor került. Aligha valószínűsíthető, hogy 1800 táján Ausztriában magyarországi kőanyagot használtak volna fel a salzburgi eredetű kiegészítésére. Marad a másik megoldás, miszerint salzburgival pótolták a gercsei eredetűt. Ha magából Franciaországból is jöttek a klosterneuburgi kápolna építői, és az eltérő stílus alapján különböztek a Pannonhalmán tevékenykedőktől, annyi megkockáztatható, hogy mindkét csoport Magyarországon iskolázott márványfaragókat alkalmazott a gercsei nyersanyag feldolgozása és beépítése során. Nemcsak a márványhasználat módja köti össze Pannonhalmát és Klosterneuburgot, ugyanis a pannonhalmi déli mellékhajó keleti végződésének fejezeteit (és a templomban másodlagosan beépített néhány más faragványt) ugyanazok az ornamentális típusok, formai megoldások és minőségi jegyek jellemzik, mint a *Capella speciosa* dekoratív faragványait. Pannonhalmán ezek a részletek, mivel nem az 1224-ben felszentelt templom építését befejező műhely időszakához tartoznak, talán valamivel – nem túl sokkal – korábbiak lehetnek az osztrák herceg 1222-ben felszentelt kápolnájánál. Vagyis a márványanyag szállításával együtt kőfaragók is vándorolhattak Magyarországról Klosterneuburgba (Takács 2018, 113–114). A kisszámú laxenburgi minta később, Rostás Tibor kutatási programjához kapcsolódóan, számos újabbal bővült, kiegészülve a Heiligenkreuz és Lilienfeld kolostoraiból származókkal – az anyagvizsgálatok a kezdeti feltevéseket megerősítették (Rostás 2014, 165–172; Pintér & Bajnóczi 2014; Pintér & Bajnóczi 2021).

A műemlékvédelem nemzetközi kapcsolatait, majd a 2006-ban Budapesten rendezett Sigismundus-kiállítás ezen alapuló kölcsönzéseit kihasználva rendelkezésünkre bocsátott, a boszniai Sarajevó közelében emelt Bobovac királyi várban feltárt királysírok figurális „vörös márvány” fedlaptöredékeiből nyert anyagminták, elemzéseink szerint, igazolták a kőanyag magyarországi eredetét (**Melléklet: BOB-1**).

Jól megfelelt ez annak, hogy a stílusvizsgálatok egyértelműen a Budán működő, a Stibor-síremlékek mestere szükségérvvel ellátott szobrász munkájaként, a budai és a székesfehérvári Stibor-síremlékek párjaként határozták meg a balkáni leletegyüttest (Andelić 1973, 88–95; Lövei 1999, 105–106, és 11–13. kép; Lövei 2017, 394–396, és 15–19. kép; Lövei 2021, I. 169–170, és II. 258–259. kép). A

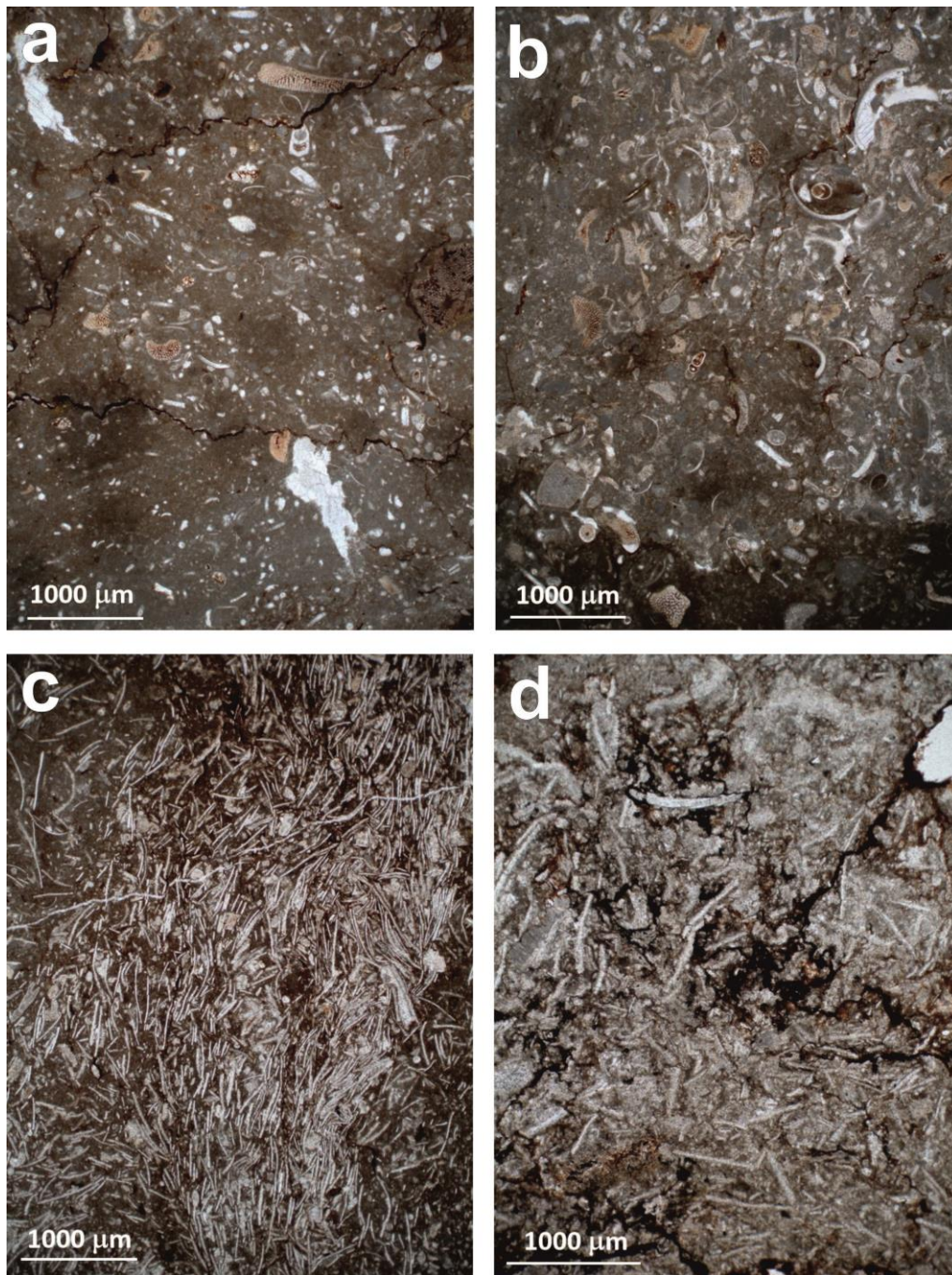
boszniai Bobovac légvonalban mintegy 450 km-re fekszik Budától – a kifaragott sírkő/sírkövek egy ideig a Dunán lefelé, aztán talán a Száván felfelé, majd esetleg még a Drinán, végül azonban már „hegyen-völgyön” történő szállítása komoly feladatot jelentett és jelentős költséggel járt.

A költségekkel kapcsolatban írott forrásadatokkal is rendelkezünk. Vizsgálati anyagaink között szerepelt Szegedi Lukács (†1510) zágrábi püspöknek a 19. században a zágrábi (Zagreb, Horvátország) székesegyházban előkerült, töredékes síremléke, amelynek anyaga ugyancsak gerceseinek bizonyult (**Melléklet: ZAG-1**). Korábban a rajta lévő töredékes szignót a horvát szakirodalom rendszeresen az egyébként Mátyás király udvarában is tevékeny Ivan Duknović (Giovanni Dalmata) szobrászhoz kötötte, egyben a kőanyagot Visegrád környékének tartotta (Jiroušek 1943, 692; Prijatelj 1956, 314–316; Prijatelj 1957, 34). Utóbb már a „vörös márvány” itáliai importja is felvetődött (Deanović & Čorak 1988, 160–161). A magyar szakirodalom a sírkő keretdísze alapján egyértelműen Esztergomhoz kötötte a faragványt (Balogh 1959, 263), és a horvát Anđela Horvat a hiányos mesternevet a más szignált műveivel Esztergomhoz kötődő Ioannes Fiorentinus nevére egészítette ki (Horvat 1975, 41, 44–45), ezt a hazai és részben a horvát szakirodalom is elfogadta (Mikó 1986, 100–101, 102, 106; Pelc 2007, 315, 317). A 2020. március 22-i zágrábi földrengés során beszakadt a székesegyház szentélyének északi oldalán a padozat, alóla a sírkő további töredékei kerültek elő, és az egész faragványt hamarosan bemutatták Budapesten is. A püspök újonnan előkerült, 1510. március 12-én kelt végrendelete szerint a zágrábi székesegyházban általa alapított Szűz Mária-oltár előtt jelölte ki a sírhelyét – a sírkő töredékei lényegében ennek környékén kerültek elő. A sírkő felirata az 1510. szeptember 22-i halálozási dátummal együtt egységes munka, így a sírkövet a püspök halálát követően faragták, amit teljes mértékben alátámaszt a végrendelet, amely szerint 200 forintból újonnan kell elkészíteni a vörös márvány sírlapot: „*pro uno lapide marmoreo rubeo fiendo de novo ad sepulturam meam lego florenos ducentos*” (Kovács 2021, 21, 36). Az összeg nagyságának megítéléséhez rendelkezünk néhány további forrásadattal.

Az egri székesegyházban 1506-ban pusztító tűzvész után az előcsarnok közepén kényelmetlenséget okozó helyen eltemetett Dörögdi Miklós (†1361) püspöknek Estei Hippolit egri püspök számadáskönyve szerint 25 forintért új, figurális és feliratozott (*cum imagine et litteris*) síremléket készített vörös márványból egy pesti olasz (*Italus in Pesth*) (Détshy 1964, 160; *Estei Hippolit* 1992, 329). Lényegében ugyanakkor, a csáktornyai

Ernuszt Jánoshoz köthető, 1505-ös és 1506-os évszámmal jelölt kis számadás szerint: „Ferenc kőfaragónak (*franciscus lapicida*), aki a néhai nagyságos Bánfi Miklós síremlékét/sírkövét (*sepulcrum*) készítette, adtam vízkereszt utáni szerdán Budán 23,5 forintot” (Neumann Tibor adata, vö. Lövei 2021, I. 281–282). Az Egerbe szánt sírkövet nyilván ugyanúgy főpapi figura díszítette, mint a zágrábit, mindkettőre faragtak feliratot is, és a fennmaradt emlékek tanúsága szerint ebben az időben a bárók, akik közé Bánfi Miklós is számított, kizárólag figurális sírkő alá temetkeztek. A forrásokból nem derül ki bizonyos, de feltehető, hogy a megadott árak az anyagköltséget is tartalmazták, és feltehetően legalább a nyers kőlapnak a Gerecséből Pestre/Budára szállítását is. A zágrábi összeg is nyilván tartalmazta az anyagköltséget, és a másik két adathoz képest mintegy nyolcszoros összeg egyértelműen azt jelenti, hogy a kifaragott sírkő Zágrábba szállítása – ez a Dunán és a Száván vízi úton történhetett a legolcsóbb módon – hétszer annyiba került, mint maga a készre faragott sírkő.

A művészettörténeti elemzések szerint a Salzburg környéki kőanyagok piacörzete elvéve már a 13. század végétől benyúlt Nyugat-Magyarország területére, a 16–17. századi soproni emlékek esetében pedig ezt már kezdeti anyagvizsgálataink is megmutatták, további mintavételek pedig megerősítették (Pintér et al. 2001a; Pintér et al. 2001b; Lövei 2006; Lövei 2019; Lövei 2021, I. 217–246). Miután 1541–1543 folyamán az oszmán hódítás kiterjedt mind a gercsei „vörös márvány” bányahelyeire, mind pedig megmunkálásának a bányákon kívül döntően budai és esztergomi helyszíneire, a reprezentatív ausztriai kőanyagok használata a Magyar Királyság megmaradt nyugat-magyarországi és felvidéki területein kiterjedtebbé vált. Annál is inkább így történt, mivel a magyarországi vörös mészkő-bányák török kori működtetésére vonatkozó semmilyen adattal nem rendelkezünk, a kőbányák 18. századi újranyitásáig valószínűleg nem is folyt érdemi kőfejtés a Gerecsében (Lövei 2021, I. 90). Az újabb mintavételek alapján Salzburg környéki (adneti) eredet tételezhető fel Wolfgang von Sorau (†1563) építáfiumán a pozsonyi (ma Bratislava, Szlovákia) Szent Márton-templomban (**Melléklet: POZ-1**). Lékán (ma Lockenhaus, Ausztria), az Ágoston-rendi templom Nádasdy-kriptájában álló, valamennyi tumba-típusú reprezentatív síremléket (Ugry 2014) – Nádasdy Tamás (†1562) és Kanizsay Orsolya, illetve Nádasdy (III.) Ferenc (†1671) és Esterházy Anna Julianna (†1669) kettős síremlékeit, Nádasdy (IV.) Ferenc (†1723) szarkofágját, valamint Leopold Florian (†1758) síremlékét – adneti „vörös márványból” faragták (**Melléklet: LEK-1-4**).



2. ábra: a) Gerecse hegységi alsó jura „vörös márvány” jellegzetes szöveti képe crinoidea és mollusca váztöredékekkel (biomikrit/wackestone), b) Adneti (Ausztria) alsó jura „vörös márvány” jellegzetes szöveti képe crinoidea, ostracoda és mollusca váztöredékekkel (biomikrit/packstone), c) Gerecse hegységi középső jura „vörös márvány” jellegzetes szöveti képe tömeges Bositra héjtöredékekkel (biomikrit/packstone), d) Ólubló (Stará Ľubovňa, Szlovákia) környéki felső jura „vörös márvány” szöveti képe Bositra és Saccocoma váztöredékekkel (biomikrit/packstone); POL, PPL

Fig. 2.: a) Characteristic textural appearance of Lower Jurassic “red marble” from the Gerecse Mountains containing crinoidea and mollusc fragments (biomicrite/wackestone), b) characteristic textural appearance of Lower Jurassic “red marble” from Adnet (Austria) containing crinoidea, ostracod and mollusc fragments (biomicrite/packstone), c) characteristic textural appearance of Middle Jurassic “red marble” from the Gerecse Mountains containing Bositra fragments (biomicrite/packstone), d) characteristic textural appearance of Upper Jurassic “red marble” from near Ólubló (Stará Ľubovňa, Slovakia) containing Bositra and Saccocoma fragments (biomicrite/packstone); polarizing microscopy images, PPL

Vizsgálataink tudományos programjától függetlenül, gyakorlati műemléki munkálatok tették szükségessé, egyben lehetővé gróf Grassalkovich I. Antal (†1771) a Gödöllő melletti Máriabesnyő kapucinus kegytemploma sírboltjában álló síremlékének anyagvizsgálatát. Az 1997 és 2000 között darabjaira bontott, majd restaurált síremlék többféle színű anyagból épül fel, amelyek közül a helyenként szürkével és vörössel váltakozva foltozott és erezett tömött mészkő adneti eredetűnek bizonyult (**Melléklet: MAR-1**).

A legújabb vizsgálatok azonban váratlan következtetésekre is vezettek. Még a műemléki kőanyagok anyagvizsgálatainak „úttörő” korszakában, az 1970-es évek végén egy budai reneszánsz diszküttörredék, az ún. Pallas-kút egyik, akkor a Magyar Nemzeti Galéria reneszánsz kőkiállításán szereplő faragványa „vörös márványát” külföldi származásának határozták meg (Kertész 1982, 202). A kút részben bronz rátétekkel is gazdagított – egyértelműen a Mátyás kori budai bronzöntőműhely tevékenységébe utalható – elemeinek (Balogh 1966, I. 146, és II. 164–166. kép) anyaga színében és erezetében szabad szemmel is különbözni látszik a budai reneszánsz faragványok egységes – kétségtelenül gerescei eredetű – vörös mészkövétől, felvetve ezáltal akár az ausztriai származás lehetőségét is. A Mátyás korban azonban az osztrák-bajor vidékeken itáliai reneszánsz stílusú faragványok készítése nem tételezhető fel. Az Ausztriában legkorábbi reneszánsz stílusú darabok, egy 1497-es évszámú bécsi emlékcsoport – a budai polgár Peter Edlasperger, *alias* Jungher lakóházának kapualjában – Buda környéki márgából alighanem Budán is készült (Lóvei 2021, I. 82, 228, II. 150. kép). Valószínűtlen a nyers kőtömbök Salzburgból Budára irányuló szállítása is. Így a közelmúltban a kútelelem(ek) anyagának magyarországi eredetét valószínűsítettük (Lóvei 2021, I. 228). A stabilizotópos vizsgálat azonban az adneti származást látszott alátámasztani, amíg ki nem derült, hogy az Ólubló (ma Stará Ľubovňa, Szlovákia) környéki középső és felső jura tömött vörös mészkő stabilizotóp értékei zömében átfednek az Adnet környékiekkel (Pivko 2017). A műtárgyból sajnos nem állt módunkban akkora méretű mintát venni, ami vékonycsiszolat készítéséhez elegendő lett volna, hogy a szöveti vizsgálat eredményével teljesen megbizonyosodhassunk a lublói előfordulás jellegzetes mikrofaciésének meglétéről és ezáltal a kőanyag felvidéki eredetéről (**Melléklet: BUD-2**). Így a Pallas-kút kőanyagának feltételezett eredete egyelőre csak a művészettörténeti adatok és a stabilizotóp-geokémiai eredmények kombinációjából leszűrhető feltételezés. Teljes bizonyossággal csak mikroszkópi vizsgálat elvégzése után tudnánk bizonyítani vagy cáfolni a lublói eredetet. Mindazonáltal a fenti, részleges adatok alapján is felvethető, hogy a

budai reneszánsz anyaghasználata eddigi elképzeléseinkhez képest bonyolultabb képlet volt.

A fenti eredmény is mutatja, hogy az elkövetkező kutatásoknak feltétlenül ki kellene terjedniük az Ólubló mellett az újkorban már mindenképpen bányászott vörös mészkő helyi előfordulásainak a jelenleg rendelkezésünkre álló adatoknál részletesebb petrográfiai és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatára.

A felvidéki történeti építő- és díszítőkövek, és ezen belül is a tömött vörös mészkövek, „márványok”, előfordulásainak vizsgálatával Daniel Pivko foglalkozott behatóan (Pivko 2009, Pivko 2017). A lengyel-szlovák határ közelében található lublói vörös mészkő előfordulás petrográfiai és stabilizotóp-geokémiai vizsgálata révén kapott adatok alapján (Pivko 2017) megállapíthatjuk, hogy a helyi kőzetek jellegzetes *Bositra* és *Saccocoma* mikrofosszília-tartalma segítségével elkülöníthetők a kora és részben a középső jura során kialakult gerescei és adneti előfordulásoktól (**2. ábra**). Fontos azonban ismételtlen megjegyezni, hogy mivel a „lublói márvány” stabilizotóp-összetétele az adneti és kis részben a gerescei értékekkel is átfedést mutat (**1. ábra**), a megbízható proveniencia érdekében ennek a kőzettípusnak az esetében sem lehet csak a geokémiai adatokra hagyatkozni.

Egy 1486-os halálozási évszámú, címeres kassai (ma Košice, Szlovákia) sírkő (Récesey 1896, 9, XIII. sz.) megformálását tekintve jól illik a 15. század végének még gótikus jellegű, nagyrészt mindenképpen gerescei anyagot használó magyarországi emlékei közé. „Vörös márvány” kőanyaga szlovák vélemény szerint azonban szintén a Gerecsénél valóban jóval közelebb fekvő Ólubló melletti Marmon-hegy bányájából származik (Havlice 1995, 128–129, 108. sz.), amit a műtárgyból vett töredéken elvégzett vékonycsiszolati vizsgálatunk eredménye is alátámasztani látszik (**Melléklet: KAS-1**). Késmárkon (ma Kežmarok, Szlovákia) a Thököly-vár kápolnájának a padlója is felső jura kőzetre jellemző szöveti képet mutat (**Melléklet: KES-1**), ahogy Stanislaus Lubomirsky gróf 1647-es évszámú, egyenesen ólublói, feliratos restaurálási táblájának vörös mészköve is késő jura időszaki, így ennek helyi eredete és készítése mindenképpen feltételezhető (**Melléklet: OLU-1**). Bártfáról (ma Bardejov, Szlovákia) a Szent Egyed-plébániatemplom két síremlékének anyagát volt módunk vizsgálni. Amíg Leonard Haid szenátor (†1623) sírkövének kőanyaga a mikroszkópi megfigyelések során meghatározott szöveti jelleg és mikrofosszília-tartalom alapján szintén a késő jura időszakban képződött (**Melléklet: BAR-1**), addig Melchior Schmitz feleségei, Catharina Adam (†1645) és Dorothea Berger (†1649) sírköve esetében a biztosan helyiinek mondható kőanyagoktól eltérő szöveti képet figyelhettünk meg (**Melléklet: BAR-2**). A sírlapból vett minta jóval

kevesebb mennyiségű fossziliatöredéket tartalmazott, és a már korábban említett, a felső jura kőzetre jellemző ősmaradvány-töredékeket nem tudtuk azonosítani. A minta szöveti megjelenése az alsó jura példányok esetében megismert biomikrittel mutatott nagyfokú hasonlóságot. Mivel azonban az alsó jurára jellemző, karakterisztikus, habár viszonylag ritkán megfigyelhető foraminiferát, az *Involutina liassica*-t nem észleltük, illetve stabilizotóp-értékek sem állnak rendelkezésünkre, ezért ezen kőanyag eredete továbbra is kérdésesnek tekinthető.

Már korábban feltűnt egy reneszánsz stílusú lőcsei (ma Levoča, Szlovákia) baluszternek (*Schallaburg* 1982, 676, Kat.-Nr. 829, Abb. 15) a szokványos ausztriai és magyarországi „vörös márványoktól” eltérő, lilás színű, erezett anyaga (Lövei 1992, 18). Vizsgálataink nem terjedtek ki rá, de alighanem ez is a közeli lublói bányából származhat.

A vizsgálatoknak a veronai kőanyagokra történő majdani kiterjesztéséhez szolgálhatnak hasznos adalékokkal a szászországi Gernrode St. Cyriakus *Stiftskirche*jének kerengőudvarán található, nagyméretű, 12. századi keresztelőmedence stabilizotóp-adatai. A faragvány, összehasonlítható stabilizotópos adatok híján, egyelőre csak a típus és a stílus művészettörténeti vizsgálata alapján tartható veronai eredetűnek, amit „vörös márványnak” vékonycsiszolati vizsgálattal a középső jura időszakba történő besorolása is valószínűsít (**Melléklet: GER-1**). Ugyanakkor korlátozottak az ismereteink a tömött vörös mészkövek Verona környéki előfordulásainak stabilizotóp-geokémiai és részben mikrofácies jellemzőiről. Az utóbbi évek kutatási eredményei alapján jól látszik, hogy a veronai terület stabilizotóp-geokémiai jellemzői a korábbi adatok alapján feltételezetténél erőteljesebb átfedést mutatnak a többi terület értékeivel. A veronai kőanyag meghatározását tovább bonyolítja, hogy amennyiben nem a klasszikus, gumós megjelenésű, ammoniteszvázakban gazdag és már makroszkóposan is viszonylag jól azonosítható vöröses-narancs árnyalatú típusról van szó, az ottani középső és felső jura kőzetek mikroszvöveti jellemzői gyakran az alsó jura anyagokkal mutatnak bizonyos fokú hasonlóságot, ami kisméretű minta mikroszkópos vizsgálata esetében bizonytalanságot eredményezhet a korbesorolást illetően, amennyiben a képződési időszakra jellemző helyi ősmaradványok nem azonosíthatók egyértelműen a mintában. Ezen probléma áthidalása csak a veronai anyagok átfogóbb petrográfiai és geokémiai feldolgozásával lenne biztonságosan megoldható.

A késő középkorban használt vörös mészkövek között számos olyan is akad, amely nem tűnik (egyértelműen) beilleszhetőnek eddigi ismereteinkbe. Az Erdélyből származó, Mátyás királytól az elfoglalt stájer vidékeken fekvő Ormosd (Ormož, Szlovénia) birtokosává váló, és azt a Habsburgok

idején is megtartani képes Székely Jakab gyermekeinek a település plébániatemplomában található, 1501 körül vörös tömött mészkőből faragott, az osztrák vidékek 1500 körüli, késő gótikus síremlékeivel egyező típusú és stílusú sírkövéből (Papp 2010, 135–136, 12. kép) vett minta vékonycsiszolati képe az eddigiektől eltérő kőzetszövetet és ásványt, például kvarcot tartalmaz, amit az eddig vizsgált „vörös márványok” egyikében sem figyeltünk meg (**Melléklet: ORM-1**).

Meg kell még említenünk, hogy a vizsgálataink alapján gerecseinek meghatározott gyulafehérvári töredék (**Melléklet: GYU-1**) anyagát korábban a gyulafehérvári székesegyház helyreállításának építészvezetője, Bágyuj Lajos menyházai (Monyásza, ma Moneasa, Románia) eredetűnek tartotta (Bágyuj 1983, 24, 91. tétel). Az alföldi és a kisszámú erdélyi, illetve partiumi vörös mészkő faragványok kőanyagainak származási helyeként valóban felmerülhetne az Arad megyei menyházai bánya, ahonnan nyilván sokkal rövidebb úton lehetett volna lebonyolítani a nehézkes szállítást. A Béli-hegységben található, kőfaragó körökben „romániai vörösnek” is nevezett, alsó jura Menyházai Mészkő jellegzetes, gumós-mikrosztilolitos (breccsás) megjelenésével azonban egyértelműen elkülöníthető az általunk vizsgált többi „vörös márvány” előfordulástól, így a gyulafehérvári töredék anyagától is. Az 1877-ben megnyitott menyházai bányák (Schafarzik 1904, 20, 116. sz.) 19–20. századinál korábbi fejtéséről nem rendelkezünk adatokkal, és a művészettörténeti ismeretanyag alapján is valószínűsíthető, hogy a kőanyag az 1900-as századforduló előtti építészeti és művészettörténeti jelentősége elhanyagolható volt.

Összefoglalás

Az elmúlt két évtized művészettörténeti és archeometriai célú kutatásai és együttműködései során sikerült a korábbi ismeretanyaghoz képest sokkal részletesebb és átfogóbb képet alkotni a Kárpát-medence és a tágabb értelemben vett Közép-Európa legjelentősebb díszítőkövének közép- és kora újkori felhasználásáról. A művészettörténeti kutatás mellett több tucat referencia bányaminta és ötvennél több magyarországi és külföldi mütárgyból vett minta petrográfiai és részben stabilizotóp-geokémiai vizsgálatát végeztük el. Az első eredmények egyrészt sikeresen megerősítették a magyarországi „vörös márvány” kőanyag jelentősége hazai – a középkori Magyar Királyság területét jelentős mértékben lefedő – történeti felhasználását, de egyben új eredményként rámutattak az alpi eredetű hasonló nyersanyagoknak bár területileg korlátozott, de nem jelentéktelen mértékű magyarországi felhasználására is. A kutatás további fázisaiban a vizsgálatokat kiterjesztettük a történelmi Magyar-

ország számos további településén található „vörös márvány” emlékekre, amelyek esetében a korábbi régészeti-művészettörténeti feltételezésekkel részben egybeeső, részben azonban új eredményeket is kaptunk. Művészettörténeti szempontból igen fontos két kiemelkedő művészi színvonalú emlék, Szegedi Lukács püspök zágrábi sírlapjának és a boszniai Szarajevó közelében Bobovac várában talált sírkőtöredékeknek gerecei kapcsolódása, amelyek egyben a kőanyag igen drága, távolsági szállításának is jó példái. Különösen érdekes a Bécs közelében található *Capella speciosa* egyes köelemei esetében bizonyított Gerece hegyiségi eredet, vagy a budavári Pallas-kút kőanyagának feltételezhető felvidéki származása. Ezen utóbbi műtárgy vizsgálati eredménye világított rá arra, hogy a kutatásaink során most először azonosított és a Felvidék egyetlen jelentős, Ólubló környékén bányászott „vörös márvány” kőanyaga kiemeltebb szerepet játszhatott a Felvidék északkeleti vidékein és a Királyság távolabbi régióiban. A „lubló márvány” felhasználása és azonosítási lehetőségei a szlovákiai szakirodalomból ismertek, ezáltal a kőzet az alsó és középső jura típusoktól nagy biztonsággal megkülönböztethető, de jelenleg még nem részletesen feldolgozott. Hasonlóképpen a Verona környéki előfordulások stabilizotóp-geokémiai és részben mikrofácies jellemzőiről is korlátozottak az ismereteink. A problémák áthidalása csak a veronai anyagok átfogóbb petrográfiai és geokémiai feldolgozásával lenne biztonsággal megoldható. A leginkább a középső és felső jura anyagokat érintő bizonytalanságok és felmerülő újabb kérdések ellenére megállapíthatjuk, hogy a legfontosabb gerecei és adneti alsó jura kőanyagok elkülönítése a már bevált petrográfiai és stabilizotóp-geokémiai módszerekkel továbbra is nagy biztonsággal elvégezhető.

Szerzők tudományos közreműködése

Lővei Pál Kutatásvezetés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Pintér Farkas** Módszertan, Kísérletvezetés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Tóth Mária†** Kutatásvezetés. **Bajnóczi Bernadett** Kísérletvezetés, Eredeti kézirat, Vizualizáció.

Irodalom

ANĐELIĆ, P. (1973): *Bobovac i Kraljeva Sutjeska. Stolna mjesta Bosanskih vladara u XIV i XV stoljeću*. Veselin Masleša, Sarajevo. 271 p.

BÁGYUJ L. (1983): A gyulafehérvári székes-egyház restaurálása. *Építés-Építészettudomány* **15** 11–26.

BAJNÓCZI, B., GYÖRKÖS, D., MOZGAI, V., SZABÓ, M. & TÓTH, M. (2015): Archaeometric analysis of mosaic tesserae and a ‘red marble’ decorative stone from the Bizere monastery (Arad County, Romania). *Annales Universitatis Apulensis Series Historica* **2015/Special Issue**

(BURNICHIOIU, I., ed., *Monastic Life, Art, and Technology in the 11th–16th Centuries.*) 261–274.

BALOGH J. (1959): Iohannes Duknovich de Tragurio. Prijatelj monográfiája. *Művészettörténeti Értesítő* **8** 259–268.

BALOGH J. (1966): *A művészet Mátyás király udvarában*. I–II. Akadémiai Kiadó, Budapest.

BICZÓ P. (2017): III. Béla király és Anna királyné vörösmárvány sírlapjairól. In: RIDOVICS A., BAJNÓCZI B., DÁGI M. & LŐVEI P., szerk., *Interdiszciplinaritás. Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok*. Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum, Budapest, 117–130.

BODOR I. (2001): Újra fénylik Budavár rejtett ékköve. *Műemléklap* **5/11–12** 14–15.

BURNICHIOIU, I. (2015): The Decorative Heritage of the Bizere Abbey. Fragments of Opus Sectile. *Annales Universitatis Apulensis Series Historica* **2015/Special Issue** (BURNICHIOIU, I., ed., *Monastic Life, Art, and Technology in the 11th–16th Centuries.*) 245–260.

BURNICHIOIU, I. & RUSU, A.A. (2011): Medieval Floor Mosaics at Bizere Monastery. A Brief Survey. *Transylvanian Review* **20/2** 3–13.

ČOVAN, M. (2016): *Historické nápisy zo Šariša do roku 1650*. Martin. (Corpus Inscriptionum Slovaciae / Nápisy na Slovensku, 1), 336 p.

DEANOVIĆ, A. & ČORAK, Ž. (1988): *Zagrebačka katedrala*. Globus, Zagreb. 369 p.

DÉTSZY M. (1964): Munkások és mesterek az egri vár építkezésein 1493 és 1596 között. Második közlemény. *Az Egri Múzeum Évkönyve* **2** 151–180.

Estei Hippolit (1992) = *Estei Hippolit püspök egri számadáskönyvei. 1500–1508*. Közzéteszi E. Kovács Péter. Eger. (A Heves Megyei Levéltár Forráskiadványai), 409 p.

GERŐNÉ SÁNDOR M. (1993): A pécsi várbeli Aranyos Mária-kápolna egy reneszánsz köemléke. In: LŐVEI P., szerk., *Horler Miklós hetvenedik születésnapjára. Tanulmányok*. Budapest (Művészettörténet – műemlékvédelem, 4.), 305–315.

HAVLICE, I. (1995): Kamenné architektonické články a náhrobníky. In: GLATZ, A.C., ed., *Gotické umenie z kosických zbierok*. Katalóg výstavy / Východoslovenské múzeum. Košice, 103–131.

HORLER M. (1983): Ioannes Fiorentinus Forgách-siremléke. *Építés-Építészettudomány* **15** 237–259.

HORVAT, A. (1975): *Između gotike i baroka. Umjetnost kontinentalnog dijela Hrvatske od oko 1500. do oko 1700*. Zagreb.

- JIROUŠEK, Ž. (1943): Pregled razvoja likovnih umjetnosti u banskoj Hrvatskoj. Od XII. do XVIII. stoljeća. In: SCHNEIDER, A., ed., *Hrvatska umjetnost. Nasa domovina I/2.*, Izdanje Glavnog ustaškog stana, Zagreb, 680–697.
- KELEMEN É., KRISTÁLY F., TÓTH M., RÓZSA P., BAJNÓCZI B., NYILAS I. & PAPP I. (2012): Archeometriai vizsgálatok Békés megyei középkori templomok építőanyagain. *A Békés Megyei Múzeumok Közleményei* **35** 83–123.
- KERTÉSZ P. (1982): A műemléki kőanyagok bányahelyeinek kutatása. *Építés-Építéstudomány* **14** 193–228.
- KONDA J. (1988): *III. Béla király és antiochiai Anna királyné sírládájából vett két darab kőzetminta geológiai vizsgálatának régészeti vonatkozású eredményei.* Közöletlen kézirat, MÁFI Adattár T. 14776, 12 p.
- KOVÁCS V. (2021) [2022]: „Miként életemben kedvelt, úgy holtomban is méltóztasson támogatni”. Szegedi Lukács zágrábi püspök végrendelete 1510-ből. *Levéltári Közlemények* **92** 7–37.
- LŐVEI P. (1992): A tömött vörös mészkő – „vörös márvány” – a középkori magyarországi művészetben. *Ars Hungarica* **20/2** 3–28.
- LŐVEI P. (1999): A Stibor-síremlékek mestere. *Budapest Régiségei* **33** 103–121.
- LŐVEI P. (2000): Kanizsai Miklós tárnokmester sírköve. *Soproni Szemle* **54** 163–167.
- LŐVEI, P. (2006): Künstlerische Beziehungen in der Grabmalkunst der westlichen und nordwestlichen Gebiete des Königreichs Ungarn im Spätmittelalter. In: DUSAN, B., ed., *Galéria 2004/2005. Ročenka Slovenskej národnej galérie v Bratislave.* Bratislava, 123–138.
- LŐVEI P. (2010): Egy korai sírkőtípus a középkori Magyarországon. In: TARI E. & TÓTH E., szerk., *Laudator temporis ACTI. Tanulmányok Horváth István 70 éves születésnapjára.* Esztergom–Budapest, 349–357.
- LŐVEI P. (2017): A „sárkánylovagok” kőfaragója: Egy 15. századi szobrász-vállalkozó műhelye Budán. In: WEISZ B. & KÁDAS I., szerk., *Hatalom, adó, jog. Gazdaságtörténeti tanulmányok a magyar középkorról.* BTK Történettudományi Intézet, Budapest (Magyar történelmi emlékek. Értekezések), 387–485.
- LŐVEI P. (2019): Hol a határ? Salzburg–Passau–Bécs és Esztergom–Buda vörös márvány-piacörzeteinek találkozása a középkori Magyar Királyság nyugati határsávjában. In: KÁDAS, I., SKORKA R. & WEISZ B., szerk., *Márvány, tárház, adomány: Gazdaságtörténeti tanulmányok a magyar középkorról.* BTK Történettudományi Intézet, Budapest (Magyar történelmi emlékek. Értekezések), 303–351.
- LŐVEI P. (2021): *Porfír, kő, márvány. Kőanyagok, kőfaragók, kőberakások a középkori Magyarországon.* I–II. BTK Történettudományi Intézet – BTK Művészettörténeti Intézet, Budapest (Magyar történelmi emlékek. Értekezések), 471 p.
- LŐVEI P., PINTÉR F., BAJNÓCZI B. & TÓTH M. (2007): Vörös és fehér díszítőkövek, kristályos és metamorf mészkövek, márványok (Műemléki kutatások természettudományos diagnosztikai háttérrel 1.). *Művészettörténeti Értesítő* **56/1** 75–82. <https://doi.org/10.1556/muvert.56.2007.1.5>
- MIKÓ Á. (1986): Jagello-kori reneszánsz sírköveinkről. *Ars Hungarica* **14** 97–113.
- MIKÓ Á. & PÁLFFY G. (2002): A pozsonyi Szent Márton-templom késő reneszánsz és kora barokk síremlékei (16–17. század). *Művészettörténeti Értesítő* **51** 107–172.
- NAGY S. (1987): *Dombó középkori monostor és erőd.* [Újvidék] 1987, 48 p.
- PAPP Sz. (2010): Határtalan történet – két szentségház a Muraközéből. In: KOLLÁR T., szerk., *Építészet a középkori Dél-Magyarországon. Tanulmányok.* Teleki László Alapítvány, Budapest, 123–163.
- PELC, M. (2007): *Reneszánsz.* Naklada Ljevak, Zagreb (Povijest umjetnosti u Hrvatskoj), 671 p.
- PINTÉR F. (2001): *Vörös márvány műalkotások nyersanyaglelőhelyeinek és mállási felületeinek vizsgálata közettani-geokémiai módszerekkel.* Közöletlen diplomamunka, ELTE TTK Közöttan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 112 p.
- PINTÉR F. & BAJNÓCZI B. (2014): „Vörös márvány” műtárgyak kőanyagának eredethatározása petrográfiai és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatokkal. In: ROSTÁS T., szerk., *„Magyarország földjére küldtek”. Villard de Honnecourt és az érett gótika megjelenése Közép-Európában – A klosterneuburgi Capella Speciosa és Pannonhalma francia kapcsolatai.* Budapest, magánkiadás, 183–203.
- PINTÉR, F. & BAJNÓCZI, B. (2021): Die Herkunftsbestimmung des Steimaterials von „Rotmarmor“-Objekten mit petrographischen und stabilisotopisch-geochemischen Untersuchungen. In: SCHWARZ, M. & ROSTÁS, T., eds., *Die Capella Speciosa in Klosterneuburg 2. Teil: Vergleichende Studien zur Pfalzkapelle Herzog Leopolds VI. von Österreich.* Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 250–265.

- PINTÉR F., SZAKMÁNY Gy., DEMÉNY A. & TÓTH M. (2001a): „Vörös márvány” műemléki kőanyagok eredetének kutatása. *Földtani Kutatás* **38/2** 21–23.
- PINTÉR F., SZAKMÁNY Gy., LŐVEI P., TÓTH M. & DEMÉNY A. (2001b): „Vörös márvány” faragványok nyersanyaglelőhelyeinek kutatása. *Műemlékvédelmi Szemle* **XI/1–2** 53–70.
- PINTÉR, F., SZAKMÁNY, Gy., DEMÉNY, A. & TÓTH, M. (2004): The Provenance of “Red Marble” Monuments from the 12–18th Centuries in Hungary. *European Journal of Mineralogy* **16** 619–630. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0619>
- PIVKO, D. (2009): The provenance of stone tabernacle and altar table from the St. Emmeram’s Cathedral (Nitra City). *Acta Geologica Slovaca* **1/2** 119–124.
- PIVKO, D. (2017): Jurassic red nodular limestone from NE Slovakia used as the L’ubovňa “marble” during the Renaissance in Slovakia and Poland. *Geological Quarterly* **61/1** 53–61. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1303>
- PRÉAT, A., MORANO, S., LOREAU, J.-P., DURLET, C. & MAMET, B. (2006): Petrography and biosedimentology of the Rosso Ammonitico Veronese (middle-upper Jurassic, north-eastern Italy). *Facies* **53** 265–278. <http://dx.doi.org/10.1007/s10347-005-0032-2>
- PRIJATELJ, K. (1956): Prinosi za monografiju o Ivanu Duknovicu. *Anali historijskog instituta Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Dubrovniku* **4/5** 305–321.
- PRIJATELJ, K. (1957): *Ivan Duknović*. Zagreb, Društvo historičara umjetnosti NRH, 95 p.
- RÉCSEY V. (1896): *A kassai dóm régi síremlékei*. Első füzet. Budapest, ifj. Nagel Ottó bizom., 15 p.
- ROSTÁS T. (2014): „Magyarország földjére küldtek”. *Villard de Honnecourt és az érett gótika megjelenése Közép-Európában – A klosterneuburgi Capella Speciosa és Pannonhalma francia kapcsolatai*. Budapest, magánkiadás, 220 p.
- SCHAFARZIK F. (1904): *A magyar korona országai területén létező kőbányák részletes ismertetése*. A Magyar Kir. Földtani Intézet kiadványai, Budapest, 413 p.
- Schallaburg* (1982): STANGLER, G. & TÖRÖK, Gy. (Hrsg.): *Matthias Corvinus und die Renaissance in Ungarn 1458–1541*. Ausstellungskatalog / Schloss Schallaburg. Wien (Katalog des niederösterreichischen Landes-museums, N.F. 118.), 768 p.
- SCHWARZ, M. (2013): *Die Capella Speciosa in Klosterneuburg 1. Teil: Studien zu einer computergestützten Rekonstruktion der Pfalzkapelle Herzog Leopolds VI. von Österreich*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 122 p.
- SCHWARZ, M. & ROSTÁS, T. (2021): *Die Capella Speciosa in Klosterneuburg 2. Teil: Vergleichende Studien zur Pfalzkapelle Herzog Leopolds VI. von Österreich*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 312 p.
- TAKÁCS I. (1988): Esztergomi síremléktöredékek a 13. századból. *Ars Hungarica* **16** 121–132.
- TAKÁCS I. (2018): *A francia gótika recepciója Magyarországon II. András korában*. Balassi Kiadó, Budapest, 238 p.
- TAKÁCS I. (2020): *Az esztergomi Porta speciosa*. Martin Opitz Kiadó, Budapest (Thesaurus Mediaevalis B 01), 160 p.
- TARI E. (2018): *Kőbe faragott liturgia. A Kárpát-medence középkori kő keresztelődmedencéi*. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 387 p.
- THOME, M. (2006): Material und Farbigekeit in der Zisterzienserarchitektur. Zur Verwendung von Rotmarmor in der Kreuzgängen der Abteien Heiligenkreuz und Lilienfeld. *Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege* **60** 341–348.
- TÓTH S. (1996): Kúttal töredéke (II.13. kat. sz.). In: TAKÁCS I., szerk., *Mons sacer 996–1996. Pannonhalma 1000 éve*. Kiállítási katalógus. Pannonhalmi Bencés Főapátság, Pannonhalma, I. 282–284.
- TÓTH S. (2001): Sírkö töredékei (V.74. kat. sz.). In: TAKÁCS I., szerk., *Paradisum plantavit. Bencés monostorok a középkori Magyarországon*. Kiállítási katalógus. Pannonhalmi Bencés Főapátság, Pannonhalma, 456–458.
- UGRY B. (2014): Egy 17. századi főúri temetkezőhely. Nádasdy Ferenc országbíró és a lékai Ágoston-rendi templom Nádasdy-kriptájának kialakítása. *Művészettörténeti Értesítő* **63** 307–324. <https://doi.org/10.1556/muvert.63.2014.2.3>
- ZOLNAY L. (1973): Középkori díszkutat Budán. *Művészettörténeti Értesítő* **22** 254–261.

HABARCSOK A KESZTHELY-FENÉKPUSZTAI KÉSŐ RÓMAI ERŐDBŐL: A PETROGRÁFIAI-GEOKÉMIAI ÉS MÉRNÖKGEOLOGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

MORTAR SAMPLES FROM THE LATE ROMAN FORTRESS OF KESZTHELY-FENÉKPUSZTA: RESULTS OF PETROGRAPHIC-GEOCHEMICAL AND ENGINEERING GEOLOGICAL ANALYSES*

JÓZSA, Sándor¹; PINTÉR, Farkas²; TÖRÖK, Ákos³ & HEINRICH-TAMÁSKA, Orsolya⁴

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, H-1117 Pázmány Péter sétány 1/C, jozsa.sandor@ttk.elte.hu

²Institut für Konservierung und Restaurierung, Universität für angewandte Kunst Wien, Salzgries 14, A-1010 Wien, Österreich, farkas.pinter@uni-ak.ac.at

³Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., torok.akos@emk.bme.hu

⁴Leibniz-Institut für Geschichte und Kultur des östlichen Europa (GWZO), Abt. "Mensch und Umwelt", Specks Hof (Eingang A), Reichstraße 4-6, D-04109 Leipzig, Deutschland, orsolya.heinrich-tamaska@leibniz-gwzo.de

Abstract

The Roman fortress of Keszthely-Fenépuszta, built in the 4th century AD, was located at the western edge of Lake Balaton on a peninsula bordered by open water and marshy peat bogs. The well-protected fortification played a significant infrastructural role, due to the fact that the lake could be crossed here along a main north-south road of Pannonia. Archaeological excavations started in 2009 had the primary goal to clarify the location, floor plan and dating of individual buildings (nos. 24, 25 and 27). Based on petrographic, geochemical, and engineering geological investigations of mortars used in the constructions, we were able to gain insight into the possibilities of answering certain archaeological questions with geoarchaeometric methods. Mortar samples were systematically collected from the different locations representing the functions and construction phases. Based on the archaeological research three chronological groups (I-III: end of 3rd c. to early 7th c. AD) were distinguished; two of them belong to the late Roman Period (I-II.) and one (III.) to the Migration Period. The aggregates of the mortars were analyzed by polarized light microscopy and thermoanalytical method. The chemical examination of the binder was carried out by scanning electron microscopy. Additionally, water absorption, density and compressive strength of the mortars were also determined. Based on the results, we can conclude that the mortars of all three periods are of air lime nature containing Mg and Si impurities and both the binders and additives were produced using local raw materials rich in dolomite components. The higher compressive strength values of the mortars of the 3rd period (late 5th to early 7th c. AD) are probably due to the slightly different composition of the binder, or they can also be explained by the static role of the selected pillars.

Kivonat

A 4. században Keszthely-Fenépusztán épült római erőd a Balaton nyugati végén, nyíltvíz és mocsaras tőzeglápok által határolt félszigeten feküdt. A különlegesen jól védett építménynek jelentős infrastrukturális szerepe volt, ugyanis itt lehetett átkelni a Balatonon a Pannoniát észak-déli irányban átszelő főút mentén. A 2009-ben kezdődött régészeti feltárások elsődleges célja az egyes épületek (24-es, 25-ös, 27-es) fekvésének, alaprajzának és keltezésének pontosítása volt. A vizsgált épületeknél használt habarcsok petrográfiai, geokémiai

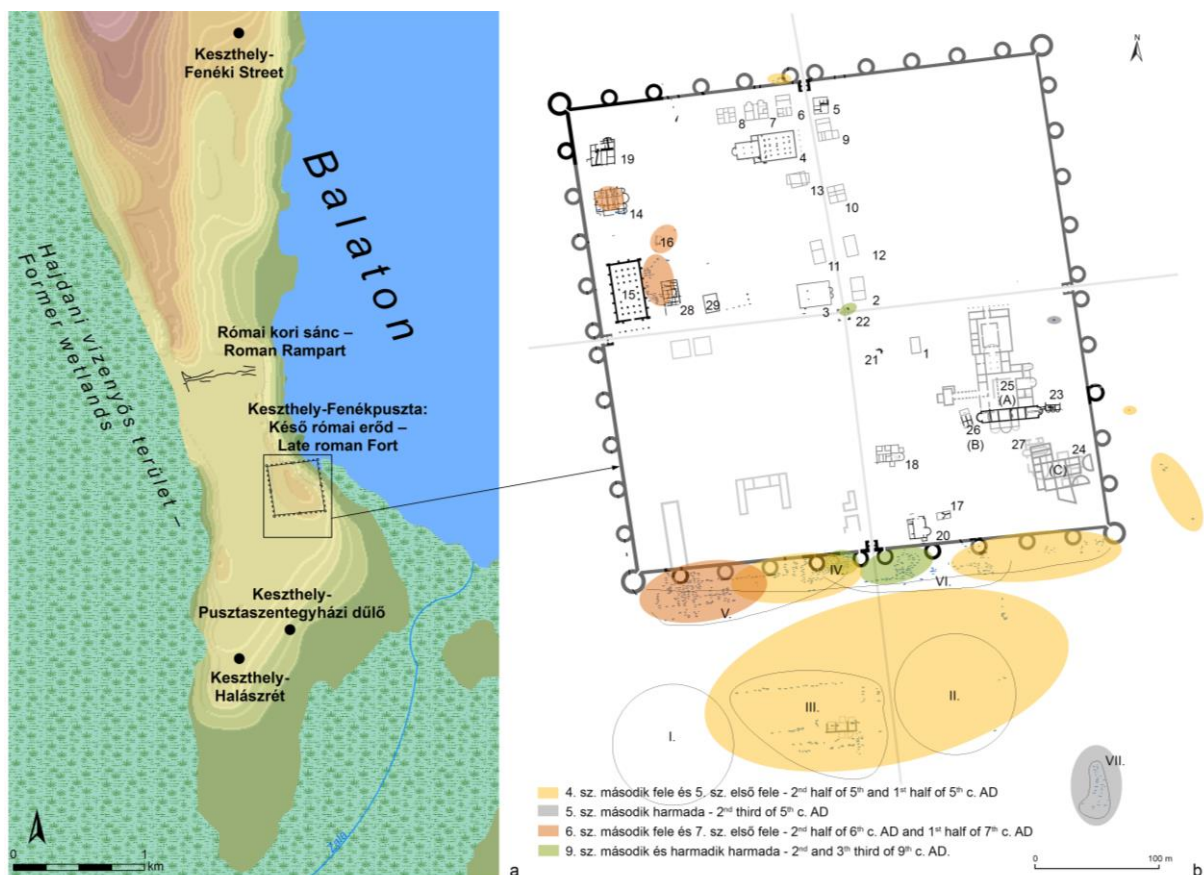
* How to cite this paper: JÓZSA, S.; PINTÉR, F.; TÖRÖK, Á. & HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2024): Habarcsok a Keszthely-fenépusztai késő római erődből: a petrográfiai-geokémiai és mérnökgeológiai vizsgálatok eredményei / Mortar samples from the Late Roman fortress of Keszthely-Fenépuszta: results of petrographic-geochemical and engineering geological analyses [in Hungarian with English abstract], *Archeometriai Műhely* XXI/2 161–182.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-014](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-014)

és műszaki földtani vizsgálata segítségével pedig betekintést nyertünk bizonyos régészeti kérdések geoarcheometriai módszerekkel történő megválaszolásának lehetőségeibe. A habarcsmintákat az épületek funkcióit és építési fázisait képviselő legkülönbözőbb helyekről gyűjtöttük. Ennek alapján három kronológiai csoportot különböztettünk meg (I-III. = 3. század vége – 7. század eleje). A habarcsok adalékanyagait polarizációs mikroszkópi és derivatográfus vizsgálatokkal, a kötőanyag szöveti és kémiai tulajdonságait pártázó elektronmikroszkóppal elemeztük. Továbbá meghatároztuk a habarcsok vízfelvételi, porozitási, testsűrűségi és nyomószilárdság értékeit is. Az eredmények alapján megállapítható, hogy mindhárom vizsgált korszakban Mg és Si szennyezőket tartalmazó meszes habarcsok voltak használatban, amelyek készítésénél a helyi, dolomitkavicsokban gazdag nyersanyagokat használták fel úgy a kötő-, mint az adalékanyagok esetében. A III. periódus habarcsainak nagyobb nyomószilárdság-értékei valószínűleg a kötőanyag némileg eltérő összetételével, illetve a kiválasztott pillérek statikai szerepével is magyarázhatók.

KEYWORDS: MORTAR, AGGREGATE, BINDER, PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY, ENGINEERING GEOLOGY, ARCHAEOLOGY

KULCSSZAVAK: HABARCS, ADALÉKANYAG, KÖTŐANYAG, PETROGRÁFIA, GEOKÉMIA, MÉRNÖKGEOLÓGIA, RÉGÉSZET



1. ábra: Keszthely-Fenekpuszta: (a) A késő római erőd fekvése a római korban egy félsziget déli végén, a környékbeli 4–7. századi temetőkkel és a sánccal. (b) A római erőd alaprajza és belső épületei, valamint a temetők (4–9. sz.). Grafika: Heinrich-Tamáská O.

Fig. 1.: Keszthely-Fenekpuszta: (a) Location of the late Roman fortress in the Roman era at the southern edge of a peninsula, with cemeteries and rampart in the vicinity from the 4th–7th century. (b) Floor plan and inner buildings of the Roman fortress, and the cemeteries. Graphics: O. Heinrich-Tamáská.

Bevezetés

Keszthely-Fenekpuszta a magyarországi, római kontinuitás kutatás egyik legjelentősebb lelőhelye. Keszthelytől 7 km-re délre, a Balaton délnyugati csücskében fekszik. A régészeti kutatások középpontjában a 15 hektár nagyságú késő római kori erőd áll (Heinrich-Tamáská 2011a). Ehhez az erőd déli fala előtti területen egy temető is csatlakozik (**1.a-b ábra**), ahol a 4. századtól egészen a Karoling korig temetkeztek (Müller 2010).

A szabályos négyzet alaprajzú erődöt egy keskeny löszhát déli végén emelték. A Balaton déli és nyugati vidékét hasonló észak-déli irányú, patak- és folyóvölgyekkel tagolt löszdombok alkotják. A 19. század óta végrehajtott lecsapolási és egyéb szabályozási intézkedések azonban alapvetően megváltoztatták a tájképet. A római korban a fenekpusztai erőd a Balaton egy félszigetén feküdt, amit délről és keletről nyíltvíz, nyugatról pedig mocsaras tőzeglápok határoltak. Ez azt jelenti, hogy a települést csak észak felől lehetett megközelíteni a szárazföldön, ahol az utat dél felé egy sánc zárta el, amely a félsziget teljes kelet-nyugati hosszában húzódott (**1.a ábra**). A fenekpusztai erőd így nem csak különlegesen jól védett helyen épült, hanem infrastrukturális szerepe is jelentős volt. A dunai Limestől délkelet felé vezető diagonális főút mentén itt lehetett átkelni a Balatonon *Sopiane* (Pécs) és *Sirmium* (Sremska Mitrovica) felé haladva (Heinrich-Tamáská 2014, 404–413).

Keszthely-Fenekpuszta Alsóheténnyel, Ságvárral, Táccal és Környével egyetemben az ún. belső erődök körébe tartozik. Ezek a masszív tornyokkal védett erődök megnevezésüket a *Ripa Pannonica* hátszágában való fekvésüknek köszönhetik. Szabályos katonai táborokra emlékeztető felépítésük mellett, mindenhol találunk nagy gabonátárolókat és egyéb gazdasági épületeket is. Ezek alapján leginkább a katonaság gazdasági és logisztikai központjaiként értelmezik őket (Tóth 2009; Heinrich-Tamáská 2015; Visy 2018). A belterületeiken található villa épületek azonban civil lakosság jelenlétének kérdését is felvetik (Heinrich-Tamáská 2017).

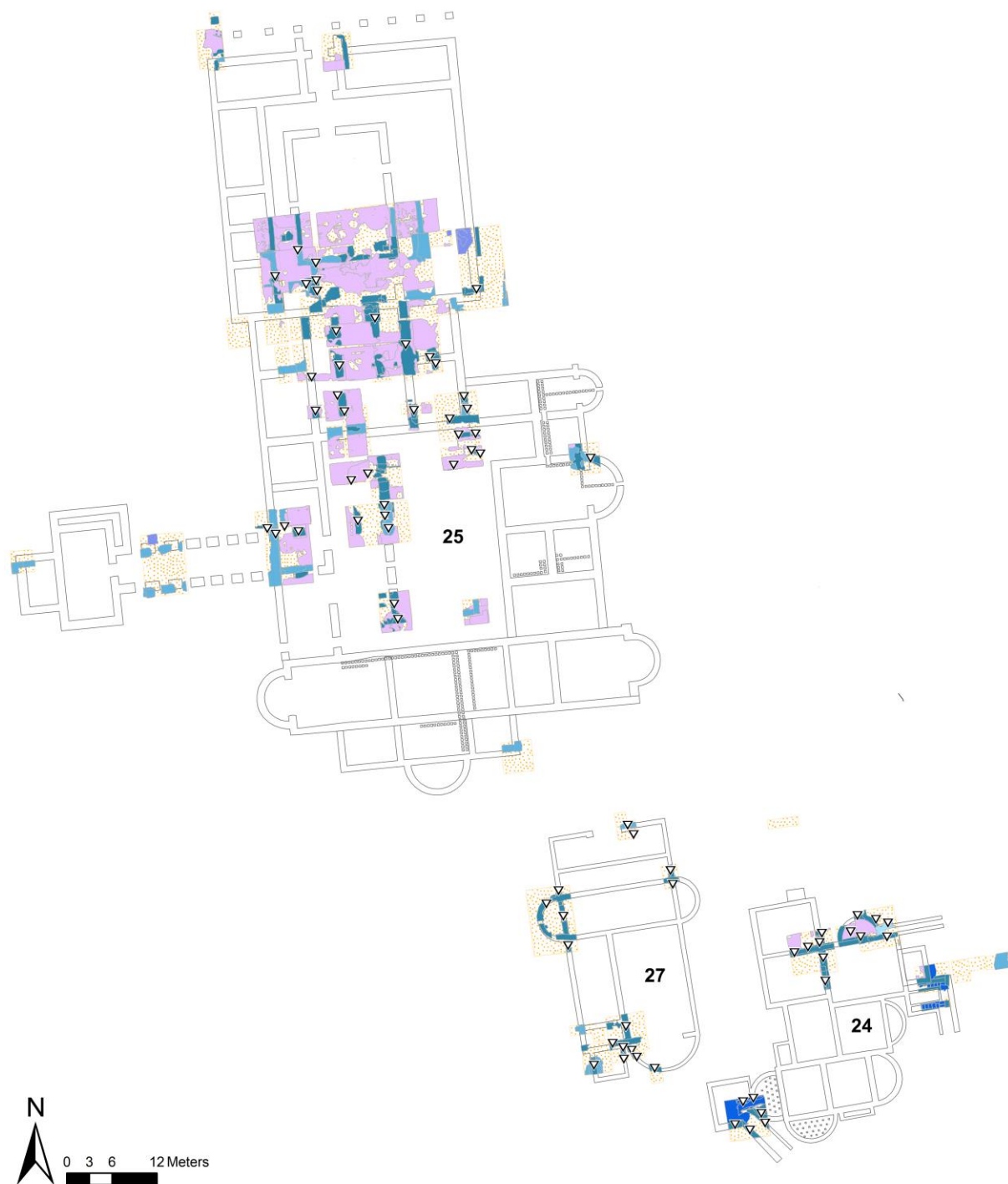
Keszthely-Fenekpuszta a kutatás jelenlegi állása szerint a 4. század középső harmadában épült. Különlegessége a fentebb említett erődökkel szemben, hogy a települést a Pannonia római adminisztrációból történt kivonása után is használták. Egészen a 7. század elejéig igazolható egy keresztény, romanizált közösség továbbélése, akikhez feltehetően bevándorlók is társultak (Fóthi et al. 2009; Heinrich-Tamáská 2007/08; Müller 2020). A 9. században egy több mint egy évszázados szünet

után újra találunk régészeti nyomokat az erőd használatára (Müller 2010, 246–248).

Keszthely-Fenekpuszta mai képét a hajdani keszthelyi Festetics grófok majorsági épület egysége határozza meg. A 18. században, amikor a majorságot kialakították, a római erődfalak és tornyok még jól láthatóak lehettek, hiszen romjait a 17–18. századi történelmi térképeken is jelölték és a majorságot az erőd nyugati falához igazodva, azon kívül helyezték el (Havasi et al. 2020). Az első régészeti felmérést Rómer Flóris publikálta 1862-ben (Rómer 1862). 1899 és 1909 között a Balatoni Múzeum akkori igazgatója Csák Árpád végzett számos feltárást az erőd területén (Csák 1903). Eredményei évtizedekre meghatározták a *castrum* belső felépítéséről kialakult képet (Heinrich-Tamáská 2013, 11–15, Abb. 6). E kapcsán Sági Károly nevéhez köthetőek még fontos feltárások 20. század közepétől (Sági 1989), ezen kívül az ún. kora keresztény bazilika (14-es épület, Sági 1961), illetve a gabonatar (*Horreum*, 15-ös épület) kutatása hozott új eredményeket (Heinrich-Tamáská 2013, 15–17). A további kutatások a 20. század folyamán leginkább a déli erődfal előtti temetőre irányultak (Müller 2010, 20–152) (**1.b ábra**).

Egy 2006-ban megkezdett német-magyar projekt keretében sikerült először az addig Keszthely-Fenekpusztán folyt régészeti feltárásokat egységes keretbe rendszerezni és ezáltal a jövőbeli kutatásokat új alapokra helyezni (Heinrich-Tamáská 2011a). Ennek keretében számos, még Csák Árpád által a 20. század elején feltárt épület területén végeztünk geofizikai felmérést. Mivel a régi ásatásokról csak nagyon hiányos adatokkal rendelkezünk, elsődleges célunk az egyes épületek fekvésének és alaprajzának pontosítása volt. Ezek segítségével fény derült arra is, hogy Csák Árpád alaprajzai egyes épületek esetében több építési fázist egyesítenek. Ennek tisztázására 2009-től 2017-ig hitelesítő ásatásokat végeztünk az erőd keleti felében az ún. 24-es, 25-ös és 27-es épületek területén (Heinrich-Tamáská & Prien 2017/18).

A 24-es és 27-es épületeket Csák Árpád „C” épület megjelöléssel egy egységként kezelte és egy nehezen értelmezhető alaprajzot közölt. Már a georadar felmérések alapján nyilvánvalóvá vált, hogy valójában két épülettel kell számolni, amelyek közül a 24-es egy több mint 400 m² nagyságú fürdőépület (**2. ábra**). Az eredmények alapján az alaprajza jól felvázolható és az ásatások során a délnyugaton fekvő *caldarium*-ot (izzasztóhelység) és annak fűtő kamráját (*prae-furnium*), a *frigidarium* (hideg fürdő részleg) egyik medencéjét és az ehhez keletre kapcsolódó *latrina*-t (illemhely) sikerült azonosítanunk.



2. ábra: Keszthely-Fenekpuszta: A 24-es, 25-ös és 27-es épületek rekonstruált alaprajza: szelvények (narancssárga), objektumok (lila, kék) és a habarcs mintavételek helyével (háromszög). A 25-ös alaprajz a három fázist összesít, a 24-es és 27-es épületek a II. fázisban voltak használatban és csak kisebb átépítéseken estek át. Grafika: Heinrich-Tamáška O.

Fig. 2.: Keszthely-Fenekpuszta: Reconstructed floor plan of the buildings nos. 24, 25 and 27 with the locations of excavation sections (orange), features (violet, blue) and sampling positions (triangles). The floor plan of building 25 merges three phases, building 24 and 27 were only in use during the IInd phase and only few changes were made. Graphic: O. Heinrich-Tamáška.

A leletanyagból és az épület fekvéséből kiindulva a fürdőt a 4. században az erőddel egy időben emelték és az 5. század első negyedéig lehetett használatban (Heinrich-Tamáská & Prien 2017/18, 123–129, Abb. 4; Heinrich-Tamáská & Prien 2019, 41–43).

A tőle nyugatra fekvő 27-es épület alaprajzát egy nagy, apszisos záródású *aula* dominálja, ami alapján az épület reprezentációs szerepe feltételezhető (2. ábra). Keltezésére csak kevés adatunk van, de nagyjából a fentebb említett fürdővel lehetett egyidejűleg használatban (Heinrich-Tamáská & Prien 2017/18, 129).

A 25-ös „villa“ az itt említett két épülettől északra található (2. ábra). Ez az erőd legnagyobb építménye, amit a kutatás „főépületként“ tart számon, amivel leginkább a központi, reprezentációs szerepét kívánja hangsúlyozni. Keszthely-Fenekpuszta mellett Tácon, Ságváron és Alsóhetényen is feltártak hasonló alaprajzú épületeket (Heinrich-Tamáská 2011b; Tóth 2020). Mindegyik egy központi udvarral (*peristylum*) és egy ehhez kapcsolódó apszissal záródó aulával rendelkezik. Ez az építészeti megoldás igen gyakori a korabeli villagazdaságok lakóépületeinél is (Palágyi 2009). A belső erődökben feltárt maradványok esetében azonban hiányoznak a belső díszítőelemek (pl. mozaikok, falfestmények).

A Keszthely-fenekpusztai 25-ös épület esetében három főépítési fázist sikerült elkülöníteni. Az első az erőd építése elé, a 3. század vége/4. század elejére keltezhető, és az itt említett klasszikus *peristylumos* felépítést mutatja egy apszissal záródó aulával és feltehetően egy villagazdaság részét képezte a területen. A második fázis során az apszist elbontva új belső udvart alakítottak ki egy portikusszal határolt fronttal északon. Ezt a fázist az erőd építésével köthetjük össze, tehát a 4. század közepe tájára keltezzük. Az utolsó átépítés a 6. században történt, amikor is a déli traktusban masszív pilléralapozások tagolják a teret. Az épületet a 7. század elején egy tűzvész pusztította el (Heinrich-Tamáská & Prien 2017/18, 130–140).

Jelen tanulmányban az itt röviden bemutatott három épületből (2–3. ábra) származó habarcsmintákon az általunk alkalmazott geoarcheometriai vizsgálatok módszertani háttérét és az ezekhez kapcsolódó legfontosabb eredményeket mutatjuk be. A régészeti adatokkal részletesen összevetett feldolgozásra egy későbbi, átfogó cikkben fogunk sort keríteni (ehhez ld. Józsa et al. in prep). Célunk a jelenlegi tanulmányban sokkal inkább az, hogy a Keszthely-fenekpusztai minták példáján keresztül felvázoljuk, hogy milyen lehetőségek rejlenek régészeti kontextusból származó (adott esetben római kori) habarcsminták adalék- és kötőanyagainak petro-

gráfiai és geokémiai, valamint mérnök-geológiai vizsgálati eredményeinek együttes kiértékelésében.

Mintavétel és vizsgálati módszerek

Az általunk feldolgozott habarcsminták a korábban leírt három épületből (24-es, 25-ös, 27-es) származnak. Az ásások során a régészetileg dokumentált objektumokból szisztematikusan vettünk mintákat, a főépületi elemekre (falak, pillérek) és a későbbi hozzáépítésekre éppúgy ügyelve, mint ezek különböző használati környezetére (2. ábra). Így reméltünk teljes képet kapni az egyes építési fázisokhoz, illetve kronológiai csoportokhoz tartozó, valamint a funkcionális tényezőkhöz alapuló habarcs használatról. A három épületből származó mintákat a fentebb ismertetett régészeti megfigyelések alapján három kronológiai csoportra osztottuk (ld. Melléklet – 1. táblázat).



3. ábra: A 2017-es ásás során előkerült 25-ös épület kőalapozásának maradványa, (a) távoli; (b) közeli felvétel. Fotók: Török Á.

Fig. 3.: Stone features of foundations of building no. 25 found during the excavations in 2017: (a) overview; (b) close-up view. Photos: Á. Török.

Az első (I) a 3. század végétől a 4. század közepéig, a második (II) a 4. század közepétől a 5. század közepéig, a harmadik (III) pedig ezt követően a 7. század elejéig tart. Egyedül a második fázis volt megtalálható mindhárom vizsgált épületnél (24-es, 25-ös, 27-es), ami Pannoniában a késő római korszak utolsó évszázadát öleli fel. Az első, valamint a harmadik fázist ezzel ellentétben csak a 25-ös épület kapcsán figyelhettük meg. Az első fázis szintén késő római, de az erőd alapítása elé keltezhető, a harmadik azonban már a népvándorláskort jelöli, ami Keszthely-Fenekpusztán a római továbbélés kérdésével is összefügg. A 25-ös épület kapcsán viszont azt is hangsúlyoznunk kell, hogy az épületnek legtöbb elemét nem bontották el, hanem a későbbi korszakokban is (tovább) használták. Ez azt jelenti, hogy a három kronológiai csoportba való besorolás elsősorban az építés idejét keltezi, nem a teljes használati időszakot, ami egyes esetekben (I-III. fázis) 300 évet is jelenthet. Ezen fázisok szerinti csoportosítás alapján a habarcs használatának és összetételének római koron belüli fejlődését éppúgy reméltük felmérni, mint az azt követő korszakra jellemző változásokat.

A minták túlnyomó részét az épületek alapozásaiból gyűjtöttük (**3. ábra**). Ezek többnyire *opus incertum* (szabálytalan alakú törmelékkövekből készült héjú öntött falazat) technikával készültek, de a különböző nagyságú homok-és nagyobb adalék szemcsék habarcskötésének szilárdsága már a mintavétel során is igen eltérőnek bizonyult. Felmenő falakat csak ritka esetben tudtunk megfigyelni. Itt falvakolatból is vehettünk mintát. A 24-es fürdőépületnél csatornák és vízmedencék, illetve fűtőcsatornák anyagából is tudtunk mintát venni.

A habarcsok adalékanyagainak polarizációs mikroszkóppal történő petrográfiai vizsgálatához a 24-es, 25-ös és 27-es épületekből rendre 18, 46 és 17 db, azaz összesen 81 mintát választottunk ki, és ebből 89 vékonycsiszolat készült (8 minta esetében kettő ld. **Melléklet – 1. táblázat** a/b kóddal). Mindezek a 2011 és 2017-ig között folyt ásatásokból származnak (ld. Heinrich-Tamáskai/Prien 2017/18; Józsa et al. in prep). A száraz, nagyméretű, esetenként könnyen széteső habarcsdarabokat többször szilárdítottuk alkohollal hígított Araldite-D műgyantával, majd az ezután kialakított vágott felületen át újrainpregnáltuk. A vágott felületet SiC csiszolóporral 800-as finomságig síkra és simára csiszoltuk, majd az így kialakított mintadarabokat tárgylemezre ragasztottuk. A minták gépi levágásával, koptatásával és kézi finomcsiszolásával 30 µm vastag, részben normál (50x25 mm), részben nagyméretű (50x50 mm), fedett vékonycsiszolatok készültek. A mintákat az ELTE Középtan-Geokémiai Tanszéken OLYMPUS CH2 és Nikon OPTIPHOT2-POL OPTIPHOT polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk. A mikrofotókat Nikon DS Fil fényképezőgéppel készítettük és NIS Elements

BR 3.2 programmal rögzítettük. Az adalékanyag kevésbé megszámlálható szemcséinek mennyiségét becsléssel (**Melléklet – 1. táblázatban** x-szel jelölve), az arra alkalmas szemcsék mennyiségét szemcseszámlálással (**Melléklet – 1. táblázatban** számokkal jelölve) határoztuk meg. A különböző vékonycsiszolatokban a habarcsminták vizsgálható, hasznos területe a legtöbb esetben eltért egymástól, ezért a mennyiségi összehasonlíthatóság érdekében a szemcseszámlálással nyert eredményekből a szemcsék mennyiségét a habarcsmetszet területével arányos, azaz az egységnyi habarcsfelületre eső szemcseszámot kiszámolva is megadtuk.

A habarcsok kötőanyagainak kémiai-ásványtani jellemzőinek és a másodlagos folyamatok hatásának vizsgálatára 12 mintát (ld. **Melléklet – 1. táblázat**) választottunk ki a SEM-EDX elemzéshez: három-három a 24-es és 27-es épületekből és hatot a 25-ös épületből. A vékonycsiszolatok készítéséből maradt minták ellenoldali darabját epoxigyantába ágyaztuk (Araldite 2020A), majd polírozott felületi csiszolatokat készítettünk, amiket szénnel gőzöltük le. Az elemzések Zeiss EVO15 pásztázó elektronmikroszkópban (gyorsító feszültség 20 kV, mintaáram 400 pA), a kémiai elemzések Oxford DryCool EDS energiadiszipatív spektrométerrel történtek. A kötőanyagok és azokkal rokon fázisok, illetve mállás hatására kialakult másodlagos fázisok jellemzésére pontanalízist és elemtérképezést használtunk. A vizsgálatok a bécsi Bundesdenkmalamt Természettudományi Laboratóriumában készültek.

A mérnökgeológiai mérésekhez előkészített 12 db habarcsmintát a 2011-es és 2013-as ásatások során vett anyagból válogattuk ki (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Három minta kivételével (M27-02, M27-09, M27-10) amelyek a 27-es épülethez köthetők, az összes többi a 25-ös épületből származik. Minden egyes habarcsmintának meghatároztuk az egyedi méretét és az egyes darabok tömegét. A tömeget Sartorius Balance típusú mérleggel, századgramm pontossággal mértük meg. A minták testsűrűségét az MSZ EN 12390-7:2009 szabvány alapján mértük meg. A minták vízfelvétele 48 órás víz alatti tárolással határoztuk meg.

A szilárdsági vizsgálatokat az előkészített mintákból elkülönített és a szilárdság mérésére alkalmas méretű, de szabálytalan alakú habarcs próbatesten végeztük el. A méréseket az amerikai szabvány ASTM D5731 (Standard test method for determination of the point load strength index of rock) alapján készítettük el, ún. pontterheléses módszerrel. A mérés során a próbatesteket úgy helyeztük el a terhelő berendezésbe, hogy a 60°-os kúpos acél nyomófejek egymással szemben helyezkedjenek el. A nyomófejek kiképzése r = 5 mm-es lekerekítéssel készült. A vizsgálat előnye, hogy

ehhez nem szükséges szabályos henger alakú próbatest és kisebb erőhatást igényel, így szabálytalan alakú habarcsminták közelítő szilárdságának mérésére is alkalmas.

A habarcsminták összetételét, azon belül a karbonát tartalmat jól jellemző izzítási veszteséget izzító-kemencés méréssel határoztuk meg. Az eredményeket a minta bemért tömegéhez viszonyítva [m%] adjuk meg. Ehhez kiegészítésként a híg sósavas oldási technikával meghatároztuk az oldási veszteséget is, amely szintén a karbonát tartalom meghatározását segíti.

Néhány kiválasztott mintán az ásványtani összetételt is meghatároztuk termoanalitikai módszerrel. Ehhez 250-500 mg porított mintákat készítettünk, amelyeket MOM Derivatograph Q-1500 műszerrel elemeztük. A mérés során 10°C/perces fűtési sebességet alkalmaztunk, a mintákat 1000°C-os hőmérsékletre felfűtve. A mérés során detektáltuk a minta tömegének változását és a minta hőmérsékletét. Ezzel a módszerrel elsősorban a habarcsminták kötőanyagának összetételét kívántuk meghatározni. A minták vizsgálata a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékének akkreditált Talaj és Kőzetvizsgáló Laboratóriumában (akkreditációs szám: NAH-1-1743/2023) készült.

Vizsgálati eredmények

A habarcsok makroszkópos leírása

A Keszthely-Fenekpusztán lévő római kori épületmaradványok habarcsai általában gyenge megtartásúak. Terepi viszonyok között is jól meg lehetett figyelni és el lehetett különíteni egymástól a finomszemcsés kötőanyagot és a nagyobb méretű adalékanyagok darabjait (**4. ábra**). A habarcsminták fő típusaiban a makroszkóposan meghatározott adalékanyagok aránya kb. 20–30%. Legfeltűnőbb, legnagyobb arányú összetevői a nagyon kemény, igen jól koptatott, cm-es méreteket is elérő dolomtkavicsok, amelyek kisebb erőhatásra is könnyen kieshetnek a kötőanyagból. Ezek mellett – ritkábban, akár nagyobb mennyiségben is – megfigyelhetők szögletes megjelenésű egyéb kőzet- és kerámiatöredékek is (**5. ábra**). A cm-es méretet ez utóbbi összetevők is elérhetik. A kötőanyag tört felszíne egyenetlen, erősen mikroporózus, de nagyobb, akár több cm-t is elérő szabálytalan pórusokat-üregeket is sűrűn tartalmaz (**4. ábra**). Anyagában finomszemcsés inhomogenitást mutat, színe szürke vagy fehér, egyenetlesen, sűrűn hintetten tartalmaz apró, 1 mm átmérőjű fehér mészcsozókat. Állaga általában puha, széteső, könnyen morzsolható, poros tapintású. Egyes változatai jobban kötöttek, állékonyak, keményebbek.

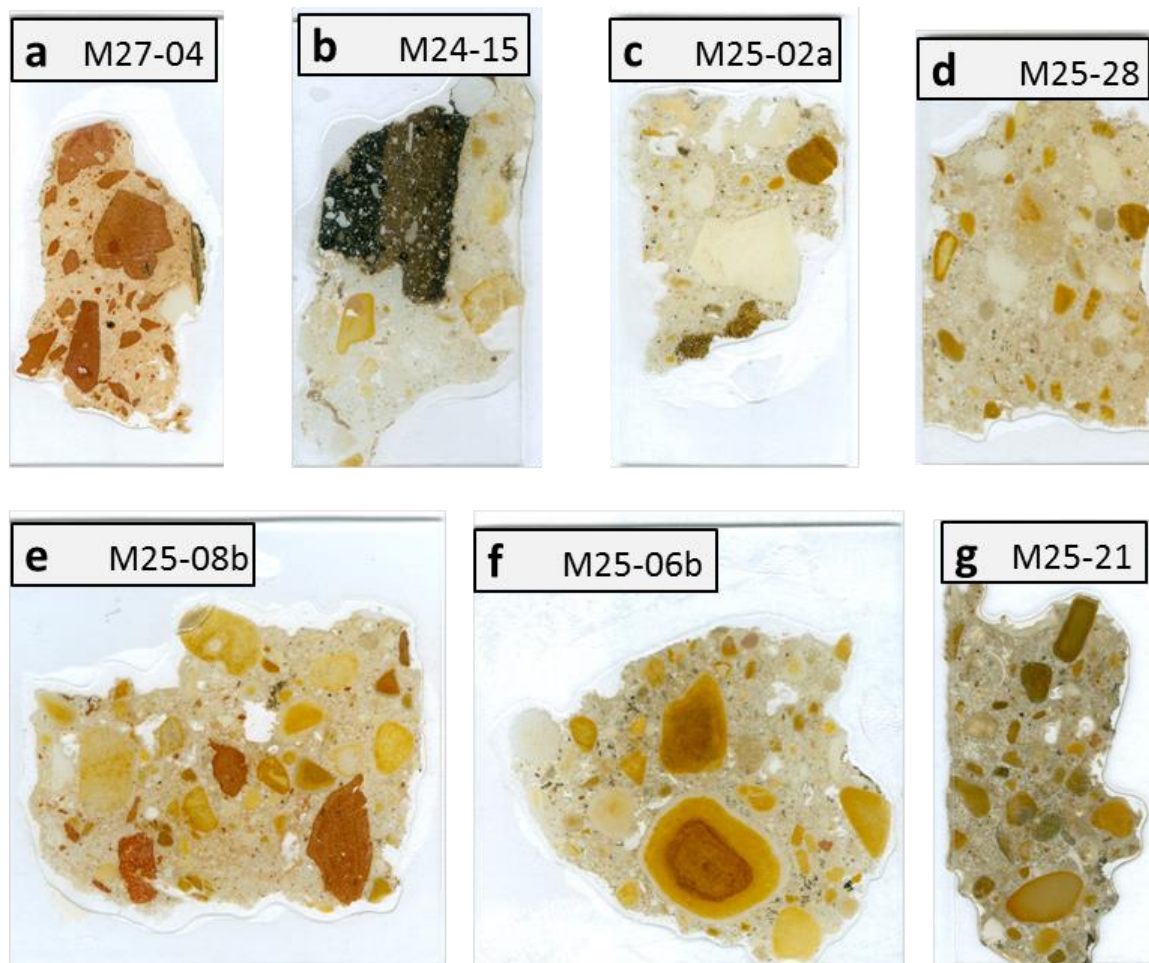


4. ábra: Keszthely-Fenekpuszta: Habarcs közeli *in situ* képe az ásátáson (25-ös épület). Jól láthatók a koptatott cm-es dolomtkavicsok (sárga nyilak) és a laza, porózus kötőanyag. Kép szélesség 20 cm. Fotó: Török Á.

Fig. 4.: Keszthely-Fenekpuszta: Close *in situ* view of mortar during the excavations (building no. 25). The well rounded, cm-sized dolomite pebbles (yellow arrows) and the porous friable binder is well visible. Picture width is 20 cm. Photo: Á. Török.

Az adalékanyagok polarizációs mikroszkópos vizsgálata

Ebben a fejezetben a Keszthely-Fenekpusztán 2011 és 2017 között folytatott ásátásokból származó 84 db habarcsminta vékonycsiszolatos fénymikroszkópi elemzésének eredményeit mutatjuk be (ld. Józsa et al. *in prep*). Kitzűzött célunk volt az adalékanyagok leírása, meghatározása és lehetséges forrásaik azonosítása. Már a vékonycsiszolatok kissé vastagabb állapotban történt szabad szemű megfigyelésekor feltűnt (**5. ábra**), amit a teljes anyag fénymikroszkópi áttekintése után egyértelműen megállapítottuk, hogy a minták adalékanyag-tartalma nagyjából azonos, és csak a mennyiségi arányaikban van kisebb-nagyobb, 4 minta esetén azonban igen jelentős különbség [M24-07, M25-03b, M25-18, M25-45]) (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Ez lehetővé tette, hogy a vizsgált mintákban megfigyelt adalékanyagokat egységes ásvány-kőzettani szempontú csoportokba soroljuk. Az egyes csoportok leírása után geológiai értékelést adtunk és megkíséreltük meghatározni forrásképződményeiket és származási területeiket. Elvégeztük a minták adalékanyagainak mennyiségi meghatározását is az előző fejezetben ismertettek szerint. A mérési eredményeket tartalmazó táblázatot azonban erősen redukáltuk és csak a jelen tanulmány számára legfontosabb és felhasznált adatokkal közöljük (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Ebben a cikkben egyelőre csak előzetes mennyiségi értékelést adunk, mert a teljes körű értékeléshez további elemzésekre van szükség, amit egy későbbi tanulmányban tervezünk bemutatni (Józsa et al. *in prep*).



5. ábra: Néhány jellegzetes Keszthely-fenekpusztai habarcsminta vékonycsiszolatának makroszkópos képe. (a) Csak szögletes kerámia adalékanyagot tartalmazó habarcsminta. (b) Nagyméretű durvakerámiát (sötétbarna) tartalmazó habarcsminta. (c) Uralkodóan kisebb-nagyobb fehér, szögletes mészkőtörmeléket tartalmazó habarcsminta. (d) Mészke (fehér) és dolomit adalékanyagot vegyesen tartalmazó habarcsminta. (e) Kerámia (sötétokker) és dolomit szemcséket vegyesen tartalmazó habarcsminta. (f) Vasásvány kicsapódási front nagyméretű dolomit adalékszemsében (g) Dolomitszemcsében gazdag, recens kagylóváz elemet is tartalmazó habarcsminta (A tárgylemezek magassága egységesen 5 cm). Fotók: Józsa S.

Fig. 5.: Macroscopic images of the thin sections of characteristic mortars from Keszthely-Fenekpuszta. (a) Mortar sample with only ceramic additive. (b) Mortar sample with a large grain of coarse ceramic (dark brown). (c) Mortar dominantly consists of white angular limestone of different sizes. (d) Mortar sample with mixed dolomite and limestone additives. (e) Mortar sample with both ceramics and dolomite additives. (f) Iron oxide precipitation front in a large dolomite pebble. (g) Mortar sample rich in dolomite grains containing recent bivalve shell fragment (Height of glass slides is 5 cm). Photos: S. Józsa.

Az adalékanyagok részletes ismertetése

A vékonycsiszolatokról készített polarizációs mikroszkópi felvételek a **Melléklet 1–4. ábráin** láthatók.

1. Mészanyagú törmelékek

Általánosságban elmondható, hogy ezek az elegyrészek könnyen felismerhetők, mert nagyobbak és jobban koptatottak, mint a kovaanyagú szemcsék.

1.1. Dolomit kőzet

Leírás: A dolomit mennyisége általában a szemcsék 30–60 tf%-a, csak négy mintából (M24-07, M25-03b, M25-44, M25-45) hiányoznak (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Nagyon jól koptatott szemcséi kétféle mérettartományban jelennek meg (0,3–1 cm és 0,1–0,5 mm) (**Melléklet – 1.a-b ábra**). Kristályos megjelenésük, szövettük homogén, ekvigranuláris, irányítatlan, ritkán inekvigranuláris. Szemcseméretük mikrit (10–20 µm) vagy pátit (0,3 mm). Egyes mikritekben durvaszemcsés erek láthatók, más szemcsékre akciószegélyt mutatnak. A

kötőanyagban helyenként az itt bemutatott dolomitzemcsék szövetéhez hasonló relikv szövetű szemcsemaradványok láthatók. Méretük és alakjuk is megegyezik a dolomítkavicsok ezen tulajdonságaival (**Melléklet – 1.c-e ábra**). Az egyik dolomítkavicson rátapadt kőzetlisztes agyag van (**Melléklet – 2.a ábra**).

Értékelés: A fenékpusztai habarcsok dolomitzemcséinek mikroszkópi megjelenése a közeli keszthelyi-hegységi dolomitokéhoz nagyon hasonló (Bohn 1975). A nagyon jól koptatott jelleg és a nagy méret alapján a szemcsék nagy energiájú vizes környezetben formálódhattak a forrásterület (Keszthelyi-hegység) közelében. Ilyen kavicsanyag jelenik meg a Keszthelyi-hg. peremén, a “pannóniában” kialakult abráziós konglomerátumban (Békési Formáció, Diási Tagozat, Budai et al. 1999; Sásdi 2020; http2), amely recens áthalmazódással eljuthatott a Balaton partjáig is. Ezt a következtetést a jól koptatott recens molluszka héjak habarcsbeli jelenléte és a dolomit és molluszka szemcséken megfigyelt rátapadt iszap is alátámasztja.

1.2. Márga, kőzetlisztes mészkő, mikrites és mikropátitos mészkő

Leírás: Ezek a komponensek csak néhány mintában és kismennyiségben fordulnak elő (**Melléklet – 1.f ábra**). Méretük és alakjuk megegyezik az 1.1. fejezetben tárgyalt dolomítkavicsokéval. Különböző arányban tartalmaznak finomszemcsés sziliciklasztot (agyagot és aleurolitot) és mikritet. Esetenként vékonyhéjú mikrofossziliákat is tartalmaznak.

Értékelés: Forráskőzetük a dolomítkavicsok forrásterületével nagyjából megegyezően az Edericsi és Veszprémi Márga Formációk keszthelyi-hegységi elterjedési területein kereshető (Haas 1995). Ezek a kőzetek szintúgy jelen vannak a Keszthelyi-hegység peremén a “pannóniában” kialakult abráziós konglomerátumban (Diási Tagozat, Budai et al. 1999; Sásdi 2020; http2) de a dolomitoknál jóval kisebb mennyiségben. Recens áthalmazódással ezek a kavicsok eljuthattak akár a Balaton partjáig is.

1.3. Molluszka váztöredékek

Leírás: Szinte minden mintában előfordulnak kis-közepes mennyiségben. Nagyméretű, vastag (0,2 mm–0,8 cm), enyhén ívelt, jól koptatott vázelemek (**Melléklet – 1.b, 2.c ábra**). Többségük kagyló váztöredék, de vannak *gastropoda* és más puhatestű (**Melléklet – 2.b. ábra**) vázelemek is. A héjmaradványok eredeti belső szerkezete jól megőrződött, néhány szemcsén hőhatás (**Melléklet – 2.b-c ábra**), másokon bioerózió nyomai figyelhetők meg. Az egyik vázelemen rátapadt finom-

szemcsés aleuritos agyag is látható (**Melléklet – 2.a ábra**).

Értékelés: Mikroszkópi megjelenésük alapján ezek a törmelékek leginkább recens, kis valószínűséggel miocén laza üledékből származó vízi puhatestűek (kagylók, csigák) vázdarabjai lehetnek. Töredékes, de jól koptatott, bioeróziót mutató jellegei alapján hullámverte sekély vízi környezetből származhatnak. Hasonló molluszka töredékek jelennek meg a Balaton part menti hullámverte sávjában. Az egyik szemcsére rátapadt finomszemcsés üledék is erre utal. Ugyanakkor a Keszthelyi-hegység peremén fellelhető “pannóniai” korú törmelékes üledékes képződmények (pl. Száki Formáció, Somlói Formáció) is tartalmaznak molluszka maradványokat (Jámbor 1980; Cziczter et al. 2009).

1.4. Meszes fitolit

Leírás: Sok mintában megtalálható, de mindig kis mennyiségben (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Jellegzetes növényi sejtes, rostos szerkezetet mutat. Nagy méretű hosszúkás elemei (0,1–0,4x2–3 mm) egyenes, görbült, szakadozott megjelenésűek (**Melléklet – 2.d ábra**).

Értékelés: Megjelenésük alapján lapos vízparti vagy sekélyvízi környezetben élő elhalt meszesedett növényi maradványokból származhatnak. Megjelenésük alapján még képlékenyen, lágy állapotban kerülhettek a habarcsba. Valószínűleg a Balaton partvidékéről származnak.

1.5. Mészvázú globigerinoidae foraminifera

Leírás: Nagyon kevés mintában nagyon kis mennyiségben jelenik meg. 2–3 gömbölyű cellából álló kisméretű (<0,1 mm), vékonyhéjú foraminifera vázak.

Értékelés: Megjelenési formájuk és a földtani háttér ismerete alapján ezek fosszilis foraminiferák, amelyek miocén, valószínűleg “pannóniai” korú finomszemcsés üledékes kőzetrétegekből származhatnak a Keszthelyi-hegység környékéről.

2. Sziliciklasztos törmelékek

A sziliciklasztok nagy része kisebb és kevésbé koptatott, mint a meszes törmelékek. Uralkodóan kvarc anyagúak, de kis mennyiségben sokféle egyéb ásvány és kőzetfajta is előfordul közöttük. A minták többségében a meszes törmelékek után a legnagyobb mennyiséget (20–90%) képviselik. Kis mennyiség csak kevés mintában van (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). Értékelésük az alcsoportok leírása után következik.

2.1. Kvarc és kvarcit

Leírás: A sziliciklasztoknak több mint 90%-át adják **Melléklet – 1.a ábra**). Jól osztályozott bimodális szemcseeloszlást mutatnak (0,4–0,5 mm és 0,1–0,2 mm). A szemcsék általában xenomorfok, izometrikusak, szögletesek (**Melléklet – 4.f ábra**), de a nagyobb szemcsék között jól koptatottakat is találunk (**Melléklet – 1.d, 3.a ábra**). Néhány kiugróan nagy kvarcit szemcse (2,5–3 mm) is megjelent (**Melléklet – 1.a ábra**). A kvarcsezemcsék többsége hullámos kioltású monokristályos, a vulkáni megjelenésű monokristályos kvarc ritkán fordul elő. A polikristályos kvarc és kvarcit kevésbé gyakori (**Melléklet – 3.b ábra**). Gyakorik a repedezett szemcsék.

2.2. Földpátok

Leírás: Sok mintában jelen vannak, de csak kis mennyiségben (ld. **Melléklet – 1. táblázat**), a sziliciklasztoknak is csak néhány százalékát teszik ki. Ortoklász, mikroklin és plagioklász egyaránt megjelenik. Többnyire négyszögletesek, gyengén koptatottak, izometrikusak, méretük a kvarc méreteihez hasonló. A mikroklin általában üde, az ortoklász gyenge hasadást mutat, gyakran szericites és pertites (**Melléklet – 2.e ábra**). A plagioklász nem zónás, savanyú összetételű, gyakran szericites, vagy saussurites (**Melléklet – 1.b, 2.e ábra**).

2.3. Csillámok

Leírás: Szinte minden mintában megjelennek, de általában kis mennyiségben (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). A biotit nagyon ritka, általában kis méretű. Uralkodik a muszkovit, szemcséi vékonyak, nyúltak, metszeteik kissé hullámosak.

2.4. Akcesszóriák

Leírás: Szórtan, legtöbbször nagyon kis mennyiségben és méretben (50–100 µm) jelennek meg (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). A nagyobb szemcsék (kb. 0,3 mm) ritkábbak, de jellegzetesek. Leggyakoribb közülük a gránát (**Melléklet – 3.c ábra**), az epidot (**Melléklet – 2.e ábra**), a zoisit (**Melléklet – 3.a ábra**) és a sztaurolit. Sok mintában megtalálják, általában szögletesek, izometrikusak. Leginkább jellemző közülük a gránát. Egyes mintákban a nagy gránátok nagy mennyiségben láthatók a más mintákban található gránátok és más akcesszóriás ásványokhoz képest (ld. **Melléklet – 1. táblázat**). A többi akcesszóriás ásvány, mint az aktinolit, hornblende, oxihornblende, turmalin, klorit, kloritoid, kianit, klinopiroxén, titanit, cirkon (**Melléklet – 3.a ábra**) és szillimanit földpátban csak néhány mintában jelenik meg és általában kis mennyiségben.

2.5. Kőzettörmelékek

Leírás: Általában a nagyobb méretű szemcsék között található. Zömében 0,2–0,3 mm-esek, de akár az 1 mm átmérőt is meghaladhatják. A metamorf kőzeteket a különböző ásványtartalmú kvarcitok (csillámgazdag, kloritos (**Melléklet – 3.e ábra**), aktinolitos, zoisit és turmalinos (**Melléklet – 3.b ábra**), ritkábban csillámpala (**Melléklet – 2.f ábra**), gneisz, márvány (**Melléklet – 4.a ábra**), kloritos (**Melléklet – 3.d ábra**) és grafitos fillit, valamint metahomokkő képviseli. A magmás eredetű kőzetszemcséket néhány granitoid és riolitufa képviseli, de ide tartoznak a ritka bazalt (**Melléklet – 4.b ábra**) és bazalttufa szemcsék is, amelyek aleuritós agyagbevonattal rendelkeznek. A leggyakoribb sziliciklasztos üledékes kőzettörmelék a homokkő. Két típusa van. A gyakoribb változat nagyméretű, jól koptatott, szövete jól osztályozott, kissé irányított, karbonátos cementtel. A szögletes kvarcsezemcsék mellett sok muszkovitot és változó mennyiségű akcesszóriát tartalmaz. Különösen nagy méretben (néhány mm) is előfordul (**Melléklet – 4.d ábra**). A ritkább homokkő változat kisebb méretű, kompaktabb és nagyon kevés karbonátot tartalmaz (**Melléklet – 3.f ábra**). Az üledékes kőzetek között nagyon jellegzetesek még a kovakőzetek. A radiolarit (**Melléklet – 4.c ábra**), a szpikulit és a tűzkő általában szögletesek és nagy méretűek.

A sziliciklasztos törmelékek értékelése

A sziliciklasztos szemcsék alakja és mérete alapján a forrásuk egy gyengén vagy nem cementált homok lehetett, amelyet részben kissé össze is törhettek felhasználás előtt. A szemcsék anyagi összetétele, különösen a kvarcgazdagsága és az akcesszóriás ásványok fajtája alapján forrásuk egy miocén homokösszlet lehetett. Ilyen kőzeteket szolgáltatnak a "pannóniai" korú, korábban Somlói és Kállai Formációkba besorolt, jelenleg a Békési Formáció Diási és Kállai Tagozataiként, illetve az Újfalui Formáció Somlói Tagozataként ismert rétegtani egységek, amelyek a Keszthelyi-hegység peremi részénél és Keszthelytől kissé délre és nyugatra is megtalálhatók (Jámbor 1980, Thamóné Bozsó 1983, http1, http2).

3. Egyéb törmelékek

3.1. Korhadt fitolit

Leírás: Csak néhány mintában jelennek meg kis mennyiségben. Fekete, sejtes szerkezetű, hosszúság, viszonylag nagyméretű (0,2–1 mm), nyúlt, kissé foszlányos töredékek. Színük fekete.

Értékelés: Ez az összetevő sekélyvízi, vagy lapos parti agyagos, iszapos környezetben képződhetett. A foszlányos kifejlődés alapján recensnek értékelhető és nagy valószínűséggel a Balaton parti iszapjából származik.

3.2. Kőzetlisztes agyag aggregátumok

Leírás: Ez az összetevő sok mintában jelenik meg. Szabálytalan alakú, apró kvarc- és szilicium- (0,05–0,25 mm) gazdag, eredetileg nagyrészt képlékeny, homokos, iszapos anyag (**Melléklet – 2.a, 4.f ábra**) nagyméretű (1–2 cm) darabjai. Törmelékanyaga lényegében megegyezik az egyedi nagyobb sziliciklaszt szemcsék anyagával, de csillámban gazdagabbak. Gyakran tartalmazzák a kétféle (meszes és fekete) fitolitot, a kissé égetett karbonátos kőzet-törmelégeket, a molluszká váztöredékeket és gömbölyded konkréciókat. Finomszemcsés alapanyaga általában közel izotróp, gyakran látható másodlagos finomszemcsés kalcitosodás.

Értékelés: Ez az anyag lágy iszapként kerülhetett be a habarcsba, ilyen anyagot a Balaton parti sávjában, pl. Keszthely-Fenekpuszta környékén is nagy mennyiségben lehet találni.

3.3. Kerámiatöredékek

Leírás: Majd minden mintában jelen vannak, de változó mennyiségben. Egy mintában (M24-07 fürdőmedence vakolat) csak égetett agyagtermék (pl. cserépedény, tetőcserép, stb.) töredék volt. A kerámiatöredékek a többi esetben nagyon különböző méretben (<1 mm – néhány cm), többnyire szögletes formában mutatkoznak (**Melléklet – 4.e ábra**). Összetételük és szövetük a különböző mintákban hasonló. Nemplasztikus elegyrészeit főleg a kvarc és a szintén gyakori csillám képviseli, ritkán zoisit és cirkon is található bennük (**Melléklet – 3.a ábra**), az egyikben kissé kiégett molluszká héjtöredék is megjelent. Általában irányított, szeriális, jól osztályozott szövetet mutatnak.

Értékelés: Összetételük alapján a Keszthely-fenekpusztai habarcsokban található kerámiatöredékek helyi készítésű cserépedények, illetve tetőcserepek darabjai lehetnek.

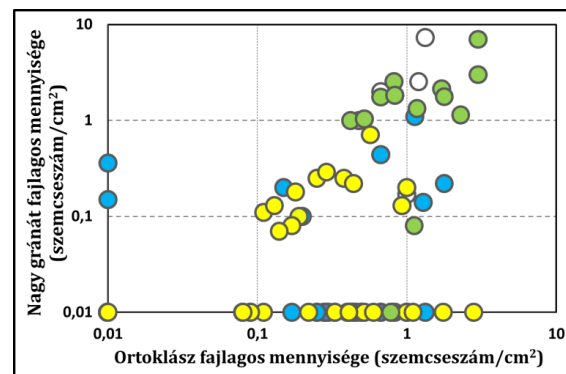
Az adalékanyagok mennyiségi elemzése

Az előzetes mennyiségi vizsgálat fő kérdése az volt, lehet-e polarizációs mikroszkópos petrográfiai módszerrel mennyiségi alapon különbséget tenni a Keszthely-fenekpusztai római erőd három belső épületének (24-es, 25-ös és 27-es) régészeti dokumentált maradványaiból gyűjtött és különböző kronológiai fázisokhoz (I., II. és III.) tartozó habarcsminták között. Negyvenhárom féle összetevő mennyiségi, illetve félmennyiségi elemzését

végeztük el, de itt csak a legfontosabb adatait foglaltuk táblázatba (ld. **Melléklet – 1. táblázat**).

Előzetes elemzésünk alapján megállapítottuk, hogy a III. fázis habarcsmintái több összetevő esetében is különböznek az I. és II. fázis habarcsmintáitól. Az utóbbiak között azonban szignifikáns különbséget nem észleltünk, ami azzal is magyarázható, hogy mindkettő a késő római korra keltezhető. A III. kronológiai fázis különbözőségét legegyszerűbben a nagy méretű gránát fajlagos mennyisége alapján lehetett kimutatni. Ez az összetevő a III. fázis habarcsainak döntő többségében nagyobb mennyiségben fordul elő (≥ 1), mint az I. és II. fázis habarcsaiban (<1) (**6. ábra**). A nagyméretű gránát mennyisége alapján a több fázist lefedő, ún. kérdéses csoport (ld. **Melléklet – 1. táblázat**) 4 habarcs mintájából három a III. fázis habarcsmintáival rokonítható.

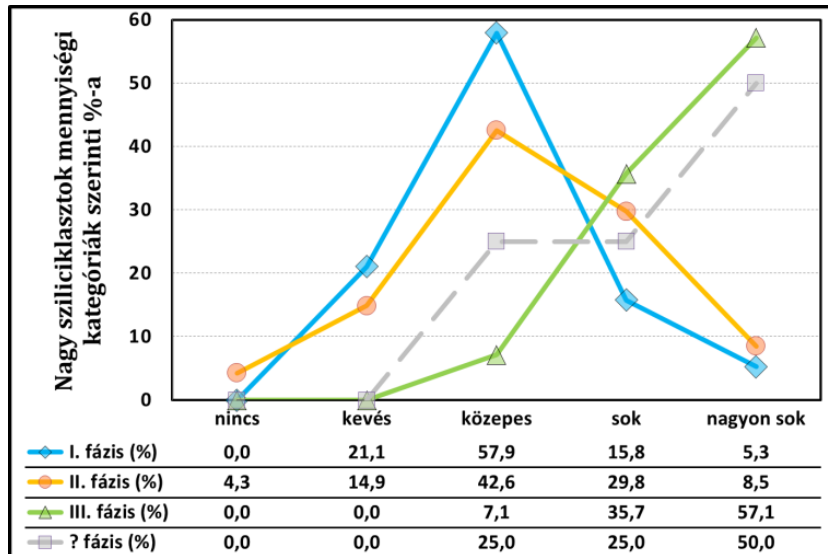
Az esetleges különbségek kimutatása érdekében vizsgáltuk az egyes kronológiai fázisok habarcsainak teljes mintahalmazában előforduló egyes adalékanyagok mennyiségi eloszlását is. Az így megalkotott diagramok közül a nagy méretű gránát, a nagyméretű sziliciklasztok (**7. ábra**), a nagy méretű mészközetek és az ortoklász diagramján is jól elkülönül a III. fázis görbéje (a több fázishoz is köthető minták görbéjével egybeesve). Mindezek az eredmények arra utalnak, hogy a III. fázisban használt egyes adalékanyagok kissé különböztek az I. és II. fázisban használt adalékanyagoktól.



6. ábra: A Keszthely-fenekpusztai habarcsok adalékanyagaként megjelenő nagy méretű gránát és ortoklász szemcsék fajlagos mennyiségének két-komponensű diagramon való ábrázolása.

Jelmagyarázat: Kék = I. fázis, sárga = II. fázis, zöld = III. fázis, fehér = több fázishoz tartozik. Grafika: Józsa S.

Fig. 6.: Two-component diagram showing specific number of large garnet vs. orthoclase additives in Keszthely-Fenekpuszta mortars. **Legend:** Blue = phase I., yellow = phase II., green = phase III., white = belonging to more phases. Graphic: S. Józsa.



7. ábra:

A Keszthely-fenekpusztai habarcsok nagy méretű sziliciklasztjai mennyiségének eloszlása az egyes kronológiai fázisok mintáinak teljes mintahalmazában.
Grafika: Józsa S.

Fig. 7.:

Quantitative distribution of large siliciclasts in the mortar samples of Keszthely-Fenekpuszta related to different chronological phases.
Graphic: S. Józsa.

A kötőanyagok jellemzése

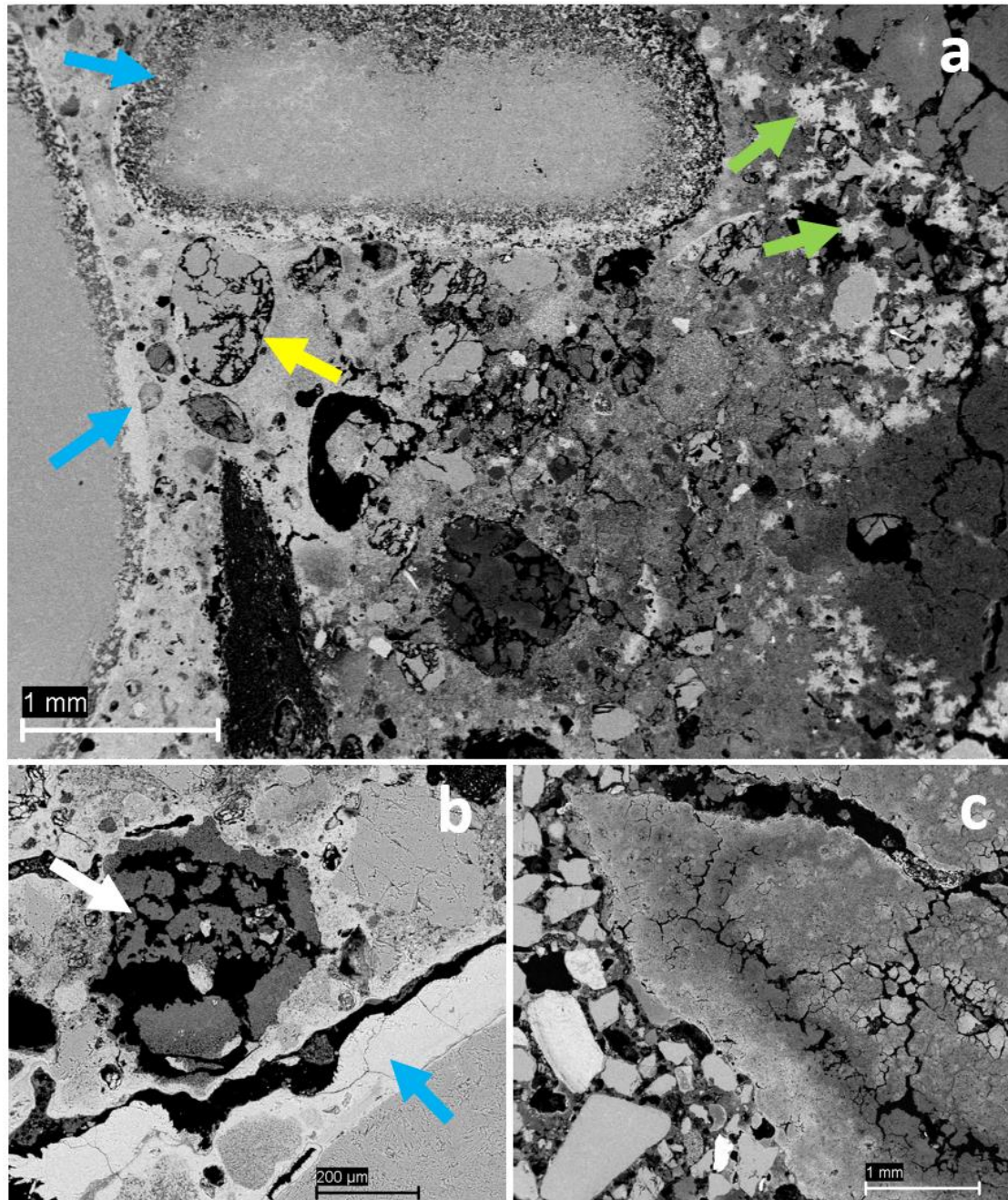
A SEM-EDX vizsgálatra kiválasztott minták kötőanyagait (ld. **Melléklet – 1. táblázat**), nagyfokú hasonlóságuk miatt, összefoglalva ismertetjük. A habarcsok kötőanyagait a minták épületeken belüli helyétől és az építési periódusoktól függetlenül kémiaiilag és ásványtanilag minden esetben heterogén mikroszerkezetet és összetételt mutatnak (**8.a ábra**). Ez alól csak egy vizsgált minta (M24-11) képez kivételt, amelyben a többi minta összetételéhez hasonló, azonban azokhoz képest jóval homogénebb meszes kötőanyagot figyeltünk meg. A kötőanyagokban megjelenő heterogenitás a Ca és Mg mennyiségében és eloszlásában, valamint kisebb mértékben a Si (és Al) jelenlétében nyilvánul meg. Általánosságban elmondható, hogy minden mintában kalcium-karbonát (CaCO_3) a domináns kötőanyag, a kémiai összetételben megjelenő magnézium, valamint szilícium természetes – és többnyire csak kisebb mértékű – szennyeződésként van jelen. A repedések mentén és légpórusokban másodlagos kiválásként gyakran mikropátitos/pátitos CaCO_3 figyelhető meg (**8.b ábra**).

A másodlagos kalcium-karbonát jelenléte leginkább a karbonátban gazdag talajoldatok (talajvíz) beszivárgására utal, és gyakran idézi elő a fent említett pórus- és üregkitöltéseket. Továbbá, ha a mátrix adott esetben hidrát fázisokat tartalmazott, akkor ezekből a kötőanyag-komponensekből is kioldóhattak Ca^{2+} -ionok a HCO_3^- -ionokban gazdag (talaj) oldatok hatására, ami heterogén – kalcium-karbonátból és részben amorf fázisokat (szilikagél) tartalmazó zónákból álló – mátrixot hagy maga után (Weber et al. 2015).

Az ilyen típusú reakciók során keletkező, sugarasan növekvő másodlagos CaCO_3 gyakran gömbölyded, ún. „pattogatott kukorica-szerű” (popcorn calcite, Poole & Sims 2015) szemcsékként jelenik meg (**8.a ábra**). A heterogén szöveti jelleg jelen mintákban másodlagos CaCO_3 -ban gazdag kötőanyagterületekként jelentkezik, amelyeket gyakran Mg-ban és Si-ban dús zónák vesznek körül (**8.a ábra**) jelezve az eredeti kötőanyag átalakulását a beszivárgó pórusoldatok hatására (Weber et al. 2015).

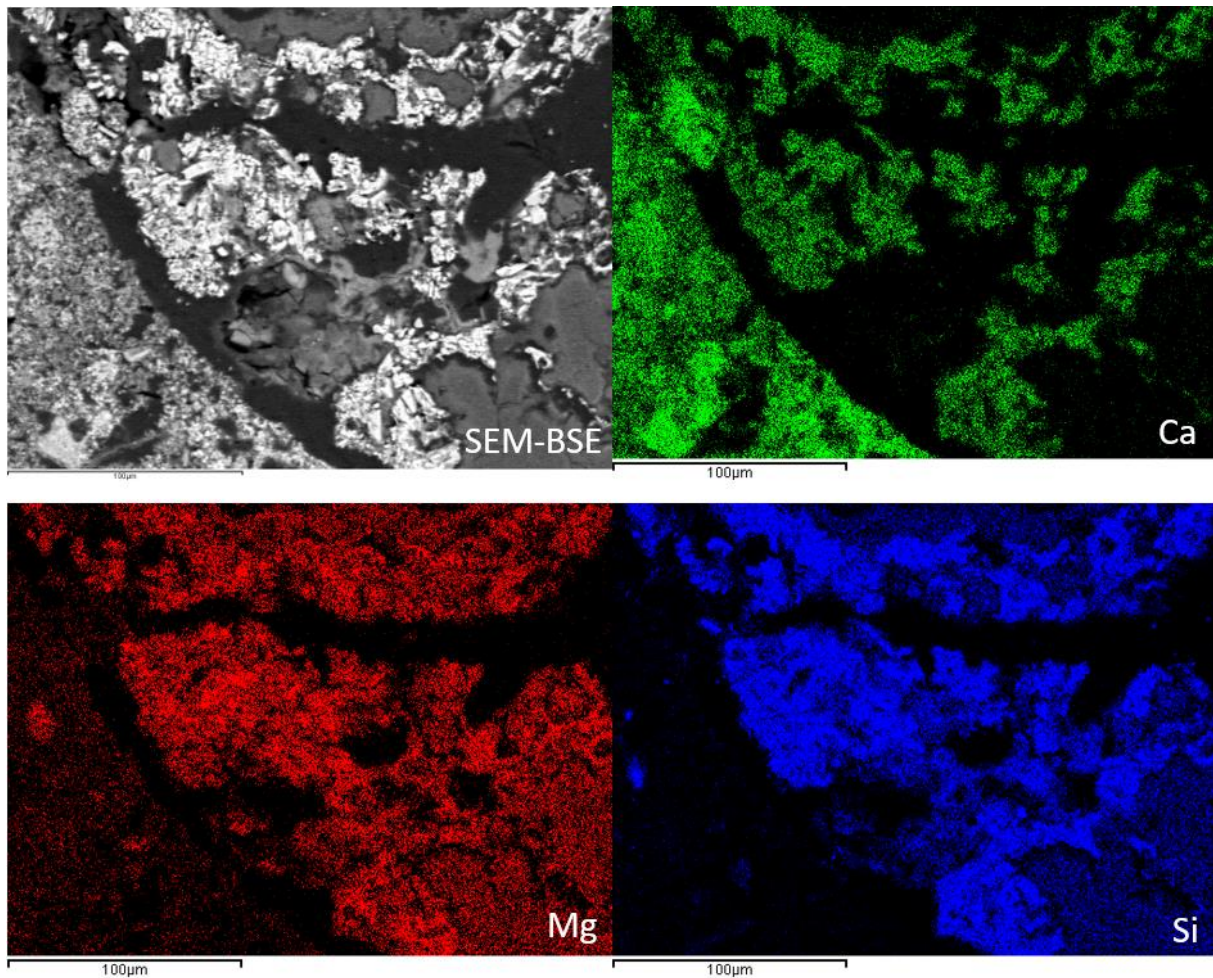
A mátrix mellett a meszes habarcsok másik jellemző komponenseit, az úgynevezett kötőanyag-rokon szemcséket és fázisokat is vizsgáltuk. A leggyakrabban előforduló kötőanyag-rokon szemcsék a mészetégetés során az optimális égetési hőmérsékletnél alacsonyabb, ill. magasabb hőmérsékletet elszenvedett, ún. alul-, illetve túlégetett karbonátos szemcsék (**8.c ábra**) és a habarcs bekeverése közben keletkező kerekded mészesomók. Különösen az alulégetett maradvány szemcsék mutathatnak részleteket az eredeti közettextúrájáról és összetételéről (Hughes et al. 2001). A vizsgálatok során minden mintában találtunk kerekded mészesomókat és/vagy szögletes, feltételezhetően a nyersanyag alulégetett maradványaiból álló szemcséket, ill. egyes kagylótöredékek esetében is megfigyelhettünk hóhatásra utaló jeleket (ld. **Melléklet – 12.c ábra**).

A **8.c ábra** egy nagy méretű inhomogén kötőanyag-rokon szemcsét mutat be, amely Mg-ban (sötét részek) és Ca-ban (világos részek) gazdag területeket tartalmaz. A kémiai összetételt a környező kötőanyag átlagos kémiai összetételével összehasonlítva csak kisebb eltérések voltak kimutathatók.



8. ábra: Keszthely-Fenekpuszta: (a) Heterogén, kalciumban gazdag (világos) és szegény (sötétebb) részekből álló habarcs kötőanyag ún. “popcorn” kalcittal (zöld nyilak). A nagy méretű dolomitkavicsok széleiken dedolomitizáltak (kék nyilak), egyes szilikátszemcsék (sárga nyíl) részleges oldódási felületet mutatnak (M25-27-es minta, SEM-BSE); (b) Másodlagos kalcium karbonát kiválások (kék nyíl) a heterogén mátrixban Ca-ban szegény, porózus meszes szemcsével (fehér nyíl) (M25-02-es minta, SEM-BSE); (c) Nagy, szögletes, kötőanyag-rokon szemcsé, erőteljes zsugorodási repedésekkel, valamint Mg-ban (sötét) és Ca-ban (világos) gazdag területekkel (M25-12-es minta, SEM-BSD)

Fig. 8.: Keszthely-Fenekpuszta: (a) Heterogeneous mortar binder consisting of calcium rich (light) and calcium poor (darker) parts with so-called “popcorn” calcite (green arrows). Rims of large dolomite pebbles (blue arrows) suffered dedolomitization; certain silicate grains (yellow arrow) show partial resorption surface (sample M25-27, SEM-BSE), (b) Secondary calcium carbonate precipitations (blue arrow) in heterogeneous matrix with a porous, dark calcareous grain (white arrow) depleted in calcium (sample M25-02, SEM-BSE); (c) Large, angular binder-related grain, with strong shrinkage cracks consist of areas rich in Mg (dark) and Ca (bright) (sample M25-12, SEM-BSD)



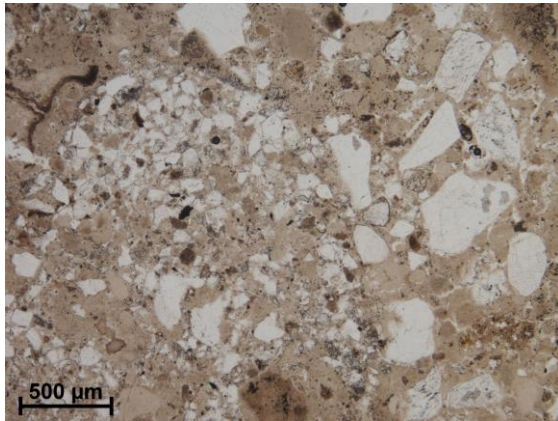
9. ábra: Keszthely-Fenekpuszta, M25-21-es minta: Kvarc és dolomitszemcsék határán a mészégetés során kialakult diopszid kristályok (világos szemcsék a BSE képen) (SEM-BSE és elemtérkép). Fotó: Pintér F.

Fig. 9.: Keszthely-Fenekpuszta, sample M25-21: Diopside crystals, formed during lime-burning, appear on the boundary of quartz and dolomite grains (light grains in BSE image) (SEM-BSE and element maps). Photo: F. Pintér.

Hasonló jellemzőket találtunk minden mintában, kivéve az 25-ös épületekből származó egyes mintáknál (pl. M25-21, I. fázis és M25-12, III. fázis), ahol a kötőanyagok és a kötőanyag-rokon szemcsék kalciumban erősen kimerültek és a Si mennyisége is több volt a többi mintához képest. A kötőanyagok kémiai összetételének eloszlása – mint ahogy azt már a bevezetőben is említettük – itt sem volt egyértelműen adott építési fázishoz köthető.

A SEM-EDX vizsgálat során a mészégetésre használt konkrét forráskőzet szövetére utaló részleteket nem, vagy csak korlátozottan lehetett megfigyelni. Ez utóbbihoz példaként említhetők az egykori dolomitszemcsék körvonalait alig felismerhetően tartalmazó csomók. A SEM-BSE megfigyelésekkel jól korrelálnak, illetve kiegészítik azokat a petrográfiai vizsgálatok során észlelt, termikusan részlegesen bontott, korábban említett recens molluszka héj töredékek és dolomitkavicsok, amelyek egyértelműen beazonosíthatóvá teszik a kötőanyag előállításához használt nyersanyagok egyes típusait.

A durvább szemcsés kötőanyag-rokon szemcsék sok mintában tartalmaznak SiO_2 maradványokat, amelyekben a főelemek (Ca, Mg és Si) eloszlása az égetés során korlátozottan kialakult, feltételezhetően nem sztöchiometrikus fázisok meglétére utalnak. Az eredeti nyersanyag karbonátos (dolomitos) és szilícium-dioxid (feltehetően kvarc, esetleg kova) komponensei közötti reakcióra csak néhány mintában találtunk egyértelmű bizonyítékot. Egy kötőanyag-rokon maradványban (M25-21-es minta) az égetés során képződött másodlagos fázisok voltak kimutathatóak. A Ca:Mg:Si ~ 1:0,9:1,9 atomaránya diopszid, $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ jelenlétére utal (9. ábra). Ez a piroxén a természetben előforduló kontakt metamorf folyamatokhoz hasonlóan (pl. kontakt metamorf karbonát kőzetekben, dolomitos márványokban), ill. mesterséges termékekben (pl. kerámiák, salakok és történelmi cementek) is képződhet az égetés során, ahol a Mg-ban gazdag karbonát komponensek reakcióba lépnek szilikát-ásványokkal végeredményben Ca-Mg-szilikátokat képezve (Cultrone et al. 2001).



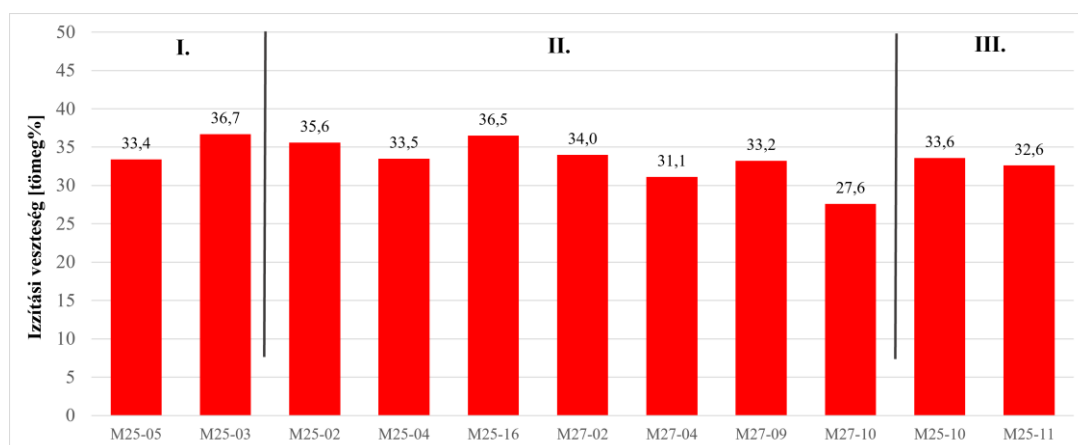
10. ábra: Keszthely-Fenekpuszta, M25-08a minta: égetés hatására átalakult, a kötőanyaggal azonos megjelenésű meszes homokkő-maradvány (szaggatott vonallal jelölve) (polarizációs mikroszkópia, 1N). Fotó: Józsa S.

Fig. 10.: Keszthely-Fenekpuszta, sample M25-08a: residue of a calcareous sandstone grain (marked with the dashed line) transformed due to firing and showing identical appearance to the binder (polarized light microscopy, PPL). Photo: Józsa S.

Karbonát-szilikát reakcióra további példát találunk a III. fázishoz tartozó minták egyikében (M25-08a), amelyben nagy méretű, eredetileg CaCO_3 kötőanyagból és sziliciklasztos törmelékből álló szemcsék (valószínűleg a miocén meszes homokkő töredékei) figyelhetők meg. Az eredeti karbonát cement szinte teljes mértékben átalakult és a habarcs kötőanyagával megegyező szöveti, illetve optikai jellegeket mutat (**10. ábra**). A sziliciklasztos komponensek vékonycsiszolatban megfigyelhető határvonala elmosódott, amely az égetés

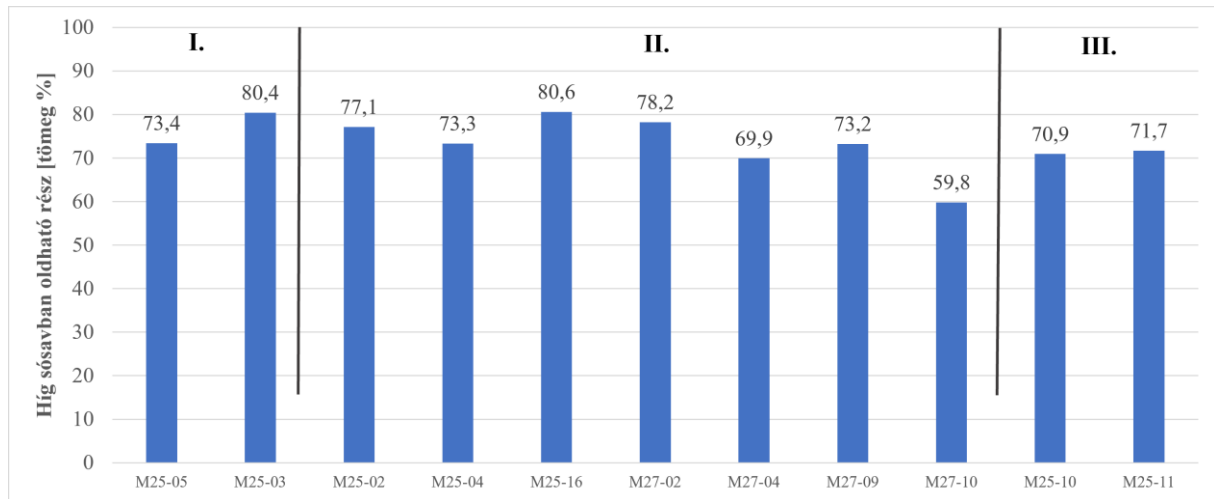
során a szilikát és karbonát komponensek között lejátszódó reakciót és végeredményben enyhén hidraulikus tulajdonságokkal rendelkező új fázisok létrejöttét jelezheti. Bár a fent említett komponensek arra utalnak, hogy a habarcs kötőanyagok előállításához használt forrásközet és/vagy nyersanyagkeverék szilícium-dioxid vagy kovakomponenseket tartalmazott, mennyiségük és eloszlásuk egyértelműen azt mutatja, hogy a minták többségében csekély mértékű szennyeződésekről van szó.

Végezetül számos habarcsmintában, a kötőanyaghoz hasonlóan, egyes adalékanyagok megjelenése is utólagos mállási folyamatok hatására utal. A dolomitszemcsék körüli oldódási peremek dedolomitizációt jeleznek, ahol a $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ porusoldatok hatására lebomlott, és reakciótermékként $\text{Mg}(\text{OH})_2$, ill. CaCO_3 keletkezett (**8.a ábra**). A reakció jól ismert a portlandcement-alapú betonokban (Katayama 2010), de bizonyos körülmények között kialakulhat történelmi mészalapú habarcs kötőanyagokban is. Több mintában is megfigyeltük, hogy számos kvarc és földpát adalék szemcse felületén is oldódási jelenségek mutatkoznak (**8.a ábra**). A jelenség gyakran megfigyelhető – mint a mi esetünkben is – régészeti ásatások során talált, főleg ókori történelmi habarcsoknál (Weber et al. 2015). Bár a reakciók még nem teljesen tisztázottak, feltételezhető, hogy a hosszú ideig tartó eltemetődés és a nagy nedvességtartalom, ill. elemgazdag (magas pH-jú?) porusoldatok hatására az adalék földpát- vagy akár kvarcszemcséinek felülete lassan és kis mértékben feloldódhat. A felszabaduló szilikagél kitölti a mikroporusokat, ami lokálisan a kötőanyag másodlagos vagy „látens hidraulikus” tulajdonságait okozza (Weber et al. 2015).



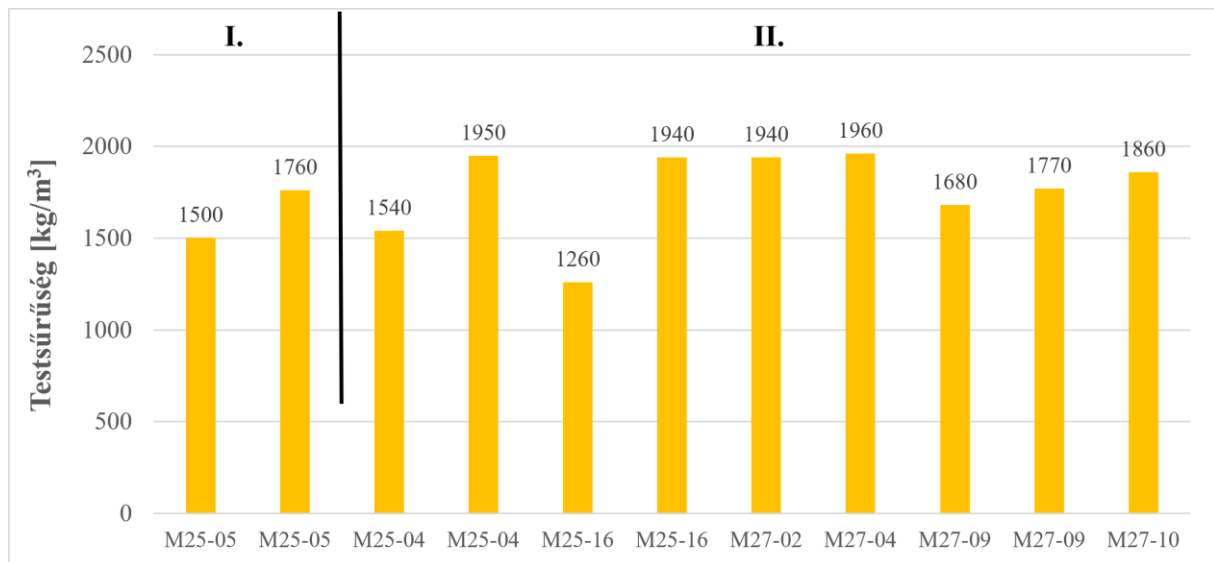
11. ábra: Keszthely-Fenekpuszta: Habarcsok izzítási vesztesége a kronológiai fázisok (I-III.) szerint ábrázolva (mintaszámok a vízszintes sorban). Grafika: Török Á., Pintér F.

Fig. 11.: Keszthely-Fenekpuszta: LOI (loss of ignition) of mortars illustrated by chronological phases (I-III) (sample numbers in horizontal rows). Graphic: Á. Török, F. Pintér.



12. ábra: A Keszthely-fenékpusztai habarcsok híg sósavban oldható része a kronológiai fázisok (I-III.) szerint ábrázolva (mintaszámok a vízszintes sorban). Grafika: Török Á., Pintér F.

Fig. 12.: Mortars of Keszthely-Fenékpuszta, parts soluble in dilute hydrochloric acid, divided by chronological phases (I-III) (sample numbers in horizontal rows). Graphic: Á. Török, F. Pintér.



13. ábra: A Keszthely-fenékpusztai habarcsok testsűrűsége a kronológiai fázisok (I-II.) szerint ábrázolva (mintaszámok a vízszintes sorban). Grafika: Török Á., Pintér F.

Fig. 13.: Mortars of Keszthely-Fenékpuszta, the body density of mortars divided by chronological phases (I-II) (sample numbers in horizontal rows). Graphic: Á. Török, F. Pintér.

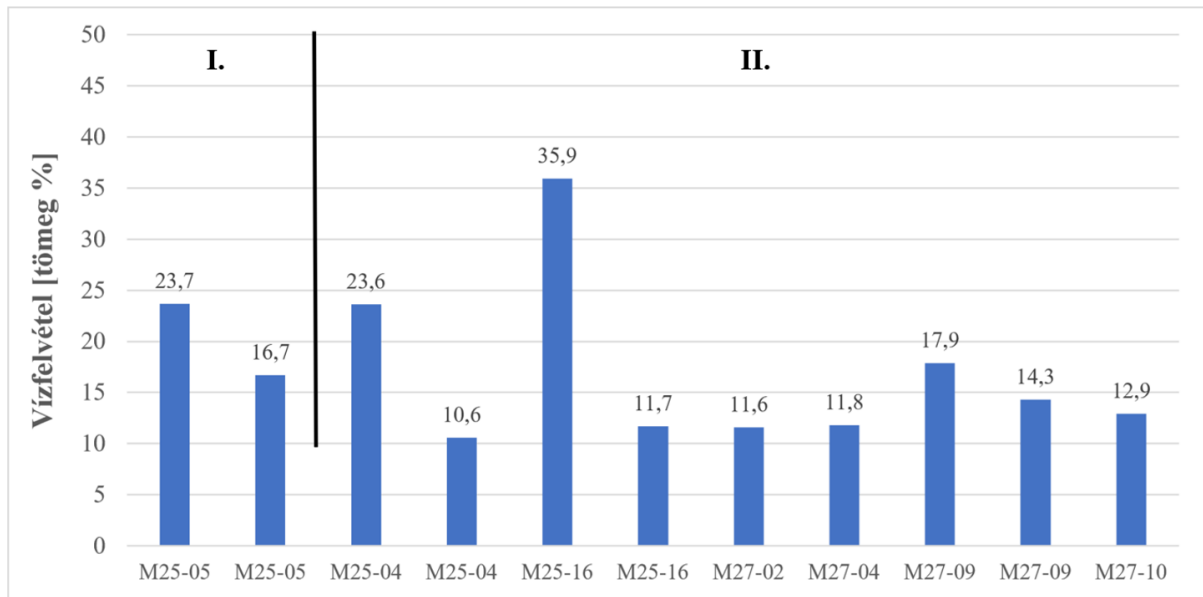
Méregológiai vizsgálati eredmények

A habarcsok izzítási vesztesége és híg sósavban való oldható frakció százalékos aránya jól tükrözi a habarcsok összetételét. Az izzítási veszteség 30% feletti a legtöbb minta esetében, a **11. ábrán** az is látható, hogy olyan római kori fugázó habarcsot (M27-10) is használtak a II. kronológiai fázisban, amelynél ez az arány 28% körüli volt.

A híg sósavban való oldást követően látható, hogy a habarcsok uralkodó része karbonátos összetevőket tartalmaz. A méréseink szerint a karbonát tartalom 70% feletti (kivéve az M27-10-es mintát, amelyben

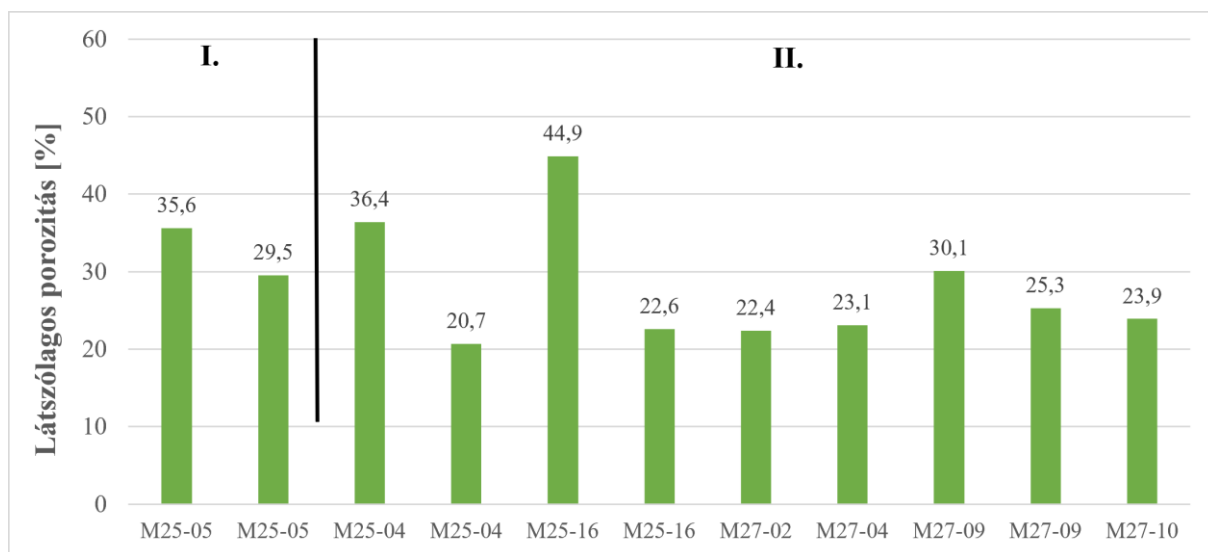
60% (**12. ábra**) és a három vizsgált periódusokból származó habarcsok karbonát tartalma nem különül el élesen egymástól. A karbonáttartalom-vizsgálat esetében azonban meg kell jegyeznünk, hogy a mérési eredmények nemcsak a kötőanyag, hanem részben az adalékanyagok karbonát tartalmát is tükrözik, mivel ezen komponensek egy része szinten a savas kezelés hatására szintén oldatba kerülhetett.

A termoanalitikus (derivatográfias) mérések igazolták a mikroszkópos elemzéseket. A karbonát frakció uralkodó ásványa a dolomit, ami a habar-



14. ábra: A Keszthely-fenekpusztai habarcsok vízfelvétele a kronológiai fázisok (I-II.) szerint ábrázolva (mintaszámok a vízszintes sorban). Grafika: Török Á., Pintér F.

Fig. 14.: Mortars of Keszthely-Fenekpuszta, the water absorption of mortars divided by chronological phases (I-II) (sample numbers in horizontal rows). Graphic: Á. Török, F. Pintér.



15. ábra: A Keszthely-fenekpusztai habarcsok látszólagos porozitása a kronológiai fázisok (I-II.) szerint ábrázolva (mintaszámok a vízszintes sorban). Grafika: Török Á., Pintér F.

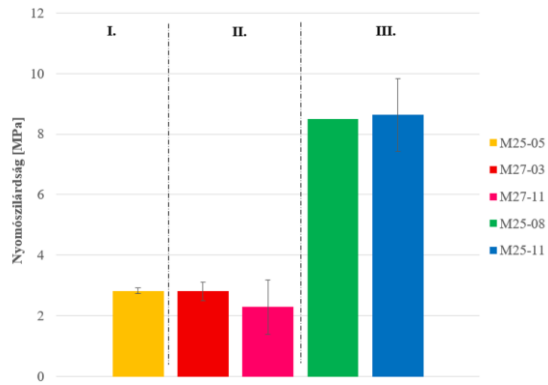
Fig. 15.: Mortar of Keszthely-Fenekpuszta, the virtual porosity of mortars divided by chronological phases (I-II) (sample numbers in horizontal rows). Graphic: Á. Török, F. Pintér.

csak adalékanyagának nagy dolomittartalmára utal és a mikroszkópos eredményekkel jól korrelál.

A habarcsok testsűrűsége szélsőségesen, 1260 kg/m^3 (egy minta) és 1960 kg/m^3 között szór az I., a II. és a III. kronológiai periódusból származó habar-csoknál, de jellemzően $1500\text{--}1960 \text{ kg/m}^3$ közötti (**13. ábra**).

A habarcsok (**14. ábra**) vízfelvétele – amely során 10 és 36% közötti értékeket mértünk – szorosan összefügg látszólagos porozitásukkal (**15. ábra**).

A habarcsminták szilárdsági paramétereit a pontterheléses vizsgálatok alapján lehetett meghatározni. A méréseket a különböző kronológiai fázisokhoz köthető mintákon végeztük. Az eredmények azt mutatják, hogy az első két fázis között nincs nagy különbség. A harmadik fázisban azonban a vizsgált habarcsminták (M25-08, M25-11) jóval nagyobb szilárdságúak (**16. ábra**).



16. ábra: A Keszthely-fenekpusztai habarcsok átlagos nyomószilárdsága a kronológiai fázisok (I-III.) szerint ábrázolva (a mérési eredmények szórását oszlopok jelzik, a mintaszámok az ábra jobb oldalán találhatóak). Grafika: Török Á., Pintér F.

Fig. 16.: Mortars of Keszthely-Fenekpuszta, the average compressive strength of mortars divided by chronological phases (I-III) (standard deviation of measurement results is indicated by columns, sample numbers are indicated on the right side of the chart). Graphic: Á. Török, F. Pintér.

Diszkusszió

Vizsgálataink során három különböző módszer együttesen elemeztük a Keszthely-fenekpusztai római erőd három épületmaradványának habarcsmintáit. A 25-ös épületet a 3. század végétől a 7. század elejéig használták, ez alatt három nagyobb mértékű átépítésen esett át. Az első fázis (I.) a 3. század végétől indul és az erőd építése előtti korszakra vonatkozik. A második fázis (II.) az erőd építésével egyidejű volt, tehát a 4. század közepétől az 5. század második negyedéig tartott. A harmadik fázis az 5. század közepétől a 7. század elejéig keltezhető (III.). A két másik épület, a 24-es és a 27-es az erőddel egy időben volt használatban, tehát ennél a két épületnél csak a II. kronológiai fázis volt megfigyelhető.

A polarizációs mikroszkópos vizsgálat alapján megállapítható, hogy a vizsgált fenekpusztai habarcsok készítéséhez az adalékanyagokként a lehető legközelebbi területen található alkalmas nyersanyagokat használták. A habarcsok döntő többségénél az adalékanyag legnagyobb mennyiségét a főleg nagyméretű, jól koptatott dolomit-szemcsék teszik ki. Ez az anyag nagy valószínűséggel a Keszthelyi-hegység déli pereméről, a Pannon tenger partján képződött abráziós konglomerátum (Békési Formáció, Diási Tagozat) kisebb foltokban megtalálható feltárásaiból származik. Az építkezéshez vagy ezekből a feltárásokból közvetlenül, vagy innen, az időszakos vagy állandó helyi vízfolyások által, illetve gravitációsan később áthalmozott anyag lelőhelyeiről szerezték be. Alkalmas körülmények között – pl. partközeli eredeti feltárás,

vagy nagytömegű anyagszállítás – az anyag akár a Balaton partjáig, sőt kicsit beljebb is eljuthatott és ott összekeveredhetett a parton felhalmozódott törmelékanyaggal, így a hullámverés által koptatott molluszka vázelemekkel is. Ezeken a helyeken lehetett megtalálni a recens tóparti iszapot is a meszes vagy korhadt növénymaradványokkal. Fontos lehetett a kötés erősítése szempontjából, hogy a nagyméretű koptatott mészszenyagú szemcsék közé kisebb méretű szögletes sziliciklasztos törmelék szemcsék is kerüljenek szintén jelentős mennyiségben. Ez az anyag is rendelkezésre állt a „pannóniai” homoktartalmú üledékek formájában Keszthely környékén (Békési Formáció Kállai Tagozat és Újfalu Formáció Somlói Tagozat). A durvább szemcsés kalcittal cementált homokkő szemcsék ugyanezen homokösszetek cementált padjaiból származhatnak. Ez jól kiegészíti azt a képet, hogy az épületeknél és védműveknél felhasznált homokkő és mészkő alapanyag szintén a közelből, feltehetően a Balaton északi partjáról (Keszthelyi-hegység) származik.

A vizsgált anyagok közül a 24-es épület fürdőmedencéjéből származó egyikmintában (M24-07) csak égetett agyagtermékek töredékei (pl. cserépedény, tetőcserép stb.) voltak megfigyelhetők. Ez az összetétel olyan ókori puccolános mészkötő anyagokra jellemző, amelyeket nedves környezetben (pl. vizes helyiségek, csatornák, víz alatti műtárgyak, stb.) alkalmaztak. Az alacsony hőfokon égetett kerámiából készített örlemény puccolános (hidraulikus) reakcióba lép az oltott mésszel, ami által vízálló kalcium-szilikát hidrát és kalcium-aluminát hidrát fázisok keletkeznek vízállóvá és nagyobb szilárdságúvá téve az eredetileg nem vízálló mészhabarcsot. Kerámia töredékeket majd minden mintában megfigyelünk, azonban ezek – többi adalékanyaghoz viszonyított – kisebb mennyisége arra utal, hogy nem állt belőlük rendelkezésre nagyobb mennyiség. Ez is és mikroszkópi megjelenésük is azt támasztja alá, hogy helyben, vagy közelben készült edények véletlen törés által keletkezett töredékeiről lehet szó és a – fenti példa kivételével – a habarcsok többségében csak újra felhasználásként és nem a habarcs minőségének javítása érdekében kerültek bele.

Az adalékanyag egyes szemcsefajtainak részletes mennyiségi értékelése, ahogy a bevezetőben írtuk, nem képezi jelen tanulmány tárgyát. Az itt bemutatott előzetes vizsgálati eredmények alapján azonban megállapítható, hogy van néhány olyan törmelékfajta, amelynek mennyiségi adatai alkalmasak az egyes kronológiai fázisok közötti különbségtételre. Négy különböző adalékanyag mennyiségi adatai vonatkozásában is különbség mutatkozott a III. kronológiai fázis és a korábbi korszakokhoz köthető habarcsminták között. Az I-II. periódus egységes képe a közös római gyökerekkel magyarázható, ezért is érdekes, hogy a

III. (már népvándorláskori) építkezési egységek mintáinak adalékanyagai némileg eltérő képet mutatnak.

A polarizációs mikroszkópos vizsgálat lehetővé tette a kötőanyag egyes komponenseinek megfigyelését is. Mikroszkópi bélyegek alapján (méret, termet, alak, koptatottság, szövet) egyértelműen kimutatható volt, hogy a habarcs kötőanyagának készítéséhez (égetéséhez) nagy mennyiségben használták az adalékanyagoknál ismertetett mészes anyagú, abráziós eredetű kavicsokat az ott leírt beszerzési lehetőségeket kihasználva.

A laboratóriumi geokémiai és mérnökgeológiai vizsgálatok alapján a kötőanyagokról a petrográfiai megfigyelésekkel jól korreláló, viszonylag egységes kép rajzolódik ki, amelynek a fő sajátossága, hogy mindhárom kronológiai fázisban változó, de nagy karbonát tartalmú habarcsokat használtak. A minták szinte mindegyikére jellemző a kötőanyagok kémiai heterogén jellege, amely a Ca/Mg és a Ca+Mg/Si(+Al) arányok változásában és számos Ca-ban, Mg-ban, Si-ban és Al-ban gazdag kötőanyag-rokon fázis inhomogén eloszlásában tükröződik. Az értékek alapján a minták, változó magnézium, szilícium és alumínium tartalmú mészhabarcsként, ill. dolomitos mészhabarcsként jellemezhetőek. A habarcsok fizikai tulajdonságainak elemzése igazolta, hogy az alkalmazott római kori dolomitos habarcsok még évezredek után is megfelelő szilárdsággal rendelkeznek. Látszólagos porozitásuk 20% feletti, de egyes minták esetén meghaladhatja a 40%-ot is. Testsűrűségük 1260 kg/m³ és 1960 kg/m³ közötti tartományt ölel fel. Ezen paraméterek alapján azonban a három kronológiai fázis habarcsai között nincsenek döntő különbségek. A pontterheléses mérések ezzel szemben azt mutatták, hogy a harmadik kronológiai fázisba tartozó vizsgált habarcsok közül kettőnek (M25-08, M25-11) a szilárdsága határozottan nagyobb (átlagosan 8 MPa feletti), mint az első két fázisban (I-II.) mért habarcsok szilárdsági értékei, amelyek 4 MPa alatt adódtak. Továbbá az is megállapítható, hogy ezek a minták valamivel kisebb karbonát tartalmúak, kevésbé porózusak és nagyobb testsűrűségűek, amelyek a korábbi habarcsokkal nem teljesen kompatibilis fizikai tulajdonságokat jeleznek. A kötőanyagok mikroszkópban megfigyelt homogén, szinte repedésmentes megjelenése, kis mikroporozitása, a mátrix relatív nagy Si-tartalma, valamint a mintában észlelt égetett karbonát és szilikát komponensek megléte a kötőanyag egykor gyengén hidraulikus tulajdonságaira utalhatnak. Végezetül a mátrix jellegzetes megjelenése másodlagos betemetődési folyamatok nyomait is magán hordozza, amelyek nemcsak a kémiai összetételt, de a mikroszerkezetet is megváltoztatták és így részben hatással lehetnek a

mért nagyobb szilárdsági, valamint kisebb porozitási értékekre is.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mészégetéshez mindhárom periódusban azonos típusú vagy nagyon hasonló jellegű, kevert összetételű nyersanyagokat használtak. A dolomit, mint jellegzetes nyersanyag-komponens, számos mintában direkt kimutatható volt, azonban a minták kémiai összetételéből adódóan biztosan nem tekinthető az égetés során felhasznált egyedüli anyagnak. A geokémiai és a petrográfiai vizsgálatok megerősítették, hogy a mészégetéshez használt nyersanyag nem szálkőzet előfordulásból kitermelt karbonátos kőzet, hanem az erőd közelében előforduló, helyi vegyes (kalcitos, dolomitos, szilikátos) összetételű laza, könnyen kitermelhető (recens) üledék lehetett, amely nemcsak üledék szemcséket, ásvány- és közettöredékeket, de kagylómaradványokat is tartalmazott. Ez a technológiai alkalmazás nem ismeretlen római kori, provinciális építményeknél. Az ausztriai Enns (*Lauriacum*) településen feltárt késő római kori villa építésénél használt habarcsok összetételében is kimutatható volt, ill. a közelben feltárt római kori mészégető kemencékből is előkerültek az Enns-folyó által szállított mészkő kavicsok és görgetegek maradványai, amelyeket – helyi mészkő előfordulás híján – a habarcs kötőanyagok égetésére és előállítására használtak (Wacha 2010; Linke et al. 2017).

Habarcs technológiai szempontból a legizgalmasabb kérdés az egységesebb I. és II. periódusok utáni III. periódusban megjelenő eltérő tulajdonságú és megnövekedett nyomószilárdságú habarcsok értelmezése. Hangsúlyozni kell azonban, hogy ezt a megfigyelést nem feltétlenül kell technológiai fejlődésnek interpretálni, hanem pl. a habarcsok építészeti használatára is vissza lehet vezetni. Ezen habarcsok ugyanis 1,5–1,8 méter mély és minimum 1x1,6 méteres pillérek kötéséből származnak. Ezeknek már a dimenziói is azt mutatják, hogy komoly statikai jelentőségük volt a felmenő falak, a tetőzet tartásában, amihez a habarcsok szilárdsága párosulhatott. A nagyobb nyomószilárdsággal bíró habarcs használatának elmélete jelen esetben azért is különösen érdekes, mert a fizikai tulajdonságaik szervesen összefüggenek a mintákban megfigyelt karbonát-szilikát reakciókkal és azoknak a kötőanyagra gyakorolt hatásával. Mindazonáltal fontos megjegyezni, hogy a késő antik és koraközépkorból a puccolános kötőanyagokon kívül nem ismertek olyan hidraulikus termékek, amelyek kimondottan csak a nyersanyag égetésével kerültek volna előállításra. Így a jelen eredmények alapján nem lehet egyértelműen bizonyítani az esetlegesen hidraulikus tulajdonságokkal rendelkező kötőanyagok szándékos alkalmazását az épület teherhordó szerkezetei esetében.

Az 5–6. században, a római kort követően Pannoniából alig ismerünk új vagy olyan átépített köépüle-

teket, mint a Keszthely-fenekpusztai 25-ös épület. Párhuzamokat leginkább a Drávától délre (pl. Sremska Mitrovica/*Sirmium*) és a balkán provinciákban találunk, de hasonló vizsgálati eredmények a habarcsok kapcsán itt még hiányoznak. A kérdésre, hogy a Keszthely-fenekpusztai–pannoniai viszonylatban már a római koron túli habarcs-használatra vonatkozó megfigyelések–mennyire egyeznek vagy térnek el ettől az iránytól, csak kiterjedtebb és összehasonlító vizsgálatokkal lehetne megnyugtatóan választ adni.

Végezetül megemlítendő, hogy bár a 15 hektár nagyságú erőd felépítéséhez nagy mennyiségben kellett meszet égetni, ennek régészeti nyomait egyelőre nem sikerült megtalálni Keszthely-Fenekpusztán. Feltehetően az erődön kívüli, nyugatra, illetve északra eső területeken kereshetnénk ezeket, de erre irányuló régészeti kutatások a területen még nem voltak.

A Keszthely-Fenekpusztáról származó habarcsok kutatása önmagukban is fontos eredményeket hozott. A habarcsok fizikai tulajdonságainak elemzése igazolta azt, hogy az alkalmazott római kori meszes-dolomitos fugázó habarcsok, még másfél évezred után is megfelelő szilárdsággal rendelkeznek. Fontos kiemelni, hogy az alkalmazott habarcsok porózusak, jó vízáteresztő-képességűek, ami biztosította a falak átszellőzését.

Konklúzió

Vizsgálataink során három különböző módszer együttessel elemeztük a Keszthely-Fenekpuszta római erőd három épületmaradványának habarcs mintáit. A habarcsok eltérő szempontú, más-más tulajdonságaira irányuló vizsgálatával kapott eredmények egymással jó összhangban vannak, egymást megerősítik és kiegészítik a habarcsok anyagára, összetevőik származási helyére, készítési módjára és fizikai tulajdonságaira vonatkozó tudásunkat egyaránt. A Keszthely-fenekpusztai habarcsminták vizsgálatával átölelt közel 300 év (3. század vége – 7. század eleje) különleges lehetőséget nyújt Pannoniában a római hatalom jelenlétén túlmutató változás diáchrón, korszakokon átívelő áttekintésére. Így a jelen tanulmány végül arra is rávilágít, hogy a Keszthely-fenekpusztaihoz hasonló régészeti jelenségek komplex, összehangolt geoarcheometriai vizsgálata új, az archeológia keretén túlmutató következtetésekre ad lehetőséget.

Szerzők tudományos közreműködése

Józsa Sándor Módszertan, Validálás, Formai elemzés, Kísérletvezetés, Kísérleti munkák, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Pintér Farkas** Validálás, Kísérletvezetés, Kísérleti munkák, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció. **Török Ákos** Validálás, Kísérletvezetés, Kísérleti munkák, Adatkezelés, Eredeti kézirat. **Heinrich-Tamáská Orsolya** Kutatásvezetés, Mód-

szertan, Kísérletvezetés, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció, Pályázás.

Köszönetnyilvánítás

A habarcsminták petrográfiai vizsgálatát anyagilag a Leibniz-Institut für Geschichte und Kultur des östlichen Europa (GWZO) támogatta. Köszönettel tartozunk továbbá a Balatoni Múzeumnak (Keszthely), a Nemzeti Kulturális Alapnak (NKA) és a Heidelbergi Egyetem Régészeti Tanszékének, amely intézmények támogatásával az ásatások Keszthely-Fenekpusztán 2009 és 2017 között megvalósulhattak. A habarcsok műszaki földtani összetételi elemzésében Rónaky Viktória és Dr. Csányi Erika (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék) nyújtottak segítséget.

Irodalom

BOHN, P. (1975): A Keszthelyi-hegység komplex földtani vizsgálatának újabb eredményei. *Földtani Közlöny* **105/1** 31–57.

BUDAI, T., CSÁSZÁR, G., CSILLAG, G., DUDKO, A., KOLOSZÁR, L. & MAJOROS, Gy. (1999): *A Balaton-felvidék földtana*. Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1: 50.000. Magyar Állami Földtani Intézet **197**, Budapest, 257 p.

CULTRONE, G., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., SEBASTIAN, E., CAZALLA, O. & DE LA TORRE, M. J. (2001): Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy* **13/3** 621–634.

<https://doi.org/10.1127/0935-1221/2001/0013-0621>

CZICZER, I., MAGYAR, I., PIPÍK, R., BÖHME, M., ČORIĆ, S., BAKRAČ, K., SÜTŐ-SZENTAI, M., LANTOS, M., BABINSZKI, E. & MÜLLER, P. (2009): Life in the sublittoral zone of long-lived Lake Pannon: paleontological analysis of the Upper Miocene Szák Formation, Hungary. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* **98** 1741–1766.

<https://doi.org/10.1007/s00531-008-0322-3>

CSÁK, Á. (1903): Fenék (Mogentiana) és területén az 1899. év folyamán teljesített első archaeológiai ásatásunk eredményeinek ismertetése. *A Balatoni Múzeum-Egyesület Első Évkönyve (Keszthely)*. **I.** 73–92.

FÓTHI, E., HEINRICH-TAMÁSKA, O., MÜLLER, R. & PERÉMI, Á. (2009): Möglichkeiten und Grenzen der Radiokarbonanalyse zur Datierung der Keszthely-Kultur. In: HEINRICH-TAMÁSKA O., KROHN, N. & RISTOW, S., szerk., *Dunkle Jahrhunderte in Mitteleuropa? Tagungsbeiträge der Arbeitsgemeinschaft Spätantike und Frühmittelalter 1.*

Rituale und Moden (Xanten, 8. Juni 2006) und 2. Möglichkeiten und Probleme archäologisch-naturwissenschaftlicher Zusammenarbeit (Schleswig, 9.–10. Oktober 2007). Studien zu Spätantike und Frühmittelalter 1. Hamburg. Verlag Dr. Kovač. 307–334.

HAAS J., szerk., (1995): *Magyarország Litosztratigráfiai Egységei. Triász*. Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa Budapest, 278 p.

HAVASI, B., HEINRICH-TAMÁSKA, O., NAGY, G. & VASÁROS, Zs. (2020): Római castrum és a Festetics majorság Fenékpusztán. Elképzések egy 21. századi kulturális turisztikai tájról. In: WIRTH, G. & KÖBLI, Á., szerk., *Huncastle II*. Budapest 131–151.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2007): Bemerkungen zur Transformation spätantiker Strukturen in Pannonien am Beispiel von Keszthely-Fenékpusztá. *Acta Archaeologica Carpathica XLII-XLIII* 199–229.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2011a): Die spätrömische Innenbefestigung von Keszthely-Fenékpusztá: Innere Chronologie und funktioneller Wandel. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O., szerk., *Keszthely-Fenékpusztá im Kontext spätantiker Kontinuitätsforschung zwischen Noricum und Moesia. Castellum Pannonicum Pelsonense 2* Budapest-Leipzig-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag. 653–702.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2011b): Überlegungen zu den „Hauptgebäuden“ der pannonischen Innenbefestigungen im Kontext spätrömischer Villenarchitektur. In: BÜLOW VON, G. & ZABEHLICKY, H., eds., *Bruckneudorf und Gamzigrad. Spätantike Paläste und Großwillen im Donau-Balkan-Raum*. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 15. Frankfurt/M. 233–245.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2013): Archäologische Forschungen in Keszthely-Fenékpusztá: eine Einführung. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O. ed., *Keszthely-Fenékpusztá: Katalog der Befunde und ausgewählter Funde sowie neue Forschungsergebnisse. Castellum Pannonicum Pelsonense 3*. Budapest-Leipzig-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag. 9–24.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2014): Research perspectives on landscape archaeology at the western end of Lake Balaton in the first millennium: In: HEINRICH-TAMÁSKA, O. & STRAUB, P. eds., *Mensch, Siedlung und Landschaft im Wechsel der Jahrtausende. People, Settlement and Landscape on Lake Balaton over the Millennia. Castellum Pannonicum Pelsonense 4* Budapest-Leipzig-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag. 403–428.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2015): Inner fortifications and the Late Roman Defensive System in Pannonia (4th/5th c. AD) – some remarks. In: VAGALANSKI, L. & CHARANKOV, N. eds., *LIMES XXII. Proceedings of the 22nd Congress of Roman Frontier Studies Ruse, Bulgaria, September 2012*. Sofia 119–125.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2017): Castra and towns in the hinterland of the Limes during Late Antiquity: Pannonia and the provinces along the lower Danube in comparison. *Acta Archaeologica Carpathica 52* 83–108.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. & PRIEN, R. (2017): Keszthely-Fenékpusztá in der Spätantike: ein Vorbericht über die deutsch-ungarischen Ausgrabungen zwischen 2009 und 2017. *Anteus 35–36* 119–145.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. & PRIEN, R. (2019): *Castrum Virtuale. Időutazás a fenékpusztai római erődben*. Keszthely. Balatoni Múzeum, 60 p.

http1: <https://map.mbfisz.gov.hu/fdt100/>

http2:

https://sztfh.hu/downloads/foldtan/kainozoos_online.pdf

HUGHES, J. J., LESLIE, A.B. & CALLEBAUT, K. (2001): The petrography of lime inclusions in historic lime-based mortars. *Annales Geologiques des pays Helleniques, Edition Speciale XXXIX* 359–364.

JÁMBOR Á. (1980): A Dunántúli-középhegység pannoniai képződményei. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 62* 259 p.

JÓZSA, S., PINTÉR, F. P., TÖRÖK Á. & HEINRICH-TAMÁSKA, O. (in prep): Evaluation of the mortar in the buildings 24, 25 and 27 of Keszthely-Fenékpusztá from the 2011–2017 excavations. In: Heinrich-Tamáška, O., Hrsg., *Neue Forschungen in Keszthely-Fenékpusztá: Landschaftsarchäologie und Naturwissenschaften*. Mit Beiträgen von Gyulai F. et al. *Castellum Pannonicum Pelsonense 9*. Leipzig-Budapest-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag.

KATAYAMA, T. (2010): The so-called alkali-carbonate reaction (ACR) - Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR. *Cement and Concrete Research 40/4* 643–675. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.020>

LINKE, R., PINTÉR, F., SANTNER, M., SAGMEISTER, A., PITTHARD, V., GRIESSER, M. & BARFUSS, S. (2017): Werktechnik der Wand- und Deckenmalerei aus dem “Haus der Medusa” – Materialwissenschaftliche Untersuchungen – In: SANTNER, M., Hrsg., *FOKUS Denkmal 8, Das Haus der Medusa – Römische Wandmalereien in Enns*, Horn-Wien, 187–207.

MÜLLER, R. (2010): *Die Gräberfelder vor der Südmauer der Befestigung von Keszthely-Fenekpuszta*. Mit Beiträgen von E. Fóthi et al. *Castellum Pannonicum Pelsonense* **1**. Budapest-Leipzig-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag, 430 p.

MÜLLER, R. (2020): A Keszthely-kultúra ma (The Keszthely-Culture today). *Archaeologiai Értesítő* **145** 69–99.

<https://doi.org/10.1556/0208.2020.00003>

PALÁGYI, Sz. (2009): A gorsiumi Villa Amasia, a későcsászárkori palota és a balácai villagazdaság főépületének összevetése. *Alba Regia* **38** 39–46.

POLE, A. B. & SIMS, I. (2015): *Concrete petrography – a handbook of investigative techniques*. 2nd edition, Boca Raton-London-New York: CRC Press 794 p.

RÓMER, F. (1862): Pannonia területén Magyarországon fennmaradt néhány római Várnáról. *Archeológiai Közlemények* **3** 26–53.

SÁGI, K. (1961): Die zweite altchristliche Basilika von Fenékpuszta. *Acta Antiqua* **9** 397–440.

SÁGI, K. (1989): Adatok a fenékpusztai erőd történetéhez (Über die Geschichte der Festung in Fenékpuszta). *Tapolcai Városi Múzeumok Közleményei* **1** 261–317.

SÁSDI, L. (2020): A Keszthelyi-hegység karsztja és fejlődéstörténete. *Karszt és Barlang* **2015-16** 33–52.

THAMÓNÉ BOZSÓ, E. (1985): A fehérvárcsurgói kvarchomok telep ásvány-közzettani vizsgálatának eredményei. *Magyar Állami Földtani Intézet évi Jelentése 1983-ról* 75–80.

TÓTH, E. (2009): *Studia Valeriana. Az alsóhetényi és ságvári erődök kutatásának eredményei. Helytörténeti sorozat* **9**. Dombóvár, 353 p.

TÓTH, E. (2020): Zu den Hauptgebäuden der spätantiken Befestigungen von Ságvár, Alsóheténypuszta und Tác. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O., Hrsg., *Castra et villae in der Spätantike: Fallbeispiele von Pannonien bis zum Schwarzen Meer. Castellum Pannonicum Pelsonense* **8** Leipzig-Budapest-Keszthely-Rahden/Westfalia, VML Verlag, 37–53.

VISY, Zs. (2018): Some Considerations on the Late Roman Fortifications of Inner Pannonia. In: SOMMER, S. & MATEŠIĆ, S., eds., *Limes XXIII. Proceedings of the 23rd International Congress of Roman Frontier Studies Ingolstadt 2015 Akten des 23. Internationalen Limeskongresses in Ingolstadt 2015. Beiträge zum Welterbe Limes*. Sonderband 4/I, Mainz, 437–443.

WACHA, R. (2010): Gravel Lime? Research into Danube gravel as the main ingredient of the historic mortars at Castle Prandegg in Upper Austria. *Proceedings of the 2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop*, 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic, 389–396.

WEBER, J., BARAGONA, A., PINTÉR, F. & GOSSELIN, C. (2015): Hydraulicity in ancient mortars: its origin and alteration phenomena under the microscope. *Proceedings 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, 17-19 June 2015, Delft, The Netherlands, 147–156.

A SÜTTŐ ÉS NESZMÉLY KÖZTI ÓSKORI LELŐHELYKOMPLEXUM KERÁMIAANYAGÁN VÉGZETT PETROGRÁFIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

RESULTS OF THE PETROGRAPHIC ANALYSIS ON THE CERAMICS FROM THE PREHISTORIC SITE COMPLEX BETWEEN SÜTTŐ AND NESZMÉLY •

GYÖRKÖS, Dorottya^{1*}; KÜRTHY, Dóra²; FEJÉR, Eszter³
NOVINSZKI-GROMA, Katalin³; SÖRÖS, F. Zsófia^{3,4} & CZAJLIK, Zoltán³

¹ Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Régészeti Intézet Archeometriai Labor, Budapest 1113 Daróczi út 3.

² Kuny Domokos Múzeum, 2890 Tata, Váralja utca 1-3.

³ Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Régészettudományi Intézet,
1088 Budapest, Múzeum krt. 4/B.

⁴ Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Régészeti Intézet, Budapest 1113 Daróczi út 3.

*Levelező szerző, e-mail: dorkagyorkos@gmail.com

Abstract

On the loess plateau between Süttő and Neszmély, traces of inhabitation can be identified from the Neolithic onwards. Archaeological finds from the Early Bronze Age to the Late Iron Age were discovered during the excavations and field walkings in 2018 and 2019. To analyse diachronic changes in the choice of raw materials from the Early Bronze Age to the Late Iron Age has never been carried out previously in Hungary. Petrographic analysis of thirty-three selected sherds was carried out after macroscopic observations. Our results show that local raw materials and similar traditions were used for several centuries from the Early Bronze Age to the end of the Early Iron Age. In the very fine clay of the Early Bronze Age, as well as in the mixed clay of the Late Bronze Age and Early Iron Age rounded, fine to coarse grained sand was used as temper. In contrast, in the Late Iron Age different raw materials from distant source areas (angular marble and calcite fragments, pure graphite and sillimanitic-graphitic rock fragments) were also used.

Kivonat

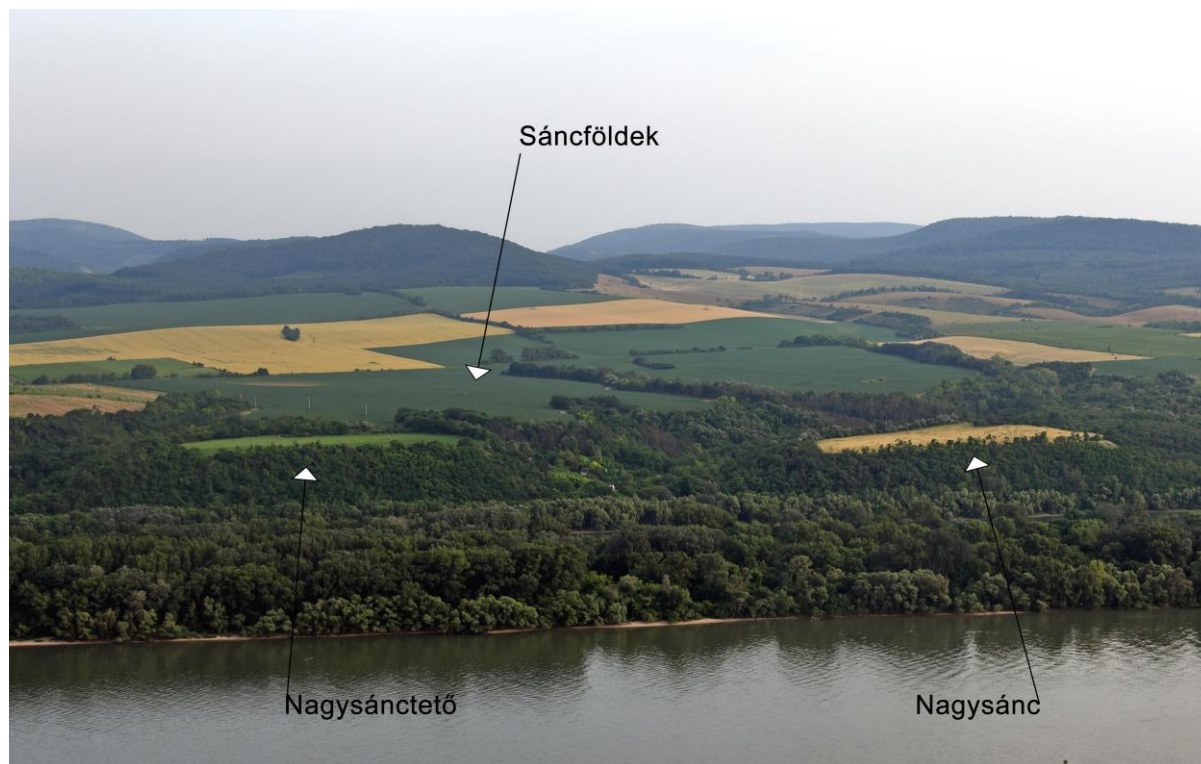
A Süttő és Neszmély közötti löszplaton a neolitikumtól kezdve azonosíthatók a megtelepedés nyomai. A 2018–2019-ben zajlott ásátáson és terepbejárásokon előkerült leletanyag a kora bronzkortól a késő vaskorig terjedő időszakra keltezhető. Magyarországon egyedülálló, hogy egy adott lelőhelykomplexumon belül ekkora időintervallumon keresztül sikerült tanulmányozni az egyes korszakok kerámiaanyagában a nyersanyagválasztás és felhasználási technika változását vagy éppen állandóságát. Harminchárom, makroszkópos megfigyelések nyomán kiválasztott kerámiatöredék petrográfiai vizsgálatát végeztük el. Eredményeink azt mutatják, hogy a kora bronzkortól egészen a kora vaskor végéig, több évszázadon át a helyi nyersanyagot és azonos tradíciót alkalmaztak. A kora bronzkorban a nagyon finomszemcsés agyagot, míg a késő bronzkorban és a kora vaskorban a kevert agyagot kerekített, finom–durvaszemcsés homokkal soványították. Ezzel szemben a késő vaskori kerámiakészítők a korábbi hagyományok alkalmazása mellett más, távolabbi forrásterületekről származó nyersanyagokat (szögletes márvány- és kalcittöredékek, tiszta grafit, illetve szillimanitos grafitos közettöredék) is felhasználtak.

KEYWORDS: SÜTTŐ, BRONZE AGE, IRON AGE, CERAMIC PETROGRAPHY

KULCSSZAVAK: SÜTTŐ, BRONZKOR, VASKOR, KERÁMIA PETROGRÁFIA

• How to cite this paper: GYÖRKÖS, D.; KÜRTHY, D.; FEJÉR, E.; NOVINSZKI-GROMA, K.; SÖRÖS, F.Zs. & CZAJLIK, Z., (2024): A Süttő és Neszmély közti őskori lelőhelykomplexum kerámiaanyagán végzett petrográfiai vizsgálatok eredményei / Results of the petrographic analysis on the ceramics from the prehistoric site complex between Süttő and Neszmély [in Hungarian with English abstract], *Archeometriai Műhely* XXI/2 183–200.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-015](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-015)



1. ábra: A Süttő és Neszmély közötti őskori lelőhelykomplexum képe légi felvételen (fotó: Czajlik Zoltán, 2023.06.22.)

Fig. 1.: The prehistoric site complex between Süttő and Neszmély on an aerial photograph (photo: Zoltán Czajlik, 22.06.2023)

Bevezetés

Komárom-Esztergom vármegye északi részén, a mai Süttő és Neszmély települések közti löszplatón intenzív őskori megtelepedés nyomai azonosíthatóak. A területen egy több mint 80 hektár kiterjedésű, több korszakos lelőhelykomplexum rajzolódik ki, amelyet északról egy magas és meredek partfallal a Duna, délről a Gerecse hegység, keletről a Bikol-patak, nyugatról pedig a Neszmély körüli dombok határolnak (**1. ábra**). A plató Dunához közeli része horhosokkal szabdalta, különböző méretű, földrajzi adottságaiknak köszönhetően jól védett egységekre tagolódik (Süttő-Nagysáncető [2587], Süttő-Nagysánc [korábban Fekete-hídi árok mellett, 2588], Süttő-Kissánc [2586]), míg a parttól távolabb eső részét nagyobb összefüggő térszínnek alkotják (pl. Süttő-Sáncföldek [2601]). A lelőhelyről nagyszámú, a középső neolitikumtól a késő vaskorig keltezhető leletanyag került elő.

Az elmúlt évtizedekben számos kutatás látott napvilágot, amely a Kárpát-medence egy-egy lelőhelyén a bronzkori vagy vaskori kerámiaanyag részletes petrográfiai vizsgálatát tűzte ki célul (többek között Varga et al. 1988, 1989; Ilon & Varga 1994; Gherdán et al. 2002, 2012, 2018; Kreiter et al. 2007; Kreiter 2009; Gregor et al.

2007, 2008; Havancsák et al. 2009, 2014; Czifra et al. 2011; Kürthy et al. 2015, 2018; Gašparič et al. 2015, 2018). Mindeddig nem közöltek azonban olyan kutatást Magyarország területéről, ahol egy lelőhelykomplexumon belül a kora bronzkortól kezdve a késő vaskorig több korszak edényeinek nyersanyagát, készítéstechnikáját és ezáltal egy adott területen élt népesség agyagművességhez köthető hagyományait ilyen hosszú időtartamon keresztül elemezték volna.

Jelen tanulmány célja, hogy a süttöi lelőhely több korszakából kiválasztott kerámiatöredékeinek petrográfiai vizsgálatával meghatározzuk a felhasznált nyersanyagok összetételét, típusát és lehetséges forrásterületeit, ezáltal pedig képet alkossunk a kerámiakészítés hozzávalóinak és technikájának változásáról.

A régészeti háttér

A lelőhelyről már közel egy évszázada ismertek régészeti emlékek, szisztematikus kutatása ugyanakkor csak a 20. század második felében kezdődött meg. 1959-ben Mozsolics Amália és Patek Erzsébet néhány kisebb felületen folytatott ásatást a helyszínen (Mozsolics & Patek 1960), az 1960-as években a Magyarország Régészeti Topográfiája projekt keretében bejárásra került a plató egy része (Horváth et al. 1979), a legjelentősebb munkák

azonban Vadász Éva és Vékony Gábor vezetésével zajlottak 1978 és 1990 között, amelyek során az őskori lelőhelyegyüttes több pontján is nyitottak szelvényeket (V. Vadász 1983; Vadász 1986; Vékony & Vadász 1982). Az ELTE BTK Régészettudományi Intézetének kutatásai 2013-tól indultak el a lelőhelyen és tartanak jelenleg is. Ennek keretében a roncsolásmentes, illetve kismértékben roncsolásos (felszíni leletgyűjtés, fémkeresős kutatások, térképező fúrás) lelőhely-diagnosztikai vizsgálatok mellett 2018-ban és 2019-ben ásatásokra is sor került (Czajlik et al. 2018; Czajlik et al. 2019; a régebbi kutatásokról összefoglalóan: Czajlik et al. 2015).

Jelenlegi ismereteink szerint a platón a legkorábbi telepnyomok a középső neolitikumhoz köthetők: a Nagysántetű néhány objektumából a közép-európai vonaldíszes kerámia kultúrájának leletanyagát tárták fel (Vékony & Vadász 1982). A következő megtelepedési horizont nagyjából 3000 évvel később, a kora bronzkorban bizonyítható. A Nagysántetűről és a Sáncföldek hozzá közeli részéről a Makó–Kosihy–Čaka-kultúra tárgyait ismerjük több gödörből (Fejér 2022), ugyanakkor a Kissáncon a kora bronzkor végére keltezhető Hatvan-kultúra Tokod-csoportjához köthető kerámiaanyagot gyűjtöttek (Bándi 1965; Horváth et al. 1979). A régészeti leletanyag tanúsága szerint a középső bronzkor időszakában a Nagysántetűn egy jelentős, sánccal és árokkal erősített település állt, amelyet egy-egy pusztulási eseményt követően kétszer is megújítottak. Az erősített település utolsó megtelepedési fázisával egy időben, annak közvetlen szomszédságában, lent a Duna partján is volt egy település, illetve szórványos nyomok utalnak arra, hogy a plató távolabbi részeit is használták ebben az időszakban. A leletek döntően a dunántúli mészbetétes kerámia kultúráját képviselik, a középső bronzkor végi koszideri horizont anyagi kultúrájában azonban más stílusjegyeket hordozó tárgyak is megjelentek (Vékony & Vadász 1982; Kovács 1988; Vékony 2000). Néhány száz évnyi elnéptelenedés után a késő bronzkorban vált ismét lakottá a terület, amit a Nagysántetűn és a Sáncföldek szomszédos részein feltárt késő halomsíros–korai urnamezős korú leletanyagot tartalmazó objektumok jeleznek (Fejér 2021). Hozzávetőlegesen 400–500 év szünet után, a kora vaskorban jelentős mennyiségű, a Hallstatt-kultúrához köthető leletanyag és a területhasználat intenzitásának növekedése figyelhető meg. Ekkor a Nagysántetűn Vékony Gábor ásatási adatai alapján egy újabb erősített települést hoztak létre, a környező területeken, a Sáncföldeken pedig egy halmok nélküli (vagy kishalmos?) temetőt alapí-

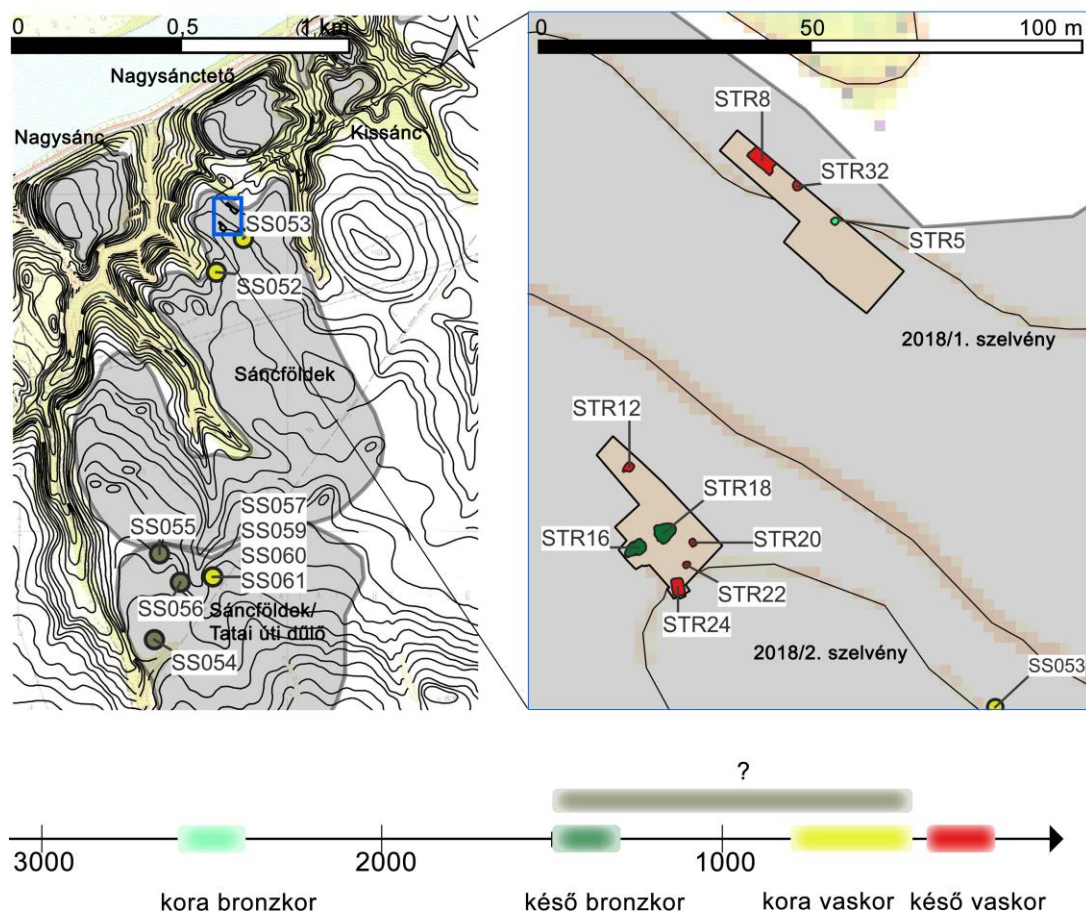
tottak és több csoportban halomsírokat emeltek. Feltételezhető, hogy a Nagysáncon is volt egy velük egykorú település (Vékony & Vadász 1982; V. Vadász 1983; Vadász 1986; Novinszki-Groma 2017). A késő vaskor folyamán újra használatba vették a területet: a Nagysáncon egy település lehetett, a Sáncföldeken pedig egy temető sejtethető, bár az utóbbi területen más kontextusból is ismertek La Tène-kultúrához köthető leletek (H. Kelemen 1987; Czajlik et al. 2019).

A vizsgált minták lelőköörülményei

Kutatásunk a Vaskor-Duna (Iron-Age-Danube) projekt keretében a Süttő-Sáncföldek lelőhelyen 2018-ban – az ELTE BTK RTI és az MNM RÖG által – végzett ásatáson (Czajlik et al. 2018) feltárt régészeti leletanyagra támaszkodik. Bár a lelőhelykomplexum más részein kevés neolitik, valamint nagyszámú középső bronzkori és kora vaskori lelet ismert, ezek a projekt ásatásán nem kerültek elő. Emiatt neolitik és középső bronzkori mintáink nincsenek, a kora vaskori darabokat pedig a szisztematikus terepbejárás során gyűjtött leletek közül válogattuk ki. A töredékeket először makroszkópos megfigyelések alapján csoportokra osztottuk, majd ezekből harminchárom mintát választottunk ki további vékonycsiszolatos vizsgálatra: kora bronzkor (5 db), késő bronzkor (10 db), kora vaskor (6 db), bizonytalan datálású, késő bronzkor vagy kora vaskor (3 db), késő vaskor (9 db). A kiválasztott minták nem minden esetben tartoznak pontosan meghatározható edénytípusokhoz. A minták részletes leírását lásd a **Mellékletben**.

A vizsgált minták lelőköörülményeit a következőkben részletezzük (**2. ábra**). A kora bronzkori Makó–Kosihy–Čaka-kultúrához köthető leletanyag (Fejér 2022) egy kb. 150 cm átmérőjű, sekély gödörből ismert (STR 5). A kerámiaanyag nagyon töredékes állapotban maradt meg (többségük oldaltöredék), amelyek közül kevés volt összeilleszthető. Az azonosított formák között kisméretű kónikus, bütyökkel ellátott tálak, bikónikus korsók, egy talpas tál, valamint közepes és nagyméretű főző- és tárolóedények találhatóak. A vizsgálatra kiválasztott öt töredékből egy bikónikus testű alacsonyabb edényhez, kettő ismeretlen típusú nagyobb edényhez, kettő pedig ismeretlen típusú edényekhez tartozik.

A késő bronzkori, a késő halomsíros–korai urnamezős kultúrához köthető leletanyag 2018-ban két egymás melletti gödörből került elő (STR 16 és STR 18, **2. ábra**). A kerámiaanyag nagyon töredezett, egész edényt nem lehetett rekonstruálni.



2. ábra: A vizsgált minták térbeli és időbeli pozíciója (térkép és grafika: Fejér Eszter, Novinszki-Groma Katalin, Sörös F. Zsófia)

Fig. 2.: The topographical and chronological position of the analysed samples (map and graphic: Eszter Fejér, Katalin Novinszki-Groma, F. Zsófia Sörös)

Az azonosítható edényformák között általánosak a behúzott peremű kónikus tálak füllel vagy fül nélkül, az S-profilú tálak és a kihajló peremű, behúzott nyakú edények, de két csücskös peremű tál és néhány kannelurázott testű edény is előfordul. Vastagabb falú zárt edények töredékei csak kis mennyiségben kerültek elő (Fejér 2012). Vizsgálatra tíz különböző edény töredékeit választottuk ki. Közöttük egy behúzott peremű kónikus tál, egy kihajló peremű kónikus tál, két kihajló peremű edény és egy erősen profilált vékony falú edény azonosíthatóak, illetve egy vastag falú, nagyméretű edény feltételezhető. További négy mintánál a típus nem meghatározható.

A Sáncföldek lelőhely nyugati peremén terepbejárások során számos késő bronzkorra vagy kora vaskorra datálható kerámiatöredéket gyűjtöttünk. Három tipológiailag nem egyértelműen meghatározható töredéket választottunk ki a vizsgálatra (minták: SS054, SS055, SS056), közülük kettő peremtöredék. Az erősen fragmentált leletanyag miatt keltezésük egyelőre nem pontosítható.

Két kora vaskori minta (SS052 és SS053) a Hallstatt-kultúra síktemetőjének (HaC–D1) zónájában végzett felszíni leletgyűjtésből származik, így valószínűleg sírkerámiaként értelmezhetők. A pontos formák nem határozhatók meg, ugyanakkor az oldaltöredékek tulajdonságai alapján nagyobb kettőskúp alakú edények vagy tálak lehettek (Czajlik et al. 2015; Vadász 1986). További négy minta (SS057, SS059, SS060, SS061) a Sáncföldek délnyugati részéről származik, feltételezhetően egy szétszántott sír maradványaiból (Czajlik et al. 2018). Egy töredék nagyobb kettőskúp alakú edény válla lehetett, két minta feltehetőleg behúzott peremű tál darabja, a negyedik vizsgált kerámia tipológiailag nem besorolható forma.

Az együtttest egy-két jellegzetes töredék alapján szintén kora vaskorinak, de a síktemetőnél fiatalabbnak gondoljuk (HaD2–D3). Ugyanakkor hangsúlyozni kell azt, hogy ezek a felszíni gyűjtésből származó kerámiák nem feltétlenül tartoztak zárt kontextushoz.



3. ábra: A vizsgált négy különböző korszak jellegzetes kerámiái: (a) kora bronzkor; (b) késő bronzkor; (c) kora vaskor; (d) késő vaskor (Fejér Eszter, Novinszki-Groma Katalin, Sörös F. Zsófia)

Fig. 3.: Characteristic ceramics from the analysed four different periods: (a) Early Bronze Age; (b) Late Bronze Age; (c) Early Iron Age; (d) Late Iron Age (Eszter Fejér; Katalin Novinszki-Groma; F. Zsófia Sörös)

A lelőhelyen több késő vaskorra (LT B1–B2a) keltezhető régészeti jelenség is feltárássra került. A terepbejárások során talált üvegkarperec töredéke valamivel fiatalabb időszakhoz (LT C1b) tartozik (Czajlik et al. 2019). A vizsgált kerámiák egy észak-déli irányú, valószínűleg feltöltődött mélyút-ként interpretálható objektumból (STR 8) és annak nyúlványából (STR 32), továbbá egy sekély gödörből (STR 20), valamint egy nagyobb, négyszögletes, nagy mennyiségű kőzetanyagot, többek között őrlőkő töredékét tartalmazó gödörből (STR 12) származnak (**2. ábra**).

A leletanyag kevés tipológiailag jól körülhatárolható töredéket tartalmaz: korongolt S-profilú tál, hornyolt vállú, bordával díszített csupor, kézzel formált, lécrátéttal díszített edény, grafitos szitula. A vizsgálatra kiválasztott korongolt minták egy ismeretlen típusú tálhoz, egy ívelt hasú edényhez (szintén tálhoz?), egy sávos hastörésű ismeretlen típusú edényhez, a kézzel formált minták pedig egy behajló peremű tálhoz, két ismeretlen típusú házi kerámiához és három tipológiailag nem meghatározható edényhez tartoznak.

Vizsgálati eredmények

Az alaptestek anyagát, szövetét és nem plasztikus elegyrészeit Nikon ECLIPSE LV100POL típusú polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk, a képeket Nikon DS-Fi1 típusú kamerával készítettük. Az elegyrészek térfogatszázalékos arányának és kerekítettségének megállapításához a Prehistoric Ceramics Research Group (PCRG 2010) ajánlását, a szemcseméret-tartományok meghatározásakor Adams et al. (1984) felosztását vettük alapul.

Makroszkópos vizsgálati eredmények

Makroszkóposan a kora bronzkori kerámiák többségénél változó mennyiségű finom–durva homok méretű szemcse (pl. SS034), ritkán fekete vagy vöröses színű agyagos közettöredék, illetve tört kerámia figyelhető meg. Az edények felülete legtöbbször matt és simított; a nagyobb edények hasának külső oldalát fésűzéssel vagy seprűzéssel durvították (pl. SS031, **3.a ábra**).

A késő bronzkori edények között a leggyakoribbak a finom–durvaszemcsés homok méretű szemcséket tartalmazó kerámiák, amelyekben gyakoriak az

agyagos közettöredékek, illetve tört kerámiák (pl. SS037, SS038, **3.b ábra**). A késő bronzkori edények kisebb csoportját képezik a makroszkóposan "durva" kerámiák (pl. SS041, SS042), amelyekben nagyobb méretű, 2–6 mm-t is elérő agyagos közettöredékek/tört kerámiák és szemcsék azonosíthatóak. A töredékek többsége simított és matt felületű, néhány minta felszínén grafitfestés látható (pl. SS037).

A kora vaskori edényeknél aprószemcsés homok méretű szemcsék, valamint 2 mm-t is elérő agyagos közettöredékek vagy tört kerámiák figyelhetők meg. Jellemző emellett a sötét, fekete – gyakran fényezett vagy grafitfával festett – külső felületkezelés (pl. SS057, SS060, **3.c ábra**).

A késő vaskori töredékek többsége kézzel formált, de kisebb részben korongolt, finomszemcsés kerámia (pl. SS035, **3.d ábra**) is előfordul közöttük. A kézzel formált kerámiákban szürkés-fekete vagy vöröses színű, gyakran finomszemcsés kavics méretű agyagos közettöredékek (illetve tört kerámiák), valamint finom–durva homok méretű szemcsék azonosíthatók. Néhány kézzel formált kerámiában fehér szögletes–kissé kerekített <2,8 mm-es szemcsék figyelhetők meg (pl. SS048, SS051). Kevés mintában (pl. SS036) a felszínen, illetve a kerámia alaptestében finom–durva homok méretű grafit szemcsék fordulnak elő. A grafit felhasználásának módja nem tekinthető egységességnek a leletanyagban. A változó arányú és méretű grafitos soványítás a szitulákra és a kézzel formált edényekre egyaránt jellemző, ugyanakkor egy kézzel formált kerámiaedény külső oldalán grafitos felfényezést is meg lehet figyelni.

Mikroszkópos vizsgálati eredmények

A kerámiák a nyersanyag összetételének mennyiségi és minőségi változékonysága szerint hét fő csoportra és további alcsoportokra oszthatók.

1. csoport

A csoportba sorolt minták (késő vaskor: SS029 és kora vaskor: SS057) alapanyagát nagyon finom (<0,1 mm) szemcseméretű összetevők alkotják. A <100 µm-es elegyrészek térfogatszázalékos mennyisége szórványos (7%). Az alapanyagban monokristályos kvarc, kálicföldpát, muszkovit, biotit és opak ásványok azonosíthatók. A minták szövete hiátuszos, a szemcsék rosszul osztályozottak. A közepesen kerekített, 250–500 µm-es nem plasztikus elegyrészek aránya kevés (1–3%), kvarc és polikristályos kvarc mellett agyagos közettöredék (ARF), limonitos agyagcsomók, ritkán hornblende, illetve kvarcit közettöredék figyelhető meg (**4.a-b ábra**). Ezen kívül az SS057 mintában mikrites karbonátos közettöredék is azonosítható.

2. csoport

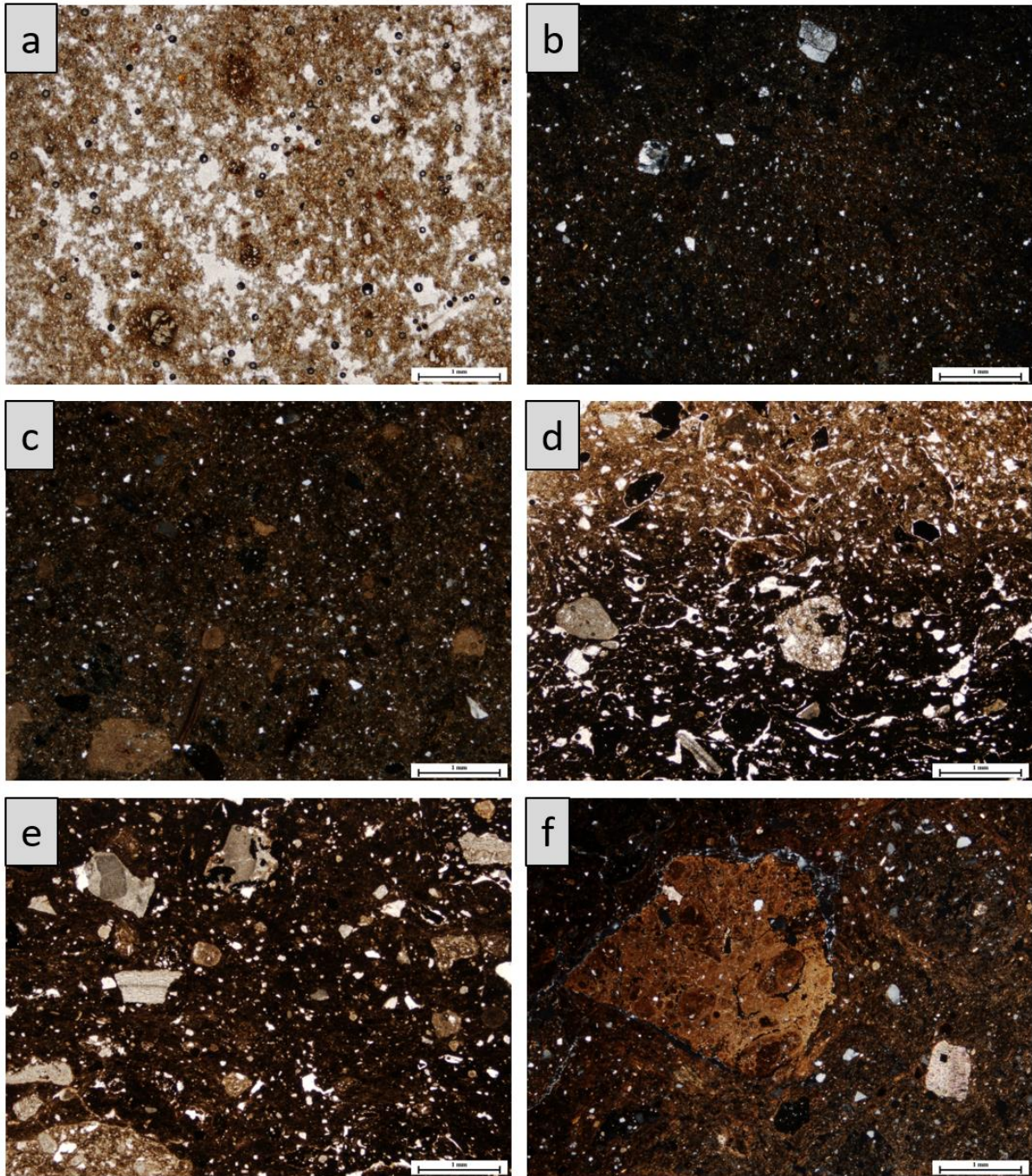
A legtöbb vizsgált minta (20 db) ebbe a csoportba sorolható. Alapanyagként kövér agyag, valamint közetlisztes agyag keverékét használták (pl. **4.f ábra és 5.c ábra**). A keverésnek köszönhető, hogy mintánként eltérő a kétféle agyagtípus aránya, valamint gyakoriak a mátrixban megjelenő agyagos közettöredékek (ARF). Utóbbiak színüket, anyagukat, méretüket tekintve nagyon változatosak. Színük egy nikollal narancssárga, sárgásbarna, illetve sötétbarna-fekete. Az agyagos közettöredékek között kövér és nagyon finomszemcsés alapanyagú töredékek is előfordulnak, melyek szövete és elegyrészei megegyeznek a befogadó kerámiával. Néhány esetben az agyagos közettöredék alapanyagában kisebb méretű agyagos közettöredék figyelhető meg. Tekintettel arra, hogy alakjuk nagyon változatos, egyértelműen szögletes töredékek nem azonosíthatók, így nem minden esetben dönthető el egyértelműen, hogy ezek agyagos közettöredékek vagy tört kerámiák. A minták szövete hiátuszos, a szemcsék eloszlása rosszul osztályozott. Az alapanyagban főként mono- és polikristályos kvarc, kisebb mennyiségben földpát, muszkovit, elszörtan biotit, cirkon, zoizit és opak ásványok azonosíthatók. A nem plasztikus elegyrészek kissé kerekített-kerekítettek. Az 1. csoporthoz képest nagyobb mennyiségű és többféle típusú nem plasztikus elegyrész azonosítható, melyek változó aránya alapján négy alcsoport különíthető el.

2A alcsoport

Két mintában (késő bronzkor: SS038 és késő bronzkor/kora vaskor: SS055) a <100 µm-es összetevők térfogatszázalékos aránya szórványos (7%). Az előforduló nem plasztikus elegyrészek aránya szórványos (3–5%), három fő méret-tartományba esnek: 150–250 µm, 400–600 µm és 800–2300 µm. Legnagyobb mennyiségben az említett változatos agyagos közettöredékek, valamint karbonátos töredékek (mikrites töredékek, illetve édesvízi mészkő megjelenésű töredékek) azonosíthatók (**4.c-d ábra**). Elszörtan egy-egy bioklaszt (valószínűleg kagylóhéjtöredék) is megfigyelhető. Az SS055 mintában emellett nagyobb méretű opak ásványok, vasborsók, illetve limonitos agyagcsomók fordulnak elő.

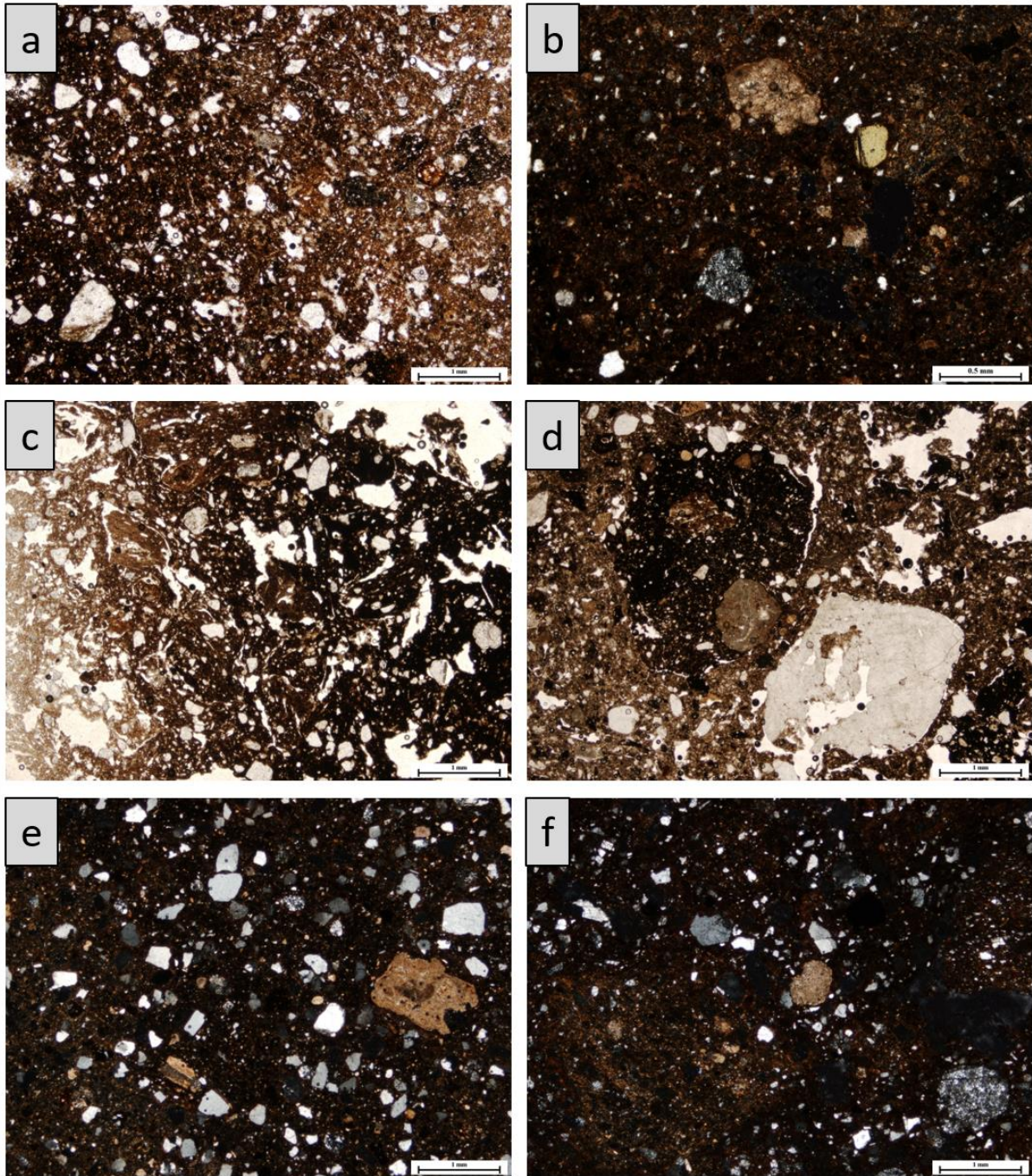
2B alcsoport

A 2A alcsoportba képest a 2B alcsoportba sorolt kerámiák (késő vaskor: SS028, SS050) alaptestében a nem plasztikus elegyrészek aránya kicsit magasabb (7%). A jellemző mérettartományok: 150–300 µm, 550–800 µm, 1500–2500 µm.



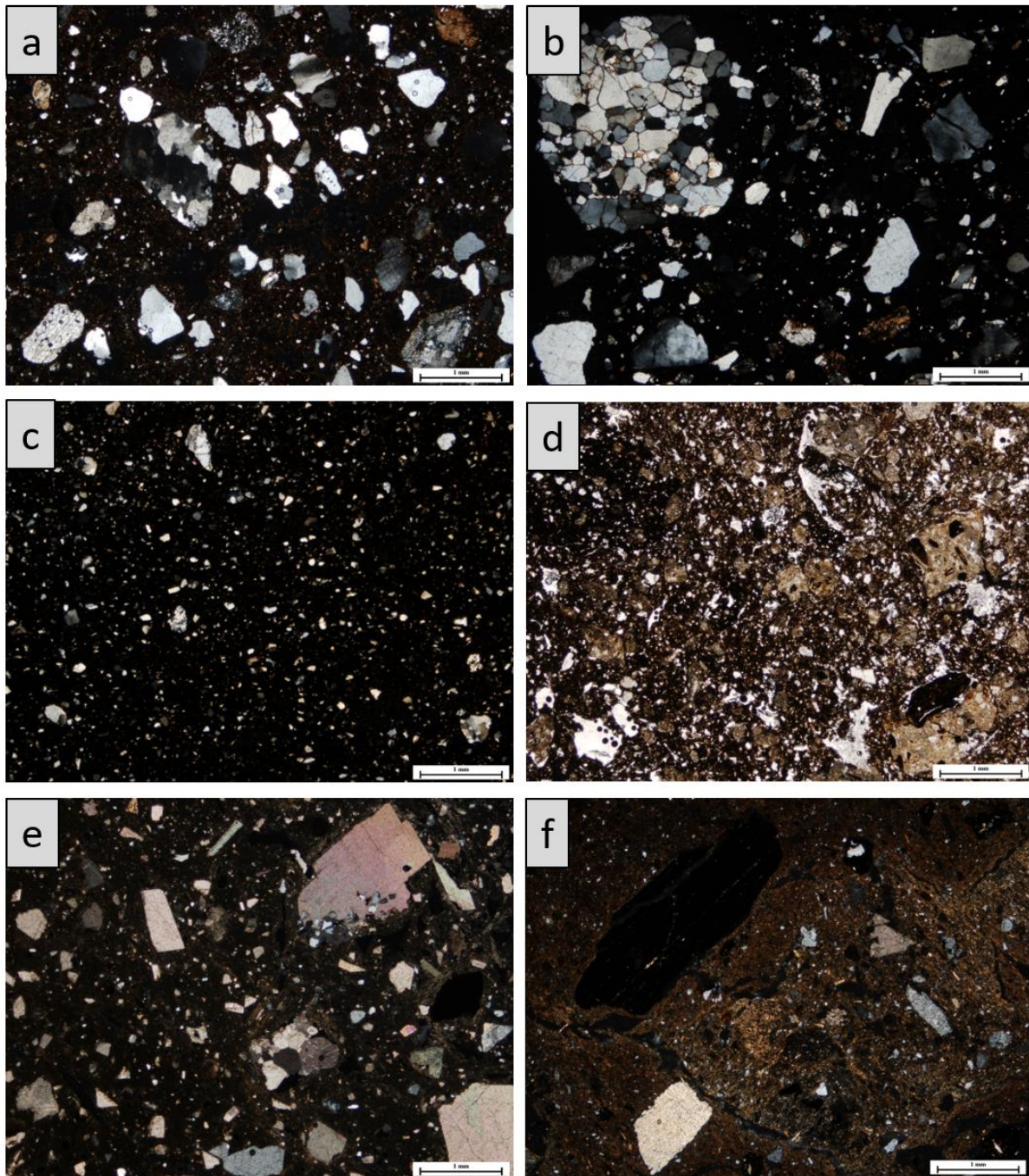
4. ábra: A jellemző szövetet és a tipikus nem plasztikus elegyrészeket bemutató polarizációs mikroszkópi képek. 1. csoport: (a) SS029 (1N) – késő vaskor, nem meghatározható edénytípus, (b) SS057 (+N) – kora vaskor, behúzott peremű tál; 2A alcsoport: (c) SS038 (+N) – késő bronzkor, behúzott peremű kónikus tál, (d) SS055 (1N) – késő bronzkor/kora vaskor, vízszintesen kihúzott peremű edény; 2B alcsoport: (e) SS028 (1N) – késő vaskor, nem meghatározható edénytípus, (f) SS050 (+N) – vörösalgás és Nummuliteszes mészkő töredékek, késő vaskor, nem meghatározható edénytípus.

Fig. 4.: Characteristic fabric of the ceramic bodies of Group 1: (a) SS029 (1N) – Late Iron Age, non-identifiable sherd, (b) SS057 (+N) – Early Iron Age, bowl with inverted rim; Subgroup 2A: (c) SS038 (+N) – Late Bronze Age, conical bowl with inverted rim, (d) SS055 (1N) – Late bronze Age/Early Iron Age, vessel with horizontally everted rim; Subgroup 2B: (e) SS028 (1N) – Late Iron Age, non-identifiable sherd, (f) SS050 (+N) – carbonated rock fragments containing Nummulites and Lithothamnium, Late Iron Age, non-identifiable sherd.



5. ábra: A jellemző szövetet és a tipikus nem plasztikus elegyrészeket bemutató polarizációs mikroszkópi képek. 2C alcsoport: (a) SS040 (1N) – késő bronzkor, nem meghatározható edénytípus, (b) SS037 (+N) – hornblende, késő bronzkor, nem meghatározható edénytípus; 2D alcsoport: (c) SS042 (1N) – késő bronzkor, nem meghatározható edénytípus, (d) SS046 (1N) – késő bronzkor, kihajló peremű edény, (e) SS053 (+N) – kora vaskor, valószínűleg nagyobb kettőskúp alakú fazék vagy tál, (f) SS060 (+N) – kora vaskor, nem meghatározható edénytípus.

Fig. 5.: Characteristic fabric of the ceramic bodies of Subgroup 2C: (a) SS040 (1N), Late Bronze Age, non-identifiable sherd, (b) SS037 (+N) – hornblende; Late Bronze Age, non-identifiable sherd; Subgroup 2D: (c) SS042 (1N), Late Bronze Age, non-identifiable sherd, (d) SS046 (1N), Late Bronze Age, vessel with everted rim, (e) SS053 (+N), Early Iron Age, large biconical pot or bowl, (f) SS060 (+N), Early Iron Age, non-identifiable sherd.



6. ábra: A jellemző szövetet és a tipikus nem plasztikus elegyrészeket bemutató polarizációs mikroszkópi képek. 3. csoport: (a) SS032 (+N) – kora bronzkor, nem meghatározható edénytípus, (b) SS034 (+N) – kvarchomokkő, kora bronzkor, egyenes aljú, bikónikus testű, cilindrikus nyakú, enyhén kihajló peremű edény; 4. csoport: (c) SS035 (+N) késő vaskor, nem meghatározható edénytípus (tál?); 5. csoport: (d) SS059 (1N) – neutrális vulkáni kőzettöredékek, kora vaskor, valószínűleg kettőskúp alakú nagyobb edény; 6. csoport: (e) SS047 (+N) – márvány- és kalcittöredékek, késő vaskor, ívelt oldalú korongolt tál; 7. csoport: (f) SS036 (+N) – grafit, késő vaskor, nem meghatározható edénytípus.

Fig. 6.: Characteristic fabric of the ceramic bodies of Group 3: (a) SS032 (+N), Early Bronze Age, non-identifiable sherd, (b) SS034 (+N) – quartz arenite, Early Bronze Age, biconical bowl with cylindrical, slightly indrawn neck, outwards thickened rim and flat bottom; Group 4: (c) SS035 (+N), Late Iron Age, non-identifiable sherd (bowl?); Group 5: (d) SS059 (1N) – neutral volcanic rock fragments, Early Iron Age, probably biconical large vessel; Group 6: (e) SS047 (+N) – marble and calcite fragments, Late Iron Age, wheel-made bowl with curved body; Group 7: (f) SS036 (+N) – graphite, Late Iron Age, non-identifiable sherd.

Az agyagos közettörredékek mellett bioklasztos mészkő törredékek fordulnak elő, amelyek vörösalga-törredékeket, valamint az SS028 mintában eocén korú nagyforaminifera-törredéket (valószínűleg Nummulitesz) tartalmaznak (**4.e-f ábra**). Az SS050 mintában porózus, néhol “bogyós/göbceses” megjelenésű, feltehetően édesvízi mészkő törredékek is megfigyelhetők. Ezen kívül az SS028 mintában hornblende, valamint egy nagyméretű (2300 µm-es) homokkő törredék azonosítható. Az utóbbit nagyrészt mono- és polikristályos kvarc, kisebb mennyiségben csillám (biotit) és földpát alkotja, kötőanyagá pátitos.

2C alcsoport

A 2C alcsoportba tartozó minták (késő bronzkor: SS037, SS039, SS040, kora vaskor: SS052, késő bronzkor/kora vaskor: SS056) alapanyagában a nem plasztikus elegyrészek aránya közepes (7–10%). Az előző csoportokra jellemző agyagos közettörredékek és a mikrites (néhol átalakult), illetve édesvízi megjelenésű karbonátos törredékek mellett főként kvarc, polikristályos kvarc és kvarcit, kisebb mennyiségben pedig tűzkő, granitoid közettörredék és földpát (mikroclin is) fordulnak elő. Szórványosan hornblende (SS037), bioklaszt (feltehetően kagylóhéj-törredék, SS039), és limonit-sodott agyagsomók is megfigyelhetők (**5.a-b ábra**). Néhány mintában (SS037, SS040, SS052) nagy valószínűséggel tört kerámia azonosítható. A nem plasztikus elegyrészek három mérettartományba sorolhatók: 100–250 µm, 500–600 µm és <1 mm (főként agyagos és karbonátos törredékek).

2D alcsoport

A 2D alcsoportba tartozó kerámiák (kora bronzkor: SS030, késő bronzkor: SS041, SS042, SS043, SS044, SS045, SS046, kora vaskor: SS053, SS060, SS061, késő bronzkor/kora vaskor: SS054) a nem plasztikus elegyrészek típusát és az alapanyag szemcséinek arányát (közepes) tekintve a 2C alcsoport kerámiáihoz nagyon hasonlóak, ugyanakkor a nem plasztikus elegyrészek mennyisége nagyobb (15–20%). Az SS041 minta kismértékben eltér a többi mintától, ugyanis az alapanyag szemcséinek térfogatszázalékos aránya sok, viszont a nem plasztikus elegyrészek aránya kevesebb, mint a többi, a csoporthoz tartozó mintában. A 2C alcsoportban említett nem plasztikus elegyrészekon kívül hornblende (pl. SS042, SS044), turmalin (SS044), bioklasztos mészkő törredék (SS054, SS060), egy édesvízi kagylóhéj-törredék (SS054), közepesen kerekített metaaleurit törredékek (SS030, SS054) és feltehetően tört kerámia (SS030, SS041, SS042, SS046) is azonosítható (**5.c-f ábra**).

3. csoport

Külön csoportot alkot négy kerámia (kora bronzkor: SS031, SS032, S033 és SS034), amelyekben a 2. csoporthoz képest mind az alapanyag <100 µm-es összetevőinek térfogatszázalékos mennyisége (közepes–sok, 15–25%), mind a 150–1200 µm-es nem plasztikus elegyrészek aránya (15–25%) nagyobb (**6.a-b ábra**). Az alapanyagban főként monokristályos kvarc, kálföldpát, muszkovit és opak ásványok azonosíthatók. A minták szövete hiatuszos, közepesen–rosszul osztályozott. A nem plasztikus elegyrészek méretüket tekintve három mérettartományba oszthatók: 150–300 µm, 400–600 µm (a szemcsék nagy része ide tartozik), 800–1200 µm. Típusukat tekintve elsősorban mono- és polikristályos kvarc, kvarcit, granitoid törredék, tűzkő, kisebb mennyiségben földpát (mikroclin is), agyagos közettörmelék és karbonátos közettörredékek figyelhetők meg. Ezen kívül az SS034 mintában egy 2250 µm nagyságú, kvarc és átalakult vulkanit szemcsék alkotta, közepesen kerekített kvarchomokkő törredék (**6/b ábra**), valamint az SS031 mintában egy üledékes közettörredék (aleurit?) azonosítható.

4. csoport

Az SS035 minta (késő vaskor) alapanyaga nagyon finom–finomszemcsés, ami a többi mintától eltérően közepesen–jól osztályozott (**6.c ábra**). Az alapanyag elegyrészei: monokristályos kvarc, földpát, muszkovit, amfibol (hornblende), opak ásványok. Az alapanyagban csak elszórtan (1%) fordul elő nem plasztikus elegyrész, ami mono- és polikristályos kvarc, plagioklász, kvarcit és tűzkő. A jellemző mérettartomány: 250–700 µm. A szemcsék közepesen kerekítettek–kerekítettek.

5. csoport

Az SS059 minta (kora vaskor) szintén kivételt képez, mert az alapanyagban nagy mennyiségű hornblende és átalakult neutrális vulkáni eredetű közettörredék figyelhető meg (**6.d ábra**). Az alapanyag <100 µm-es összetevőinek aránya szórványos (7%). Szövete hiatuszos, közepesen–rosszul osztályozott. Az elegyrészek eloszlása trimodális: 100–300 µm, 450–700 µm, 1000–1800 µm, térfogatszázalékos arányuk 20–25%. A közettörredékekben plagioklász, amfibol, biotit és opak ásványok azonosíthatók, feltehetően andezit vagy dácit lehetett. Emellett kvarc, granitoid közettörredék, kvarcit, valamint opacitosodott amfibolok (?) figyelhetők meg.

6. csoport

Három kerámia (késő vaskor: SS047, SS048 és SS051) az eddig bemutatott mintáktól élesen elkülönül, ugyanis a nagyon finomszemcsés alapanyagban a kvarc szemcsék mellett közepes

mennyiségben (15–20%) jellegzetes, szögletes kalcit- és márványtöredékek (200–2000 µm) figyelhetők meg (6.e ábra). Ezen kívül elsősorban átalakult mikrites karbonát töredékek, illetve agyagos közettöredékek és limonitos agyagsomók fordulnak elő. A minták szövete szintén hiatusos, a szemcsék eloszlása trimodális (100–200 µm, 350–550 µm, 800–2000 µm).

7. csoport

Két minta (késő vaskor: SS036, SS049) az összes eddigi csoporttól eltérően grafitot tartalmaz. Az alapanyag kövér, valamint kőzetlisztes agyag keveréke. A <100 µm-es összetevők térfogatszázalékos aránya szórványos (3–5%). Az alapanyag szemcséi: kvarc, kálföldpát, muszkovit, opak ásványok. Szövete hiatusos, a nem plasztikus elegyrészek rosszul osztályozottak. A jellemző nem plasztikus elegyrészek: grafit, változatos színű (egy nikollal sárgásbarnától sötétbarnáig) és típusú (kövérebb, illetve soványabb; kevés szemcsét vagy változatos – az alaptestben is megtalálható – töredékeket is tartalmazó) agyagos közettöredékek, mikrites karbonátos töredékek, mono- és polikristályos kvarc, kvarcit, szögletes–közepesen kerekített kalcit szemcsék és limonitos csomók. Az SS036 mintában (6.f ábra) nagy mennyiségű, 3000 µm-t is elérő közepesen kerekített–kerekített grafitot, valamint szillimanitos grafitos kőzettöredékeket figyelhetünk meg. Ezzel szemben az SS049 mintában kevesebb, kisebb méretű, inkább kerekített grafitot találunk. Az SS049 mintában továbbá a 2B alcsoportba sorolt kerámiákhoz hasonlóan egy vörösalga-töredék, illetve egy fitolit is megfigyelhető.

Diszkusszió

Nyersanyagok és soványító anyagok

A petrográfiai vizsgálatok alapján hét fő csoport különíthető el (1. táblázat). Az 1. csoportba tartozó két (kora és késő vaskori) kerámia nagyon finomszemcsés alapanyagában csak elsősorban figyelhetők meg nem plasztikus elegyrészek, vagyis ezeket a kerámiákat nem soványították.

A vizsgált kerámiatöredékek jelentős része (2. csoport, kora bronzkor: 1 db, késő bronzkor: 10 db, késő bronzkor/kora vaskor: 3 db, kora vaskor: 4 db, késő vaskor: 2 db) azonos jellemzőket mutat. Az alapanyag kövér és kőzetlisztes agyag változó mértékű keveréke (pl. 4.f ábra és 5.c ábra), amely nagyrészt azonos típusú, de eltérő méretű, rosszul osztályozott nem plasztikus elegyrészekből áll: elsősorban agyagos közettöredék, karbonátos közettöredék, kvarc, földpát, kvarcit, tüzkő, kis mennyiségben granitoid közettöredék, hornblende, homokkő, aleurit. A 2C és 2D alcsoport egyes mintáiban ezen kívül feltehetően tört kerámia is azonosítható. A nem plasztikus elegyrészek kissé

kerekítettek–kerekítettek. Az alcsoportok közti legnagyobb különbséget az alapanyag összetevőinek, illetve az uralkodó nem plasztikus elegyrészeknek a változó térfogatszázalékos aránya jelenti. Mindez arra utal, hogy agyagkeverést alkalmaztak, amelyhez különböző mennyiségű – finomszemcsés homok–finomszemű kavics méretű szemcsékből álló – soványító anyagot, illetve néhány mintánál tört kerámiát is adagoltak. A rosszul osztályozott nem plasztikus elegyrészek azt jelzik, hogy kerámiákat nem előválogatott homokkal soványították.

A 3. csoportba sorolt kora bronzkori minták nem plasztikus elegyrészeinek jellemző mérettartománya (400–600 µm) eltér a 2. csoport kerámiáitól, emellett az agyagos közettöredékek és a karbonátos közettöredékek is jóval kisebb mennyiségben fordulnak elő. Ebből arra következtethetünk, hogy a 2. csoporthoz képest eltérő módon készíthették elő a nyersanyagot, vagy esetleg nem azonos forrásból származó nyersanyagot használtak ezekhez a kerámiákhoz.

Egy késő vaskori minta (SS035, 4. csoport) önálló csoportba sorolható, mert bár az alapanyagban azonos típusú elegyrészek figyelhetők meg, mint az eddig említett csoportokban, ugyanakkor az elegyrészek jól osztályozottak. Így ennél a kerámiánál felmerül, hogy a nyersanyagot gondosan előkészítették.

Az SS059 minta (5. csoport, kora vaskor) alapanyagában a nagy mennyiségű, rosszul osztályozott neutrális vulkanit közettöredék és hornblende együttese az eddigiektől eltérő forrásból származó soványító anyag használatát jelzi.

Ugyan az alapanyagot tekintve sem a 6. csoportba, sem a 7. csoportba sorolt késő vaskori kerámiák nem különülnek el élesen a többi csoporttól, azonban a 6. csoport mintáiban előforduló márvány-, illetve kalcittöredékek, valamint a 7. csoport mintáiban lévő grafit és grafitos közettöredékek más területről származó nyersanyagok használatát jelzik.

A felhasznált nyersanyagok lehetséges forrásterületei

A lelőhely környékének felszíni földtani térképén (7. ábra) látható, hogy a lelőhely közvetlen környezetében nagy területet borít lösz, a számos kisebb-nagyobb vízfolyás mentén pedig folyóvízi üledék (kavics, homok, agyagos üledék) terül el. A tágabb környezetet tekintve változatos kőzetkibukkanások is előfordulnak, többek között pleisztocén és eocén korú mészkövek vagy kréta korú homokkővek. Fontos azonban kiemelni a Duna szerepét is, amely, mint egy nagy, kavicsokat és közettöredékeket szállító közeg (T. Biró et al. 2013) változatos, messzebről érkezett nyersanyagok forrása is lehet.

Minden vizsgált korszakot reprezentáló 2., 3. és 4. csoport mintáiban azonosított soványító anyag összetétele és koptatottsága feltehetően szél (lősz), vagy folyó által szállított üledék használatára utal. A kvarcit, granitoid kőzettöredékek, tüzkő, hornblende, valamint turmalin alapján a Duna homok-, illetve kavicsanyaga is felmerülhet forrásként. Hasonló eredményre jutottak többek között Dunajská Lužná – Nové Košariská kora vaskori kerámiáinak vizsgálata során is (Gregor et al. 2008). A folyóvízi nyersanyagok kitüntetett szerepét ugyanebben a régióban a késő kelta időszak edénművessége esetében is megfigyelték (Čambal et al. 2016). A változatos karbonátos kőzettöredékek lehetséges forrása triász mészkő,

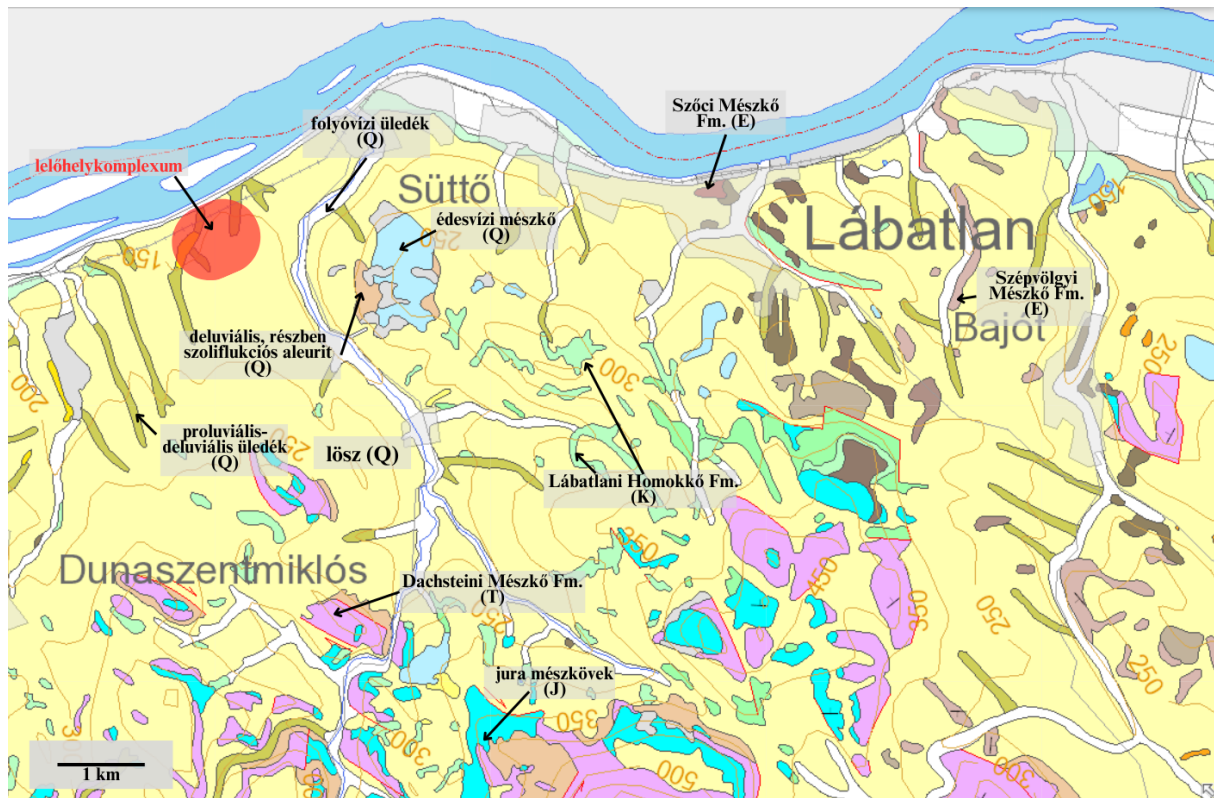
pleisztocén édesvízi mészkő, valamint a néhány mintában azonosított vörösalgás töredékeknél eocén mészkő (Nagymarosy 1997) lehet, amiknek Süttő 10 km-es környezetében felszíni kibukkanása ismert. A lelőhelykomplexum térségének földtani viszonyai nyomán a vizsgált kerámiák többségét helyben megtalálható nyersanyaggal soványíthatták.

Egy kora vaskori kerámiában (SS059, 5. csoport) megfigyelt neutrális vulkáni kőzettöredékek és hornblende lehetséges forrásterülete a lelőhelytől kb. 50 km távolságban fekvő Börzsöny-Visegrádi-hegység (Kósik 2006; Karátson et al. 2000; Karátson et al. 2007, Czajlik 2020).

1. táblázat: A süttöi kerámiák jellemzői a petrográfiai vizsgálatok alapján (KoB – kora bronzkor, KB – késő bronzkor, KoV – kora vaskor, KV – késő vaskor).

Table 1.: Characteristics of the ceramics from Süttő based on the results of petrographic analyses (KoB – Early Bronze Age, KB – Late Bronze Age, KoV – Early Iron Age, KV – Late Iron Age).

Petrográfiai csoport	Alapanyag	Soványító anyag	Nem plasztikus elegyrészek aránya	Nem plasztikus elegyrészek jellemző mérettartománya	Mintaazonosító (kor)
1	NF kevés	-	1–3%	250–500 µm	SS029 (KV) SS057 (KoV)
2A	NF kevés, agyagkeverés	finomszemcsés homok – finomszemű kavics	3–5%	150–250 µm 400–600 µm 800–2300 µm	SS038 (KB) SS055 (KB/KoV)
2B	NF kevés, agyagkeverés	finomszemcsés homok – finomszemű kavics (vörösalgás mészkő töredékes)	7%	150–300 µm 550–800 µm 1500–2500 µm	SS028 (KV) SS050 (KV)
2C	NF kevés-közepes, agyagkeverés	finom-durvaszemcsés homok és ARF/tört kerámia	7–10%	100–250 µm 500–600 µm <1000 µm	SS037 (KB) SS039 (KB) SS040 (KB) SS052 (KoV) SS056 (KB/KoV)
2D	NF közepes, agyagkeverés	finom-durvaszemcsés homok és ARF/tört kerámia	15–20%	100–250 µm 500–600 µm <1000 µm	SS030 (KoB) SS042 (KB) SS043 (KB) SS044 (KB) SS045 (KB) SS046 (KB) SS053 (KoV) SS054 (KB/KoV) SS060 (KoV) SS061 (KoV)
3	NF kevés-közepes	közép-nagyszemcsés homok	15–25%	150–300 µm 400–600 µm (főleg) 800–1200 µm	SS031 (KoB) SS032 (KoB) SS033 (KoB) SS034 (KoB)
4	NF sok	finom-nagyszemcsés homok	1%	250–700 µm	SS035 (KV)
5	NF közepes	finom-durvaszemcsés homok	20–25%	100–300 µm 450–700 µm 1000–1800 µm	SS059 (KoV)
6	NF kevés	finom-durvaszemcsés homok (márványtöredékes)	15–20%	100–200 µm 350–550 µm 800–2000 µm	SS047 (KV) SS048 (KV) SS051 (KV)
7	NF kevés, agyagkeverés	finomszemcsés homok – finomszemű kavics (grafitos)	5–7%	100–300 µm 500–800 µm 1000–3000 µm	SS036 (KV) SS049 (KV)



7. ábra: A lelőhely környékének felszíni földtani térképe, kiemelve a lehetséges forrásközeteket, üledékeket. Magyarázat: Szóci Mészko Fm.: mészkő sok nagyforaminiferával, pl. Nummulites; Szépvölgyi Mészko Fm.: mészkő gyakran Nummuliteszel és Lithothamnium maradványokkal; Lábatlani Homokkő Fm.: változatos szemcseméretű homokkő (Q: pleisztocén, E: eocén, K: kréta, J: jura, T: triász) (alaptérkép: map.mbfisz.gov.hu, 1:100000, letöltés dátuma: 2024.01.13.).

Fig. 7.: Geological map of the area around the site, highlighting possible source rocks and sediments. Explanation: Szóc Limestone Formation: limestone enriched with large foraminifers, such as Nummulites; Szépvölgy Limestone Formation: limestone contains Nummulites and Lithothamnium fragments; Lábatlan Sandstone Formation: sandstone with different grain sizes (Q: Pleistocene, E: Eocene, K: Cretaceous, J: Jurassic, T: Triassic) (base map: map.mbfisz.gov.hu, 1:100000, access on: 13.01.2024).

Ugyan a 6. csoport késő vaskori kerámiáinak alapanyaga a helyi nyersanyaggal soványított többi csoportéhoz hasonló, azonban a soványításhoz használt márványtöredékek a lelőhely környékén nem fordulnak elő, azaz a soványító anyagot távolabbról hozhatták. Magyarország területén egyedül a Polgárdi Mészko Formáció kristályos mészköve lehet hasonló kifejlődésű (Zöldöldi et al. 2004; Bajnok et al. 2014, 2022). A származási hely meghatározásához a Polgárdi Mészko mellett a lelőhelyhez legközelebb eső ausztriai és szlovákiai márványbányák jellemző ásványos összetételének és stabil izotóp arányainak részletes vizsgálatára lenne szükség.

Két vizsgált késő vaskori kerámiában (7. csoport) a La Tène-kultúrában széles körben elterjedt grafitos soványítás figyelhető meg. Tekintettel arra, hogy a lelőhelykomplexum közelében nincs ismert grafit-előfordulás, így a kerámiák alapanyagához kevert grafitot messzebből hozták. A Magyarország területén előkerült grafitos kerámiák soványító

anyagának forrásterület meghatározásával számos, a közelmúltban megjelent publikáció foglalkozik (Havancsák et al. 2009, 2014; Szakmány & Bendő 2016). A legtöbb esetben nem tiszta grafitot, hanem grafitos közettöredékeket használtak a kerámiák készítői. A közettöredékek ásványos összetétele, metamorf foka összevethető az ismert grafitos kőzetelőfordulásokkal, így megállapítható a potenciális forrásterület. Az általunk vizsgált mintákban a grafit azonban nagyrészt önállóan fordul elő, csak néhány esetben társul szillimanittal, azaz a grafitot a nyersanyag előkészítése során gondosan megtisztították. Az eddigi kutatások szillimanit és grafit együttesét többek között a Cseh-masszívumban, Český Krumlov környékén előforduló képződményekből írták le (Havancsák et al. 2009; Szakmány & Bendő 2016), azonban mivel az általunk vizsgált mintákban csupán egyetlen grafitos közettöredék fordul elő, a származási hely biztosabb meghatározásához további kutatások szükségesek.

Régészeti következtetések

A kerámiák petrográfiai vizsgálata alapján megállapítható, hogy mind a négy vizsgált korszakban (kora bronzkor, késő bronzkor, kora vaskor és késő vaskor) előfordulnak hasonló nyersanyag felhasználásával és technikával készült kerámiák (1. táblázat). Noha kisebb eltérések mutatkoznak az egyes késő bronzkori kerámiák között, alapvetően azonos nyersanyagot és technikát alkalmaztak (kevert agyagos alapanyagot nem előválogatott homokkal, és néhány esetben a homok mellett tört kerámiával soványítottak). A szisztematikus terepbejárások során gyűjtött kora vaskori minták sem makroszkóposan, sem a mikroszkópos vizsgálati eredmények tekintetében nem különíthetők el a késő bronzkori kerámiáktól, kivéve az SS059 mintát, amihez a többi mintától eltérően neutrális vulkáni közettöredéket tartalmazó soványító anyagot adtak. Ez arra utalhat, hogy az eddig vizsgált kora vaskori kerámiák készítésekor követhették a korábbi korszakok edénykészítési hagyományait. Ugyan a terepbejárásokon gyűjtött kora vaskori kerámiák vizsgálata lehetővé tette a nyersanyagok azonosítását, további következtetések levonásához azonban zárt kontextusból származó, a kora vaskorban jellegzetes edénytípusokhoz tartozó minták vizsgálatára is szükség lenne.

Egyes kora bronzkori és késő vaskori kerámiák készítésechnikája különbözik az előbb bemutatottaktól. A kora bronzkori minták (SS030, SS031, SS032, SS033 és SS034) – az SS030 minta kivételével – eltérnek a többi mintától, ugyanis a nem plasztikus elegyrészek túlnyomó többsége egy mérettartományba (400–600 µm) esik, ami arra utal, hogy feltehetően előkészített, vagy tudatosan egységesebb szemcseméretű nyersanyagot használtak a készítésükhöz. Ezek a minták a makroszkópos megfigyelések alapján is elkülönülnek a többi korszaktól és homogén egységet alkotnak. A késő vaskori minták ezzel szemben nagyon változatosak, egymáshoz és a korábbi korszakok kerámiájához viszonyítva is. Két, a 2B alcsoportba tartozó késő vaskori minta hasonlít a késő bronzkori és a kora vaskori mintákhoz, ám azoktól eltérően eocén bioklasztos mészkő töredékeket is tartalmaz. Egy minta (SS035, 4. csoport) jól osztályozott nyersanyaga arra utal, hogy ezt a kerámiát vagy nem, vagy gondosan előkészített finom szemcseméretű homokkal soványították. A márvány-, illetve kalcit-töredéket (6. csoport), valamint a grafitot és grafitos közettöredéket (7. csoport) tartalmazó kerámiák azt mutatják, hogy a késő vaskorban távolabbi forrásból származó nyersanyagokat is felhasználtak, amelyre a korábbi korszakok vizsgált leletanyagában nem volt példa.

A késő vaskori kerámiakészítés tehát alapjaiban követte a korábbi korszakok nyersanyag-felhasználási technikáját, részben változtatott rajta (nyersanyag-előkészítés), ugyanakkor a soványításhoz

korábban ebben a térségben nem használt anyagokat (pl. márvány, grafit) is alkalmaztak, melyeket távolabbi területekről szereztek be.

Összefoglalás, további kutatási lehetőségek

A Süttö és Neszmély közti löszplatóról ismertté vált gazdag őskori leletanyagból harminchárom, kora bronzkori, késő bronzkori, kora vaskori és késő vaskori kerámia petrográfiai vizsgálatát végeztük el. Az eredmények azt mutatták, hogy a kora bronzkor, késő bronzkor és kora vaskor folyamán a kerámiakészítéshez lokális nyersanyagokra alapoztak és azokat hasonló technikával készítették elő (homokkal soványított kevert agyagos alapanyag). Ez a technika a késő vaskorban is megfigyelhető, ugyanakkor ebben az időszakban a helyi mellett távolabbi területekről beszerezhető nyersanyagokat (márványtöredék, tiszta grafit/grafitos közettöredék) is azonosítottunk a kerámiákban.

Az égetett agyagedények mellett a lelőhelykomplexum területén nagy mennyiségű, változatos méretű és megjelenésű kőanyag – megmunkálatlan kőzetdarabok, kerekded kavicsok, őrlőkövek, pattintott kőszközök – is előkerült. A kerámiák vizsgálata mellett a kőzetek makroszkópos és mikroszkópos elemzése, a potenciális forrásterület meghatározása is megtörtént. A kerámiák soványító anyagának és az előforduló közettípusoknak az összevetése, valamint a jelen kutatásban nem, illetve nem zárt kontextusból vizsgált, de a platón azonosítható többi korszak (kora bronzkor vége, középső bronzkor, kora vaskor) kerámiaanyagának jövőbeni kutatása további értékes adatokkal gazdagíthatja ismereteinket.

A szerzők tudományos közreműködése

Györkös Dorottya Kutatásvezetés, Módszertan, Validálás, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció. **Kürthy Dóra** Validálás, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés. **Fejér Eszter** Módszertan, Validálás, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció. **Novinszki-Groma Katalin** Validálás, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés. **Sörös F. Zsófia** Validálás, Eredeti kézirat, Javított kézirat, Vizualizáció, Ellenőrzés. **Czajlik Zoltán** Kutatásvezetés, Módszertan, Validálás, Javított kézirat, Ellenőrzés, Pályázás.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Interreg DTP Iron-Age-Danube (Vaskor-Duna) Monumentalized Early Iron Age Landscapes in the Danube river basin (2017–2019) és az NKFIH SNN 134635 „Kora vaskori tájhasználat az Alpok és a Duna között – a süttöi és a posztelai lelőhelykomplexumok összehasonlító tájrégészeti elemzése” projekt keretében valósult

meg. Külön köszönettel tartozunk Szakmány Györgynek értékes szakmai segítségéért. Szintén köszönettel tartozunk Viktorik Orsolyának fontos javaslataiért. Köszönjük kéziratunk bírálóinak, Ilon Gábornak és Kreiter Attilának gyors és szakszerű munkáját, amellyel segítették tanulmányunk elkészítését. A vékonycsiszolatokat Simon István készítette.

Irodalomjegyzék

BAJNOK, K., KOVÁCS, Z., GAIT, J., MARÓTI, B., CSIPPÁN, P., HARSÁNYI, I., PÁRKÁNYI, D., SKRIBA, P., WINGER, D., von FREEDEN, U., VIDA, T. & SZAKMÁNY, Gy. (2022): Integrated petrographic and geochemical analysis of the Langobard age pottery of Szólád, Western Hungary. *Archaeological and Anthropological Sciences* **14** 13.
<https://doi.org/10.1007/s12520-021-01467-1>

BÁNDI, G. (1965): Data to the Early and Middle Bronze Age of Northern Transdanubia and Southern Slovakia. *Alba Regia* **IV-V** 65–71.

CZAJLIK, Z. (2020): Along the Danube and at the Foothills of the North-Eastern Hungarian Mountains: Some Data on the Distribution of Stone Raw Materials in the Late Iron Age. *Hungarian Historical Review* **9/2** 332–343.
<https://doi.org/10.38145/2020.2.331>

CZAJLIK, Z., NOVINSZKI-GROMA, K. & HORVÁTH, A. (2015): Données relatives à la topographie de la microrégion de Süttő (Transdanubie, Hongrie) au Premier âge du Fer. In: BORHY, L., DÉVAI, K. & TANKÓ, K., eds., *Studia archaeologica Nicolae Szabó LXXV annos nato dedicata*. L'Harmattan, Budapest, 59–74.

CZAJLIK, Z., NOVINSZKI-GROMA, K., RUPNIK, L., BÖDŐCS, A., FEJÉR, E., JÁKY, A., PUSZTA, S., SÖRÖS, F. Zs., VASS, B. & CZIFRA, Sz. (2018): Archaeological investigations on the Süttő plateau in 2018. *Dissertationes Archaeologicae* **3/6** 527–540.

CZAJLIK, Z., FEJÉR, E., NOVINSZKI-GROMA, K., JÁKY, A., RUPNIK, L., SÖRÖS, F. Zs., BÖDŐCS, A., CSIPPÁN, P., DARABOS, G., GERGÁCS, R., GYÖRKÖS, D., HOLL, B., KIRÁLY, G., KÜRTHY, D., MARÓTI, B., MERCZI, M., MERVEL, M., NAGY, B., PUSZTA, S., B. SZÖLLŐSI, Sz., VASS, B. & CZIFRA, Sz. (2019): Traces of prehistoric land use on the Süttő plateau. In: ČREŠNAR, M. & MELE, M., eds., *Early Iron Age Landscapes of the Danube Region*. Archaeolingua, Graz-Budapest, 185–209.

CZIFRA, Sz., KREITER, A., SZÉLES, É., TÓTH, M. & VIKTORIK, O. (2011): Kora vaskori korongolt kerámia a Kárpát-medencében. *Archeometriai Műhely* **VIII/3** 235–250.

ČAMBAL, R., GREGOR, M., BAZOVSKÝ, I., BŘEZINOVÁ, G., KOVÁR, B., KARWOWSKI, M. (2012): The Pottery with Thickened Club Rim at the End of the Late La Tène Period in the Middle Danube Region (Mineralogical and Petrographic Characteristics). In: KARWOWSKI, M. & RAMSL, P.C., eds., *Boii – Taurisci. Proceedings of the International Seminar, Oberleis-Klement, June 14th-15th, 2012*. Wien 2016, 147–169.

FEJÉR, E. (2021): Neue und wiederentdeckte Griffzungendolche mit Ringabschluss. Die Verbreitung einer spätbronzezeitlichen Innovation in Mitteleuropa. *Archeologické Rozhledy* **LXXIII/1** 48–71. <https://doi.org/10.35686/AR.2021.2>

FEJÉR, E. (2022): Early Bronze Age settlement in the vicinity of Süttő. *Slovenská Archeológia* **LXX/1** 33–62. <https://doi.org/10.31577/slovarch.2022.70.2>

GAŠPARIČ, A. Z. & DOLENEC, M. (2015): Ceramic petrography of pottery and clays from Novine (Hoarachkogel) and Plackivrh (Platsch). In: ČREŠNAR, M., MELE, M., PEITLER, K., VINAZZA, M., eds., *Archäologische Biographie einer Landschaft an der steirisch-slowenischen Grenze*. Schild von Steier, Beheft **6/2015** 246–262.

GAŠPARIČ, A. Z., VINAZZA, M. & ČREŠNAR, M. (2018): Characteristics of Early Iron Age pottery from north-eastern Slovenia through the prism of ceramic technology and petrography. *Documenta Praehistorica* **XLV** 180–202.
<https://doi.org/10.4312/dp.45.14>

GHERDÁN, K., SZAKMÁNY, Gy., WEISZBURG, T. & ILON, G. (2002): Petrological investigation of Bronze and Iron Age ceramics from West Hungary: Vaskeresztes, Velem, Sé, Gőr. In: KILIKOGLU, A., HEIN, A. & MANNIATIS, Y., eds., *Modern trends in scientific studies on ancient ceramics*. *British Archaeological Reports IS* **1011**. Archaeopress, Oxford, 305–312.

GHERDÁN, K., CZAJLIK, Z., SZAKMÁNY, Gy. & TANKÓ, K. (2012): Analyse de la provenance des céramiques de la nécropole de Ludas – approche pétrographique. In: SZABÓ, M., TANKÓ, K. & CZAJLIK, Z., eds., *La nécropole celtique à Ludas – Varjú-dűlő*. Budapest 2012, 269–278.

GHERDÁN, K., SZAKMÁNY, Gy., TANKÓ, K. & CZAJLIK, Z. (2018): Résultats des analyses pétrographiques du mobilier céramique de l'habitat celtique de Sajópetri – Hosszú-dűlő et de la nécropole celtique de Sajópetri – Homoki-szőlőskert. In: SZABÓ, M., TANKÓ, K. & CZAJLIK, Z., eds., *La nécropole celtique à Sajópetri – Homoki-szőlőskert*. L'Harmattan, Paris, 351–373.

- GREGOR, M., ČAMBAL, R. & HARMADYOVÁ, K. (2008): Household and burial ceramics from the Early Iron Age from SW Slovakia: a mineralogical and petrographical study. In: KOSTOV, R.I., GAYDARSKA, B. & GUROVA, M., eds., *Geoarchaeology and Archaeomineralogy*. Proceedings of the International Conference, 29-30 October 2008 Sofia, Publishing House "St. Ivan Rilski", Sofia, 93–97.
- GREGOR, M. & ČAMBAL, R. (2009): Preliminary mineralogical and petrographic study of La Tène household ceramics from Bratislava's oppidum (Slovakia). In: T. BIRÓ, K., SZILÁGYI, V. & KREITER, A., eds., *Vessels: Inside and outside*. Proceedings of the Conference EMAC'07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, 24-27 October 2007, Hungarian National Museum, Budapest, Hungary, 255–264.
- HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., KREITER, A. & SZÖLLŐSI, Sz. (2009). Kelta grafitos kerámia: elmélet és gyakorlat dunaszentgyörgyi kerámiák ásványtani, petrográfiai és geokémiai vizsgálatának tükrében. *Archeometriai Műhely* **VI/1** 39–51.
- HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., SZAKMÁNY, Gy., KREITER, A. & SZÖLLŐSI, Sz. (2014). Archaeometric investigation of Celtic graphitic pottery from two archaeological sites in Hungary. In: Martinón-Torres, M., ed., *Craft and science: International perspectives on archaeological ceramics*. Doha, Qatar: Bloomsbury Qatar Foundation, 191–199.
- H. KELEMEN, M. (1987): Komárom County I. In: HORVÁTH, L., H. KELEMEN, M., UZSOKI, A. & VADÁSZ, É., eds., *Corpus of Celtic Finds in Hungary*. Vol I. Transdanubia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 179–230.
- ILON, G. & VARGA, I. (1994): Bauxit a késő bronzkori kerámiában? A Németszánya-felsőerdei dűlői temető és kistelep kerámiáinak vizsgálata. *A Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei* **19-20** 133–140.
- KARÁTSÓN, D., MÁRTON, E., HARANGI, SZ., JÓZSA, S., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z., KOVÁCSVÖLGYI, S., SZAKMÁNY, Gy. & DULAI, A. (2000): Volcanic evolution and stratigraphy of the miocene Börzsöny mountains, Hungary: an integrated study. *Geologica Carpathica* **51** 325–343.
- KARÁTSÓN, D., OLÁH, I., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., DULAI, A., ZELENKA, T. & KÓSIK, Sz. (2007): Miocene volcanism in the Visegrád Mountains (Hungary): an integrated approach to regional volcanic stratigraphy. *Geologica Carpathica* **58** 541–563.
- KOVÁCS, T. (1988): Die bronzzeitliche Siedlung von Süttő. Eine kurze Übersicht. *Slovenská Archeológia* **36/1** 119–132.
- KÓSIK, Sz. (2006): Vulkáni-törmelékes kőzetek vizsgálata a Visegrádi-hegységben. *Közöletlen diplomamunka*, ELTE FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest, 64 p.
- KREITER, A., BAJNÓCZI, B., SIPOS, P., SZAKMÁNY, Gy., TÓTH, M. (2007): Archaeometric examination of Early and Middle Bronze Age ceramics from Százhalombatta-Földvár, Hungary. *Archeometriai Műhely* **IV/2** 33–47.
- KREITER, A. (2009): Késő bronzkori kerámiák makroszkópos és petrográfiai vizsgálata Macroscopic and petrographic analysis of the Late Bronze Age pottery. In: KVASSAY, J., ed., *Település és temetőfeltárás Dunaszentgyörgy határában. A 6. sz. főút 121+650 – 124+800 km szakasza között, a rehabilitációs munkálatokat megelőző régészeti feltárások (2007) eredményei*. Budapest 2009, 88–114.
- KÜRTHY, D., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & SZABÓ, G. (2015): A regölyi vaskori sírhalom kerámiáinak előzetes archeometriai vizsgálati eredményei. *Archeometriai Műhely* **XII/3** 163–176.
- KÜRTHY, D., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., FEKETE, M. & SZABÓ, G. (2018): A regölyi vaskori kerámiatöredékek archeometriai vizsgálatának új eredményei. *Archeometriai Műhely* **XV/1** 1–12.
- MOZSOLICS, A. & PATEK, E. (1960): Süttő-Hosszúvölgy. *Régészeti füzetek* **I/13** 13.
- NAGYMAROSY, A. (1997): Magyarországi eocén. In: Karátson, D. & Száraz, M.Gy., eds., *Magyarország földje*. KERTEK 2000 Könyvkiadó, Budapest, 556 p.
- NOVINSZKI-GROMA, K. (2017): Inhumation graves at the Early Iron Age cemetery of Süttő. In: JEREM, E., ed., *Das nördliche Karpatenbecken in der Hallstattzeit. Wirtschaft, Handel und Kommunikation in früheisenzeitlichen Gesellschaften zwischen Ostalpen und Westpannonien*. Archaeolingua, Budapest, 471–497.
- PÁNCZÉL-BAJNOK, K., PÁNCZÉL, P., SZAKMÁNY, Gy. & VIDA, T. (2014): 5-6. századi, Pannonia területéről származó kerámiák archeometriai elemzése. *Archeometriai Műhely* **XI/1** 1–12.
- SZAKMÁNY, Gy. & BENDŐ, Zs. (2016): Kora középkori kisalföldi grafitos kerámiák petrográfiai és SEM-EDX vizsgálati eredményei. In: KOVÁCS, L. & RÉVÉSZ, L., eds., *Népek és kultúrák a Kárpát-medencében. Tanulmányok Mesterházy*

Károly tiszteletére. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 542–561.

T. BIRÓ, K., JÓZSA, S., J. SZABÓ, K. & M. VIRÁG, Zs. (2013): Duna: A nagy szállítószalag. *Archeometriai Műhely* **X/1** 33–49.

V. VADÁSZ, É. (1983): Előzetes jelentés egy koravaskori halomsír feltárásáról Süttön. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* **3** 19–53.

VADÁSZ, É. (1986): Das früheisenzeitliche Gräberfeld von Süttő. *Mitteilungen des Archäologischen Instituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften Beiheft* **3** 251–257.

VARGA, I., SÜVEGH, G. & NAGYNÉ CZAKÓ, I. (1988): Egy későbronzkori kerámia komplett vizsgálata. *Pápai Múzeumi Értesítő* **1** 31–35.

VARGA, I., MOLNÁR, Zs., NAGYNÉ CZAKÓ, I. & ILON, G. (1989): Németbánya későbronzkori kerámiai a természettudományos vizsgálatok tükrében. *Pápai Múzeumi Értesítő* **2** 39–48.




VÉKONY, G. (2000): A koszideri korszak a Dunántúlon. *Komárom-Esztergom Megyei Múzeumok Közleményei* **7** 173–186.

VÉKONY, G. & VADÁSZ, É. (1982): Óskori sáncok és halmok Süttön. *A Komárom Megyei Múzeumok és a Fejér Megyei Múzeumok régészeti kiállításai* **2** Tata, 14 p.

ZÖLDFÖLDI, J., PINTÉR, F., SZÉKELY, B., H. TAUBALD, T. BIRÓ, K., MRÁV, Zs., TÓTH, M., M. SATIR, KASZTOVSZKY, Zs. & SZAKMÁNY, Gy. (2004): Római márványtöredékek vizsgálata a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből. *Archeometriai Műhely* **I/1** 40–46.

BETTER LATE (ROMAN) THAN NEVER! A POSSIBLE AMPHORA FRAGMENT FROM 6TH CENTURY BALATONLELLE, WESTERN HUNGARY

EGY LEHETSÉGES AMPHORA TÖREDÉK A 6. SZÁZADI BALATONLELLÉRŐL •

BAJNOK, Katalin^{1,2,*} ; KOVÁCS, Zoltán³  & NAGY, Anna Andrea² 

¹Neutron Spectroscopy Department, HUN-REN Centre for Energy Research, Budapest, Hungary

²Institute of Archaeological Sciences, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

³Nanosensors Department, Institute of Technical Physics and Materials Science, HUN-REN Centre for Energy Research, Budapest, Hungary

*Corresponding author, e-mail: bajnok.katalin@ek.hun-ren.hu

Abstract

This study reports on a unique finding connected to the re-examination of the ceramic assemblage recovered from the Langobard age (6th century AD) settlement of Balatonlelle, situated in the territory of the former Roman province of Pannonia (now in western Hungary). An undecorated body sherd, not picked up by either the initial typological evaluation of the ceramics or by the preliminary petrographic analysis, was now reassessed by thin section ceramic petrography and scanning electron microscopy. The new analyses revealed that this sherd contains rock and mineral inclusions originated from ophiolites, including slightly serpentinised peridotite fragments. Such rocks do not occur on the surface in Hungary, whereas they are commonly found in the Eastern Mediterranean. The presence of ophiolites in the potsherd indicates that this vessel was produced in a distant territory. The macroscopic characteristics of the sherd combined with its petrographic fingerprint suggest that this pot might have been a transport amphora produced in the Eastern Mediterranean. Although rarely found in Pannonia in the Migration Period, several amphora types, including the most frequently found LRA 1 type, were produced in numerous production centres in the Eastern Mediterranean, in territories geologically congruous with the aplastic inclusions found in the fabric of the Balatonlelle sherd.

The significance of this finding is that from Langobard age Pannonia, amphorae occur only sporadically, connected mainly to former Roman settlements. While any conclusions drawn from a single sherd must necessarily remain tentative, this sherd nonetheless provides some material evidence for the existence of some sort of contact between Balatonlelle and the Eastern Mediterranean during the 6th century, be it economic, political or cultural.

This study also aims to celebrate the career of György Szakmány, who was one of the key figures to establish ceramic petrographic research and education in Hungary, and trained many generations of petrographers – including the present authors. As such, it also serves as an example how ceramic petrography can bring a new dimension of information to archaeological research.

Kivonat

Ez a tanulmány egy olyan különleges leletről számol be, amelyre az egykori Pannonia provincia területén fekvő Balatonlelle langobard kori (Kr. u. 6. század) településén előkerült kerámiaanyag újabb vizsgálata közben derült fény. Egy díszítetlen oldaltöredék, amely sem a kerámiaanyag formai-tipológiai kiértékelése során, sem az előzetes petrográfiai elemzés alatt nem hívta fel magára a figyelmet, most újra kiértékelésre került vékonycsiszolt kerámia petrográfiával és pásztázó elektronmikroszkópiával. Az új vizsgálatok kimutatták, hogy ez az edénytöredék ofiolit sorozatból származó kőzet- és ásványtörmeléseket tartalmaz, köztük kevésbé serpentinisedett peridotit töredékekkel. Ilyen kőzetek Magyarország területén nem találhatóak meg a felszínen, míg a Földközi-tenger keleti partvidékén gyakran előfordulnak. Az ofiolitok jelenléte a töredékben arra utal, hogy az edényt a lelőhelyétől távoli területen készítették. A petrográfiai jellemzők és a makroszkopikus jegyek alapján lehetséges, hogy ez az edény egy Kelet-Mediterráneumban gyártott amphora volt. Bár Pannoniában a

• How to cite this paper: BAJNOK, K.; KOVÁCS, Z. & NAGY, A. A., (2024): Better late (Roman) than never! A possible amphora fragment from 6th century Balatonlelle, western Hungary / Egy lehetséges amphora töredék a 6. századi Balatonlelléről, *Archeometriai Műhely* XXI/2 201–216.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-016](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-016)

népvándorlaskorban ritkán fordul elő, a korszakban több amphora típust, köztük a leggyakrabban előkerülő LRA 1 típust is a Földközi-tenger keleti részén, több fazekasközpontban is gyártottak, olyan területeken, amelyek geológiaiag is összeegyeztethetők a balatonlellel töredék anyagával.

Az eredmény jelentősége, hogy a langobard kori Pannoniából csak szórványosan ismerünk amphorákat, amelyek főként egykori római településeken kerültek elő. Bár az egyetlen edénytöredékből levonható következtetések szükségszerűen korlátozottak, ez a töredék mégis tárgyi bizonyítékot szolgáltat arra, hogy a 6. században Balatonlelle és a Kelet-Mediterráneum között valamiféle kapcsolat állt fenn, legyen az gazdasági, politikai vagy kulturális.

Ezzel a tanulmánnyal Szakmány György pályafutását is szeretnénk megünnepelni, aki egyike volt azoknak, akik megalapozták a magyarországi kerámia petrográfiai oktatást és kutatást, és aki petrográfiában jártas kutatók több nemzedékét nevelte ki – köztük e tanulmány szerzőit is. Mint ilyen, arra is példaként szolgál, hogy hogyan nyithat a kerámia petrográfia új dimenziókat a régészeti kutatásban.

KEYWORDS: AMPHORA, LANGOBARD KOR, KERÁMIA PETROGRÁFIA, SEM-EDS

KULCSSZAVAK: AMPHORA, LANGOBARD AGE, CERAMIC PETROGRAPHY, SEM-EDS

Introduction

This study re-examines a ceramic sherd from Balatonlelle, Felső-Gamász, a 6th century AD settlement in the former Roman province of Pannonia (now in western Hungary, **Fig. 1.**), and considers how even an isolated sherd can nonetheless provide a glimpse into past economic and cultural life of the site. For many decades, archaeological research of Langobard age Pannonia was faced with the problem that, whereas several cemeteries were known from this period (e.g. Bóna & B. Horváth 2009), settlements have not been found connected to the Langobard era. Excavated between 2002–2003, Balatonlelle was in fact one of the first settlements found to be dated to the second third of the 6th century AD. This excavation provided a new view on the every-day life of this period, especially through the analysis of pottery wares.

During the rescue excavations connected to the construction of the M7 motorway, three semi-subterranean buildings were unearthed as part of the remains of a settlement (Skriba 2006; Skriba & Sófálvi 2004; Sófálvi et al. 2007). Based on the large number of loom weights recovered, the buildings were interpreted as having been used for both domestic purposes as well as serving as weaving workshops (Skriba & Sófálvi 2004). The majority of the materials found in the buildings, apart from the loom weights, were potsherds. In this assemblage we can find vessel types well-known from Langobard age cemeteries, such as grey pattern-burnished wares, pear-shaped stamped wares, and closed hole-mouth jars (*Kumpf*, also known as *swebische Topf*). In addition to these types, a significant amount of sherds showing strong Late Antique traditions were recovered. These vessels are predominantly coarse-grained cooking pots, typically with an everted rim and globular body (Skriba & Sófálvi 2004). Although

Late Antique elements can be detected in the known cemeteries as well (e.g. Szólad (Bajnok et al. 2022), Kajdacs (Bóna & B. Horváth 2009)), their relative abundance in these first excavated settlements was substantially higher.

The first, preliminary petrographic results about the pottery of Balatonlelle were published a decade ago, examining 38 sherds from this site, in addition to other 5th–6th century ceramics from settlements and cemeteries (Pánczél-Bajnok et al. 2014). The analysis showed rich technological traditions with regard to the diversity of raw material selection and clay preparation processes. The tradition of adding crushed marble as a temper to Late Antique style cooking pots was described for the first time in Pannonia based on the Balatonlelle material. As part of a wider project studying 4th–6th century pottery production in Pannonia, the Balatonlelle samples recently underwent a more detailed re-examination. During this reassessment, one body sherd (Inv. nr. 13.4/346.2) was discovered to be more interesting than had been thought before. Based on its macroscopic characteristics and mineralogical composition, it is suggested now that this sherd belonged to an imported transport vessel, possibly an amphora. In this study we present the arguments that point towards this interpretation, and additionally, we attempt to narrow down the region where it was manufactured. We contrast this information with the amphora types that were known to be in circulation in the 6th century. Amphorae are seldom found in Migration Period Pannonia; their quantities drop significantly from the end of the 2nd century AD (*c.f.* Magyar-Hárshegyi 2016), even in those former Roman settlements still inhabited at later times. Their sporadic occurrences from after the decline of the Roman province are therefore an important aspect of current understandings of the post-Roman period in Pannonia.

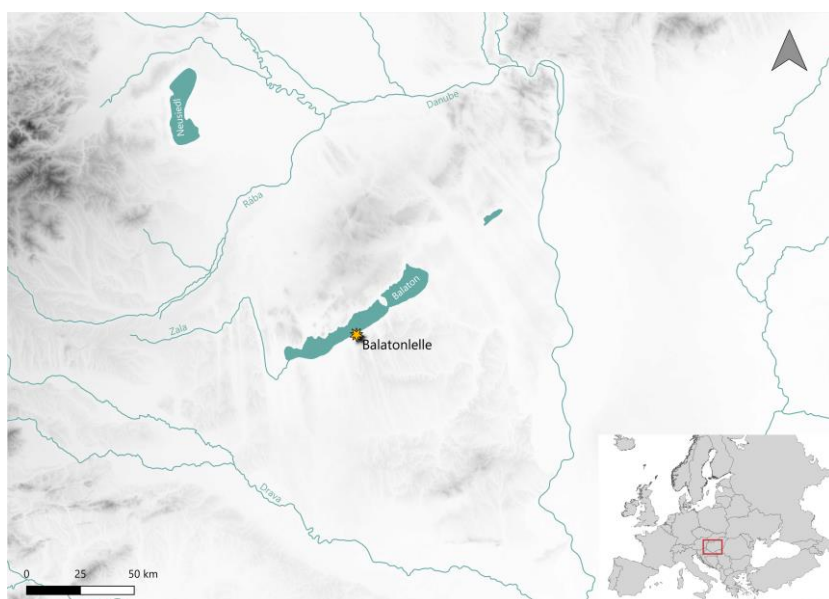


Fig. 1: Map showing the location of Balatonlelle
1. ábra: Balatonlelle földrajzi elhelyezkedése

Archaeological context and dating

The first question to clarify is the context in which the examined sherd was found. The fragment was recovered from the filling 10–15 cm above the floor level of House 2 (Skriba & Sófalvi 2004, 127–128, figs. 6–7). The remains recovered from this layer (mainly potsherds and loom weights) appeared chronologically homogenous, showing no sign of mixing with materials from either earlier or later archaeological periods. Upon the examination of the whole excavated area including the material from all three buildings, analysis concluded that they can be dated to the middle third of the 6th century AD (Skriba & Sófalvi 2004, 157–158). The floor layer showed no sign of disturbance by later occupations. The preceding occupation layer below the floor of the house, belonging to an entirely separate archaeological feature, was from the Copper Age; Roman age features were not observed on the site. Based on the archaeological context, we have no reason to question that our examined potsherd was buried together with the rest of the material found at the site. This means that at least the end of its use can be dated to the second third of the 6th century.

Methodology

For the characterisation of our sherd in question, a conventional archaeological science approach was applied. The first step was the macroscopic examination, which included the description of the dimensions, features of the surface, fresh break and cut surface of the cross-section. For this purpose, we used a Zeiss SteREO Discovery.V8 stereo microscope with a Zeiss AxioCam MRc5 digital camera and the Zeiss AxioVision 4.9.1 camera software tool at the Institute of Archaeological Sciences, Eötvös Loránd University, Budapest. During petrographic analysis, the fundamental characteristics of the fabric of the sherd were

examined, including the type, shape, size, abundance, sorting, and distribution of the aplastic components and voids. This provides information about the geological environment from where the raw material used for the production originated, and additionally, certain technological choices made during the manufacture of the pot can be revealed (e.g. clay preparation and processing, firing). In the description, we followed the guidelines and terminology of the systematic description proposed by Whitbread (1995, Appendix 3). The polished petrographic thin section prepared from the potsherd was analysed with a Nikon Eclipse LV100N polarised light optical microscope (OM) using a Nikon DS-Fi3 microscope camera and the NIS Elements BR software at the Neutron Spectroscopy Department of the HUN-REN Centre for Energy Research. During the analysis, the magnification was set between $\times 20$ and $\times 500$.

Finally, the thin section was further analysed by scanning electron microscopy coupled with energy dispersive spectrometry (SEM-EDS) in order to measure the elemental compositions of selected aplastic components locally, as well as areas of the matrix. The SEM-EDS analysis was carried out at the Nanosensors Laboratory of the HUN-REN Centre for Energy Research using a Zeiss LEO 1540 XB electron microscope equipped with an Oxford Instrument Ultim Max 40 energy dispersive spectrometer. Carbon coating was applied to the surface of the thin section. The analysis was performed under 10^{-4} Pa vacuum. The measurement conditions were as follows: 21 kV accelerating voltage, 7 nA beam current, and 60 s measurement time of each analysis. The results are normalised and expressed in oxide weight%. One or two points per inclusion were measured, whereas for matrix measurements, areas that appeared homogenous in the backscattered electron images were set manually to ca. 5–10 μm^2 .



Fig. 2: The examined sherd from Balatonlelle, Felső-Gamász. (a) Photographs of the external and internal surfaces of the hand specimen (photo credit: Péter Skriba); (b) cut surface of the cross-section (stereo microscopic image); (c) fresh break surface of the cross-section (stereo microscopic image)

2. ábra: A vizsgált töredék Balatonlelle, Felső-Gamász lelőhelyről. (a) a töredék külső és belső felszínéről készült fénykép (fénykép: Skriba Péter); (b) vágott felszínű keresztmetszeti kép (sztereomikroszkópos felvétel); (c) a keresztmetszet friss törésfelületi képe (sztereomikroszkópos felvétel)

Results

Macroscopic description

The sherd is approximately 14.2 cm high by 11 cm wide, and 6–9 mm thick, and belonged to the body of the vessel. The external and internal surface is covered with a thin (ca. 50 µm), light yellowish brown (10YR 7/4) layer, possibly a slip (**Fig. 2.a**). The external surface is lightly smoothed. The external and the internal surfaces both often exhibit inclusions similar to those also seen in the cross-section of the sherd (described below). On the internal surface, rilling marks are visible, indicative of wheel-use during the manufacture, however, the macroscopic inspection is not sufficient to further distinguish whether the pot was wheel-thrown, or initially made with a hand-building technique and then shaped on a wheel. The hard feel of the sherd suggests a high firing temperature.

Below the thin slip layer, the colour of the cross-section is almost completely homogeneous light red (2.5YR 6/6), with a barely discernible, diffuse light greyish band in the middle (**Fig. 2b-c**). In cross-section, it can be observed that the fabric contains few to common, very poorly sorted inclusions of various colours. Their size varies from a few tens of micrometres to 3 mm (medium to very coarse-grained sand), the dominant size being ca. 1 mm, and their shape is typically well-rounded to rounded. The inclusions display white, greyish white, dark grey, black, reddish orange and reddish brown colours. Few voids can be observed, mainly channels and vughs, the latter possibly relics after inclusions.

The size of the sherd together with the relatively mild curvature indicates that the vessel to which it belonged to was comparatively large. Moreover, it does not exhibit any signs of being used as a

cooking pot (carbonised food remains, soot or locally burnt areas). The coarseness of the fabric and the lack of decoration also make it improbable of it being a fine table ware. Based on this information, the vessel can most probably be defined as a large storage vessel.

Petrographic fabric description by polarised light optical microscopy

The sample displays a homogenous, completely optically inactive groundmass, medium brown in colour in plain polarised light (PPL) (**Fig. 3.c**), and dark reddish-orange colour with crossed polars (XP) (**Fig. 2.d-h**). Few voids can be observed, which are, as discussed in the macroscopic description, mainly meso- and macrochannels and vugs. The inclusions are single to double spaced, the fine and coarse fractions together form approximately 40% of the field of view. It displays a strong bimodal grain-size frequency distribution, the ratio of the coarse and fine fraction, and the voids (c:f:v) is ca. 30:65:5.

The fine fraction is very well sorted with coarse silt-sized inclusions (20–60 µm), which predominantly consist of lamellae of muscovite and dominant angular to sub-angular monocrystalline quartz, while K-feldspar (sometimes perthitic), polycrystalline quartz, plagioclase (often sericitic) and biotite is also common. Rarely chlorite, pyroxene, amphibole, zoisite, epidote, tourmaline, opaque mineral phases, and garnet can be observed as well.

The coarse fraction consists of very poorly sorted, fine to very coarse sand sized inclusions (60–2000 µm). The shape of the inclusions is somewhat variable; while the grains are dominantly well rounded to rounded, sub-angular ones are also common. In this fraction, rock and mineral fragments of several origins can be found. The most dominant inclusions are cherts; their size is typically between 200–500 µm, and their shape is rounded to sub-angular. Most grains are microcrystalline, appearing transparent in PPL and dark to light grey in XP. In many cases, remains of radiolarians can be seen within the inclusions (**Fig. 3.e-f**). Another type of inclusions has light brown colour in PPL, while they are almost isotropic in XP (**Fig. 3.a-b**). Based on their chemical composition measured by SEM-EDS (90–100% SiO₂), these are amorphous silica grains most probably originating from crypto- to microcrystalline chert inclusions, which vitrified due to the high firing temperature. Common serpentinite inclusions, or peridotites altering into serpentinite are identified (**Fig. 3.a-e, g**). They vary in size between 100–500 µm and are well-rounded. The serpentinitised areas in these inclusions display bright orange colour in PPL and bright orange to dark red in XP. The degree of serpentinitisation is

varied, in some cases the original, unaltered mineral phases such as pyroxenes, olivines and spinels are well discernible (e.g. **Fig. 3.g** and **4.a-b**), while in other cases the alteration into serpentinite is nearly complete (e.g. **Fig. 3.d**). Monocrystalline quartz (with both straight and undulating extinction), polycrystalline quartz and plagioclase (not zoned) are common, they are sub-angular to sub-rounded. Few, but varied metamorphic rock fragments occur in the sample, among them quartzite, gneiss (sometimes chlorite-bearing) muscovite-schist and meta-siltstone are identified. Their size varies between 200 µm and 1 mm. Rare sub-angular granitoid fragments were also identified, containing sub-angular perthitic K- feldspars within (**Fig. 3.h**). A large, ca. 2 mm long, very well rounded, poly-mictic sandstone fragment was observed (**Fig. 3.a-b**), consisting predominantly of sub-angular to rounded quartz, and rarely chert and chlorite-schist fragments.

Few clay pellets and argillaceous rock fragments (ARF)/grog inclusions also occur in the sample. Clay pellets appear very well-rounded, their colour does not differ significantly from the surrounding clay, and whereas the composition and size of the fine-grained mineral clasts within them is similar to the fine fraction in other parts of the sample, their frequency is lower (**Fig. 3.a-b**). These inclusions are most probably the result of incomplete homogenisation of the clay. The ARF/grog inclusions present in the sample display more complex shapes, furthermore, their clay fraction displays significantly different colours compared to the rest of the sample: they are very light brown in PPL, and black (isotropic) in XP (**Fig. 3.g**). Nevertheless, the suite, size and sorting of inclusions within them matches very closely to the surrounding matrix. The analysis was not conclusive whether these inclusions are present in the sample naturally, or they might be deliberately added crushed ceramic fragments (grog).

SEM-EDS

The aim of the SEM-EDS analysis was to gain more information about the composition of the aplastic inclusions identified in the sample by polarising microscopy, as this may help us better understand the geological environment from where the raw materials originated, and ultimately, where most probably the vessel was made. The elemental compositions of the different phases in the ultramafic rock fragments, pyroxenes, amphiboles, garnets and plagioclases and a series of accessory minerals were measured. Additionally, matrix measurements were also carried out, where ca. 5–10 µm² areas of clay within the groundmass and in the ARF/grog inclusions were measured. The measured compositions are available in the **Appendix**.

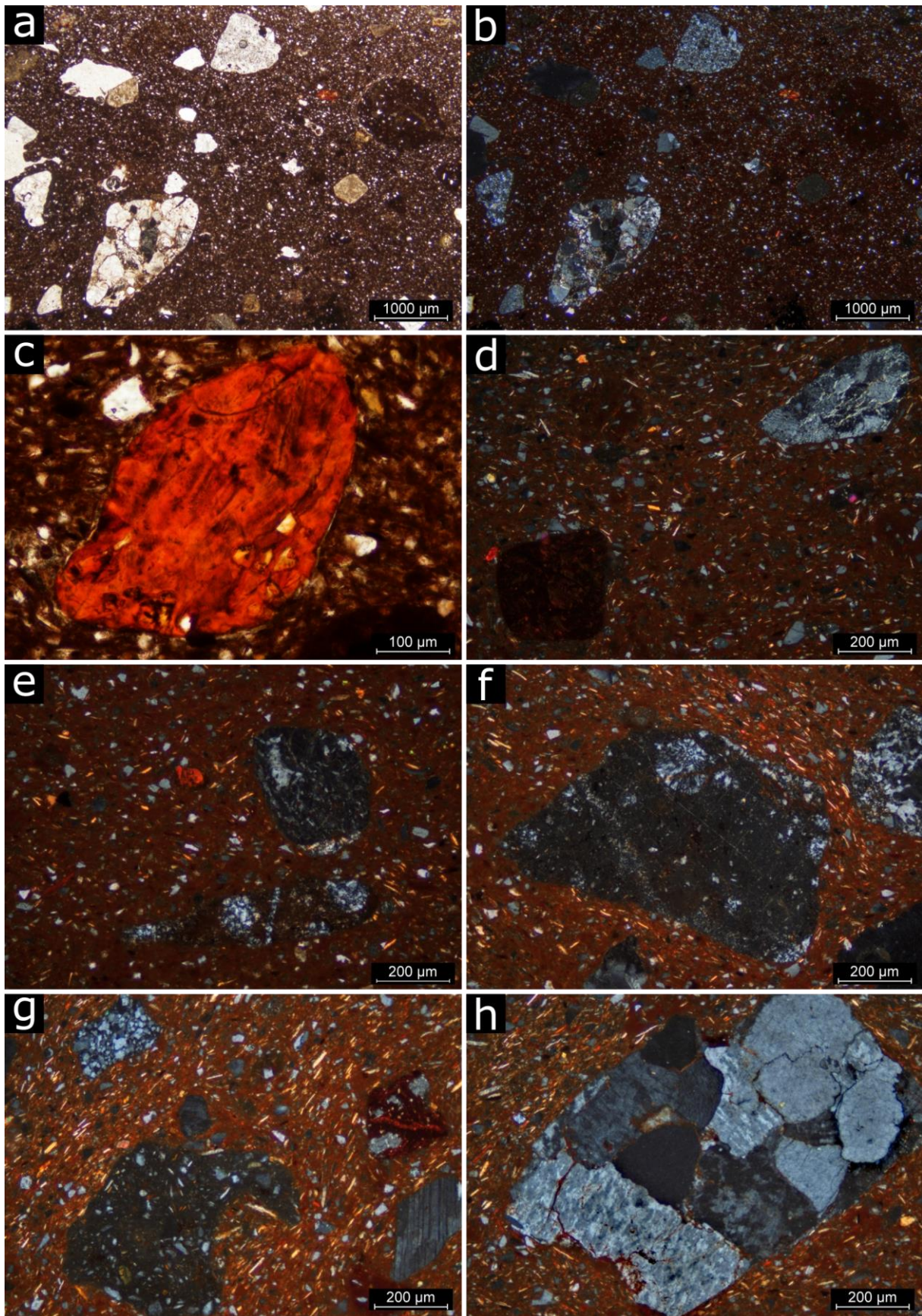


Fig. 3.: See captions on next page

3. ábra: A képek feliratai a következő oldalon

Fig. 3. (see previous page): Photomicrographs of the Balatonlelle sample at various magnifications. Note the optically inactive matrix and the muscovite-rich raw material. (a–b) PPL and XP, respectively, magnification: $\times 20$. The largest inclusion is a very well-rounded sandstone fragment, composed of quartz, chert and a chlorite-schist fragment. Additionally, many vitrified amorphous (often light brown in PPL, near-isotropic in XP) and microcrystalline chert fragments (left and top centre), a serpentinite fragment (orange) and a clay pellet (top right) can be seen; (c) serpentinising peridotite with small clinopyroxene (diopside) inclusions within (XP, $\times 200$); (d) a serpentinite (bottom left) and a muscovite-schist (top right) fragment (XP, $\times 100$); (e) two large radiolarian chert fragments and a small serpentinite (orange) (XP, $\times 100$); (f) a large radiolarian chert fragment (XP, $\times 100$); (g) a large ARF/grog (bottom left); the composition, size and sorting of inclusions within agrees well with the surrounding matrix. Other inclusions in the field of view are plagioclase (albite; bottom right), serpentinising peridotite with ortho- and clinopyroxene inclusions (centre right) and polycrystalline quartz (top left) (XP, $\times 100$); (h) large granitoid fragment composed of quartz and perthitic feldspar (XP, $\times 100$)

3. ábra (előző oldalon): Különböző nagyítással készült polarizációs mikroszkópos felvételek a balatonllelei mintáról. A felvételeken jól megfigyelhető az optikailag inaktív mátrix, illetve a muszkovit csillámban gazdag alapanyag. (a–b) 1 N, ill. + N; nagyítás: $\times 20$. A legnagyobb szemcse egy nagyon jól kerekített homokkő törmelék, amely túlnyomóan kvarcból, illetve kisebb részt kovából és egy kloritpala szemcséből áll. Ezen kívül sok különálló üvegesedett amorf (1 N-lal gyakran világosbarna, + N-lal pedig közel izotróp) és mikrokristályos szövétű kovaszemcse, valamint egy szerpentin és egy agyag pellet látható (jobb felül); (c) szerpentesedő peridotit, benne kisméretű klinopiroxén (diopszid) szemcsék (1 N, $\times 200$); (d) szerpentin (bal alul) és muszkovitpala (jobb felül) (+ N, $\times 100$); (e) két radioláriás tűzkő, illetve egy szerpentin szemcse (+ N, $\times 100$); (f) nagyméretű radioláriás tűzkő szemcse (+ N, $\times 100$); (g) nagyméretű ARF/grog (bal alul). A benne levő törmelékes elegyrészek összetétele, mérete és osztályozottsága nagyon jól megegyezik a körülötte levő agyagos alapanyag törmelékes elegyrészeivel. Jobb alul egy plagioklász (albit) törmelék, egy szerpentesedő peridotit orto- és klinopiroxén szemcsékkel (jobb közepén), illetve egy polikristályos kvarc (bal felül) szemcse látható (+ N, $\times 100$); (h) nagyméretű, kvarcból és perthites földpátból álló granitoid szemcse (+ N; nagyítás: $\times 100$)

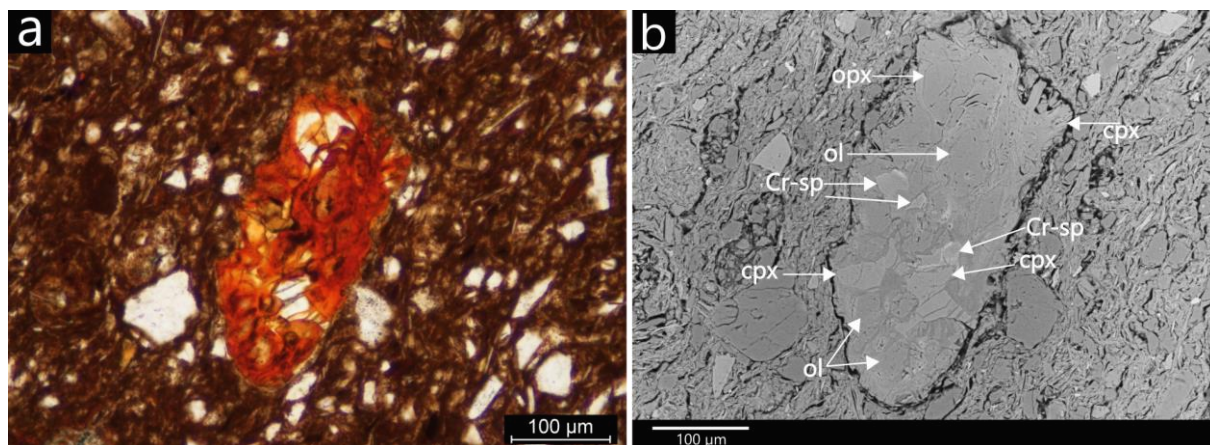


Fig. 4: Peridotite inclusion altering into serpentinite. Remains of orthopyroxene (enstatite), clinopyroxene (diopside), olivine and Cr-spinel phases are visible. (a) photomicrograph by polarising microscope (PPL); (b) SEM backscattered electron image. Note that the serpentine minerals (darkest grey shade) only occur in a small amount between the original peridotitic minerals. Abbreviations: cpx = clinopyroxene; Cr-sp = Cr-spinel; ol = olivine; opx = orthopyroxene

4. ábra: Szerpentesedő peridotit szemcse, amelyben jól láthatók az ortopiroxén (ensztatit), klinopiroxén (diopszid), olivin és króm-spinell fázisok. (a) polarizációs mikroszkópos felvétel (1 N); (b) SEM visszaszórt elektron kép. Megfigyelhető, hogy a szerpentinásványok (legsötétebb szürke árnyalattal) csak kis térfogatszázalékban jelennek meg az eredeti, peridotitos ásványok közötti térrészekben. Rövidítések: cpx = klinopiroxén; Cr-sp = króm-spinell; ol = olivin; opx = ortopiroxén

The most unique inclusions were the ultramafic mineral and rock fragments. Among them, we found partially (e.g. **Fig. 3.g**) and completely (e.g. **Fig. 3.d**) serpentinised peridotite fragments identified during the petrographic analysis. In the least altered peridotite inclusions (e.g. **Fig. 4.a-b**), several original mineral phases were visible, i.e. olivines (**Appendix – Table 4.**), ortho- and clinopyroxenes (**Appendix – Table 2.**) and Cr-spinels (**Appendix – Table 5.**). These indicate a lherzolite as the protolith of this fragment, which was affected by only a low degree of hydrous alteration, as serpentine (**Appendix – Table 3.**) only occurs interstitially between the original peridotitic minerals (**Fig. 4.b**). The orthopyroxenes and clinopyroxenes (of those both appearing in the peridotite inclusions and as separate mineral inclusions) are enstatites and diopsides, respectively (**Fig. 5.**). Mg-numbers ($Mg\# = Mg / (Mg + Fe^{2+})$) of the pyroxenes and olivines (89.4–96.2, see **Appendix – Table 2.** and **4.**) resemble upper mantle values (Griffin et al. 2009). The Cr-spinels are rich in Al and Mg and poor in Cr and Fe (**Appendix – Table 5., Fig. 6.**), which resembles fertile mantle volumes, that experienced very low degree or no partial melting in its recent history. This is in good agreement with its modal composition, i.e. being lherzolite, as increasing partial melting rates would result in clinopyroxene loss and a shift towards harzburgite modal composition (Arai 1987).

Furthermore, several individual amphibole inclusions were analysed in the sample; their composition is presented in **Fig. 7**. According to the classification of Hawthorne (2012), among them we find actinolite, magnesio-hornblende and ferro-ferri-tschermakite (**Appendix – Table 1.**).

The variability of amphiboles reflect the diversity of rock types identified during the petrographic analysis, where fragments of sedimentary, metamorphic and granitoid origin were described. Additionally, two individual garnet inclusions were also measured, they can be classified as almandines (**Appendix – Table 6.**).

The ARF/grog inclusions with their matrix being light brown in PPL and isotropic in XP described in the petrographic analysis were further investigated by SEM-EDS. We measured the clay fraction of these inclusions and compared the results with the clay fraction of the rest of the sample (see **Appendix – Table 7–8.**). We found that in these ARF/grog inclusions the clay contained significantly more CaO (7.12–15.87 w%), while P₂O₅ and Cl were present consistently in low quantities (1.22–5.55 w% and 1.36–2.32 w%, respectively), whereas these latter two constituents were below the detection limit of the EDS in the host matrix.

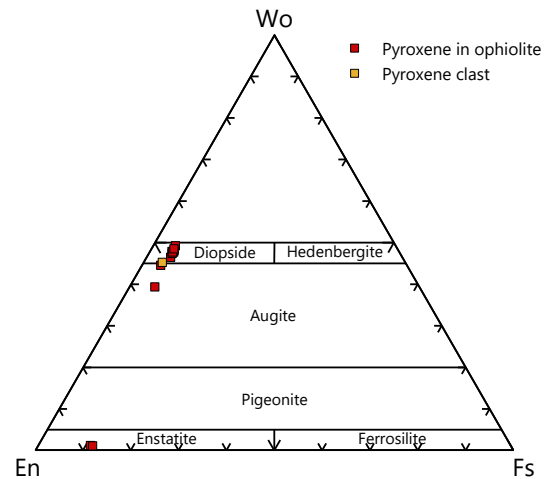


Fig. 5.: Ternary diagram displaying the pyroxenes in the sample, based on their composition measured by SEM-EDS. Red squares represent pyroxenes within ophiolite inclusions in the sample, while yellow square shows an individual pyroxene inclusion within the ceramic matrix. Abbreviations: En = enstatite; Wo = wollastonite; Fs = ferrosilite

5. ábra: A mintában található piroxének ábrázolása háromszög diagramon SEM-EDS-sel mért elemösszetételük alapján. A piros négyzetek ofiolit szemcséken belül található piroxének, míg a sárga négyzet egy, a kerámia szövetében különállóan található piroxén szemcsét jelez. Rövidítések: En = enstatit; Wo = wollastonit; Fs = ferroszilít

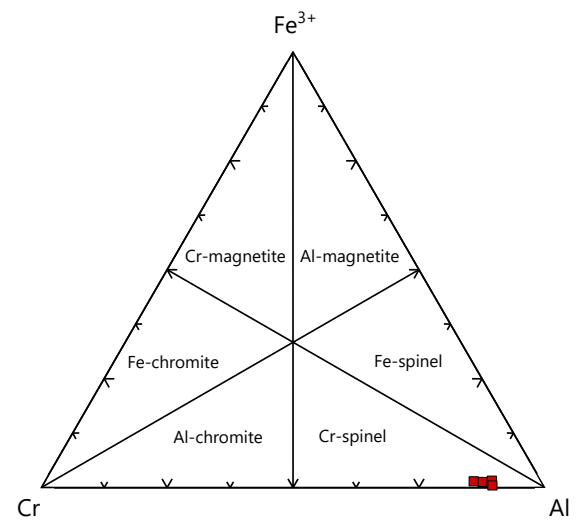


Fig. 6.: Ternary diagram displaying the cations occupying the octahedral site (B position in the general formula AB₂O₄) in the structure of the spinels found in the Balatonlelle sample based on SEM-EDS measurements (modified after Stevens 1944, fig. 5)

6. ábra: A Balatonlelle mintában található spinellek oktaédres kristályozációjában (az általános AB₂O₄ képlet B helyén) található kationok megoszlása SEM-EDS-sel mért összetételeik alapján (Stevens 1944, 5. ábra alapján)

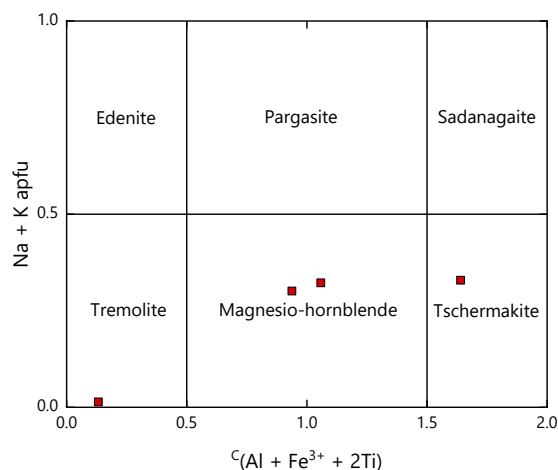


Fig. 7.: Chemical composition of amphiboles in the Balatonlelle sample based on the diagram of Hawthorne et al. (2012). The inclusion falling into the tremolite field can be defined as an actinolite, while the one in the tschermakite field is a ferro-ferri-tschermakite according to the classification of Locock (2014).

7. ábra: A balatonlelle mintában mért amfibolok elemösszetételének ábrázolása Hawthorne és munkatársainak (2012) diagramja alapján. Locock (2014) alapján a tremolit mezőben levő szemcse aktinolitnak határozható meg, míg a tschermakit mezőben levő ferro-ferri-tschermakitnak

On the basis of our analysis it was not possible to conclude whether these fragments can be interpreted as grog or ARF, as these elements may enrich locally due to natural processes, nevertheless deliberate grog tempering cannot be excluded either. Higher concentration of CaO within their clay fraction might be responsible for their isotropic matrix caused by the high firing temperature, as opposed to the optically inactive, but not isotropic host matrix, as calcareous clays are known to start to vitrify at a lower temperature compared to non-calcareous clays (Quinn 2022, 266–269).

Discussion

From its macroscopic and petrographic characteristics, the following information can be derived about the examined sherd. Based on its size and curvature, this sample belonged to a large vessel with a large body diameter. It was made of a very well-sorted, inclusion-rich, micaceous silty clay, suggesting that the raw clay was levigated first, and then coarse to very coarse sand was added to improve its workability. This resulted in a decidedly coarse-textured vessel. The rilling marks on the interior surface suggest that it was thrown or shaped on a wheel. On the interior and exterior surface, a light brown slip layer was applied. The vessel was evenly fired at a high temperature in an oxidising atmosphere, suggesting well-controlled conditions and advanced firing technology. The

large size, lack of decoration and coarse texture together suggest a utilitarian function. Of such vessels, a cooking function may be discounted as unlikely, due to the lack of any soot stain on the exterior. Accordingly, it may be reasonably argued that the sherd probably belongs to a large storage/transport vessel.

The composition of the mineral suite identified in our sample allows us to recognise some aspects of the geological environment from where the raw materials originated, narrowing down the number of probable regions in which it may have been produced. Further confirming that the raw clay was deliberately tempered, differences in composition between the fine and coarse-grained fractions can be observed, the former being characterised by the abundance of muscovite, quartz and feldspars, while the latter displaying great variety comprising fragments of ultramafic, sedimentary, metamorphic and granitoid origin.

The most distinctive characteristic feature in the sample was the presence of ultramafic rock and mineral inclusions, i.e. serpentinising peridotite fragments and radiolarian-rich cherts. Such rocks usually appear on the surface as part of ophiolitic nappes, which are formed when the oceanic lithosphere is obducted, or in other words, uplifted and placed onto another tectonic plate during collision (Dilek & Furnes 2014). As such, ophiolite series comprise a variety of rock types connected to both the upper mantle and the whole crustal section, including ultramafic rocks as part of the former and radiolarites as the deep marine sedimentary cover of the oceanic crust (Haldar 2020). The SW Bükk Mountains is the only place in Hungary, where ophiolitic rocks series can be found (Harangi et al. 1996). However, it is not complete; only parts of the igneous crustal section and the deep marine sediments are present, upper mantle rocks (fresh or serpentinised) are completely missing. Serpentinities occur in the Bódva Valley (Less et al. 2006, 19–20) and the Mecsek Mountains (Szederkényi 1996), but these are small (up to a few hundred meters), isolated bodies in tectonically disturbed successions. Therefore, we assume that the examined sherd, in a rather broad sense, was not made in the vicinity of Balatonlelle. This finding is consistent with the macroscopic evidence that the sherd might have been a transport vessel. Kürthy and colleagues (2018) and Pegán (2023) recently summarised the outcrops of ultrabasic-basic rocks and serpentinities closest to Hungary. According to their work, even the nearest outcrops of ophiolites in the Eastern Alpine region (Melcher et al. 2002), in the Gogołów–Jordanów Massif in Poland (Mydlowski 2009), in the Piedmont-Ligurian Basin (Yegorova & Murovskaya 2023), and, in smaller quantities, in the Maros Valley of the south Carpathians in Romania (Savu 2012), lie several

hundred kilometres away from Balatonlelle. It may be added that Kürthy and colleagues (2018) also mention the description of an outcrop in south Slovakia (Putiš et al. 2015), although we find the Slovakian outcrop in our case less likely, as, according to their description, mainly harzburgites were identified, while in our case the peridotites appear to be lherzolites. However, ophiolites are more abundantly found in the Dinarides and the Vardar zone along the Balkan peninsula, and along the Eastern Mediterranean including the east and southeast Aegean and Anatolia (Robertson 2002).

As we can see, even the closest geologically probable sources mean that the vessel was imported from a large distance. If we consider the possible areas listed above, we find that in the Eastern Mediterranean extensive amphora production was taking place in the Early Migration (Early Byzantine) Period; their products reached even the furthest corners of the former Roman Empire (e.g. Pieri 2005, figs. 32, 47). Conversely, such extensive export activities are not identified from the other known outcrops of serpentinites listed above. Combining the results derived from the macroscopic and petrographic analysis with the historical context, we suggest that our sherd might have belonged to a transport amphora produced in the Eastern Mediterranean.

One of the most common amphora types in circulation in the 6th century was the Late Roman Amphora 1 type (LRA 1), which was produced in many workshops in the Eastern Mediterranean between the 4th and the 7th centuries (Reynolds 2005). According to a recent study, seventeen LRA 1 production centres are presently known, most of them located along the Cilician coast (south-eastern Anatolia) and in Cyprus, with further workshops suggested in southwest Anatolia (İçmeler), on several Aegean islands (Cos, Rhodes, Lipsi and Paros), northern Anatolia (Sinop) and in the Roman province of Syria (*Seleucia Pieria* / Çevlik, Alexandretta-Iskenderun) (Gillett 2023, 10). Further centres reported in literature producing imitations include the island of Karpathos (Didioui 2014), North Africa (Nacef 2007; Pieri 2007), and Egypt (Pieri 2007). Most scholars agree that this type of amphora was used for transporting wine (Komar 2016), which product reached, among others, territories even as far as Britannia (Tomber & Williams 1986) and Hispania (Fantuzzi et al. 2017) provinces. Some petrographic studies have been published about LRA 1 type amphorae (e.g. Fantuzzi et al. 2017; Gillett 2023; Leidwanger 2014; Nagy 2023; Peacock & Williams 1991, 187); these all report on ophiolitic sand tempered fabrics being the predominant fabric for this amphora type, which is not surprising in the light of the known production centres, most of which lie close to ophiolite outcrops. Although the

serpentinite-rich fabrics are most commonly described also containing carbonates (limestone, micrite), these were not observed in our Balatonlelle sample. It is possible that originally it did contain a low amount of carbonate inclusions, but if so, they burnt out during the firing, or dissolved in the soil, as some large voids visible in thin section (see **Fig. 3.a-b**) may be interpreted as “calcite ghosts” (c.f. Gilstrap et al. 2021, figs. 6–7). The LRA 1 type sample with the fabric most similar to the Balatonlelle sherd was found in Kinet Höyük (now Türkiye) (‘LCP - Sample CAS142’ 2012), where the size and sorting of inclusions, including ophiolitic sand fragments, agreed well with our examined sherd. Additionally, it also resembles sample #36 (defined as LRA 1B1, according to the classification of Pieri (2005)) described by Gillett, which is characterised by a fabric rich in serpentinite, chert, limestone and large voids probably connected to dissolved carbonates, and to a lesser amount, quartz, feldspar, pyroxene, mica, sandstone inclusions and clay pellets (Gillett 2023, fig. 29i; ‘LCP - Sample Sepphoris 77.1686.1.1’ 2022).

Therefore, based on the information available from previous studies, it is possible to suggest that the Balatonlelle sample might have belonged to an LRA 1 type vessel, and although its texture differs slightly from the most commonly presented LRA 1 fabrics, it is nonetheless congruent with the geological environment where these amphorae were produced. However, it is also worth adding that, at present, scientific data has yet to be published from many LRA 1 production centres, and that future information from these sites may cast new light on the origin of the Balatonlelle sherd.

Although we consider LRA 1 type amphorae as a possible source of the Balatonlelle sherd, it is important to emphasise that there were other amphora types produced in the Eastern Mediterranean, which might display similar petrographic characteristics. Indeed, in the absence of characteristic stylistic traits visible on the sherd, we cannot suggest a definite match with any specific types. Nonetheless, we found it important to point out that one of the most common and widespread amphora types of the period, the LRA 1 is a possible source for our sherd.

In the 5th–6th centuries, amphorae can be found only sporadically in the former Roman province of Pannonia. On the one hand, it is clear that the number of amphora imports started to drop considerably from the end of the 2nd century AD (Magyar-Hárshegyi 2016), and by the Migration Period, they are considered particularly rare. On the other hand, recent studies on newly recovered material and more refined dating of older finds show that their quantity is slightly higher than had

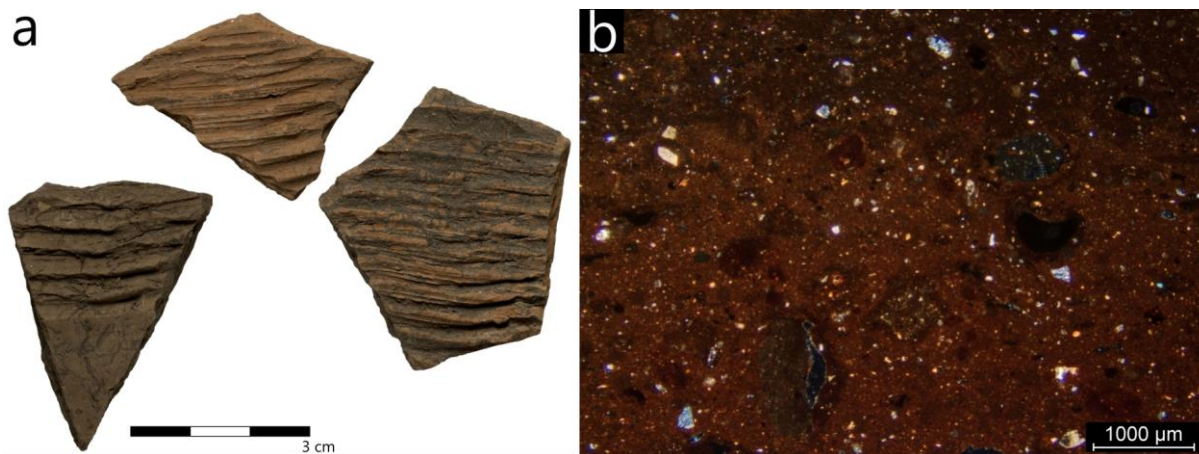


Fig. 8.: LRA 2 amphora from Keszthely-Fenékpuszta (unpublished, Inv. nr. 2015.7.1.80). (a) hand specimen; (b) photomicrograph (XP, $\times 20$). The fabric is comparable to petro-fabric 3 described by Fantuzzi et al. (2016)

8. ábra: LRA 2 amphora Keszthely-Fenékpusztáról (publikálatlan, Itsz.: 2015.7.1.80). (a) töredékek; (b) polarizációs mikroszkópos felvétel (+ N, $\times 20$). A minta szövete jó egyezést mutat a Fantuzzi et al. (2016) által leírt 3. szöveti csoport jellemzőivel

been thought before (Nagy 2023, 341). Amphorae from Pannonia and its vicinity dated exclusively to the post-provincial, Early Migration Period are known from *Cibalae/Vinkovci*, *Sirmium/Sremska Mitrovica* (Nagy 2023, 341–42), Keszthely-Fenékpuszta (Horváth 2011, 597–602) and *Poetovio/Ptuj* (Hárshegyi and Ottományi 2013, 485–86). They were also present in 6th century Langobard contexts in the East Alpine region (Ciglencécki 2000, 148–149). On some occasions, amphorae were found also in the Avar Age, although mainly used as grave goods (Csiky & Magyar-Hárshegyi 2015), with the exception of the settlement of Kölked-Feketekapu (Hajnal 2005). From Keszthely-Fenékpuszta, the late Roman inner fortification merely ca. 40 km from Balatonlelle, new, as yet unpublished research proves that LRA 2 amphorae, stylistically dated to the mid-6th–mid-7th centuries (Pieri 2005, 88), did reach Pannonia (Fig. 8). Their dating is further confirmed by the stratigraphy, as they were recovered from a feature dated to the period following Building Phase B in Building 25 (Building Phase C is suggested to be dated to the 6th century) (Heinrich-Tamáska & Prien 2017, 141).

In the light of the above mentioned cultural environment amphorae might have also reached Balatonlelle in the 6th century. While owing to the lack of stylistic characteristics on the examined sherd it is not possible to determine its origin beyond any doubt, integrated archaeological science analysis combining macroscopic and petrographic methods provided us a possible explanation as to how we can interpret this sherd. Providing that it was in fact an amphora fragment from the Eastern Mediterranean, many further questions arise, for instance, about the cultural and

economic connections of the people from the Balatonlelle site. Although we have no information on the nature of the connection, it is nevertheless interesting that an indirect route might have existed between these territories. Little is known presently about the consumers of the goods transported in the amphorae arriving to Pannonia in the post-provincial period. Understanding the social status and cultural identities of people connected to this later amphora consumption is an exciting new territory of research.

Conclusions...

In this study we reported on a single ceramic sherd from a 6th century site in Balatonlelle, which was suggested to have belonged to a transport vessel. The technology and quality of the sherd may be indicative of industrial production environment (advanced clay preparation and firing technology). It was tempered with coarse-grained ophiolitic sand containing relatively fresh peridotite fragments, which do not outcrop in Hungary. In a geological sense, even the closest of such outcrops lie several hundreds of kilometres away from where the sherd was found. However, we propose that this sherd may originate from even further, from the Eastern Mediterranean, where ophiolites are commonly found, and where Late Roman amphora types (especially LRA 1) were produced in large quantities in the 6th century.

Any discussion of a single sherd necessarily suffers the inevitable deficiencies of small datasets regarding representativeness to the wider archaeological and historical contexts. Accordingly, any conclusions drawn, including those presented here must necessarily be somewhat tentative. Nonetheless, small-scale social/economic interactions,

such as 6th century amphora circulation in Pannonia, remain important phenomena to identify, and as such, we found it important to report on this new finding in detail. It was our aim to provide comprehensive macroscopic and petrographic descriptions, to enable comparisons to be made in the future and help archaeologists to recognise such sherds that only rarely occur in such late contexts.

...and some personal closing remarks

With this study we would like to celebrate the career of György Szakmány, who was one of the key figures establishing modern ceramic petrographic research and education in Hungary, and who started a closer dialogue between archaeologists and geologists in this regard. With the topic of this paper, we intended to evoke one of his first involvements with archaeological ceramics, which was a petrographic contribution to the research of Roman amphorae along the Amber Road in western Pannonia (Bezeczky 1987). Following Gyuri's own lead, we hope that this study will serve as an example of how a combination of archaeological science methods, and a dialogue between researchers of different backgrounds, can be integrated in order to open a new dimension of information.

Contribution of authors

Katalin Bajnok Conceptualisation, Methodology, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Visualisation, Project Administration, Funding acquisition. **Zoltán Kovács** Methodology, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing. **Anna Andrea Nagy** Conceptualisation, Resources, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing.

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to Péter Skriba (Hungarian National Museum), who shared some more details with us about the excavation of Balatonlelle, and to Orsolya Heinrich-Tamáská (Leibniz-Institut für Geschichte und Kultur des östlichen Europa (GWZO)) for the permission of including an amphora sample from Keszthely-Fenekpuszta in this article. We are indebted to Attila Kreiter and Péter Janka (National Institute of Archaeology, Hungarian National Museum) for their last-minute technical help. We are also grateful to Patrick Degryse (KU Leuven) and Grady Gillett (Tel Aviv University), who kindly provided further information about their petrographic research on LRA 1 type amphorae. The help of Sándor Józsa, to whom we could turn to even with the trickiest petrographic questions, is greatly appreciated, as is the prompt and insightful

comments of the reviewers. Special thanks to John Gait (HUN-REN Centre for Energy Research) for suggesting this – in our opinion – funny and apt title, and for giving us many useful pieces of advice throughout the formulation of this study.

References

- ARAI, S. (1987): An Estimation of the Least Depleted Spinel Peridotite on the Basis of Olivine-Spinel Mantle Array. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie - Monatshefte* **1987/8** 347–54.
- BAJNOK, K., KOVÁCS, Z., GAIT, J., MARÓTI, B., CSIPPÁN, P., HARSÁNYI, I., PÁRKÁNYI, D., SKRIBA, P., WINGER, D., von FREEDEN, U., VIDA, T. & SZAKMÁNY, Gy. (2022): Integrated Petrographic and Geochemical Analysis of the Langobard Age Pottery of Szólád, Western Hungary. *Archaeological and Anthropological Sciences* **14** 13.
<https://doi.org/10.1007/s12520-021-01467-1>
- BEZECZKY, T. (1987): *Roman Amphorae from the Amber Route in Western Pannonia*. *BAR International Series* **386** Oxford, Archaeopress, 389 p. <https://doi.org/10.30861/9780860544999>
- BÓNA, I. & B. HORVÁTH, J. (2009): *Langobardische Gräberfelder in West-Ungarn*. *Monumenta Germanorum Archaeologica Hungariae* **6** Budapest, Magyar Nemzeti Múzeum, 422 p.
- CIGLENEČKI, S. (2000): *Tinje Nad Loko Pri Žusmu*. *Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* **4** ZRC SAZU, Založba ZRC, 252 p.
<https://doi.org/10.3986/9789610503279>.
- CSIKY, G. & MAGYAR-HÁRSHEGYI, P. (2015): Wine for the Avar elite? Amphorae from Avar Period burials in the Carpathian Basin. In: TSETSKHLADZE, G.R., AVRAM, A. & HARGRAVE, J., eds., *The Danubian Lands between the Black, Aegean and Adriatic Seas (7th Century BC-10th Century AD)*. *Proceedings of the Fifth International Congress on Black Sea Antiquities, Belgrade, 17–21 September 2013*, Oxford, Archaeopress, 175–182.
<https://doi.org/10.2307/j.ctvr43k44.29>
- DIDIOUMI, S. (2014): Local Pottery Production in the Island of Cos, Greece from the Early Byzantine Period. A Preliminary Report. In: POULOU-PAPADIMITRIOU, N., NODAROU, E. & KILIKOGLU, V., eds., *LRCW 4 Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean*. *Archaeology and Archaeometry. The Mediterranean: A Market without Frontiers*, Vol. 1. *BAR International Series* **2616** Oxford, Archaeopress, 169–180.
<https://doi.org/10.30861/9781407312514>

- DILEK, Yildirim & FURNES, Harald (2014): Ophiolites and Their Origins. *Elements* **10/2** 93–100. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.2.93>
- FANTUZZI, L., CAU ONTIVEROS, M.Á. & AQUILUÉ, X. (2016): Archaeometric Characterization of Amphorae from the Late Antique City of *Emporiae* (Catalonia, Spain). *Archaeometry* **58/S1** 1–22. <https://doi.org/10.1111/arcm.12176>
- FANTUZZI, L., CAU ONTIVEROS, M.Á. & REYNOLDS, P. (2017): Archaeometric Characterisation of Late Roman Amphora 1 Imports in North-Eastern Spain. In: DIXNEUF, D., ed., *LRCW 5, Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean. Archaeology and Archaeometry*, Vol. 1, Alexandria, Centre d'Études Alexandrines, 93–116.
- GILLETT, G. (2023): A Petrographic Network Analysis of the Distribution of Late Roman 1 Amphorae in the Eastern Mediterranean. *MA thesis*, Tel Aviv, Tel Aviv University, 114 p.
- GILSTRAP, W.D., MEANWELL, J.L., PARIS, E.H., LÓPEZ BRAVO, R. & DAY, P.M. (2021): Post-Depositional Alteration of Calcium Carbonate Phases in Archaeological Ceramics: Depletion and Redistribution Effects. *Minerals* **11** 749. <https://doi.org/10.3390/min11070749>
- GRIFFIN, W.L., O'REILLY, S.Y., AFONSO, J.C. & BEGG, G.C. (2009): The Composition and Evolution of Lithospheric Mantle: A Re-evaluation and its Tectonic Implications. *Journal of Petrology* **50/7** 1185–1204. <https://doi.org/10.1093/petrology/egn033>
- HAJNAL, Zs. (2005): Késő antik jellegű kerámia a Kölked-feketekapui avar kori telepről'. *Communicationes Archaeologicae Hungariae*, 437–480.
- HALDAR, S.K. (2020): Basic Petrology. In: HALDAR, S.K., ed., *Introduction to Mineralogy and Petrology*, Elsevier, 145–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820585-3.00004-1>
- HARANGI, Sz., SZABÓ, Cs., JÓZSA, S., SZOLDÁN, Zs., ÁRVA-SÓS, E., BALLA, M. & KUBOVICS, I. (1996): Mesozoic Igneous Suites in Hungary: Implications for Genesis and Tectonic Setting in the Northwestern Part of Tethys. *International Geology Review* **38/4** 336–360. <https://doi.org/10.1080/00206819709465339>
- HÁRSHEGYI, P. & OTTOMÁNYI, K. (2013): Imported and Local Pottery in Late Roman Pannonia. *Late Antique Archaeology* **10/1** 471–528. <https://doi.org/10.1163/22134522-12340040>
- HAWTHORNE, F.C., OBERTI, R., HARLOW, G.E., MARESCH, W.V., MARTIN, R.F., SCHUMACHER, J.C. & WELCH, M.D. (2012): Nomenclature of the Amphibole Supergroup. *American Mineralogist* **97/11–12** 2031–2048. <https://doi.org/10.2138/am.2012.4276>
- HEINRICH-TAMÁSKA, O. & PRIEN, R. (2017): Keszthely-Fenekpuszta in der Spätantike: Ein Vorbericht über die deutsch-ungarischen Ausgrabungen zwischen 2009 und 2017. *Antaeus, Communicationes Ex Instituto Archaeologico Academiae Scientiarum Hungariae* **35–36** 119–145.
- HORVÁTH, F. (2011): Das spätantike Keramikspektrum in Keszthely-Fenekpuszta – Erste Ergebnisse. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O., ed., *Keszthely-Fenekpuszta Im Kontext Spätantiker Kontinuitätsforschung Zwischen Noricum Und Moesia, Castellum Pannonicum Pelsonense 2* Budapest, Leipzig, Keszthely, Rahden/Westf., Geisteswissenschaftlichen Zentrums Geschichte und Kultur Ostmitteleuropas e.V. und der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 597–652.
- KOMAR, P. (2016): Wines from Cyprus and Cilicia in Antiquity: Taste and Trade. *Electrum* **23** 155–185. <https://doi.org/10.4467/20800909EL.16.008.5827>
- KÜRTHY, D., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S., FEKETE, M. & SZABÓ, G. (2018): A regőlyi vaskori kerámiatöredékek archeometriai vizsgálatának új eredményei. *Archeometriai Műhely* **XV/1** 1–12.
- 'LCP - Sample CAS142' (2012): The Levantine Ceramics Project. (Date of access: 01-18-2024) <https://www.levantineceramics.org/petrographics/625-cas142>.
- 'LCP - Sample Sepphoris 77.1686.1.1' (2022): The Levantine Ceramics Project. (Date of access: 01-18-2024) <https://www.levantineceramics.org/petrographics/625-cas142>.
- LEIDWANGER, J. (2014): A Preliminary Archaeometric Analysis of the Late Roman 1 Amphoras from the Cargo of the Seventh-Century Yassıada Shipwreck, Turkey. In: POULOU-PAPADIMITRIOU, N., NODAROU, E. & KILIKOGLU, V., eds., *LRCW 4 Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean, Archaeology and Archaeometry. The Mediterranean: A Market without Frontiers*, Vol. 2. *BAR International Series* **2616** Oxford, Archaeopress, 897–906.
- LESS, Gy., KOVÁCS, S., SZENTPÉTERI, I., GRILL, J., RÓTH, L., GYURICZA, Gy., SÁSDI, L., PIROS, O., RÉTI, Zs., ELSHOLZ, L., ÁRKAI, P., NAGY, E., BORKA, Zs., HARNOS, J. & ZELENKA, T. (2006): Az Aggtelek–Rudabányai-hegység földtana. *Magyarázó az Aggtelek–Rudabányai-hegység 1988-ban megjelent 1:25 000*

méretarányú fedetlen földtani térképéhez. Magyarország Tájégségi Térképsorozata. Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet, 89 p.

LOCOCK, A.J. (2014): An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers & Geosciences* **62** 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.011>

MAGYAR-HÁRSHEGYI, P. (2016): The trade of Pannonia in the light of amphorae (1st–4th century AD). *Dissertationes Archaeologicae* **3/4** 427–438.

<https://doi.org/10.17204/dissarch.2016.427>

MELCHER, F., MEISEL, T., PUHL, J. & KOLLER, F. (2002): Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: constraints from geochemistry. *Lithos* **65/1–2** 69–112.

[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(02\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00161-5)

MYDŁOWSKI, A. (2009): Isotopic mass balance of metamorphic fluids in the Gogołów–Jordanów Serpentinite Massif, Lower Silesia, SW Poland. *Annales Societatis Geologorum Poloniae* **79** 147–158.

NACEF, J. (2007): Nouvelles données sur l’atelier de potiers de Henchir ech Chekaf (Ksour Essef, Tunisie). In: BONIFAY, M. & TRÉGLIA, J.-C., eds., *LRCW 2. Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean: Archaeology and Archaeometry*, Vol. 2. *BAR International Series* **1662** Oxford, BAR Publishing, 581–595.

<https://doi.org/10.30861/9781407300986>

NAGY, A.A. (2023): Dél-Pannonia gazdasági kapcsolatai az amphoraleletek tükrében. *PhD Thesis*, Budapest, Eötvös Loránd University, 513 p.

<https://doi.org/10.15476/ELTE.2023.323>

PÁNCZÉL-BAJNOK, K., PÁNCZÉL, P., SZAKMÁNY, Gy. & VIDA, T. (2014): 5–6. századi, Pannonia területéről származó kerámiák archeometriai elemzése. *Archeometriai Műhely* **XI/1** 1–12.

PEACOCK, D.P.S., & WILLIAMS, D.F. (1991): *Amphorae and the Roman Economy. An introductory guide*. London and New York, Longman, 239 p.

PEGÁN, E. (2023): Felszíni szerpentin előfordulások és kőzettani-geokémiai jellegeik a Kárpát-medence környezetében. *BSc thesis*, Budapest, Eötvös Loránd University, 51 p.

PIERI, D. (2005): *Le commerce du vin oriental à l’époque byzantine (Ve-VIIe siècles). Le témoignage des amphores en Gaule. Bibliothèque Archéologie et Historique* **174** Beyrouth, Institut français du Proche-Orient, 352 p.

PIERI, D. (2007): Les centres de production d’amphores en Méditerranée orientale durant l’Antiquité tardive : quelques remarques. In: BONIFAY, M. & TRÉGLIA, J.-C., eds., *LRCW 2. Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean: Archaeology and Archaeometry*, Vol. 2. *BAR International Series* **1662** Oxford: BAR Publishing, 611–625.

<https://doi.org/10.30861/9781407300986>

PUTIŠ, M., YANG, Y.-H., KOPPA, M., DYDA, M. & ŠMÁL, P. (2015): U/Pb LA–ICP–MS age of metamorphic–metasomatic perovskite from serpentinized harzburgite in the Meliata Unit at Dobšiná, Slovakia: Time constraint of fluid–rock interaction in an accretionary wedge’. *Acta Geologica Slovaca* **7/1** 63–71.

QUINN, P.S. (2022): *Thin Section Petrography, Geochemistry and Scanning Electron Microscopy of Archaeological Ceramics*. Oxford, Archaeopress, 466 p.

REYNOLDS, P. (2005): Levantine Amphorae from Cilicia to Gaza: A Typology and Analysis of Regional Production Trends from the 1st to 7th Centuries. In: GURT i ESPARRAGUERA, J.M., BUXEDA i GARRIGÓS, J. & CAU ONTIVEROS, M.Á., eds., *LRCW 1. Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean: Archaeology and Archaeometry*, Ann Arbor, MI, University of Michigan Press, 563–611.

<https://doi.org/10.30861/9781841716862>

ROBERTSON, A.H.F. (2002): Overview of the Genesis and Emplacement of Mesozoic Ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan Region. *Lithos* **65/1–2** 1–67.

[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(02\)00160-3](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00160-3)

SAVU, H. (2012): Evolution of Ultramafic Rocks during the Regional Metamorphism in South Carpathians, Romania’. *Proceedings of the Romanian Academy Series B* **1** 85–89.

SKRIBA, P. (2006): Langobard Települések a Balaton partján (Az M7-es autópálya megelőző régészeti feltárásai 2002–2004-ben: Balatonlelle és Balatonkeresztúr). *Tatabányai Múzeum Tudományos Füzetek* **8** 55–93.

SKRIBA, P. & SÓFALVI, A. (2004): Langobard Település Balatonlelle Határában. *Archaeologiai Értesítő* **129** 121–63.

SÓFALVI, A., NAGY, B. & SKRIBA, P. (2007): Balatonlelle-Országúti-dűlő és Balatonlelle-Felső-Gamász’. In: BELÉNYESY, K., HONTI, Sz. & KISS, V., eds., *Gördülő Idő. Régészeti feltárások az M7-es autópálya Somogy megyei szakaszán Zamárdi és Ordacsehi között*. Kaposvár & Budapest, Somogy Megyei Múzeumok Igazgatósága & MTA Régészeti Intézete, 151–166.

STEVENS, R.E. (1944): Composition of some chromites of the western hemisphere. *The American Mineralogist* **29/1–2** 1–34.

SZEDERKÉNYI, T. (1996): Metamorphic formations and their correlation in the Hungarian part of the Tisia Megaunit (Tisia Composite Terrane). *Acta Mineralogica-Petrographica* **XXXVII** 143–60.

TOMBER, R. & WILLIAMS, D. (1986): Late Roman Amphorae in Britain. *Journal of Roman Pottery Studies* **1** 42–54.

WHITBREAD, I.K. (1995): *Greek Transport Amphorae: A Petrological and Archaeological Study. Fitch Laboratory Occasional Paper 4* London, British School at Athens, 453 p.

YEGOROVA, T.P. & MUROVSKAYA, A. (2023): Ophiolite complex of Piedmont-Ligurian basin (Northern Apennines). *Geofizicheskiy Zhurnal* **45/5** 91–107. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i5.289112>

A KALECSINSZKY-FÉLE AGYAGGYŰJTEMÉNY ARCHEOMETRIAI CÉLÚ FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

POSSIBLE ARCHAEOMETRIC APPLICATIONS OF THE KALECSINSZKY CLAY COLLECTION*

KREITER, Attila¹; VIKTORIK, Orsolya¹; MÁTÉ, László¹
PÉTERDI, Bálint² & SZILÁGYI, Veronika^{3*}

¹Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Régészeti Intézet, Archeometriai Laboratórium,
H- 1113 Budapest, Daróczi út 3.

²Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

³Energiatudományi Kutatóközpont, H-1121 Budapest Konkoly-Thege M. út 29-33.

*Levelező szerző, e-mail: szilagyi.veronika@ek.hun-ren.hu

Abstract

Our paper draws attention to the so-called Kalecsinszky clay collection, which was established at the turn of the 19th and 20th centuries, in the former Hungarian Royal Geological Institute. In this paper the possibilities of its utilisation in ceramic archaeometry are emphasized. The original collection contained more than 900 samples while today 728 items are known, most of them are clearly identifiable and their localities are described in the original catalogue. The first steps in the modern processing of this collection and an example for applying the gained data in archaeometry are presented. By selecting white or light-colored clays from the clay collection and comparing them with medieval white ceramics, we gain a better understanding on the origin of raw materials. Moreover, we also gain insight into how these raw materials may have been manipulated by the potters. The first stage of the material analysis was the thin section-based microscopic petrographic description of the selected 209 clays that is accessible at the Archaeometry Laboratory of the Hungarian National Museum.

Kivonat

Írásunk az egykori Magyar Királyi Földtani Intézet századfordulón létrehozott, úgynevezett Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményére hívja fel a figyelmet a kerámiaarcheometriai kutatásban való alkalmazásának lehetőségeit hangsúlyozva. A gyűjtemény eredetileg több mint 900 mintájából mára 728 db maradt fenn, amelyeknek jelentős része jól azonosítható a katalógus sorszámaival és így a lelőhelyekkel. Bemutatjuk az agyagminták modern feldolgozására tett első lépéseket és egy példát hozunk az adatok felhasználására. A fehér vagy világos színűre égő agyagoknak az agyaggyűjteményből való leválogatásával és a középkori fehér kerámiákkal való összehasonlításával a nyersanyageredet meghatározásához és a nyersanyag-felhasználás technikájához jutunk közelebb. Az anyagvizsgálat első lépéseként elkészült a kiválasztott 209 db minta vékonycsiszolatokon alapuló mikroszkópos petrográfiai feldolgozása, amely hozzáférhető az MNM NRI Archeometriai Laborjában.

KEYWORDS: raw and fired clay, ceramic provenance, Carpathian Basin

KULCSSZAVAK: nyers és kiégetett agyag, kerámia proveniencia, Kárpát-medence

Bevezetés

A régészeti kerámiák archeometriai vizsgálata során a legalapvetőbb kérdés, hogy milyen nyersanyagból készültek, és azok honnan származhatnak. Vajon megtalálhatók-e ezek a nyersanyagok a régészeti lelőhely környékén, vagy a kerámiák esetleg máshonnan származnak, ami a

közösségek lehetséges kapcsolataira világít rá. Szintén gyakori kérdés, hogy a fazekasok hogyan dolgozták fel és mivel soványították a nyersanyagokat. A nyersanyagok használatának módja azért is fontos, hogy megértsük az egykor élt emberek kapcsolatát a közvetlen környezetükkel, illetve, hogy információt kapjunk az egykori tájhasználatról.

* How to cite this paper: KREITER, A.; VIKTORIK, O.; MÁTÉ, L.; PÉTERDI, B. & SZILÁGYI, V., (2024): A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény archeometriai célú felhasználási lehetőségei / Possible archaeometric applications of the Kalecsinszky clay collection [In Hungarian with English abstract], *Archeometriai Műhely XXI/2* 217–232.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-017](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-017)

Szakmány György tanítványaiként fokozatosan megtanultuk egyetemi éveink alatt, hogy a fenti kérdésekre és a helyi nyersanyagok használatának módjára akkor adható a legpontosabb válasz, ha a vizsgálandó kerámiák nyersanyagát össze tudjuk hasonlítani a lelőhelyek környékéről vett agyagmintákkal. Tanácsait megfogadva, ahol lehetséges, mikroszkópos szöveti szinten összehasonlítjuk a kerámiákat a lelőhely környezetéből gyűjtött nyersanyagokkal. Az agyagminták vizsgálatának a fentiekén kívül további nagy előnye, hogy ismereteket szerzünk arról, hogy az adott lelőhely kerámiakészítéssel foglalkozó mesterei a településtől milyen távolságra gyűjtötték az agyagot, illetve hányféle potenciális nyersanyag állhatott rendelkezésre és ezek közül melyeket használták. Ezek az információk aztán felhasználhatók a kerámiakészítési hagyományok pontosabb rekonstruálásában kerámiastílusok vagy akár az egyes korszakok tekintetében (kora neolitikumi kerámiakutatás esetében lásd pl. Kreiter et al. 2013).

A begyűjtött és kiégetett agyagminták vékonycsiszolatait összehasonlítva a lelőhely kerámiáinak vékonycsiszolataival, megtudhatjuk, hogy az adott nyersanyagot hogyan dolgozták fel, mennyire tisztították (növényi maradványok, nagyobb összetevők eltávolítása) és homogenizálták (keményebb agyagdarabok eldolgozása), mennyire finomították (ülepítés), milyen és mennyi soványító anyagot (pl. homok, aprókavics) adtak hozzá és hogy keverték-e különböző nyersanyagokat. Vagyis az agyagminták vizsgálata alapvetően új értelmezési lehetőségeket ad a kerámiákat elemző szakembereknek és egyedi lehetőséget biztosít a kerámiakészítési hagyományok minél pontosabb rekonstruálásához.

Éppen ezért, ha lehetséges, agyagmintákat gyűjtünk a régészeti lelőhelyek környékéről, de vannak olyan esetek, amelyek nem teszik lehetővé potenciális nyersanyagok begyűjtését. Például a feltárás után beépített vagy (pl. bányaműveléssel) elpusztított területeken ez nem lehetséges. Olyan helyzetek is előfordulnak, amikor középkori épített városi környezetből, római településről, vagy katonai táborból vizsgálunk kerámiákat. Ilyen esetekben a kerámiák számos területről érkezhettek vagy olyan módon, hogy a tartalmukkal kereskedtek, vagy pedig magukkal a kerámiákkal. Éppen ezért a lehetőségekhez képest nemcsak a vizsgált régészeti lelőhelyek környékén, hanem azoktól távolabb, számos egyéb helyről is szükséges agyagmintákat gyűjtenünk.

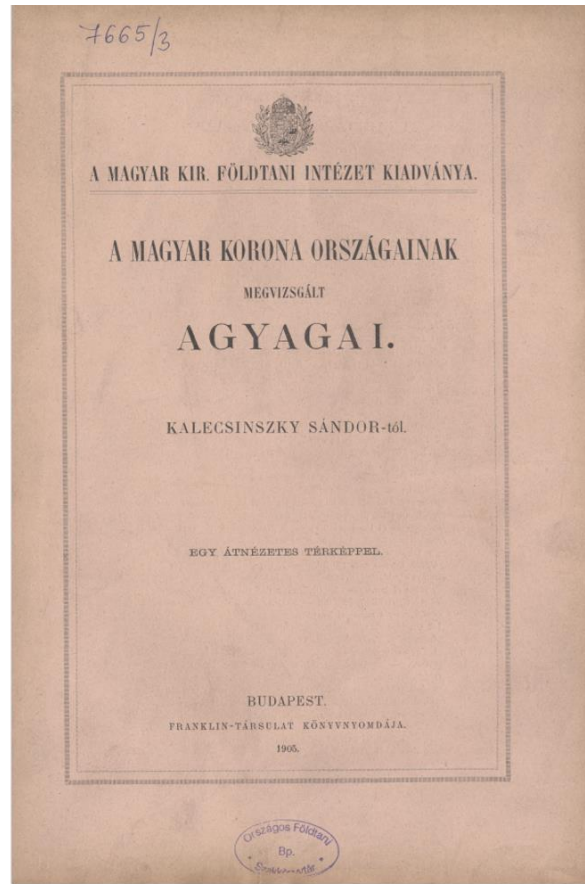
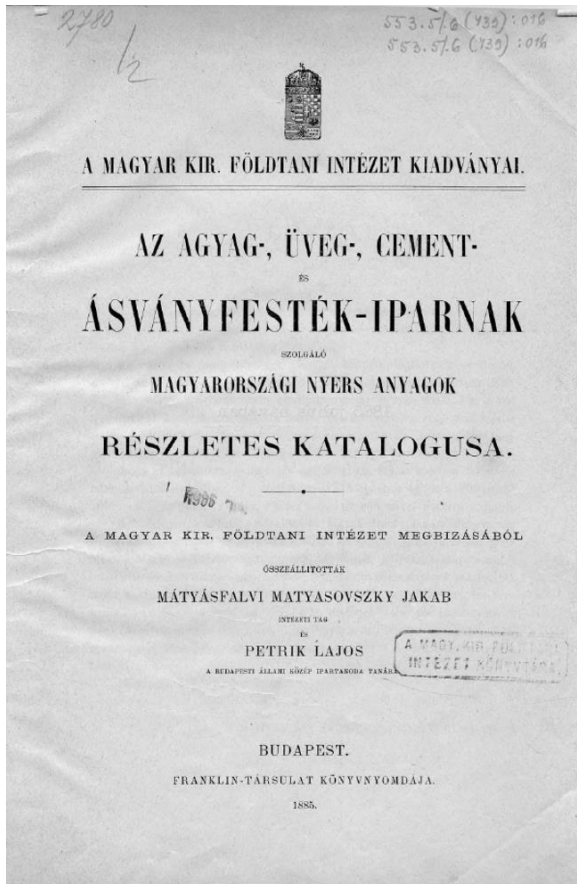
A megoldást a problémára a nagy területeket viszonylag nagy részletességgel lefedő nyersanyagmegminta és adatbázis jellegű feldolgozás jelentené. Ezzel szembesülnek a régészeti provenienciakutatás más területei is (pl. kőeszköz, fémlelet), ahol mind hazai (pl. MNM Litotéka:

<http://www.ace.hu/litot/>; MNM Régészeti Adatbázis: <https://archeodatabase.hnm.hu/>), mind külföldi példák (pl. University of Southampton 2014, Anichini et al. 2020) mutatják, hogy az összehasonlító gyűjtemények és adatbázisok mennyire hasznosak.

Jó volna, ha létezne egy viszonylag átfogó agyaggyűjtemény hazánk területére (mi több, a történelmileg nagyobb kiterjedésű országra nézve), amely egy közgyűjtemény részeként hozzáférhető összehasonlító vizsgálatokra. A jó hír az, hogy létezik egy ilyen, tiszteletet érdemlő korú kollekción. Jelen munkánkban erre hívjuk fel a figyelmet, illetve bemutatjuk a modern feldolgozására tett első lépéseket. Az adatok felhasználására pedig egy példát is hozunk a kerámiák nyersanyagának vizsgálatában egyedi helyet elfoglaló középkori fehér kerámiák esetével. A fehér vagy világos színűre égő agyak korlátozottan fordulnak elő Magyarországon. Ezeknek az agyaggyűjteményben való felkutatásából és a régészeti anyaggal való összevetéséből ad izelítőt esettanulmányunk.

A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény

A Magyar Királyi Földtani Intézet (1869–1949, jogutódja jelenleg a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, SZTFH) az 1885-ös országos köztárlaton (Országos Általános Kiállítás), majd az 1891-es budapesti Agyag-, Cement-, Aszfalt- és Kőipari Kiállításon egy impozáns méretű nyers- és égettagyag-gyűjteményt mutatott be. Majd ennek sikere alapján, már a hazai (a Magyar Korona országaiból származó) agyak tűzállósági vizsgálatának eredményeivel együtt az 1896-os millenniumi kiállításon (Ezredéves Országos Kiállítás) is megjelent a kollekción, ahol a kapcsolódó nemzetközi bányászati, kohászati és földtani kongresszuson ismertették (Viczián 2006, Hála 2014, Babinszki 2019). Az agyagminták katalógusát – a pontos lelőhelyekkel, egyszerű leírásokkal és vizsgálati eredményekkel – nem önállóan, hanem több kiadványban, fokozatosan bővítve és adatokkal kiegészítve adták közre (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885; Petrik 1887, 1888, 1889, 1913; Kalecsinszky 1892, 1896, 1905). Az első katalógus 1885-ben látott napvilágot (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885) és 177 minta adatait tartalmazta. Kalecsinszky 1893-ban egy térképpel illusztrált „pótfüzet”-et készített Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik (1885) művéhez (Kalecsinszky 1893). 1905-ben adták ki a teljes addigi gyűjteményt és az összegyűjtött vizsgálati eredményeket bemutató katalógust (Kalecsinszky 1905) (**1. ábra**), amelynek mellékleteként jelent meg az 1899-ben kiadott és 1900-ban a párizsi világkiállításon bemutatott, 1:900 000-es méretarányú agyaglelőhely-térkép is (Kalecsinszky 1899).



1. ábra: A Mátyásfalvi Mattyasovszky és Petrik (1885) és a Kalcicsinszky (1905) által közölt agyagkatalógusok címoldala, valamint a Kalcicsinszky által 1892-ben készített lelőhelytérkép

Fig. 1.: Title pages of clay catalogues by Mátyásfalvi Mattyasovszky and Petrik (1885) and Kalcicsinszky (1905), and the locality map created by Kalcicsinszky in 1892

A gyűjtemény igen rövid idő alatt állt össze. Előbb két év alatt (1883–1885) több, mint 300, majd további egy évtized alatt megközelítőleg ezerre növekvő mintaszámmal, amelyekből égetési kísérleteket végeztek, mégpedig háromféle módon: 1000 °C maximális égetési hőmérsékleten a fazekasáru- és tégláégetés modellezésére; 1200 °C maximális égetési hőmérsékleten a mázak égetésének modellezésére; 1500 °C maximális égetési hőmérsékleten az iparban alkalmazott legnagyobb égetési hőmérséklet modellezésére (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885, Kalecsinszky 1905). A mintákat az égetési kísérletek alapján felállított 3 csoportba és 8 tűzállósági fokozatba (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885), majd végül 7 tűzállósági fokozatba (Kalecsinszky 1905) sorolták. A mintákról a lelőhelyadatokat (lelőhely neve, néhány szavas leírás a begyűjtés pontos helyéről, a begyűjtőről, a fejtés jellegéről, a tulajdonosról), nagyon szűkszavú makroszkópos leírást, emellett pedig korábbi kémiai elemzési adatokat is bemutatnak (a teljesség igénye nélkül: a Magyar Királyi Bányagazgatóság vizsgálatai, Emszt Kálmán publikálatlan vizsgálatai, László 1886). Be kell hát látnunk, hogy egy ilyen méretű, szisztematikus munka manapság is grandiózus volna, az ezredfordulón pedig korát messze meghaladta.

Nehéz elmenni emellett a teljesítmény mellett anélkül, hogy a mögötte álló embereket megemlítenénk. Mátyásfalvi Mattyasovszky Jakab (Magyar Királyi Földtani Intézet, geológus), Petrik Lajos (Magyar Királyi Állami Felső Ipariskola, vegyész, keramikus) és Kalecsinszky Sándor (Magyar Királyi Földtani Intézet, vegyész) (Hála 2002, Papp 2002, Cserepes et al. 2017) gyűjtötte össze az adatokat és hajtotta végre a vizsgálatokat. A gyűjteményt azért említjük a továbbiakban Kalecsinszky nevében, mert az ő munkásságához köthető a kiinduló mintalista és vizsgálatok majdnem megnégyszerezése, illetve a jelenleg még szűkös szakmai közösségben elsősorban ezen a néven említik. Mindezzel azonban nem áll szándékunkban Mátyásfalvi Mattyasovszky Jakab és Petrik Lajos e téren végzett áldozatos munkájának kisebbitése, írásunk az ő tevékenységük előtt is tisztelettel adózik.

A II. világháború után az intézet gyűjteményeinek jelentős részét különböző társzervezeteknek és oktatási intézményeknek adták át (Tasnádi Kubacska 1969). A nyilvános múzeumot megszüntették, a Lechner által tervezett – és két világháborút is túlélt – kiállítási bűtorzatot felapították és eltűntek. A gyűjtemények jelentős részeit – főként a korábbi magyar területekről származó őslénytani anyagot érintően – karhatalom igénybevételével kidobták. Az agyaggyűjtemény elkerült az intézetből előbb a Budapesti Műszaki Egyetemre, majd 1950-ben az Iparművészeti Múzeumba. Sorsáról keveset tudunk, de azért

történetek próbálkozások ennek a hatalmas „kincs-bányának” az újra feldolgozására, vagy legalább hivatkozták a későbbi munkákban. Így fontos megemlítenünk Liffa Aurél kaolinkutatási munkáit (Liffa 1937, 1940), amelyben ugyan új, saját gyűjtések alapján közölt eredményeket, de több esetben Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik (1885) vagy Kalecsinszky (1905) tűzállósági fokozatbeli besorolására hivatkozik. Liffa saját bejárásainak fontos hozadéka, hogy pontos leírásokat készített mind a lelőhelyekről, települési viszonyokról, mind a begyűjtött kőzetekről. A népikerámia-kutatás (Kresz 1960, Kresz 1991) is hivatkozza a fenti forrásműveket, és hangsúlyozza, hogy az agyagkatalógus begyűjtésének időszaka egybeesik a magyar tárgyi néprajz-tudomány megindulásával, vagyis a népi kerámiák anyaga az adott korszakban működő, kisebb-nagyobb agyagbányákból, agyagnyerő helyekről származik vagy származhat. Az 1980-as években a Szilikátipari Kutatóintézet (SZIKKTI) is felhasználta a forrásműveket a Finomkerámiai nyersanyag kataszter készítéséhez (Molnárné & Wágner 1975, Molnárné 1980, 1981, 1986, Molnárné & Szilágyiné 1985). Kresz Mária újabb kutatásainak és Hála József áldozatos tevékenységének (Kresz 1985, Hála 2014) hozadéka volt, hogy néhány próbaméréssel igazolták a Kalecsinszky által megállapított tűzállósági fokozatok helytállóságát (Terényiné & Wagner 1985).

Az agyaggyűjtemény fennmaradt része 1993-ban került vissza a Magyar Állami Földtani Intézetbe (MÁFI) az Iparművészeti Múzeum kezdeményezésére (Kordos 1994, Hála 2002, 2014), de az üvegtárolókat a Stefánia úti főépületben állandósult helyhiány miatt a rákóczi bányai magmintaraktárban helyezték el. 1994-ben az intézet – és benne a múzeum – létszáma is drasztikusan lecsökkent. A korábbi 30–37 fő helyett 6 főnek kellett ellátnia a hatalmas gyűjtemény kezelését. Megszűnt a preparátori tevékenység, és a magmintaraktárakban sem maradt személyzet. 2011–2012-ben a kötelező nyugdíjazások miatt néhány hónapra a múzeum személyzetének létszáma 1 főre csökkent, az azóta eltelt időben általában 4 és 7 fő között mozgott (2023-ban a könyvtárakkal összevont Gyűjteményi Osztály létszáma 7 fő). A létszámhiányra visszavezethető okok miatt az ország egyik legnagyobb – mintegy 200 000 egyedileg leltározott tételt és mintegy 300 000 újra leltározandó tételt magába foglaló – földtani gyűjteményének feltárása bár folyamatos, de lassan halad.

A 2000-es évek elején Babinszki Edit (akkor a MÁFI munkatársa) karolta fel az agyaggyűjtemény ügyét és kezdte el digitalizálni a minták adatait. Munkája közöletlen maradt, azonban a Magyarország területére eső lelőhelyek térképi megjelenítését a „Nyersanyag atlasz – Nem-érces



2. ábra: A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény a századfordulón. (a) 1900-ban a Magyar Királyi Földtani Intézet budapesti Stefánia úti állandó kiállításában (Stefánia út 14.); (b) 1891-ben a budapesti városligeti iparszarnok kiállításán (a és b képek forrása: SZTFH archívuma); (c) az üveg tárolóedény sematizált rajza

Fig. 2.: The Kalecsinszky clay collection at the millennium (a) in 1900 on the permanent exhibition at 14 Stefánia Str., Budapest of the Hungarian Royal Institute of Geology; (b) in 1891 on the temporary exhibition at the Industrial Hall of the Városliget, Budapest (source of photographs a and b: archives of SZTFH, Supervisory Authority for Regulatory Affairs); (c) schematic sketch of the glass container.

őskori nyersanyagok Magyarországon és a környező területeken” című honlapon (<http://www.ace.hu/atlas/atl/2-1/2-1h/2-1tab1frh.html>) a „bánya” címszó alatt megőrizték. A Kalecsinszky-féle gyűjteményt állagvédelmi okokból a 2010-es évek elején, Péterdi Bálint (akkor MÁFI) és T. Biró Katalin (MNM) fáradozásának köszönhetően, több részletben sikerült Budapestre, a Stefánia úti palotába felszállítani és biztosítani a megfelelő körülmények közötti tárolását.

Az eredeti agyaggyűjtemény

A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény egyidős az intézménnyel (SZTFH, korábban Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ), korábban Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), korábban Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), korábban Magyar Királyi Földtani Intézet (MKFI)), sőt, a legkorábbi gyűjteményi példányok keltezése 1868-as, azaz egy évvel megelőzi a hivatalos alapítást. A Magyar Királyi Földtani Intézet alapítólevele több ponton is rendelkezik a gyűjteményekről.

Az agyaggyűjtemény katalógusaiban 425 lelőhely részletes leírásában található mintaszámok (összesen 922 db minta), ezek mellett 38 lelőhely részletes leírásában nem található mintaszámok (általában azért, mert korábbi vizsgálati eredményeket közöl az adott lelőhelyekről). Egy-egy település több bányájából többféle agyagot is mintáztak. A tűzállósági fokozatok szerint közölt listákban azonban a legmagasabb mintaszám a 939-es. A közel 1000 nyers agyagminta és azok háromféle kiégetésű kísérleti gúlái alkották tehát a teljes gyűjteményt. Ezzel a Kárpát-medence összes

nagyobb kiterjedésű és jelentőségű, illetve számos kisebb kiterjedésű és jelentőségű agyaglelőhelyét felölelte.

A Földtani Intézet első állandó kiállításának megnyitására az alapítás után harminc évet kellett várni. 1898–99 között Lechner Ödön tervei alapján felépült a Stefánia úti „palota”, amelyben a múzeum „tíz szakaszra osztott, de tulajdonképpen összefüggő óriási terem, amely 1470 négyzetméternyi területével az egész második emeletet elfoglalja.” (MKFI 1909) A hatalmas mennyiségű magyarországi és külföldi – összehasonlítás céljából vásárolt és gyűjtött – ősmaradvány; a „Magyar Birodalom sztratigrafiai és petrografiai” gyűjteményének földrajzi, azon belül képződési kor szerinti rendben kiállított több, mint 20 000 kőzetpéldánya; valamint a külön gyűjteményrészekként megjelenő külföldi kőzetgyűjtemény, „dinamogeológiai” és „agroteológiai” gyűjtemény mellett több termet töltöttek meg a „Gyakorlati geológiai gyűjtemények”. Ezek között találjuk: A) „Tűzálló agyagok, festőföldek s kerámiai iparnak szolgáló egyéb nyers anyagok gyűjteménye” (Kalecsinszky 1905) (**2. ábra**); B) „Iparilag értékes kőzetek” - „A Magyar Birodalom mű- és építőkövei” (Schafarzik 1904) kőzetfajták szerinti rendben, összehasonlító külföldi gyűjteménnyel kiegészítve; C) „Ékkövek és díszítőkövek” Magyarországról és külföldről; D) „Bányageológiai gyűjtemény”, amely az érc-, kőszén-, kőolaj-, kősó- és opálbányászat anyagát ölelte fel (képződés, telérek, ércfajták, térképek, ásványfotók stb.), az egyes területeken belül földrajzi rendben. (MKFI 1909)

Az agyagminták a külön erre a célra készített üvegekben kaptak helyet (**2.c ábra**): „Gyűjteményünkben, a szekrényekben levő nyers agyagok az

üvegedény felső részében, a belőle készített és kiégetett piramisok pedig az alsó részében vannak elhelyezve. A leltári szám úgy az üvegen, mint a piramison fel van jegyezve. A megfelelő kemencze jelzése (c, b, a) a piramison látható.” „A tűzálló agyagoknál, az üvegedény alsó részében mind a három kemenczében levő piramispróbát megtaláljuk, ha a piramisok száma háromnál több, úgy ezek iszapolt agyagból készültek; a tűznemálló agyagoknál egy esetleg két piramis megolvadt.” (Kalecsinszky 1905)

Az agyaggyűjtemény közlései (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885; Petrik 1887, 1888, 1889, 1913; Kalecsinszky 1892, 1896, 1899, 1905) alapján ismert minden minta pontos lelőhelye, rövid makroszkópos leírása, és ahol rendelkezésre állt, ott a kémiai összetétele (3. ábra).

Archeometriai és kerámiakészítési szempontból, továbbá a kerámiák kereskedelmének megértése szempontjából fontos mind a régészeti, mind pedig a néprajzi kutatások számára, hogy egyéb információk mellett az egyes minták esetében valamennyit az alábbiak közül is rögzítettek (3. ábra) (Kalecsinszky 1905):

- az agyagbánya lelőhelyét és nevét (megye, község, fekvése),
- távolságát a legközelebbi vasúti vagy hajóállomástól,
- az agyagbánya mióta van művelés alatt,
- felszínen van-e, vagy mélyebben,
- mennyit termelnek ki belőle évente,
- mennyi készárut készítenek évente,

Csoportjelző és folyó szám	Leltári szám	Kísérleti szám	Lelelőhely és ennek távolsága a legközelebbi vasúti v. hajóállomástól kilométerekben, és vezet-e oda kocsival járható út és milyen	Fizikai tulajdonságok és geológiai viszonyok	Kötőképesség	Égetési veszteség	Leiszapolható anyag számokában	Mennyiségben szelvényekben	Égetési kísérlet			A telep-tulajdonos vagy bérlo neve és lakása	Az anyag bekülönböztetője vagy gyűjtője	Lelelőhelye bányán vagy sem?	Az anyag ára	A már létező kelendősegi terület	Évi termelés	Elemzések és egyéb jegyzetek	
									Próba kemenczében (muffel) c.	Köszkemenczében b.	Deville-féle szelkemenczében a.								
I. Csoport,																			
1. Tűzállósági fokozat.																			
A	1	180	<i>Bélabánya</i> (Hont megye) Nándortárna Vasúti állomás helyben	Hőfőhéragyag (Dill-ni és Agalmatolit név alatt ismeretes.) Karcza fényes, tapintása nagyon finom. Korlátolt mennyiségben fordul elő a Nándortárnában	0	13-18	—	—	Hőfőhértőrekeny	Fehér, repedezett, teljesen ilkacsos	fehér, teljesen fénytelen, érdes törésű	M. kir. Bányakincstár	M. kir. bányagazgatóság Selmeczbányán	Tárna	A bányánál 1 met. m. 96 kr.	A selmeczbányai kohó az egész készletet felhasználja tűzálló anyagok. Mások használatára nem bocsátatik áruba	3000-3000 met. m. a kohó szelvényeiben tartalmaz:	A selmeczbányai m. kir. Bányagazgatóság 1879-ik évben elemzelele. A zizott és mosott anyag	Kovasav (SiO ₂) ... 30.40 Timföld (Al ₂ O ₃) ... 52.68 Vasoxid (Fe ₂ O ₃) ... 0.80 Manganoxidul (MnO) 0.90 Mész (CaO) ... 0.89 Magnézia (MgO) ... 0.99 Kényszer (SO ₃) ... 0.80 Víz (H ₂ O) ... 11.88 Alkáltsók ... 1.50 99.64 KARAFIAT és HUTZELMANN elemzése szerint pedig: % Kovasav (SiO ₂) ... 22.7 Timföld (Al ₂ O ₃) ... 57.3 Víz (H ₂ O) ... 20.0 100.0

Ágris község, Aradvármegyében.
 Az agyagot, a mely a pankotai vasúti állomástól 10 km-re fekszik, csak igen kevéssé alkalmazzák. Az agyagmintákat Lóczy Lajos gyűjtötte.
 1. Az agyag fehér színű, fényes felületű s kissé sovány, számos csillámpikkelylyel és kvarcsezemmel. Karcza fénytelen, érdes. Diluviális terraszok alatt elmállott gnajs, fillitek felett fordul elő. A fazekasok fehér festékül használják korlátolt alkalmazással.
 Kötőképessége = 0, égetési vesztesége = 4.89, az iszapolt agyagban = 8.13, leiszapolható rész = 67.0%.
 Égetési próbák: a kb. 1000 C° próbakemenczében a gula sárgás-fehér színű, finom tapintású. Az iszapolt agyag hasonló viselkedésű; kb. 1200°-nál, szürke, kőanyagyszerű és kb. 1500 C°-nál a Deville kemenczében, szürke színű, fényes, kissé hólyagos felülettel.
 Tűzállósági fokozata = II. L. sz. 44.
 2. Sárgás szürke színű, egyéb fizikai tulajdonságai és geologiai viszonyai hasonlóak az előbbenihez.
 Kötőképessége = 3; égetési vesztesége = 6.43. Az égetési próbák hasonlóak az előbbenihez. L. sz. 49.
 3. Sárga színű, kissé sovány agyag, fehér és vörös sávokkal, kevés csillámpikkelylyel és kvarcsezemmel. Karcza fénytelen, tapintása érdes. Diluviális terraszok, vashidroxidos kavics rétegei közt fordul elő.
 Kötőképessége = 1, égetési vesztesége = 5.11.
 c próbakemenczében sárga-vörös színű lesz, apró csillámmal, b kemenczében barnaszínű, gyöngye felülettel s apró hólyaggal, az a kemenczében megolvad.
 Tűzállósági fokozata = V. L. sz. 46.

Ágris, Aradvármegyében.
 Elemezte: László Ede.
 Darabokban fehér, sárga erezzettel; porrá törve sárga; vízben szét-eszik; finom porrá törve képlekeny; muffel kemenczében világos sárgára ég; fehér izzásnál erősen összezsugorodik.

Chemiai elemzés:

Súlyvesztéség izzítás útján	4.47%	
Kovasav (SiO ₂)	69.14	Homok 41.69%
Timföld (Al ₂ O ₃)	19.66	
Vasoxid (Fe ₂ O ₃)	2.39	
Magnézia (MgO)	0.42	
Káli (K ₂ O)	1.29	
Nátron (Na ₂ O)	2.26	
Összeg: 99.63%		
Nedvesség 2.42%		

Mechanikai elemzés:

Agyagos rész	58.34%
Homok	40.60
Ásványtörmelék	1.06

Csővek és kályhalemezek, iszapolva pedig majolika készítésére alkalmas. Jelenleg leginkább engobagenak használják.

3. ábra: Egy-egy példaként kiválasztott agyagminta (a) táblázatos adatai Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik (1885), illetve (b) folyószöveges adatai Kalecsinszky (1905) katalógusában

Fig. 3.: Examples of data on clay samples of the collection: tabular form (Mátyásfalvi Mattyasovszky & Petrik 1885) and text form (Kalecsinszky 1905)

- mire használják a nyers agyagot (pl. téglá, porcelán, kőedény, egyéb fazekasáruk stb. gyártására),
- ha van a közelben gyár, ami felhasználja az agyagot, akkor mióta létezik,
- a téglá és az agyagáruk piaca mekkora területre terjed ki az adott készítőhelytől,

továbbá számos esetben rögzíti azt is, hogy az agyag színe hogyan változik kiégetési hőmérsékletenként (1000 °C, 1200 °C, 1500 °C). Emellett kevesebb esetben egyéb fizikai és kémiai tulajdonságok is szerepelnek, mint a kötőképeség, égetési veszteség, leiszapolhatóanyag- és mésztartalom.

Az agyaggyűjtemény jelenlegi állapota

A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény eredeti katalógusaiban szereplő, összesen 922 db (vagy 939 db) mintából az SZTFH gyűjteményében jelenleg 728 db üvegtároló található (**4.a-c ábra**), többségében ép állapotban. Egy üvegtárolós minta az SZTFH állandó kiállításának a gyűjtemények történetét bemutató vitrinjében is helyet kapott (**4.d-e ábra**).

A ma is a gyűjteményben lévő üvegtárolókon 404 lelőhely azonosítható, de néhány lelőhely neve olvashatatlan vagy elveszett. Az üvegeken található mintaszámok nem minden esetben feleltethetők meg az 1905-ös katalógusban szereplőkkel, mivel azoknál nagyobb számokkal is találkozhatunk, ami arra utalhat, hogy egyes minták a katalógus megjelenése után kerültek a gyűjteménybe. Az azonosító számok között előfordul olvashatatlaná vált, illetve hiányzó jelzés is.

A többszöri költöztetés során előfordulhattak a felső és alsó mintatartó részek közötti keveredések, ezért bizonytalan, hogy az égetési próbák piramisai a hozzájuk tartozó nyers agyagmintákkal együtt található-e meg minden esetben. Az új vizsgálatokhoz ezért minden esetben a nyers agyagminták újramintázása ajánlott.

Az agyaggyűjtemény mintáinak alkalmazása fehér kerámiák kutatásában

A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény több okból is felkeltette az érdeklődésünket. Egyrészt, mert ahogy Kalecsinszky maga is írja „*A jelen munka első sorban a gyakorlati életnek kíván megfelelni, [az] agyagminták és a hozzá tartozó adatok rendszeresebb feldolgozásával*”, másrészt pedig a „*mintegy ezer*” begyűjtött agyagminta (Kalecsinszky 1905, 3) tűzállósági fokozatát is meghatározta, hogy következtetni lehessen arra, hogy a Magyar Királyság mely részein milyen típusú agyagok fordulnak elő, például melyeket

lehet olvasztókemencék építéséhez, melyeket kerámiák készítésére (porcelán, kőedény, egyéb fazekasáru), illetve más ipari célra (pl. téglá, festék) felhasználni. Harmadrészt az is nagy értéke a gyűjteménynek, hogy a Magyar Királyság egész területéről – így a mai szomszédos országok területeiről –, illetve Kárpát-medencén kívüli területekről is rendelkezik agyagmintákkal. A gyűjteményben agyagminták mellett az agyagiparban felhasználható egyéb anyagok (pl. riolit, riolittufa) is szerepelnek, amelyeknek – az agyagmintákhoz hasonlóan – fontos szerepük lehet a provenienciá meghatározásában.

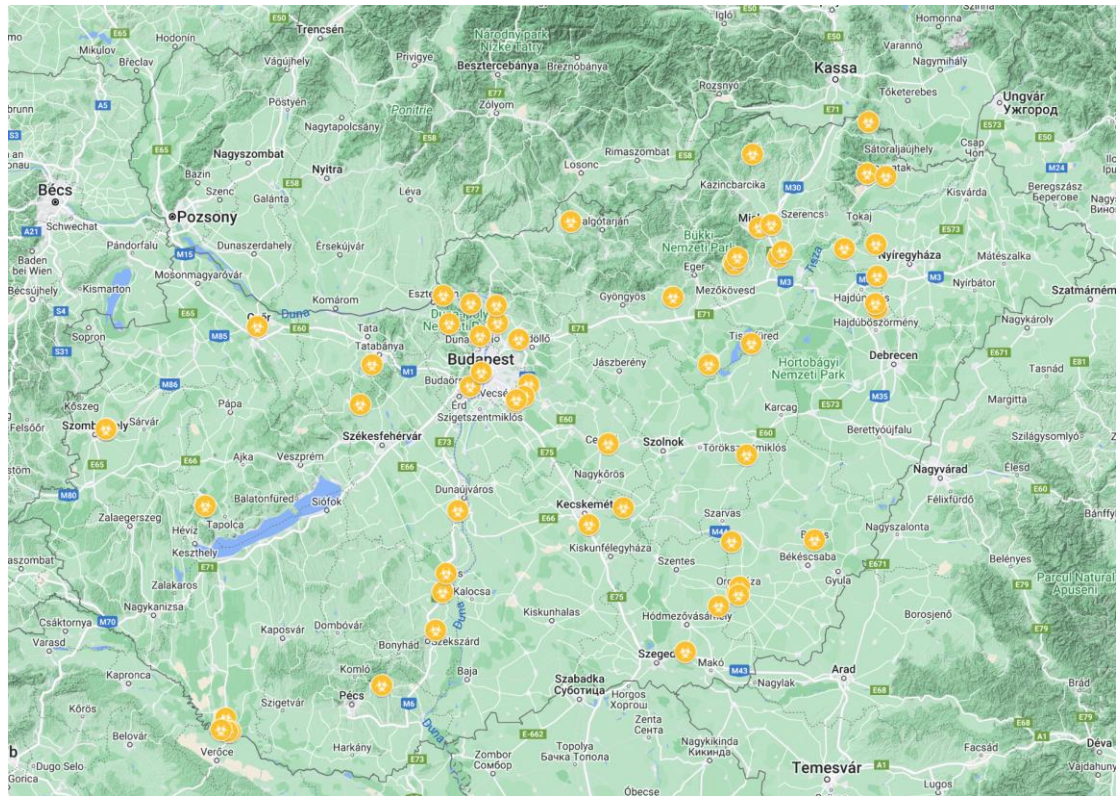
A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény fehérre/világos színűre égő agyagjainak a feldolgozását korábban elkezdtük. A vizsgálat apropója az volt, hogy számos régészeti lelőhelyről ismerünk (pl. Höllrigl 1930, Holl 1956, 1963, Parádi 1963, Gömöri 1970, Cabello & Feld 1980, Hosso 1983, Feld 1984, Wolf 1986, 1999, Takács 1993a,b, 2000, Laszlovszky et al. 1997, Kárpáti 2002, Simonyi 2003, 2005, Tomka 2004, Terei 2005, Rácz 2006, Gál-Mlakár 2007) és vizsgáltunk fehérre/világos színűre égett kerámiákat (**5. ábra, 1. melléklet**), azonban a nyersanyagok provenienciája, továbbá a nyersanyagok előkészítésének módja (soványított vagy természetes úton homoktartalmú) mindig kérdés maradt.

Mivel a fehér kerámiák nyersanyagainak megértéséhez alapvető segítséget nyújthat a Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény, a Magyar Nemzeti Múzeum Archeometriai Laboratóriumának munkatársaival 2015-ben elhatároztuk, hogy az SZTFH (akkor MFGI) által rendelkezésünkre bocsájtott agyag-gyűjteményből megmintázzuk azokat, amelyek égetés előtt vagy után fehér/világos színűek. Az elsődleges célunk a gyűjtemény feltehetően fehérre/világos színűre égő agyagjainak kiválogatása volt. Ennek megfelelően a fehér, szürke vagy sárga (illetve ezek változatai, átmenetei; pl. világos-szürke, szürkésfehér, sárgásfehér, világossárga) színű agyagokból vettünk mintát további kutatásainkhoz. A gyűjteményből, egyeztetve Kalecsinszky leírásait és a mintákat, így összesen 209 agyagmintát választottunk ki feldolgozásra (**6. ábra, 2. melléklet**). Kalecsinszky munkájának van egy további jelentősége is, miszerint nem csak az agyagok tűzállósági fokát határozta meg, hanem esetenként leírta, hogyan változott meg az agyag színe az égetés során: nem csupán az égetés előtti és az égetés utáni színek, hanem égetés közbeni színváltozások is követhetők a kiadványban (Kalecsinszky 1905). A fehér kerámiák vizsgálatához gyűjtött 209 agyagminta kiválasztásánál ez is nagy jelentőséggel bírt.



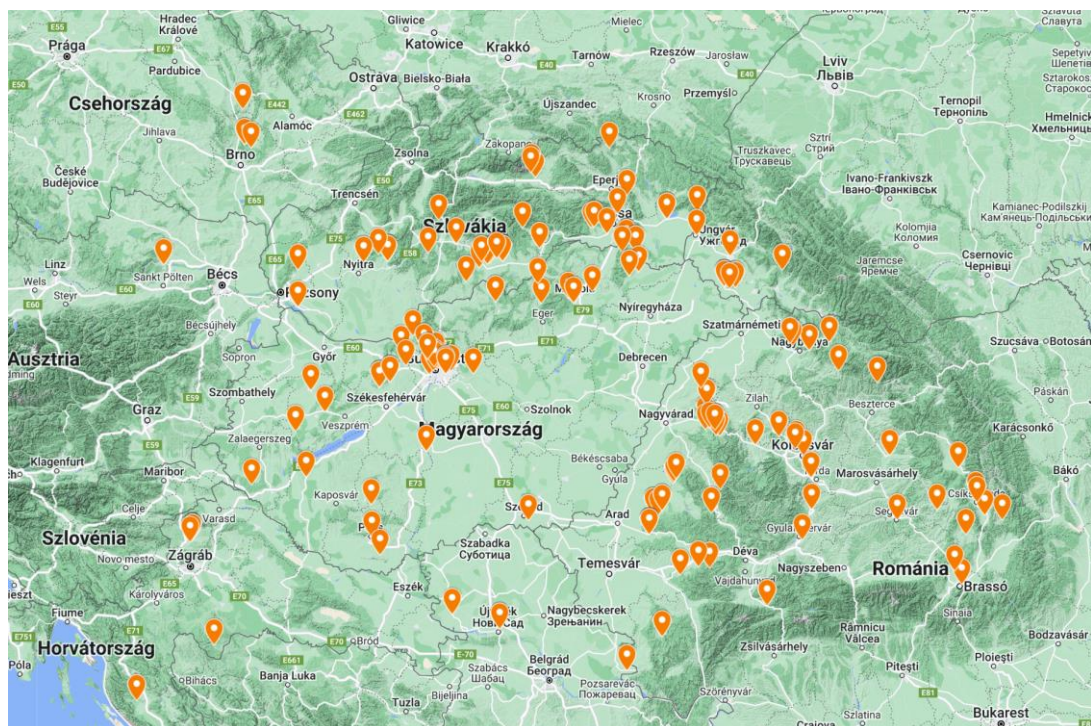
4. ábra: A Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény jelenlegi állapota: (a-b) elhelyezés a budapesti Stefánia úti székház épületében; (c) az üvegtároló különböző részeiben található minták, (d-e) egy üvegtárolós agyagminta az SZTFH állandó kiállításának a gyűjtemények történetét bemutató vitrinjében.

Fig. 4.: Present-day conditions of the Kalecsinszky clay collection: (a-b) deposition at the headquarters, Stefánia Str., Budapest; (c) distribution of samples in the parts of the glass container; (d-e) a clay sample in glass container in the showcase on the history of collections at the permanent exhibition of the SZTFH



5. ábra: A szerzők által vizsgált olyan középkori lelőhelyek, ahol fehérre/világos színűre égett kerámiák is előkerültek (térkép forrása: Google Maps). A lelőhelyek listáját az **1. melléklet** tartalmazza.

Fig. 5.: Geographical distribution of medieval archaeological localities providing white or light coloured pottery investigated by the authors (source of map: Google Maps). List of localities is in **Appendix 1**.



6. ábra: A Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményből kiválasztott, nyers vagy égetett állapotban fehér vagy világos színű agyagminták lelőhelyei (térkép forrása Google Maps). A települések listáját a **2. melléklet** tartalmazza.

Fig. 6.: Geographical distribution of clay sources from the Kalecsinszky clay collection displaying white or light colour in raw or fired condition selected by the authors (source of map: Google Maps). List of localities is in **Appendix 2**.

Ahhoz, hogy az agyagminták érdemben összehasonlíthatók legyenek a vizsgált fehér kerámiákkal, az agyagmintákból a **7–9. ábrán** látható kis mintatesteket készítettünk. Először az agyagot vízzel elegyítettük, hogy alakíthatóvá váljon. Sokszor az agyag annyira kemény volt és tömörödött, hogy áztatással sikertelen volt gyúrhatóvá tenni, ezért kalapáccsal óvatosan kisebb darabokra törve, achát mozsárban még tovább finomítva a szemcseméretet, próbáltuk víz elegyével formálhatóvá tenni. Mikor gyúrhatóvá vált, elkészítettük a mintatestet, amelybe bélyegzővel ütöttük bele az agyagminta azonosító számát. Az agyag színét nedves, száraz, illetve égetés utáni állapotban egyértelműsítettük a Munsell-színskála segítségével. Ezt követően a Magyar Nemzeti Múzeum Archeometriai Laboratóriumában kiégettük azokat. A mintatestekről égetés előtt és után is fényképfelvételt készítettünk. A minták kiégetését Nabertherm L15/12/320 típusú izzítókemencében oxidatív körülmények között végeztük. A minták kiégetésének hőfoka 750 °C, a felfűtési idő 1 óra, a hűtőtartás pedig szintén 1 óra volt, ezt követően a kemencét – a mintákkal együtt – hagytuk fokozatosan kihűlni. A kiégetési hőmérsékletet azért határoztuk meg 750 °C-ban, és nem magasabb hőmérsékletben (Kalecsinszky 1000, 1200 vagy 1500 °C-on égette ki az agyagmintákat), mert ha a kerámiakészítéshez használt agyagmintákban van karbonát, az magasabb hőmérsékleten átalakul (részletesen lásd pl. Kreiter 2007), ezáltal torzulhat a nyersanyagok összetételének megfigyelhetősége és az alacsonyabb hőmérsékleten kiégetett régészeti kerámiákkal való összehasonlíthatósága.

Kalecsinszky más körülmények között – például eltérő égetési hőmérsékleten – égette ki az agyagmintákat, mint mi, így a vizsgálati eredményeink kiegészítik az ő tapasztalatait. Az általunk kiválasztott minták kiégetésénél mi is tapasztaltuk, hogy megváltozhat a fehér színű agyagminták színe (**7. ábra**), illetve számos esetben kiderült, hogy egy sötétebb agyag fehérre égett (**8. ábra**), vagyis a fehér kerámiák szempontjából ez is potenciális nyersanyag lehet. Az is kiderült ugyanakkor, hogy vannak olyan világos színű agyagminták, amelyek az alacsonyabb hőmérsékletű égetésünk során is vörösek lesznek, így ezek önmagukban kizárhatók a fehérkerámia-készítésből (**9. ábra**).

Ezt követően a kiégetett mintákból vékonycsiszolatot készítettünk polarizációs mikroszkópos elemzéshez, vékonycsiszolati mikrofotókat készítettünk az összes mintáról, továbbá a minták lelőhelyének adatait táblázatba foglaltuk a fotóikkal együtt (**10. ábra**).

A Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményből kiválogatott agyagokat többek között váci (Kreiter & Viktorik 2016), barcsi (Kreiter et al. 2015, Kreiter & Pánczél 2016) orosházi (May et al. 2021), visegrádi (Kreiter et al. 2022), szombathelyi

(Kreiter et al. 2017), pesti-síksági (Szilágyi et al. 2010), kecskeméti (Molnár et al. 2018) és ÉK-magyarországi (Szilágyi et al. 2010, Szilágyi 2020, 2022) középkori kerámiák vizsgálatában tudtuk felhasználni, továbbá alapját képezik „A fehér kerámia nyersanyagának vizsgálata az Árpád-kortól az újkorig természettudományos módszerekkel” című, a Magyar Nemzeti Múzeumban folyó alapkutatói programnak is. Ebben a projektben 28 (Buda környéki, északkelet-magyarországi és észak-alföldi) lelőhelyről 125 db, 12–18. századi régészeti, illetve népi fehér kerámiát vizsgálunk. A kutatási program célja a fehérre/világos színűre égő kerámiák nyersanyagforrásainak, készítése technológiájának megismerése, lehetséges műhelykörzetek lehatárolása, ezáltal pedig a technológiai, tipológiai és kronológiai adatok alapján a kerámiák kereskedelmének megismerése. Reményeink szerint az eredményeinket összehasonlítva a 18–19. századi népi fehér fazekasáruval, a néprajzi adatok alapján ismert fazekaskörzetek (kerámiatechnológiai szempontból) jobb megismeréséhez és esetleges régészeti korszakok felé mutató gyökereinek felderítéséhez járulunk hozzá. Az agyagok és kerámiák modern módszerekkel történő vizsgálati eredményeit adatbázisba rendezzük, amely egy folyamatosan bővíthető összehasonlító agyagadatbázis alapjait képezi. Az egyelőre rendelkezésre álló hagyományos petrográfiai mikroszkópos szöveti és ásványos összetételi összehasonlító vizsgálatok alapján az egyes ismert népi fazekaskörzetek jellegzetes agyagtípusai azonosíthatóvá válnak a régészeti leletanyagban (**11. ábra**).

Az agyaggyűjtemény feldolgozására és felhasználására a kerámiavizsgálatokban folyamatos igény van, hiszen új és egyedi értelmezési lehetőségeket biztosít a kerámiakészítési hagyományok megértésében, továbbá módszertanilag is segíti (pl. mi a hozzáadott soványítás és mi természetes) a kerámiavizsgálatokat végző szakembereket. A Kalecsinszky-féle és más régi gyűjtemények (pl. Liffa Aurél kaolinkutatási munkája) jelentősége, hogy mintáik olyan bányákból, vagy olyan feltárásokból származnak, melyek ma már nem elérhetőek kitermelés vagy beépítettség miatt. Ezért a gyűjteményeknek egyes darabjai egyediek és megismételhetetlenek. Tekintettel az ezekben a gyűjteményekben rejlő lehetőségekre további összehasonlító célú archeometriai kutatásokhoz, ezeket – beleértve a Kalecsinszky-féle agyaggyűjtemény általunk eddig nem vizsgált darabjait is – szükséges volna folyamatosan feldolgozni petrográfiai és műszeres analitikai módszerekkel, lehetőleg egy egyezményes módszertan alapján (pl. bármely laborban történik a feldolgozás, azonos kiégetési módok alkalmazása célszerű az összehasonlíthatóság miatt).



7. ábra: 558. sz. minta a Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményből Füzérradványról (Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye). Bal oldalon kiégetés előtti fehér agyag, jobb oldalon kiégetés után. Példa arra, hogy a kiégetés során megváltozhat a fehér színű agyagminták színe.

Fig. 7.: Sample No. 558 of the Kalecsinszky clay collection from locality Füzérradvány (Borsod-Abaúj-Zemplén County). Left: raw white clay, before firing. Right: fired clay. It represents the case when the raw white clay changes its hue during firing.



8. ábra: 313. sz. minta a Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményből Hollóházáról (Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye). Bal oldalon a kiégetés előtti sötét agyag, jobb oldalon kiégetés után fehérre égve. Példa arra, hogy megfelelő körülmények között egy sötétebb agyag is éghet fehérre.

Fig. 8.: Sample No. 313 of the Kalecsinszky clay collection from locality Hollóháza (Borsod-Abaúj-Zemplén County). Left: raw grey clay, before firing. Right: white fired clay. It represents the case when the raw dark-coloured clay turns white during firing.



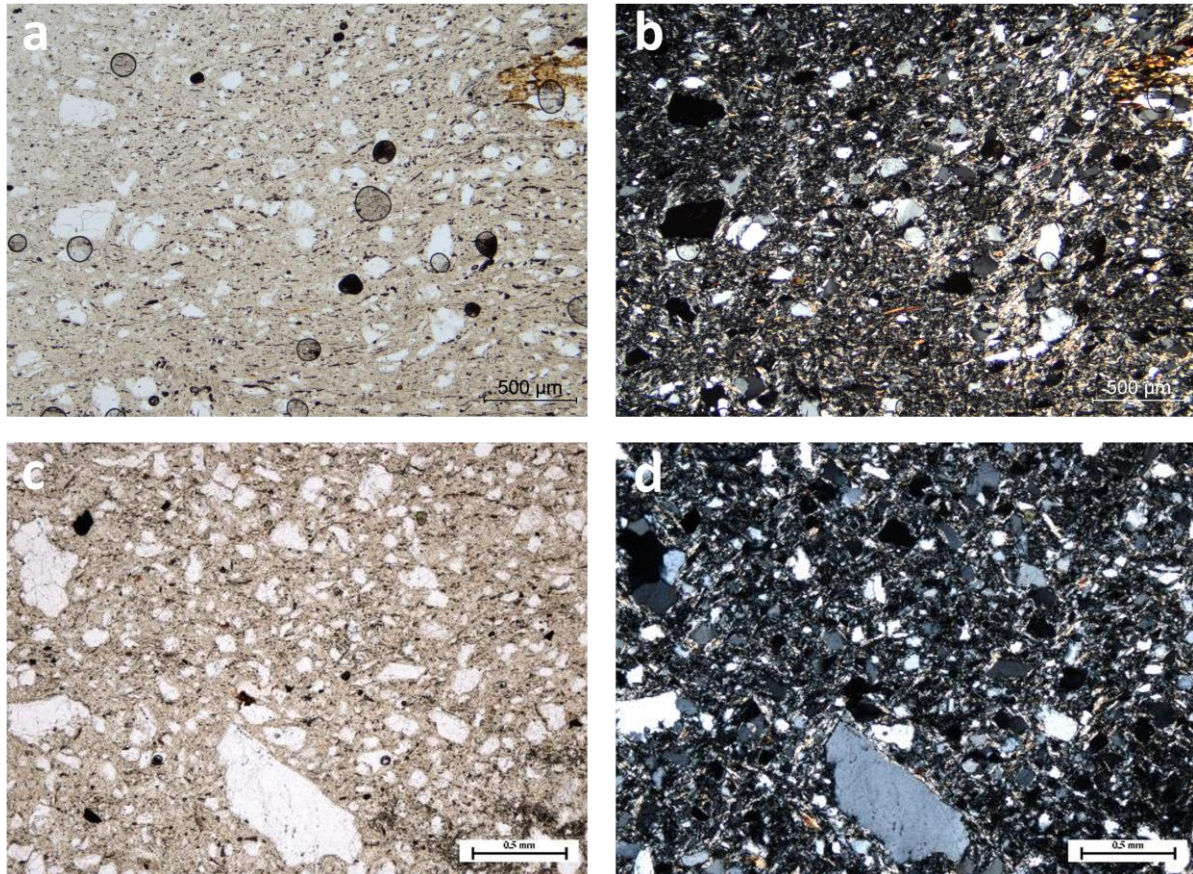
9. ábra: 404. sz. minta a Kalecsinszky-féle agyaggyűjteményből Tajováról (Tajov, Szlovákia). Bal oldalon kiégetés előtti fehér agyag, jobb oldalon kiégetés után barnászörösre égve. Példa arra, hogy egy világos színű agyag alacsony hőmérsékleten éghet vörös színűre.

Fig. 9.: Sample No. 404 of the Kalecsinszky clay collection from locality Tajov (Slovakia). Left: raw white clay, before firing. Right: brownish red fired clay. It represents the case when the raw white clay turns into another colour during firing.

Kalacsinszky kötetenben szereplő mintaazonosító	Kalacsinszky kötetenben szereplő leíróhelynevek	Kalacsinszky kötetenben szereplő vármegye / ország, országrész	Mai településnév	Mai ország	Mai közírásgazdálkodási egység	Munsell-színkód (égetés előtti miniatérest, nedves)	Munsell-színkód (égetés előtti miniatérest, száraz)	Munsell-színkód (égetés utáni miniatérest)	Égetés előtti miniatérest	Égetés utáni miniatérest	Égetés utáni miniatérestből készült vékonyvágat mikrofotója (40x, +N)
312	Hollóháza	Abauj-Torna	Hollóháza	Magyarország	Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	10YR 6/1	10YR 7/1	7.5YR 9/2 (kívül); WHITE PAGE 2.5Y 9/1 (belső)			
313	Hollóháza	Abauj-Torna	Hollóháza	Magyarország	Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	10YR 4/1	10YR 6/1	WHITE PAGE 2.5Y 9/1			
18	Hollóháza	Abauj-Torna	Hollóháza	Magyarország	Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	2.5Y 8/1	WHITE PAGE N 9.5	WHITE PAGE N 9.5			
471	Jászó	Abauj-Torna	Jasov / Jászó	Szlovákia	Košický kraj / Kassai kerület	2.5Y 8/1, 2.5Y 7/1	5Y 8/1	10YR 8/3; WHITE PAGE 10YR 8.5/2			
166	Radvány	Abauj-Torna	Füzérradvány	Magyarország	Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	10YR 8/4	WHITE PAGE N 9.5	7.5R 8/3			

10. ábra: A Kalacsinszky-féle agyaggyűjteményből kiválasztott világos vagy világos színűre égő minták nyilvántartása az MNM NRI Archeometriai Laborjának gyűjteményében.

Fig. 10.: Inventory of white or light coloured clays of the Kalacsinszky clay collection in the database of the Archaeometry Laboratory at the National Archaeological Institute of the Hungarian National Museum



11. ábra: Petrográfiai mikroszkópos szöveti összehasonlító vizsgálat: (a-b) régészeti kerámia (Kisköre-Gát, 12–13. sz.); (c-d) felvidéki fehér agyag nyersanyag (Fazekaszsaluzsány (Hrnčiarске Zalužany), Szlovákia). (a,c – PPL, c, d – XPL)

Fig. 11.: Petrographic microscopic comparison of clay textures: (a-b) archaeological ceramic (Kisköre-Gát, 12th–13th c.); (c-d) white clay from Hrnčiarске Zalužany (Slovakia). (a,c – PPL, c, d – XPL)

Jövőbeli vizsgálati és felhasználási lehetőségek

A tanulmányunkban példaként említett fehérkerámia-kutatáshoz kapcsolódó, a Kalecsinszky-féle gyűjtemény kiválóatott agyagjainak feldolgozása jól szemlélteti az ebben a gyűjteményben lévő többi, nem fehér agyag, vagy más hasonló, a történelmi Magyarország területéről vett gyűjtemények mintáinak feldolgozásában rejlő kutatási potenciált. Hiszen a már feldolgozott mintákat – nem csak a fehér agyagokat, hanem az égetési kísérlet során más színűnek bizonyulókat is – folyamatosan használjuk összehasonlító anyagként az adott földrajzi területek régészeti lelőhelyeinek kerámiavizsgálataiban.

Az agyaggyűjtemény teljes, modern anyagvizsgáló feldolgozásával olyan átfogó alapadatállományt kapnánk a Kárpát-medence jelentősebb agyag-előfordulásainak összetételéről, amely bármilyen hazai kerámiaarcheometriai kutatásnak hasznos háttérül szolgálna. A korszerű ásványtani (röntgen-pordiffrakciós, molekulaszpektroszkópiás és/vagy transzmissziós elektronmikroszkópos), közettani (polarizációs mikroszkópos és pásztázó

elektronmikroszkópos), illetve kémiai (teljes vagy lokál analitikai) módszerek alkalmazásával és kísérleti égetések végzésével egy századfordulós agyaggyűjteményből modern provenienckiakutatási adatbázist hozhatunk létre.

A szerző tudományos közreműködése

Kreiter Attila Kutatásvezetés, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Viktorik Orsolya** Módszertan, Kísérletvezetés, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Máté László** Módszertan, Kísérletvezetés, Adatkezelés, Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Péterdi Bálint** Eredeti kézirat, Vizualizáció. **Szilágyi Veronika** Kísérletvezetés, Eredeti és javított kézirat, Vizualizáció.

Irodalom

ANICHINI, F., BANTERLE, F., BUXEDA I GARRIGÓS, J., CALLIERI, M., DERSHOWITZ, N., DUBBINI, N., LUCENDO DIAZ, D., EVANS, T., GATTIGLIA, G., GREEN, K., GUALANDI, M.L., HERVAS, M.A., ITKIN, B., MADRID FERNANDEZ, M., MIGUEL GASCÓN, E., REMMY, M., RICHARDS, J., SCOPIGNO, R., VILA, L., WOLF, L., WRIGHT, H. &

- ZALLOCCO, M. (2020): Developing the ArchAIDE Application: A digital workflow for identifying, organising and sharing archaeological pottery using automated image recognition, *Internet Archaeology* **52/7**.
<https://doi.org/10.11141/ia.52.7>
- BABINSZKI, E. (2019): Térképek a múltból – Tűzállóságra megvizsgált agyagjaink. *Élet és Tudomány* **74/13** 398–401.
- CABELLO, J. & FELD, I. (1980): Jelentés a füzéri vár 1977. évi kutatásáról. *Archaeológiai Értesítő* **107** 214–225.
- CSEREPES, T., RUZSA, B. & TOMOLYA, Sz. (2017): Az agyagiparos szelleme még mindig él. *Természet Világa* **2017/4** 58–61.
- FELD, I. (1984): Jelentés a salgói vár 1981–83. évi régészeti kutatásáról. *Nógrád Megyei Múzeumok Évkönyve* **X** 213–264.
- GÁL-MLAKÁR, V. (2007): Komlóska-Pusztavár régészeti feltárásának eredményei. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* **XLVI** 87–113.
- GÖMÖRI, J. (1970): Beszámoló a sárospataki róm. kat. templom mellett 1968-ban végzett ásatásról. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* **IX** 109–128.
- HÁLA, J. (2002): Kalecsinszky Sándor. In: BODÓ, S. & VIGA, Gy., szerk., *Magyar múzeumi arcképcsarnok*. Pulszky Társaság; Budapest, ISBN 963-86222-4-5, 437–438.
- HÁLA, J. (2014): A Földtani Intézet agyagvizsgálatai és a népkerámia-kutatás. Adatok Kalecsinszky Sándor és Kresz Mária munkásságához. In: HÁLA, J., szerk., *Tudósok, kutatók, gyűjtők. Néhány fejezet a magyar néprajztudomány és muzeológia történetéből*. *Documentatio Ethnographica* **30** 394–403.
- HOLL, I. (1956): Adatok a középkori magyar fazekasság munkamódszereihez. *Budapest Régiségei* **XVII** 177–194.
- HOLL, I. (1963): Középkori cserépedények a budai várpalotából. *Budapest Régiségei* **XX** 335–394.
- HÖLLRIGL, J. (1930): Árpádkori keramikánk I. Fenékbélyeges edények. *Archaeológiai Értesítő* **44** 142–169.
- HOSSO, J. (1983): Prehľad vyvoja stredovekej keramiky na Slovensku. *Archeologica Historica* **1983/8** 215–231.
- KALECSINSZKY, S. (1892): A Magyar Korona országainak megvizsgált agyagai és az agyagiparnál felhasználható egyéb anyagai. (Egyszersmind pótfüzet a magyar kir. geológiai intézettől 1885-ben kiadott agyag-katalogushoz.) *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése* **1892** 181–211.
- KALECSINSZKY, S. (1896): A Magyar Korona országainak tűzálló agyagai. *Az ezredévi, 1895. szept. tartott bányászati, kohászati és geológiai congressus füzetes kiadványai sorozatában*. 223 p.
- KALECSINSZKY, S. (1899): *A Magyar Korona országai tűzállóságra megvizsgált agyagjainak átnézetes térképe (1:900 000)*. Magyar Királyi Földtani Intézet Kiadványa, Budapest, Franklin-Társulat Könyvnyomdája.
https://map.mbfisz.gov.hu/terkepekamultbol/tuzallosagra_megvizsgalt_agyagok/
- KALECSINSZKY, S. (1905): *A Magyar Korona Országainak megvizsgált agyagai*. A Magyar Királyi Földtani Intézet Kiadványa, Franklin-Társulat Könyvnyomdája, Budapest, 218 p.
- KÁRPÁTI, Z. (2002): Árpád-kori majorság Budaújlak területén. *Budapest Régiségei* **XXXV/ 2** 587–617.
- KORDOS, L. (1994): Országos Földtani Múzeum. In: HÁLA, J., szerk., *125 éves a Magyar Állami Földtani Intézet. Tanulmányok*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 117–119.
- KREITER, A. (2007): Technological choices and material meanings in Early and Middle Bronze Age Hungary: understanding the active role of material culture through ceramic analysis. *BAR International Series* **1604**, Oxford, Archaeopress, 251 p. ISBN 978 1 4073 0021 4
- KREITER, A. & PÁNCZÉL, P. (2016): Petrographic analysis of ceramics from the Ottoman-Turkish fort at Barcs (Hungary) and the neighboring settlements. In: KOVÁCS, Gy. & ZATYKÓ, Cs., eds., “*per sylvamet per lacusnimios*” The Medieval and Ottoman Period in Southern Transdanubia, Southwest Hungary: the Contribution of the Natural Sciences. Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 95–132. ISBN 978-615-5254-06-2
- KREITER, A., PÁNCZÉL, P. & KOVÁCS, Gy. (2016): Barcs-Vár lelőhelyről származó 16–17. századi mázas kerámiák petrográfiai vizsgálata: petrográfia vs. tipológia. In: SIMONYI, E. & TOMKA, G., szerk., „A cserép igazat mond, ha helyette nem mi akarunk beszélni” – Regionalitás a középkori és kora újkori kerámiában. A Magyar Nemzeti Múzeumban 2013. január 9–11. között rendezett konferencia előadásai. *Opuscula Hungarica* **IX** Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 359–368.
- KREITER, A., PETŐ, Á. & PÁNCZÉL, P. (2013): Materializing tradition: ceramic production in Early Neolithic Hungary. In: BÁNFFY, E., ed., *The Early Neolithic of the Danube-Tisza Interfluvium*. *BAR IS* **2584**, Central European Series 7, Archaeopress, Oxford, 127–140. ISBN 978 1 4073 1212 5

- KREITER, A. & VIKTORIK, O. (2016): Kerámiák petrográfiai vizsgálata. In: MÉSZÁROS, O., szerk., *Régészeti kutatás a középkori Vác német városrészében. A Piac utcai mélygarázs területének megelőző feltárása*. Martin Opitz, Budapest, 341–362.
- KREITER, A., SKRIBA, P. & PÁNCZÉL, P. (2017): Árpád-kori kerámiakészítés kontinuitása Szombathely-Zanat – Trátai-dűlő és Szombathely – Országúti-dűlő lelőhelyen. In: RIDOVICS, A., BAJNÓCZI, B., DÁGI, M. & LÖVEI, P., szerk., *Interdiszciplinaritás. Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok*. Magyar Nemzeti Múzeum - Szépművészeti Múzeum, Budapest, 277–297.
- KREITER, A., VIKTORIK, O. & MÁTÉ, L. (2022): Visegrád, Rév utca 5. lelőhelyről származó középkori kerámiák petrográfiai vizsgálata. *Publikálatlan jelentés*, 2022.08.10., 36 p. A jelentés megtalálható a Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Régészeti Intézet, Nemzeti Régészeti Repozi-tóriumában.
- KRESZ, M. (1960): Fazekas, korsós, tálás. (Néhány fontos szempont fazekasközpontjaink kutatásához és összehasonlításához.) *Ethnographia* **LXXI** 298–379.
- KRESZ, M. (1985): Pottery in the Carpathian Basin. In: HÁLA, J., ed., *Neogene mineral resources in the Carpathian Basin. Historical studies on their utilization*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 479–501.
- KRESZ, M. (1991): Agyagművesség. In: DOMOKOS, O., NAGYBÁKAY, P. & TOMISA, I., szerk., *Magyar Néprajz, III. kötet, Kézművesség*, 524–600.
<http://mek.niif.hu/02100/02152/html/03/165.html>
- LÁSZLÓ, E.D. (1886): Magyarországi agyagok kémiai és mechanikai elemzése, tekintettel ipari alkalmazhatóságukra. A kir. magy. természet-tudományi társulat megbízásából. *Kézirat*. Királyi magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 17 p.
- LASZLOVSZKY, J., PUSZTAI, T. & TOMKA, G. (1997): Muhi–Templomdomb. In: RACKY, T., KOVÁCS, T. & ANDERS, A., eds., *Utak a Múltba – Paths into the Past*. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 144–150.
- LIFFA, A. (1937): Néhány geológiailag megvizsgált hazai kaolin és tűzálló agyag-előfordulás. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **1936/I** 1125–1145.
- LIFFA, A. (1940): Kaolin és tűzálló agyag kutatások. Néhány hazai kaolin és tűzálló agyag-előfordulás geológiai viszonyai. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **1933–35/III** 1247.
- MÁTYÁSFALVI MATTYASOVSZKY, J. & PETRIK, L. (1885): Az agyag-, üveg-, cement- és ásványfesték-iparnak szolgáló magyarországi nyers anyagok részletes katalógusa. *A Magyar Királyi Földtani Intézet Kiadványai*, Franklin-Társulat Könyvnyomdája, Budapest, 87 p.
- MAY, Z., RÓZSA, Z. & KREITER, A. (2021): Message in a bottle: Analyses of 12–13th century vessels from an Ishmaelite settlement in Orosháza, Hungary. *Journal of Archaeological Science: Reports* **38** 103084.
- MKFI 1909: Vezető a Magyar Királyi Földtani Intézet múzeumában. *A Magyar Királyi Földtani Intézet népszerű kiadványai*, I. kötet, Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest, 317 p.
- MOLNÁR, K., SZILÁGYI, V., WOLF, M. & TÓTH, M. (2018): Kecskemét-Nagykőrösi utca 7–9. lelőhely késő középkori kora újkori fehérre égő kerámiáinak archeometriai (ásvány-közettani) vizsgálata. *Archeometriai Műhely* **XV/1** 13–28.
- MOLNÁR, B.-né (1980): Jelentés a „Fehérre égő finomkerámiai nyersanyagokból készült keverékek kerámia ipari hasznosításának kutatása” című témában végzett munkáról. Szilikátipari Kutató-intézet (SZIKKTI), Budapest, 22 p.
- MOLNÁR, B.-né (1981): Jelentés a „Fehérre égő finomkerámiai nyersanyagokból készült keverékek felhasználási körének bővítése a finomkerámia iparban” című témában végzett munkáról. Szilikátipari Kutatóintézet (SZIKKTI), Budapest, 34 p.
- MOLNÁR, B.-né (1986): Jelentés a „Finomkerámiai nyersanyagok törzslapjainak készítése” című témában végzett munkáról. Szilikátipari Kutatóintézet (SZIKKTI), Budapest, 14 p.
- MOLNÁR, B.-né & SZILÁGYI, L.-né (1985): Jelentés a „Finomkerámiai nyersanyag kataszter keretében nyersanyag adatlapok készítése” című témában végzett munkáról. Szilikátipari Kutató-intézet (SZIKKTI), Budapest, 54 p.
- MOLNÁR, B.-né & WÁGNER, E. (1975): Jelentés a magyarországi finomkerámiai ásványi nyersanyagok kataszterének kidolgozása c. témáról. Szilikátipari Kutatóintézet (SZIKKTI), Budapest, 60 p.
- PAPP, G. (2002): A magyar topografikus és leíró ásványtan története. *Topographia Mineralogica Hungariae* **7** Miskolc, 444 p.
- PARÁDI, N. (1963): Magyarországi pénzleletes középkori cserépedények (XI–XVII. század). *Archaeológiai Értesítő* **90** 205–251.
- PETRIK, L. (1887): A magyarországi porcellánföldről, különös tekintettel a riolit-kaolinokra. *A Magyar Királyi Földtani Intézet*

Kiadványai, Franklin-Társulat Könyvnyomdája, Budapest, 16 p.

PETRIK, L. (1888): A riolitos kőzetek agyagipari célokra való alkalmazhatósága. *A Magyar Királyi Földtani Intézet Kiadványai*, Franklin-Társulat Könyvnyomdája, Budapest, 17 p.

PETRIK, L. (1889): A hollóházi (radványi) riolit-kaolin. *A Magyar Királyi Földtani Intézet Kiadványai*, Franklin-Társulat Könyvnyomdája, Budapest, 10 p.

PETRIK, L. (1913): Az agyagiparos. *Iparosok Könyvtára*, Budapest, 216 p.

RÁCZ, M. (2006): A sámsónházi Fejérkő régészeti kutatása (2004–2005). In: KOVÁCS, Gy. & MIKLÓS, Zs., szerk., „Gondolják, látják az várnak nagy voltát...” Tanulmányok a 80 éves Nováki Gyula tiszteletére. Budapest, 237–246.

SIMONYI, E. (2003): Előzetes jelentés a felsőzsolca-várdombi ásatásról (1992–2001). *Herman Ottó Múzeum Évkönyve XLII* 109–133.

SIMONYI, E. (2005): Adatok a 10–13. századi kerámiakészítéshez Északkelet-Magyarországról. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve XLIV* 37–55.

SZILÁGYI, V., GÁL-MLAKÁR, V., RÁCZ, T.Á., SAJÓ, I. & SIMONYI, E. (2010): 12–14. századi fehér kerámiákon végzett anyagvizsgálatok első eredményei és a továbblépés lehetőségei. *Gesta IX* 153–167.

SZILÁGYI, V. (2020): Az archeometriai vizsgálat eredményei. In: SIMONYI, E., 10–14. századi települések Északkelet-Magyarországon és a régió Árpád-kori kerámiája. *Opitz Archaeologica 16* Martin Opitz Kiadó, Budapest, 127–143.

SZILÁGYI, V. (2022): A fazekasáru nyersanyag szerinti csoportjai mikroszkópos petrográfiai vizsgálatok alapján. In: WOLF, M., Hejőkeresztúr-Vizekköze – A tatárjárás régészeti emlékei 1. *Opitz Archaeologica 22* Martin Opitz Kiadó, Budapest, 51–59.

TAKÁCS, M. (1993a): Árpád-kori településrészlet Kajárpéc-Pokolfadombon. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 1993 201–228.

TAKÁCS, M. (1993b): A kisalföldi, Árpád-kori cserépbográcsok pontosabb időrendje. (Egy kísérlet a leletanyag rendezésére). *Herman Ottó Múzeum Évkönyve XXX-XXXI* 447–479.

TAKÁCS, M. (2000): A győr-homokgödröki 10–11. századi temetőrészletek és középkori település. In: PETERCSÁK, T. & VÁRADI, A., szerk., A népvándorlaskor kutatóinak kilencedik konferenciája. *Heves Megyei Régészeti Közlemények 2* Eger, 253–309.

TASNÁDI KUBACSKA, A. (1969): Az Állami Földtani Intézet Múzeuma. In: FÜLÖP, J. & TASNÁDI KUBACSKA, A., szerk., *100 éves a Magyar Állami Földtani Intézet*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 251–265.

TEREI, Gy. (2005): Előzetes jelentés a Kőérberek–Tóváros-Lakópark területén folyó Árpád-kori falu feltárásáról. *Régészeti Kutatás 2004* 37–72.

TERÉNYI, Gy.-né & WAGNER, E. (1985): Vizsgálati jelentés. Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet. *Kézirat*. SzTFH Tudománytörténeti Gyűjtemény, Budapest, 21 p.

TOMKA, G. (2004): Északkelet-Magyarország kora újkori kerámiája. *Doktori Disszertáció*, ELTE BTK, Budapest, 343 p.

University of Southampton (2014) Roman Amphorae: a digital resource [data-set]. York: Archaeology Data Service [distributor] <https://doi.org/10.5284/1028192>

VICZIÁN, I. (2006): Száz éve jelent meg Kalecsinszky Sándor: A Magyar Korona országainak megvizsgált agyagai c. könyve. *Földtani Közöny 136/1* 169–170.

WOLF, M. (1986): Középkori kerámia leletek Mezönyáradon. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 1986 147–159.

WOLF, M. (1999): Árpád-kori település Hejőkeresztúr határában. In: S. PERÉMI, Á., szerk., *A Népvándorlaskor Fiatal Kutatói 8. Találkozásának Előadásai*, Veszprém Megyei Múzeumi Igazgatóság, Veszprém, 66–179.